



**MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE,
DE LA JEUNESSE
ET DES SPORTS**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

BO

LE BULLETIN OFFICIEL
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE,
DE LA JEUNESSE
ET DES SPORTS

**Bulletin officiel n° 31
du 26 août 2021**

Sommaire

Encart

Politiques de jeunesse, d'engagement civique et de sport

Pilotage et mise en œuvre au niveau territorial pour l'année 2021-2022
directive nationale d'orientation du 26-8-2021 (NOR : MENG2125272X)

Enseignements secondaire et supérieur

Classes préparatoires scientifiques

Objectifs de formation et programme des classes préparatoires de seconde année de mathématiques et physique (MP) et de mathématiques et physique* (MP*) : modification
arrêté du 13-7-2021 - JO du 5-8-2021 (NOR : ESRS2111702A)

Classes préparatoires scientifiques

Objectifs de formation et programme des classes préparatoires de seconde année de physique et chimie (PC) et de physique et chimie* (PC*) : modification
arrêté du 13-7-2021 - JO du 5-8-2021 (NOR : ESRS2111703A)

Classes préparatoires scientifiques

Objectifs de formation et programme des classes préparatoires de seconde année de physique et technologie (PT) et de physique et technologie* (PT*) : modification
arrêté du 13-7-2021 - JO du 5-8-2021 (NOR : ESRS2111735A)

Classes préparatoires scientifiques

Objectifs de formation et programme des classes préparatoires de seconde année de physique et sciences de l'ingénieur (PSI) et de physique et sciences de l'ingénieur* (PSI*) : modification
arrêté du 13-7-2021 - JO du 5-8-2021 (NOR : ESRS2111748A)

Classes préparatoires scientifiques

Programmes de mathématiques et de physique-chimie des classes préparatoires de seconde année de mathématiques, physique et informatique (MPI) et de mathématiques, physique et informatique* (MPI*)
arrêté du 13-7-2021 - JO du 5-8-2021 (NOR : ESRS2111756A)

Parcoursup

Calendrier de la procédure nationale de préinscription pour l'accès aux formations initiales du premier cycle de l'enseignement supérieur en Nouvelle-Calédonie - session 2021-2022
arrêté du 29-7-2021 - JO du 1-8-2021 (NOR : ESRS2121677A)

Brevet de technicien supérieur

Thème concernant l'enseignement de culture audiovisuelle et artistique du brevet de technicien supérieur métiers de l'audiovisuel - session 2023
note de service du 19-7-2021 (NOR : ESRS2122176N)

Enseignements primaire et secondaire

Établissements scolaires publics

Inscription des établissements scolaires publics dans le programme Rep+ : modification
arrêté du 1-7-2021 (NOR : MENE2122299A)

Classement des collèges

Rentrée 2021
arrêté du 23-7-2021 (NOR : MEND2123482A)

Classement des lycées professionnels

Rentrée 2021
arrêté du 23-7-2021 (NOR : MEND2123504A)

Classement des lycées et des écoles des métiers

Rentrée 2021
arrêté du 23-7-2021 (NOR : MEND2123506A)

Classement des établissements régionaux d'enseignement adapté

Rentrée 2021
arrêté du 23-7-2021 (NOR : MEND2123511A)

Bourses

Bourses au mérite
circulaire du 10-8-2021 (NOR : MENE2101249C)

Bourses nationales d'études du second degré

Bourses nationales de collège et bourses nationales d'études du second degré de lycée
circulaire du 12-8-2021 (NOR : MENE2123714C)

Scolarisation des élèves à besoins éducatifs particuliers

Élèves à besoins éducatifs particuliers scolarisés dans un établissement d'enseignement français à l'étranger
circulaire du 13-8-2021 (NOR : MENE2121008C)

Brevet de technicien métiers de la musique

Programme préparatoire à l'épreuve A2 - session 2022
note de service du 12-7-2021 (NOR : MENE2121016N)

Établissements d'enseignement français à l'étranger

Homologation et suivi - année scolaire 2021-2022
note de service du 23-7-2021 (NOR : MENC2120980N)

Baccalauréat général

Épreuve orale dite Grand oral de la classe de terminale de la voie générale à compter de la session 2022
note de service du 27-7-2021 (NOR : MENE2121378N)

Baccalauréat technologique

Épreuve orale dite Grand oral de la classe de terminale de la voie technologique à compter de la session 2022
note de service du 27-7-2021 (NOR : MENE2121379N)

Baccalauréats général et technologique

Évaluations ponctuelles d'histoire-géographie à compter de la session 2022
note de service du 28-7-2021 (NOR : MENE2121383N)

Baccalauréats général et technologique

Évaluations ponctuelles de langues vivantes A et B à compter de la session 2022
note de service du 28-7-2021 (NOR : MENE2121384N)

Baccalauréat général

Évaluations ponctuelles pour l'enseignement scientifique à compter de la session 2022
note de service du 28-7-2021 (NOR : MENE2121385N)

Baccalauréat technologique

Évaluations ponctuelles de mathématiques à compter de la session 2022
note de service du 28-7-2021 (NOR : MENE2121387N)

Baccalauréats général et technologique

Évaluations ponctuelles d'enseignement moral et civique à compter de la session 2022
note de service du 28-7-2021 (NOR : MENE2121388N)

Baccalauréats général et technologique

Évaluation spécifique de contrôle continu organisée pour les candidats au baccalauréat scolarisés dans les sections européennes ou de langues orientales et pour les candidats présentant une discipline non linguistique ayant fait l'objet d'un enseignement en langue vivante, à compter de la session 2022
note de service du 28-7-2021 (NOR : MENE2121393N)

Baccalauréat général

Évaluation ponctuelle dans l'enseignement de spécialité suivi uniquement pendant la classe de première de la voie générale à compter de la session 2023
note de service du 29-7-2021 (NOR : MENE2121284N)

Baccalauréat technologique

Évaluation ponctuelle dans l'enseignement de spécialité suivi uniquement pendant la classe de première de la voie technologique à compter de la session 2023
note de service du 29-7-2021 (NOR : MENE2121285N)

Sections binationales Bachibac

Évaluations spécifiques d'histoire-géographie et de langue et littérature espagnoles pour la délivrance simultanée du baccalauréat général et du diplôme du Bachillerato
note de service du 29-7-2021 (NOR : MENE2121389N)

Sections binationales Esabac

Évaluations spécifiques pour la délivrance simultanée du baccalauréat général et du diplôme de l'Esame di Stato
note de service du 29-7-2021 (NOR : MENE2121390N)

Sections binationales Abibac

Évaluations spécifiques d'histoire géographie et de langue et littérature allemandes pour la délivrance simultanée du baccalauréat général et du diplôme de l'Abitur
note de service du 29-7-2021 (NOR : MENE2121392N)

Sections internationales

Évaluations spécifiques de contrôle continu organisées pour les candidats au baccalauréat, scolarisés dans les sections internationales du cycle terminal et préparant l'option internationale du baccalauréat, à compter de la session 2022
note de service du 29-7-2021 (NOR : MENE2121396N)

Baccalauréats général et technologique

Choix et évaluation des langues vivantes étrangères et régionales et des disciplines non linguistiques à compter de la session 2022
note de service du 29-7-2021 (NOR : MENE2121395N)

Baccalauréats général et technologique

Programmes pour les évaluations ponctuelles de langues vivantes - années 2022 à 2027
note de service du 16-8-2021 (NOR : MENE2123569N)

Personnels

Diplôme de directeur d'établissement d'éducation adaptée et spécialisée

Ouverture de la session 2022 de l'examen
arrêté du 10-7-2021 (NOR : MENE2121642A)

Établissements publics locaux d'enseignement

Charte des pratiques de pilotage en EPLE
charte du 24-8-2021 (NOR : MEND2125219X)

Tableaux d'avancement

Accès à l'échelon spécial du grade de personnel de direction hors classe et à la hors-classe du corps des personnels de direction - année 2022
note de service du 19-7-2021 (NOR : MEND2121445N)

Création d'une fonction de professeur référent de groupe d'élèves de lycée d'enseignement général et technologique

Rôle du professeur référent de groupe d'élèves
note de service du 23-8-2021 (NOR : MENE2121269N)

Mouvement du personnel

Nomination

Administrateur provisoire de l'Institut national supérieur du professorat et de l'éducation de l'académie de Nice au sein de l'université Côte d'Azur
arrêté du 26-8-2021 (NOR : ESRS2123045A)

Intégration

Inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche
décret du 19-7-2021 - JO du 21-7-2021 (NOR : MENI2119085D)

Informations générales

Appel à manifestation d'intérêt

Dispositif Accueil langues
appel à manifestation d'intérêt du 16-8-2021 (NOR : MENE2124898X)

Conseils, comités, commissions

Liste nominative des représentants à la commission centrale d'action sociale : modification
arrêté du 29-7-2021 (NOR : MENA2125038A)

Services régionaux académiques

Création d'un service régional académique des études et des statistiques dans la région académique Hauts-de-France
arrêté du 20-7-2021 (NOR : MENG2123261A)

Vacance de postes

Conseillers en formation continue - rentrée scolaire 2021
liste (NOR : MENE2122664K)

Vacance de postes

Postes spécifiques d'enseignants du second degré à pourvoir en Nouvelle-Calédonie et modalités de candidature - rentrée scolaire de février 2022
avis (NOR : MENH2125062V)

Encart

Politiques de jeunesse, d'engagement civique et de sport

Pilotage et mise en œuvre au niveau territorial pour l'année 2021-2022

NOR : MENG2125272X

directive nationale d'orientation du 26-8-2021

MENJS - SG

Texte adressé aux recteurs et rectrices de région académique ; aux directeurs et directrices académiques des services de l'éducation nationale ; aux directeurs et directrices généraux de l'Agence du Service civique, de l'Agence nationale du sport, de l'Insep, de l'ENSM, de l'IFCE et du Musée national du sport ; au directeur de l'ENVSJN ; aux directeurs et directrices des Creps ; aux directeurs et directrices techniques nationaux

Depuis le début de cette année, les services chargés de la jeunesse, de l'engagement et des sports, dans leur nouvelle organisation, ont été fortement mobilisés afin d'accompagner l'ensemble de nos concitoyens face à la pandémie.

Cette rentrée doit favoriser un nouvel élan afin de faciliter le retour dans les associations, l'impulsion d'une nouvelle dynamique d'engagement et la reprise de toutes les formes de pratiques d'éducation populaire, socio-culturelles et sportives, notamment chez les jeunes. Au regard des difficultés qu'ils rencontrent du fait de la crise sanitaire, une attention particulière doit être apportée à leur accompagnement vers l'autonomie.

La direction des sports et la direction de la jeunesse, de l'éducation populaire et de la vie associative se sont associées pour rapprocher les politiques publiques qu'elles portent au sein du ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports dans le cadre de la réforme mise en œuvre le 1er janvier 2021.

L'objet de **cette directive nationale d'orientation** est de rappeler les priorités ministérielles qu'il vous appartient de promouvoir dans la continuité de la circulaire de rentrée du 23 juin 2021 et des instructions qui vous ont été adressées précédemment par les deux directions.

Les délégués régionaux à la jeunesse, à l'engagement et aux sports (Drajes), les conseillers de directeur académique des services de l'éducation nationale en matière de jeunesse, d'engagement et de sports, chefs des services départementaux à la jeunesse, à l'engagement, et aux sports (SDJES), les directeurs d'établissements publics du ministère chargé des sports, et les directeurs techniques nationaux (DTN), seront plus particulièrement mobilisés, sous le couvert de leurs autorités hiérarchiques respectives, pour déployer les actions prioritaires précisées ci-après. Ils pourront pour cela s'appuyer sur l'ensemble des ressources du ministère et notamment les équipes des rectorats de région académique, des rectorats d'académie et des directions des services départementaux de l'éducation nationale. Les secrétaires généraux de région académique et d'académie veilleront particulièrement à créer toutes les synergies possibles à l'échelon déconcentré.

En matière de jeunesse et d'engagement, le soutien aux jeunes tant éprouvées par la crise sanitaire, l'accompagnement de nos partenaires associatifs qu'il nous faut conforter après cette période difficile, et la promotion de toutes les formes d'engagement, constitueront des priorités pour préparer un avenir serein et accompagner tout un secteur essentiel à la vie de notre Nation.

Dans le champ du sport, le soutien aux pratiquants et acteurs du sport doit guider notre action au quotidien. 2022 constitue également une année charnière entre deux olympiades durant laquelle nous devons collectivement contribuer à renforcer la France en tant que nation sportive afin de nous préparer à accueillir les Jeux olympiques et paralympiques de 2024.

Au-delà des cinq axes prioritaires décrits au sein de cette DNO et en application de la **loi confortant le respect des principes de la République**, les services de l'État poursuivront leur action et se mobiliseront autour des enjeux de laïcité, de prévention de la radicalisation et de lutte contre le séparatisme.

Les **enjeux climatiques et de préservation de la biodiversité** pour lesquels une large part de la jeunesse se mobilise, doivent aussi guider l'ensemble de nos politiques publiques afin d'engager la transition écologique nécessaire.

Pour y parvenir, je vous engage à privilégier les modes de **concertation et de contractualisation** avec les différents acteurs locaux dans une logique de développement des territoires, notamment par le déploiement des mesures du **Plan de relance**.

1. Consolider la continuité éducative au sein des politiques d'éducation, de jeunesse et de sport

Les régions académiques et les services départementaux de l'éducation nationale, dont le périmètre d'action est désormais étendu aux missions relatives à la jeunesse, à l'engagement civique et au sport, contribuent à

L'émergence d'une offre éducative globale permettant de mieux articuler les temps scolaires, extrascolaires et périscolaires favorisant la construction et l'épanouissement de chaque enfant et de chaque jeune.

1.1 Développer une offre éducative périscolaire et extrascolaire de qualité dans un cadre sécurisé

Les recteurs de région académique (Drajes), les recteurs d'académie et les Dasen (SDJES) disposent désormais de multiples leviers d'action pour accompagner l'émergence d'alliances éducatives dans les territoires, dans le cadre du Plan mercredi avec les projets éducatifs de territoire (PEDT), mais aussi, dans une logique d'amélioration de la qualité de l'accueil et de l'offre éducative proposés aux enfants et aux jeunes, en s'appuyant sur l'ensemble des dispositifs associés tels que les Vacances apprenantes, les internats d'excellence ou encore les Cités éducatives.

À ce titre, les recteurs de région académique (Drajes) et les Dasen (SDJES) ont la charge d'assurer la protection des jeunes au sein des accueils collectifs de mineurs organisés sous l'autorité des préfets durant les temps périscolaires et extrascolaires. Ils veilleront notamment à faire remonter tout signalement et événement grave, à diligenter les enquêtes requises dans le cadre de leurs attributions en matière de police administrative.

L'action des services déconcentrés s'inscrit dans une dynamique portée en commun par la Djpeva et la direction des sports (décrite ci-dessous au point 4.2) en matière de sécurisation de toutes les formes de pratiques d'activités du champ jeunesse, engagement et sports.

1.2 Développer la place du sport à l'école et l'articulation avec le sport en dehors du temps scolaire

Le contexte de l'organisation des Jeux olympiques et paralympiques de Paris 2024 offre une opportunité unique de renforcer la place de l'activité physique et sportive dans les différents temps de la vie de l'enfant. Formulées dans le plan Héritage 2024 : mieux faire ensemble, les mesures relatives au développement du sport dans les espaces et les temps éducatifs témoignent de cette volonté de rapprocher l'ensemble des acteurs dans le cadre d'une réelle **alliance éducative**. La circulaire MENJS - DGESCO - DS du 23 juin 2021 précise les priorités ministérielles qu'il appartient aux recteurs (Drajes) et aux Dasen (SDJES) de déployer dont principalement :

- Les savoirs sportifs fondamentaux (**savoir nager et savoir rouler à vélo**)

Le ministère chargé des sports pilote une campagne qui vise à **prévenir les noyades et favoriser la pratique des activités aquatiques en sécurité**. Les enfants de moins de 6 ans représentent un tiers des noyades. Il faut donc accentuer le **déploiement du programme d'aisance aquatique** dès 4 ans dans tous les temps de l'enfant (scolaires, périscolaires et extrascolaires). Les classes bleues constituent la modalité privilégiée d'action pouvant donner lieu à un financement de l'Agence nationale du sport (ANS). Les recteurs de région académique (Drajes) et les Dasen (SDJES) veilleront à ce que chaque région et département réponde à l'appel à projet annuel publié par l'ANS en proposant des projets de qualité impliquant les conseillers pédagogiques, les chefs d'établissement, les professeurs des écoles, les fédérations sportives (ligues, clubs) et les collectivités territoriales. Ils veilleront à une bonne articulation entre les actions visant l'aisance aquatique, le dispositif J'apprends à nager et les pratiques d'acquisition de la nage dans le temps scolaire afin de garantir la délivrance de l'attestation du savoir-nager sécuritaire (ASNS) à tous les enfants, tel que précisé dans la nouvelle circulaire « natation scolaire » qui prévoit la convergence entre le test fédéral Sauv'Nage et scolaire (ASSN).

L'instruction interministérielle n° DS/DS3A/DGESCO/DSR/DGITM/2020/48 du 2 juillet 2020 relative à l'organisation du déploiement territorial du programme interministériel **Savoir rouler à vélo** (Srav) a permis d'identifier un réseau de référents au sein de chaque département et de chaque région. Leur mission est d'établir un diagnostic territorial et de coordonner les actions Srav dans chaque territoire en intégrant les ressources disponibles.

Priorité gouvernementale, le Savoir rouler à vélo doit s'étendre à l'ensemble du territoire avec un objectif national de 200 000 attestations [1] délivrées d'ici fin 2022.

Il appartient à chacun des services d'adapter le déploiement du dispositif Srav au contexte local et en intégrant toutes les formes de mutualisation pour répondre à ces objectifs.

Le CEE Génération vélo qui vient d'être créé viendra en appui pour le financement d'interventions à destination des enfants.

- Le programme **30 minutes d'activité physique quotidienne** dans le premier degré

Le MENJS s'engage, en collaboration avec Paris 2024, à ce que chaque élève bénéficie, à l'école élémentaire, d'au moins 30 minutes d'activité physique quotidienne, en complément de l'éducation physique et sportive (EPS). Un référent par DSDEN a été nommé pour accompagner la mise en oeuvre du dispositif au plus près des écoles en lien avec le SDJES. La cible pour 2024 est d'engager une majorité des écoles publiques et privées dans le dispositif sur la base du volontariat.

2. Développer les offres de formation et favoriser l'accès aux droits des jeunes

2.1 Accompagner les parcours de formation et d'insertion

Assurer la qualité de la formation, de la certification et de la délivrance des diplômes du champ de l'animation

et du sport

Les recteurs de région académique (Drajes) veilleront à la qualité du travail de certification et de délivrance des diplômes. Dans ce cadre, ils contribueront à la définition des besoins en formation en lien avec l'évolution des métiers et des spécificités des territoires. Ils assureront ainsi le suivi des formations des secteurs jeunesse et sport de l'habilitation jusqu'à la certification en accompagnant les organismes de formation. Par ailleurs, ils contrôleront et évalueront la qualité de ces formations.

Suite à l'ouverture du **dispositif Parcoursup** aux organismes de formation privés à la rentrée 2021, les Drajes travailleront en lien avec les services académiques de l'information et de l'orientation (SAIO) au déploiement territorial du dispositif, et mobiliseront leur expertise métier pour assurer la qualité des formations proposées ainsi que la pertinence des parcours.

Avec la mise en place du **baccalauréat professionnel coloré sport à la rentrée 2021**, les recteurs de région académique veilleront à la qualité des partenariats engagés avec le secteur sportif associatif en collaboration avec les lycées professionnels impliqués.

Développer l'apprentissage dans les métiers de l'animation et du sport.

L'**apprentissage** demeure un objectif prioritaire du Gouvernement qui poursuit son effort en 2021 par le biais du Plan de relance. Vous travaillerez à mieux faire connaître les atouts de ce dispositif aux potentiels acteurs et à encourager plus de jeunes et d'employeurs à s'engager dans l'apprentissage.

Accompagner la professionnalisation des acteurs du sport

En France, le secteur associatif sportif représente un quart du tissu associatif : plus de 300 000 associations sportives s'appuient sur environ 2,5 millions de bénévoles et près de 100 000 salariés. Ce secteur joue un rôle économique majeur. Le développement de l'emploi qualifié dans les associations sportives contribue à une offre d'activités de qualité en direction de tous les publics dans tous les territoires. Vous accompagnerez le déploiement des emplois qualifiés soutenus par l'ANS, dont les 2 500 emplois supplémentaires d'ici 2022 en direction des jeunes prévus dans le **plan #1jeune1solution**.

Les recteurs de région académique (Drajes) et les Dasen (SDJES) contribueront au déploiement du **dispositif Sesame** (Sésame vers l'emploi dans le sport et l'animation pour les métiers de l'encadrement), en articulation avec l'ensemble des autres dispositifs de droit commun (alternance, contrats aidés, accompagnement des missions locales ou de Pôle emploi, Service civique). L'intégration de la mesure Sesame au plan #1jeune1solution permettra à 6 000 jeunes de bénéficier d'un accompagnement spécifique d'ici 2022. Ils mobiliseront et développeront les partenariats avec les différentes administrations compétentes, les réseaux associatifs, les centres de ressources, d'expertise et de performance sportive (Creps), les écoles et instituts sous tutelle du ministère chargé des sports, et les conseillers techniques sportifs (CTS) au sein des fédérations sportives.

Parallèlement, le soutien des mesures relatives aux postes Fonjep Jeunes et au développement des missions de service civique inscrites dans le plan #1jeune1solution, constitue un levier pouvant permettre aux services d'amorcer et construire un accompagnement pour les jeunes.

Concernant la valorisation des compétences acquises, l'Agence du service civique a choisi d'adosser son travail au référentiel européen Rectec (Reconnaître les compétences transversales en lien avec l'employabilité et les certifications) pour l'adapter au service civique et y intégrer les compétences propres à l'engagement.

La plateforme Diagorient, déjà en service pour l'accompagnement des jeunes suivis par les missions locales ou entrant en SNU, incorpore désormais les compétences propres au service civique du référentiel Rectec. La diffusion de l'utilisation de ces outils constitue un objectif majeur pour accompagner l'insertion des jeunes ayant effectué une mission de service civique et passe notamment par l'information et la formation des tuteurs de ce dispositif.

En complément et pour votre information, le Plan mentorat mis en place conjointement par notre ministère et le MTEI/HC3E au printemps 2021, se traduisant notamment par deux appels à projets en 2021 et par la mise en place d'une plateforme 1 jeune, 1 mentor, doit permettre de conforter un réseau d'associations aux plans national et local en vue d'accroître le nombre de jeunes mentorés sur l'ensemble des territoires, et améliorer ainsi l'insertion sociale et professionnelle des jeunes.

2.2 Contribuer au renforcement de l'information, de l'autonomie et de la mobilité des jeunes

Les recteurs de région académique et les Dasen s'assureront du soutien que leurs services apporteront aux outils développés par l'État et ses partenaires, destinés à favoriser l'accès aux droits et à l'autonomie des jeunes, et visant notamment à conforter la qualité du réseau Information Jeunesse en particulier dans le cadre de la stratégie Information Jeunesse souhaitée par la secrétaire d'État à la jeunesse et à l'engagement.

Dans cette perspective, il s'agira également de concourir à la réussite du développement national de la Boussole des jeunes, dispositif numérique pour la montée en puissance duquel il est attendu une pleine implication des services, en s'appuyant sur l'appel à projets permanent lancé en juillet 2021 et se clôturant au 31 décembre 2022.

Au regard de l'évolution du contexte sanitaire et de situations territoriales spécifiques, les recteurs de région académique et les Dasen accorderont une attention particulière à la mise en place de médiations pour les

rassemblements festifs organisés par les jeunes, à travers la mobilisation du réseau départemental de médiateurs, en s'appuyant sur les termes du courrier en date du 16 juillet 2021 (accompagné d'un guide « rassemblements festifs - édition 2021 » à destination des préfets/recteurs et intitulé *Mesures à mettre en œuvre dans le cadre de rassemblements festifs de jeunes de type festivals (tout type de musique) ou de rassemblements festifs de type freeparty.*

Par ailleurs, il leur appartiendra de poursuivre et renforcer, dans les territoires, le développement de la mobilité européenne et internationale des jeunes, en cohérence avec l'objectif fixé par le président de la République lors de son discours de la Sorbonne, en s'appuyant notamment sur l'ensemble des dispositifs existants (programmes européens, Service civique international ainsi que le nouveau 10e domaine de mission de Service civique « Citoyenneté européenne », dispositifs d'échanges bilatéraux, etc.).

À cette fin, la mise en place de la nouvelle programmation 2021-2027 des programmes Erasmus+ et du Corps européen de solidarité (CES) devra faire l'objet d'une attention particulière. En effet, le financement accordé au niveau européen pour le programme Erasmus+ Jeunesse et Sport a presque doublé par rapport à l'édition précédente 2014/2020, créant des opportunités inédites pour de nouveaux projets sur vos territoires pour lesquelles il importe de se mobiliser. Par ailleurs, le déploiement du CES, qui soutient les jeunes souhaitant participer à des activités de volontariat et solidarité, en Europe ou dans des pays tiers, a vocation à se renforcer. Les Drajés et les SDJES ont un rôle essentiel pour informer, conseiller et accompagner les structures porteuses de projets dans la conception et mise en place de ces programmes de mobilité européenne et internationale des jeunes. Les services pourront également être sollicités par l'Agence Erasmus+ France Jeunesse et Sport (AEFJS), en lien avec la sélection des projets pour transmettre des informations, notamment sur les porteurs de projet et s'assurer de l'ancrage local des projets.

Enfin, au cours du premier semestre 2022, la France assurant la présidence de l'Union européenne, les services seront sollicités pour la préparation de cet événement majeur, notamment dans le cadre des diverses actions de mobilisation de la jeunesse autour de thématiques prioritaires identifiées : l'engagement et l'inclusion des jeunes pour le développement durable, le sport, ainsi que la reconnaissance des compétences sociales et civiques liées à l'engagement et la mobilité. La circulaire « Former les citoyens européens de demain : 2021-2022, une année scolaire européenne » du 6 juillet 2021 diffusée par le ministère constitue une ressource utile à cet effet.

3. Encourager l'engagement de la jeunesse

La crise sanitaire et l'expression des nouvelles formes de solidarité ont permis d'identifier des thématiques pertinentes et d'actualité répondant à des envies d'engagement multiples et nouvelles portées par la société. Il s'agit d'inscrire votre action dans une logique de parcours du citoyen dès le plus jeune âge en articulation avec l'ensemble des dynamiques développées auprès des jeunes durant leur scolarité (délégués de classe, conseil de la vie lycéenne, etc.).

3.1 Amplifier la mise en œuvre du Service national universel

Annoncé par le président de la République en 2018, le **Service national universel (SNU)** est un projet éducatif d'émancipation et de responsabilisation des jeunes, visant à les impliquer pleinement dans la vie de la Nation et à nourrir le creuset républicain. Il trouve sa place, d'une part, dans la complémentarité des parcours des jeunes et, d'autre part, dans la construction de l'autonomie et de la mobilité, pour favoriser l'insertion sociale et professionnelle des jeunes, particulièrement ceux issus des milieux les plus fragiles. Dans le cadre d'une généralisation, il sera un appui fort de développement territorial particulièrement dans les secteurs ruraux et ceux de la politique de la ville.

La montée en charge du SNU pour 2022 constitue une opportunité majeure de conforter la cohésion nationale et le désir d'engagement des jeunes grâce à un dispositif qui a rassemblé, en 2021, dans le cadre du séjour de cohésion, près de 15 000 volontaires. À cet effet, l'engagement et l'ingéniosité des équipes territoriales dans le déploiement du SNU sont deux leviers majeurs de ces premiers résultats dans le contexte de la nouvelle organisation territoriale de l'État.

Dès à présent et en parallèle des différentes étapes des retours d'expérience, les recteurs de région académique mobiliseront les équipes SNU des rectorats de région académique, des rectorats d'académie et des DSDEN pour assurer une meilleure connaissance du dispositif au sein du réseau académique et auprès des partenaires ministériels, associatifs et des collectivités territoriales.

Les recteurs de région académique et les Dasen veilleront également dès maintenant à la reprise des travaux au sein des comités de pilotage en région académique et en département. Ces comités constitueront les instances au sein desquelles l'action des différents acteurs sera soutenue et coordonnée, et ce à la fois pour le développement d'offres de missions d'intérêt général adaptées aux attentes des jeunes, des partenaires et du contexte sanitaire, et en vue de l'organisation des prochains séjours de cohésion.

Ils attacheront tout particulièrement une forte attention aux publics les plus fragiles, ceux ayant des besoins éducatifs particuliers ou les plus éloignés des dispositifs d'engagement (jeunes issus des quartiers prioritaires

ou très isolés géographiquement, jeunes sous main de justice, jeunes relevant de l'aide sociale à l'enfance, etc.) en se rapprochant des partenaires susceptibles d'identifier ces publics et de les accompagner jusqu'à leur inscription dans le dispositif.

Ils feront par ailleurs en sorte que le SNU joue pleinement son rôle d'information, sensibilisation, découverte et promotion de l'engagement dans le parcours des jeunes qu'il accueille, s'agissant notamment des dispositifs de Service civique, de Corps européen de solidarité, la réserve civique ou d'autres formes d'engagement, en particulier le bénévolat.

3.2 Participer au développement d'une culture de l'engagement chez les jeunes (en articulation avec l'Agence du Service civique et la mission réserve civique)

Les services déconcentrés du ministère doivent contribuer à l'émergence et au développement de la culture de l'engagement, en veillant à la déclinaison et au déploiement des missions soutenant les différentes formes de bénévolat et de volontariat ainsi que leur bonne articulation en vue de valoriser les parcours civiques et citoyens sur l'ensemble du territoire.

Le Service civique

Politique publique d'engagement de la jeunesse au service de l'intérêt général, il a bénéficié à 530 000 jeunes volontaires français et étrangers depuis 2010. Dans le cadre du Plan de relance et en tant que mesure importante du plan #1jeune, 1solution à la demande de la présidence de la République, le Service civique a connu une augmentation de 100 000 missions supplémentaires, portant à 245 000 l'objectif de jeunes engagés en 2021.

La très large variété des missions proposées apporte des solutions concrètes en faveur de l'intérêt général et de l'envie d'engagement des jeunes. Le Service civique s'est aussi adapté à la situation difficile vécue par les étudiants lors de la crise sanitaire, avec notamment la modulation possible de la durée hebdomadaire de missions (dans le respect de la durée minimale prévue sur l'ensemble de la mission) et l'accès de tous les volontaires étudiants boursiers à la majoration sociale de leur indemnité mensuelle.

Le sport demeure également un facteur de mobilisation et de dynamisation des acteurs de l'engagement. Le lancement du programme **Génération 2024**, qui s'inscrit dans le plan national Héritage des Jeux olympiques et paralympiques porté par le Premier ministre, permet de mobiliser les organismes et les jeunes avec un objectif progressif de 10 000 missions de service civique labellisées par an jusqu'en 2024. Pour cela, l'Agence du Service civique a mis à la disposition des équipes Service civique en Drajes et DSDEN un outillage facilitant l'instruction des demandes et l'attribution du label Génération 2024.

Le Service civique peut également et utilement contribuer au déploiement de la Stratégie nationale sport-santé et accompagner la reprise des activités sportives en participant au déploiement du Pass'Sport auprès des clubs (sensibilisation, médiation numérique auprès des bénévoles, participation à une permanence au niveau du district) et des publics cibles du Pass'Sport afin de les informer sur cette aide (jeunes pratiquants, familles). En vue du déploiement de l'engagement pour 2021-2022, les recteurs de région académique (Drajes) et les DASEN (SDJES) veilleront à accompagner le développement quantitatif du Service civique tout en préservant les fondamentaux des missions au regard des objectifs identifiés.

Au-delà de la construction en cours d'une offre de mission renouvelée, plus nombreuse, plus variée et respectueuse des principes du Service civique, à travers l'indispensable activité d'agrément, la réalisation des entrées en mission représente un enjeu de mobilisation majeur pour l'Agence du Service civique et les services déconcentrés.

Au regard des conséquences de la crise sanitaire sur le déploiement du Service civique, l'Agence du Service civique, en écho d'initiatives locales, assouplit la règle habituelle de décalage de 3 mois maximum entre calendrier d'agrément et recrutements effectifs : jusqu'à la fin de l'année 2021, tout recrutement non concrétisé à sa date prévisionnelle pourra être effectué jusqu'aux derniers jours de 2021.

Dans la perspective de la PFUE, le développement de l'offre de missions en direction de pays européens et l'augmentation du nombre de missions en France consacrées à l'Europe revêtent un caractère essentiel.

L'objectif de 1 000 missions de Service civique par an sur des thématiques européennes en France et de 1 000 missions de Service civique dans les pays européens par an doit nous guider.

Au titre du parcours d'engagement civique et citoyen, les missions de Service civique peuvent être poursuivies sous les formes de l'engagement européen (Corps européen de solidarité notamment) et international et s'inscrire dans la durée au travers des actions portées par la réserve civique, sous la forme du bénévolat associatif ou encore d'actions inscrites dans les différents cadres identifiés de réserves.

La réserve civique

Instauré par la loi Égalité et citoyenneté du 27 janvier 2017 et précisé par le [décret du 9 mai 2017 n° 2017-930 relatif à la réserve civique](#), le dispositif de la réserve civique permet de mettre en relation les organisations d'intérêt général (associations et autres organismes privés à but non lucratif, collectivités territoriales, établissements publics ou encore administrations d'État) avec les citoyens désireux de s'engager en tant que bénévoles. Ainsi, depuis mars 2020, plus de 300 000 personnes se sont inscrites sur la plateforme Jeuxaider.gouv.fr : près de 100 000 participations effectives ont été réalisées auprès de 5 000 organisations

(publiques et associatives).

En 2021, en situation de déconfinement progressif et de reprise d'activité, il s'agit de mettre à disposition la réserve civique sur les principaux domaines d'intérêt général. En vue de cette recherche d'adéquation et de déploiement de la réserve civique au sein des territoires, vous actualiserez ou désignerez si besoin, le référent régional et les référents départementaux en charge de l'animation de ce dispositif et participerez à l'animation de la plateforme en lien avec la mission nationale Réserve civique.

2022 sera l'occasion d'amorcer une approche cohérente autour de la construction de parcours d'engagement avec l'appui de différents partenaires (collectivités territoriales, associations, autres services de l'État).

Cette démarche que les recteurs de région académique et les Dasen porteront en lien avec la Djepva et l'Agence du Service civique permettra de soutenir et valoriser les parcours d'engagement civique et citoyen, dans la diversité de leur articulation et profilage et dans la richesse de leurs actions.

4. Renforcer la place du sport dans la société

Le sport est un formidable vecteur de cohésion sociale et territoriale, mais aussi un outil de prévention en matière de santé et de lutte contre la sédentarité. Le développement de la pratique sportive pour tout public doit être un objectif ambitieux porté par l'ensemble de nos réseaux, services déconcentrés, établissements, opérateurs nationaux, au premier rang desquels l'ANS, et les fédérations sportives dans le cadre de la gouvernance partagée du sport, tant en termes de pratiques sportives sécurisées pour le plus grand nombre, que de performance sportive.

4.1 Conforter la dimension sociétale et inclusive du sport dans le contexte de sa nouvelle gouvernance

L'état de santé, la qualité de vie, l'intégration sociale sont significativement liés à la pratique d'une activité sportive et physique régulière. L'action de l'État et de ses partenaires doit favoriser l'accès à cette pratique tout particulièrement pour les jeunes et les personnes les plus vulnérables et modestes. Deux actions sont à privilégier :

Implanter sur tout le territoire des maisons Sport Santé (MSS)

Les recteurs de région académique (Drajes) veilleront, en lien avec les agences régionales de santé (ARS), à accompagner la création de nouvelles MSS pour compléter le maillage territorial [2]. Cette 3e phase, initiée fin juin 2021, doit permettre d'atteindre l'objectif présidentiel de 500 maisons Sport Santé. Une attention particulière sera portée aux territoires restés non couverts suite aux deux premiers appels à projets (AAP) et aux territoires inscrits en quartiers politique de la ville (QPV). Au moins 50 nouvelles MSS devront être labellisées en QPV à l'issue de ce 3e AAP. Une évaluation de l'impact de ces nouvelles structures et des parcours sport santé proposés sur la santé des bénéficiaires accompagnés sera réalisée par les ministères en charge de la santé et des sports d'ici la fin 2021. Les Drajes seront associées à cette évaluation.

Déployer le Pass'Sport

Le président de la République a annoncé le 19 mai 2021 le déploiement du **dispositif Pass'Sport** d'aide à la pratique sportive en faveur des jeunes. Ce dispositif s'adresse aux publics éloignés de la pratique sportive, situation renforcée par la crise sanitaire et économique. C'est un marqueur fort du **plan Égalité des chances 2021** et du **Plan de relance**. Conformément à l'instruction de la direction des sports du 2 juin dernier, les recteurs de région académique (Drajes) assureront le déploiement du Pass'Sport en mobilisant leurs partenaires sur les territoires pour informer les familles bénéficiaires et impliquer les associations sportives afin d'inscrire les jeunes dans une pratique sportive durable. Une attention particulière est portée à la réussite de ce projet dans les QPV et les territoires labellisés **Cités éducatives** ainsi que dans les territoires ruraux ou isolés. Une évaluation nationale et territoriale sera réalisée fin 2021.

4.2 Sécuriser les conditions des pratiques sportives

Quelle que soit son activité physique et sportive ou sa forme de pratique, en club ou en autonomie, le pratiquant doit pouvoir trouver un cadre sécurisé. Votre action permettra de :

Contrôler les activités physiques et sportives

La conduite d'une politique de contrôle des activités physiques est une des missions régaliennes essentielles pour les services déconcentrés (instruction du 23 juin 2021 relative au programme national d'inspection et de contrôle 2021). Les Dasen veilleront à diligenter impérativement une **enquête administrative** lorsqu'un accident ou incident grave leur est signalé. Des mesures de police administrative, y compris d'urgence, rappelées dans l'instruction n° DS/DSB2/2018/283 du 22 novembre 2018 et dans le courrier D-20-000983 du 10 janvier 2020 de la ministre chargée des sports aux services déconcentrés, devront être prises en cas d'atteintes à l'intégrité physique ou morale des pratiquants.

En complément du contrôle dont font l'objet les éducateurs sportifs titulaires d'une carte professionnelle, la direction des sports conçoit une interface dématérialisée disponible en septembre 2021 qui permettra aux fédérations de générer un croisement automatisé des fichiers des éducateurs bénévoles et exploitants licenciés, avec le fichier judiciaire informatisé des auteurs d'infractions sexuelles ou violentes (Fijaisv).

Conformément au Code de procédure pénale, les SDJES seront seuls destinataires de cette consultation du

Fijaisv afin d'engager les procédures de police administrative. Les services veilleront à informer les fédérations sportives des actes pris par les préfets en application de ces procédures, afin qu'elles puissent en tirer les conséquences disciplinaires et/ou administratives.

Prévenir les violences sexuelles et assurer le traitement sécurisé des signalements

À l'initiative de chaque recteur de région académique, une stratégie éthique et intégrité, qui inclura notamment la prévention des violences sexuelles, sera déployée. La mise en œuvre de cette stratégie pourra prendre appui sur les formations disponibles dans le cadre de l'offre nationale de formation métier (ONM) et la boîte à outils mise à disposition sur le site du ministère chargé des sports (guide de l'audition, vademecum). Au niveau départemental, il conviendra particulièrement, pour les IA-Dasen, d'assurer la montée en compétences des services sur la conduite d'une enquête administrative, afin d'assurer le traitement efficace des signalements de violences et la protection effective des pratiquants.

Sur la prévention plus spécifique du repli identitaire et du risque de radicalisation, l'objectif est de poursuivre le développement d'une culture commune de vigilance de l'ensemble des acteurs du sport, par l'animation et la formation du réseau des référents dans les services déconcentrés.

4.3 Améliorer la performance sportive et son rayonnement international

Le ministère chargé des sports s'appuie depuis 2019 sur son opérateur, l'ANS, en charge de définir la stratégie nationale du sport de haut niveau en France. Un bilan des Jeux olympiques et paralympiques sera dressé pour préparer aux mieux nos équipes et nos athlètes pour les Jeux de Paris 2024. Afin d'améliorer le rang de la France dans le classement mondial des nations, l'ANS s'attachera à mieux individualiser les services au bénéfice des sportifs et de leur encadrement. Pour ce faire, elle s'appuiera, entre autres, sur le réseau des établissements publics du sport, dont l'Institut national du sport, de l'expertise et de la performance (Insep), les écoles nationales et les Creps. Vous veillerez en complément de cette action à :

Déployer l'action des maisons régionales de la performance dans les territoires en appui des Creps et organismes publics équivalents

L'instruction du 29 octobre 2020 relative à la mise en œuvre du transfert des missions sport de haut niveau des DRJSCS/Drajes vers les Creps a précisé la circulaire du Premier ministre du 12 juin 2019, qui prévoyait que « l'Agence nationale du sport déploie son action au niveau régional, via les Creps, pour ce qui relève du sport de haut niveau ».

Un travail a été conduit par l'ANS et par la direction des sports, pour une organisation territoriale adaptée, s'appuyant soit sur un ou plusieurs Creps de la région soit sur un organisme public exerçant des missions équivalentes dans le ressort régional. Sous l'appellation de « maisons régionales de la performance » et dans une logique « d'entités ressource », il est demandé à chacun, selon ses responsabilités et ses prérogatives, de tout mettre en œuvre et de collaborer pleinement à la mise en place effective de cette nouvelle organisation autour de 13 responsables régionaux de la haute performance (RRHP) et de 57 conseillers haut niveau et haute performance (CHNHP). Ce travail sera finalisé en 2022 pour clôturer les derniers recrutements.

Cette réforme permettra en particulier de faciliter l'aménagement de la scolarité et l'accès à l'enseignement supérieur des sportifs de haut niveau, afin de mieux concilier entraînement et formation et d'apporter une réponse adaptée aux sportifs et à leur encadrement. Cela doit constituer une priorité partagée entre les rectorats et les établissements en charge du haut niveau sur les territoires dans la perspective des Jeux olympiques et paralympiques de Paris en 2024.

Procéder à l'agrément des centres de formation de clubs professionnels

Un important réseau de centres de formation de clubs professionnels (CFCP), agréés par l'État, s'est déployé depuis le début des années 2000 (article L. 211-4 du Code du sport). Aujourd'hui, plus de 160 CFCP, relevant de sept fédérations de sports collectifs, bénéficient de la reconnaissance de l'État et accueillent plus de 4 000 jeunes sportifs sur le territoire. Le souci constant de l'État et des fédérations est d'assurer une filière d'accès au sport professionnel de qualité. Le nombre important de jeunes mineurs accueillis par ces structures d'entraînement intensif et les enjeux liés au sport professionnel sont autant de points de vigilance qui justifient la poursuite du dispositif d'agrément existant. La décision administrative d'agrément des centres de formation relève désormais du recteur de région académique et les Drajes continueront d'analyser les demandes et de délivrer ces agréments conformément à l'instruction n° DS/DS2B/2020/84 du 29 mai 2020.

5. Participer à l'accompagnement et au soutien de la vie associative et de ses acteurs

La crise liée à la pandémie de Covid-19 a mis en lumière le caractère indispensable du tissu associatif dans les territoires. Mais cette période a également pointé la vulnérabilité des associations et la nécessité de faire évoluer leurs projets.

L'appui aux associations apporté par la Djepva et la direction des sports revêt plusieurs formes complémentaires eu égard aux besoins différents des associations :

5.1 Contribuer au renforcement et à la structuration du tissu associatif, notamment par l'accompagnement des associations

Chaque association représente un espace de liberté et d'action tout en étant un pilier de la cohésion sociale et de la vie démocratique de notre pays. Aussi la mobilisation des associations avec l'État autour des principes relatifs aux valeurs de la République demeure un élément déterminant et actualisé du soutien au tissu associatif, dans sa déclinaison 2022. Le développement du Compte d'engagement citoyen constitue un moyen de reconnaître l'engagement et ainsi de renforcer celui-ci, notamment au bénéfice de l'action associative. Les fédérations sportives verront leurs relations avec l'État renouvelées dans le cadre de la campagne de délégation 2022-2024, au cours de laquelle seront déployés les contrats de délégation tels que prévus par la loi confortant le respect des principes de la République. L'octroi de prérogatives de puissance publique renforcées sera conditionné à l'engagement de la fédération, mais aussi de ses organes déconcentrés et ses membres affiliés, à la contribution des politiques publiques du ministère chargé des sports et au respect de principes touchant à leur vie démocratique, leur gouvernance et leur transparence financière. Ce nouvel environnement, en lien avec le contrat d'engagement républicain, constitue une réelle opportunité de favoriser l'engagement bénévole et de contribuer à l'enrichissement du tissu associatif. L'expertise des services régionaux et départementaux, notamment dans la connaissance de l'action locale des fédérations délégataires, sera sollicitée.

5.2 Appuyer la gestion des associations par le renforcement d'une offre servicielle fournie

Le ministère développe à la demande du Premier ministre de nouvelles fonctionnalités du **compte association**. Cet appui devra prendre également la forme d'un accompagnement de proximité. Dans ce cadre, il appartiendra aux recteurs de région académique et aux DASEN de mobiliser les délégués à la vie associative, définis par la circulaire du 29 septembre 2015 pour renforcer le réseau local d'accompagnement des acteurs associatifs, leur expertise juridique et fiscale, développer les formations et l'utilisation du numérique par les associations.

5.3 Appuyer l'action des bénévoles et des professionnels associatifs par des financements adaptés

Le soutien aux projets associatifs qui concourent au déploiement des politiques publiques et à la cohésion sociale sur les territoires pourra reposer sur la délivrance d'un agrément ministériel, l'attribution de postes Fonjep, de subventions dans le cadre du fonds pour le développement de la vie associative (FDVA) ou de conventions d'objectifs et d'appels à projets spécifiques comme ceux portés par l'ANS.

Un grand nombre d'associations a besoin d'un soutien financier de courte durée. Le FDVA Fonctionnement - Innovation (FDVA 2) doté de crédits importants répond à ce besoin local. Il s'agit de la priorité des services au premier semestre de l'année civile.

D'autres associations ont besoin d'un soutien financier plus structurel et donc plus long. Au-delà des mesures générales du Plan de relance, cela se traduit par :

- un soutien financier aux projets associatifs structurants sur les territoires. Pour le champ sport, il convient de mobiliser l'ensemble des dispositifs de l'ANS ;
- un soutien financier aux plans de formation collective des bénévoles via le FDVA Formation (FDVA 1) qui répond au besoin de montée en compétences des bénévoles ;
- un soutien pluriannuel au travers du financement de postes Fonjep qui permet de créer un effet levier afin que les structures associatives puissent financer sereinement leurs salariés.

Enfin, pour la mise en œuvre de l'ensemble de ces priorités, les recteurs de région académique s'attacheront à consolider une mission études et observations en articulation avec les services statistiques académiques.

L'Institut national de la jeunesse et de l'éducation populaire (Injep) assurera une animation nationale de ces missions.

Nous avons collectivement mis en œuvre depuis un an et demi des politiques publiques dans des domaines frappés de plein fouet par la pandémie. Les équipes chargées de la mise en œuvre des missions relatives à la jeunesse, à l'engagement et au sport n'en ont été que plus sollicitées afin d'accompagner les partenaires et les usagers. Votre mobilisation et votre capacité d'adaptation, remarquables, ont, sans aucun doute, permis d'atténuer le choc pour les acteurs de ces champs. Nous serons, avec la direction des sports, la direction de la jeunesse, de l'éducation populaire et de la vie associative, la direction générale de l'enseignement scolaire et l'ensemble des services et directions du ministère à vos côtés pour relever les défis qui accompagneront cette année 2021-2022.

[1] Une attestation Savoir rouler à vélo correspond à la validation d'un bloc 3 du Srav par un enfant.

[2] À ce jour, 286 maisons Sport Santé sont labellisées.

Le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports,
Jean-Michel Blanquer

La ministre déléguée auprès du ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, chargée des sports,
Roxana Maracineanu

La secrétaire d'État auprès du ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, chargée de la jeunesse et de l'engagement,
Sarah El Haïry

Enseignements secondaire et supérieur

Classes préparatoires scientifiques

Objectifs de formation et programme des classes préparatoires de seconde année de mathématiques et physique (MP) et de mathématiques et physique* (MP*) : modification

NOR : ESRS2111702A

arrêté du 13-7-2021 - JO du 5-8-2021

MESRI - DGESIP A1-2 - MENJS - DGESCO - MOM

Vu Code de l'éducation, notamment articles D. 612-19 à D. 612-29 ; arrêtés du 10-2-1995 modifiés ; arrêté du 20-6-1996 modifié ; avis du Cneser du 8-6-2021 ; avis du CSE du 17-6-2021 ; avis de la ministre des Armées des 1er, 2, 5 et 6-7-2021

Article 1 - Les programmes de mathématiques, de physique et de chimie de seconde année de la classe préparatoire scientifique mathématiques et physique (MP), annexés à l'arrêté du 20 juin 1996 susvisé, sont remplacés par les programmes de mathématiques et de physique-chimie figurant respectivement aux annexes 1 et 2 du présent arrêté.

Article 2 - Les dispositions du présent arrêté prennent effet à compter de la rentrée de l'année scolaire 2022-2023.

Article 3 - Les dispositions du présent arrêté s'appliquent dans les îles Wallis et Futuna et en Nouvelle-Calédonie.

Article 4 - Le présent arrêté sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 13 juillet 2021

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Édouard Geffray

Pour le ministre des Outre-mer, et par délégation,
La directrice générale des outre-mer,
Sophie Brocas

Pour la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et par délégation,
Pour la directrice générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle, et par délégation,
La cheffe du service de la stratégie des formations et de la vie étudiante, adjointe à la directrice générale,
Isabelle Prat

Annexes

➔ Programmes des classes préparatoires de seconde année de mathématiques et physique (MP) et de mathématiques et physique* (MP*)



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Mathématiques et physique (MP)

Annexe 1

Programme de mathématiques

Classes préparatoires MP et MPI

Programme de mathématiques

Table des matières

Préambule	2
Objectifs de formation	2
Description et prise en compte des compétences	2
Unité de la formation scientifique	3
Architecture et contenu du programme	4
Organisation du texte	5
Programme	6
Structures algébriques usuelles	6
Réduction des endomorphismes et des matrices carrées	7
Endomorphismes d'un espace euclidien	10
Topologie des espaces vectoriels normés	11
Séries numériques et vectorielles	14
Suites et séries de fonctions, séries entières	15
A - Suites et séries de fonctions	15
B - Séries entières	16
Fonctions vectorielles	17
Intégration sur un intervalle quelconque	18
Variables aléatoires discrètes	22
Équations différentielles linéaires	25
Calcul différentiel et optimisation	26

Préambule

Les programmes de mathématiques des classes préparatoires scientifiques MPSI, PCSI, PTSI, MP2I, MP, PC, PSI, PT, MPI sont conçus comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités, avec l'objectif de préparer les étudiantes et étudiants à poursuivre avec succès dans les écoles et les universités un cursus de formation aux métiers de l'ingénierie, de l'enseignement, de la recherche.

Ce programme permet de conjuguer deux aspects de l'activité mathématique : d'une part la construction d'objets souvent introduits de manière intrinsèque et l'importance de la démonstration; d'autre part la technique qui permet de rendre ces objets opérationnels.

Objectifs de formation

La formation est conçue en fonction de quatre objectifs essentiels :

- fournir un solide bagage de connaissances, de concepts et de méthodes;
- exploiter toute la richesse de la démarche mathématique : analyser un problème, expérimenter sur des exemples, formuler une conjecture, élaborer et mettre en œuvre des concepts et des résultats théoriques, rédiger une solution rigoureuse, contrôler les résultats obtenus et évaluer la pertinence des concepts et des résultats au regard du problème posé;
- développer l'intuition, l'imagination, le raisonnement et la rigueur;
- promouvoir la réflexion personnelle des étudiantes et étudiants sur les problèmes et les phénomènes mathématiques, sur la portée des concepts, des hypothèses, des résultats et des méthodes, au moyen d'exemples et de contre-exemples; développer ainsi une attitude de questionnement et de recherche.

En continuité avec les programmes de mathématiques du lycée, les programmes des classes préparatoires scientifiques définissent un corpus de connaissances et de capacités et explicitent six grandes compétences mathématiques :

- **chercher, mettre en œuvre des stratégies** : découvrir une problématique, l'analyser, la transformer ou la simplifier, expérimenter sur des exemples, formuler des hypothèses, identifier des particularités ou des analogies;
- **modéliser** : extraire un problème de son contexte pour le traduire en langage mathématique, comparer un modèle à la réalité, le valider, le critiquer;
- **représenter** : choisir le cadre (numérique, algébrique, géométrique...) le mieux adapté pour traiter un problème ou représenter un objet mathématique, passer d'un mode de représentation à un autre, changer de registre;
- **raisonner, argumenter** : effectuer des inférences inductives et déductives, conduire une démonstration, confirmer ou infirmer une conjecture;
- **calculer, utiliser le langage symbolique** : manipuler des expressions contenant des symboles, organiser les différentes étapes d'un calcul complexe, effectuer un calcul automatisable à la main où à l'aide d'un instrument (calculatrice, logiciel...), contrôler les résultats;
- **communiquer** à l'écrit et à l'oral : comprendre les énoncés mathématiques écrits par d'autres, rédiger une solution rigoureuse, présenter et défendre un travail mathématique.

Description et prise en compte des compétences

Chercher

Cette compétence vise à développer les attitudes de questionnement et de recherche, au travers de réelles activités mathématiques, prenant place au sein ou en dehors de la classe. Les différents temps d'enseignement (cours, travaux dirigés, heures d'interrogation, TIPE) doivent privilégier la découverte et l'exploitation de problématiques, la réflexion sur les démarches suivies, les hypothèses formulées et les méthodes de résolution. Le professeur ne saurait limiter son enseignement à un cours dogmatique : afin de développer les capacités d'autonomie des étudiants, il doit les amener à se poser eux-mêmes des questions, à prendre en compte une problématique mathématique, à utiliser des outils logiciels, et à s'appuyer sur la recherche et l'exploitation, individuelle ou en équipe, de documents.

Les travaux proposés aux étudiants en dehors des temps d'enseignement doivent combiner la résolution d'exercices d'entraînement relevant de techniques bien répertoriées et l'étude de questions plus complexes. Posées sous forme de problèmes ouverts, elles alimentent un travail de recherche individuel ou collectif, nécessitant la mobilisation d'un large éventail de connaissances et de capacités.

Modéliser

Le programme présente des notions, méthodes et outils mathématiques permettant de modéliser l'état et l'évolution de systèmes déterministes ou aléatoires issus de la rencontre du réel et du contexte, et éventuellement du traitement qui en a été fait par la mécanique, la physique, la chimie, les sciences industrielles. Ces interprétations viennent en retour éclairer les concepts fondamentaux de l'analyse, de l'algèbre linéaire, de la géométrie ou des probabilités. La modélisation contribue ainsi de façon essentielle à l'unité de la formation scientifique et valide les approches interdisciplinaires. À cet effet, il importe de promouvoir l'étude de questions mettant en œuvre des interactions

entre les différents champs de connaissance scientifique (mathématiques et physique, mathématiques et chimie, mathématiques et sciences industrielles, mathématiques et informatique).

Représenter

Un objet mathématique se prête en général à des représentations issues de différents cadres ou registres : algébrique, géométrique, graphique, numérique. Élaborer une représentation, changer de cadre, traduire des informations dans plusieurs registres sont des composantes de cette compétence. Ainsi, en analyse, le concept de fonction s'appréhende à travers diverses représentations (graphique, numérique, formelle) ; en algèbre, un problème linéaire se prête à des représentations de nature géométrique, matricielle ou algébrique ; un problème de probabilités peut recourir à un arbre, un tableau, des ensembles. Le recours régulier à des figures ou à des croquis permet de développer une vision géométrique des objets abstraits et favorise de fructueux transferts d'intuition.

Raisonner, argumenter

La pratique du raisonnement est au cœur de l'activité mathématique. Basé sur l'élaboration de liens déductifs ou inductifs entre différents éléments, le raisonnement mathématique permet de produire une démonstration, qui en est la forme aboutie et communicable. La présentation d'une démonstration par le professeur (ou dans un document) permet aux étudiants de suivre et d'évaluer l'enchaînement des arguments qui la composent ; la pratique de la démonstration leur apprend à créer et à exprimer eux-mêmes de tels arguments. L'intérêt de la construction d'un objet mathématique ou de la démonstration d'un théorème repose sur ce qu'elles apportent à la compréhension même de l'objet ou du théorème : préciser une perception intuitive, analyser la portée des hypothèses, éclairer une situation, exploiter et réinvestir des concepts et des résultats théoriques.

Calculer, manipuler des symboles, maîtriser le formalisme mathématique

Le calcul et la manipulation des symboles sont omniprésents dans les pratiques mathématiques. Ils en sont des composantes essentielles, inséparables des raisonnements qui les guident ou qu'en sens inverse ils outillent.

Mener efficacement un calcul simple fait partie des compétences attendues des étudiants. En revanche, les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils de calcul formel ou numérique. La maîtrise des méthodes de calcul figurant au programme nécessite aussi la connaissance de leur cadre d'application, l'anticipation et le contrôle des résultats qu'elles permettent d'obtenir.

Communiquer à l'écrit et à l'oral

La phase de mise au point d'un raisonnement et de rédaction d'une solution permet de développer les capacités d'expression. La qualité de la rédaction et de la présentation, la clarté et la précision des raisonnements, constituent des objectifs très importants. La qualité de structuration des échanges entre le professeur et sa classe, entre le professeur et chacun de ses étudiants, entre les étudiants eux-mêmes, doit également contribuer à développer des capacités de communication (écoute et expression orale) à travers la formulation d'une question, d'une réponse, d'une idée, d'hypothèses, l'argumentation de solutions ou l'exposé de démonstrations. Les travaux individuels ou en petits groupes proposés aux étudiants en dehors du temps d'enseignement, au lycée ou à la maison, (interrogations orales, devoirs libres, comptes rendus de travaux dirigés ou d'interrogations orales) contribuent fortement à développer cette compétence. La communication utilise des moyens diversifiés : les étudiants doivent être capables de présenter un travail clair et soigné, à l'écrit ou à l'oral, au tableau ou à l'aide d'un dispositif de projection.

L'intégration des compétences à la formation des étudiants permet à chacun d'eux de gérer ses propres apprentissages de manière responsable en repérant ses points forts et ses points faibles, et en suivant leur évolution. Les compétences se recouvrent largement et il importe de les considérer globalement : leur acquisition doit se faire dans le cadre de situations suffisamment riches pour nécessiter la mobilisation de plusieurs d'entre elles.

Unité de la formation scientifique

Il est important de mettre en valeur l'interaction entre les différentes parties du programme, tant au niveau du cours que des thèmes des travaux proposés aux étudiants. À titre d'exemples, la théorie des équations différentielles utilise des concepts et des résultats développés en algèbre linéaire ; le calcul différentiel et l'optimisation exploitent en outre les endomorphismes autoadjoints ; les probabilités utilisent le vocabulaire ensembliste et les familles sommables, et illustrent certains résultats d'analyse.

La coopération des enseignants d'une même classe ou d'une même discipline et, plus largement, celle de l'ensemble des enseignants d'un cursus donné, doit contribuer de façon efficace et cohérente à la qualité de ces interactions.

Il importe aussi que le contenu culturel et historique des mathématiques ne soit pas sacrifié au profit de la seule technicité. En particulier, il peut s'avérer pertinent d'analyser l'interaction entre un contexte historique et social donné, une problématique spécifique et la construction, pour la résoudre, d'outils mathématiques.

Architecture et contenu du programme

L'étude de chaque domaine du programme (analyse, algèbre, probabilités) permet de développer des aptitudes au raisonnement et à la modélisation, et d'établir des liens avec les autres disciplines.

Afin de contribuer au développement des compétences de modélisation et de représentation, le programme préconise le recours à des figures géométriques pour aborder l'algèbre linéaire, les espaces préhilbertiens, les fonctions de variable réelle ou vectorielle.

Le programme d'algèbre comprend trois sections. La première formalise les différentes structures algébriques rencontrées dans le programme, introduit l'anneau $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$ comme exemple de structure quotient et étudie l'anneau $\mathbb{K}[X]$. La deuxième prolonge l'étude de l'algèbre linéaire abordée en première année et combine les points de vue géométrique (éléments propres), algébrique (polynômes d'endomorphisme) et matriciel pour aboutir à une théorie de la réduction substantielle : diagonalisation, trigonalisation, sous-espaces caractéristiques. La troisième, située dans le cadre euclidien, étudie la notion d'adjoint, les isométries vectorielles et les endomorphismes autoadjoints (théorème spectral), et introduit les endomorphismes autoadjoints positifs en vue de l'optimisation.

La topologie est étudiée dans le cadre général des espaces vectoriels normés. Son étude permet d'étendre les notions de suite, limite, continuité étudiées en première année dans le cadre de la droite réelle, d'étudier la continuité des applications linéaires (normes subordonnées), d'introduire les concepts de compacité et de connexité par arcs et de mettre en évidence quelques aspects de la dimension finie : équivalence des normes, caractérisation des compacts, continuité des applications linéaires et polynomiales.

La section sur les séries complète l'étude des séries numériques abordée en première année et la prolonge par celles des séries à valeurs dans un espace vectoriel normé de dimension finie.

La définition des différents modes de convergence d'une suite de fonctions bénéficie du cadre topologique introduit dans la section « Espaces vectoriels normés ». L'étude des suites et séries de fonctions conduit aux théorèmes de régularité de leur limite ou somme et aboutit à l'énoncé de deux théorèmes d'approximation.

Les séries entières permettent de construire des fonctions de variable complexe et de fournir un outil pour la résolution d'équations différentielles linéaires.

La section sur les fonctions vectorielles étend rapidement aux fonctions à valeurs dans un espace vectoriel normé de dimension finie les résultats d'analyse réelle étudiés en première année et fournit des outils pour les équations différentielles et le calcul différentiel.

La section sur l'intégration introduit, pour les fonctions continues par morceaux sur un intervalle quelconque, la notion d'intégrale généralisée et celle de fonction intégrable. L'intégration des relations de comparaison dans le cas des fonctions positives permet de faire le lien avec les théorèmes similaires étudiés sur les séries.

Les théorèmes sur l'intégration des suites et séries de fonctions (convergence dominée, intégration terme à terme) et sur les intégrales à paramètre concluent cette section.

La section sur les variables aléatoires discrètes introduit rapidement les notions générales de la théorie des probabilités afin d'étendre l'étude menée en première année des variables aléatoires finies, ce qui permet d'élargir le champ des situations se prêtant à une modélisation probabiliste.

La loi faible des grands nombres permet de justifier a posteriori l'approche fréquentiste d'une probabilité pour un schéma de Bernoulli, déjà évoquée dans le cursus antérieur des étudiants.

Cette section a vocation à interagir avec le reste du programme, notamment en exploitant les séries génératrices.

L'étude des équations et des systèmes différentiels est limitée au cas linéaire, dont les interventions sont fréquentes tant en mathématiques que dans les autres disciplines scientifiques. L'utilisation dans ce cadre du théorème de Cauchy permet d'établir la structure de l'ensemble des solutions, illustrant la pertinence des outils de l'algèbre linéaire pour résoudre des problèmes d'analyse. Le cas particulier où les coefficients sont constants permet d'utiliser l'exponentielle d'endomorphisme et de mettre en œuvre des techniques de réduction matricielle.

La section sur le calcul différentiel et l'optimisation a pour objectif d'étendre l'étude menée en première année au cadre des espaces vectoriels normés de dimension finie et de donner une introduction à l'optimisation au premier et au second ordre. La différentielle en un point est définie de manière intrinsèque afin d'établir un lien avec l'algèbre linéaire. Les notions de dérivée selon un vecteur ou le long d'un arc, de gradient, de vecteurs tangents à une partie constituent une première approche de la géométrie différentielle. Enfin, l'optimisation au second ordre s'appuie sur les endomorphismes autoadjoints.

Organisation du texte

Les programmes définissent les objectifs de l'enseignement et décrivent les connaissances et les capacités exigibles des étudiants ; ils précisent aussi certains points de terminologie et certaines notations. Ils fixent clairement les limites à respecter tant au niveau de l'enseignement qu'à celui des épreuves d'évaluation, y compris par les opérateurs de concours.

Le programme est décliné en sections. Chaque section comporte un bandeau définissant les objectifs essentiels et délimitant le cadre d'étude des notions qui lui sont relatives et un texte présenté en deux colonnes : à gauche figurent les contenus du programme (connaissances et méthodes) ; à droite un commentaire indique les capacités exigibles des étudiants, précise quelques notations ainsi que le sens ou les limites à donner à certaines questions. Dans le cadre de sa liberté pédagogique et dans le respect de la cohérence de la formation globale, le professeur décide de l'organisation de son enseignement et du choix de ses méthodes.

En particulier, l'ordre de présentation des différentes sections ne doit pas être interprété comme un modèle de progression. Parmi les connaissances (définitions, notations, énoncés, démonstrations, méthodes, algorithmes...) et les capacités de mobilisation de ces connaissances, le texte du programme délimite trois catégories :

- celles qui sont exigibles des étudiants : il s'agit de l'ensemble des points figurant dans la colonne de gauche des différentes sections ;
- celles qui sont indiquées dans les bandeaux et la colonne de droite comme étant « hors programme ». Elles ne doivent pas être traitées et ne peuvent faire l'objet d'aucune épreuve d'évaluation ;
- celles qui relèvent d'activités possibles ou souhaitables, mais qui ne sont pas exigibles des étudiants. Il s'agit des activités proposées pour illustrer les différentes notions du programme (visualisations à l'aide de l'outil informatique, activités en lien avec les autres disciplines).

Pour les démonstrations des théorèmes dont l'énoncé figure au programme et qui sont repérées dans la colonne de droite par la locution « démonstration non exigible », le professeur est libre d'apprécier, selon le cas, s'il est souhaitable de démontrer en détail le résultat considéré, d'indiquer seulement l'idée de sa démonstration, ou de l'admettre.

Programme

Structures algébriques usuelles

L'étude des structures algébriques offre l'occasion d'approfondir plusieurs points abordés en première année : arithmétique de \mathbb{Z} et de $\mathbb{K}[X]$, congruences, algèbre linéaire, groupe symétrique, groupes issus de l'algèbre linéaire, ou, ultérieurement, de la géométrie des espaces euclidiens.

Le paragraphe relatif aux polynômes permet de revenir sur l'étude menée en première année, dans un cadre étendu et dans un esprit plus algébrique mettant l'accent sur la notion d'idéal.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Compléments sur les groupes

Intersection de sous-groupes.

Sous-groupe engendré par une partie. Partie génératrice d'un groupe.

Sous-groupes du groupe $(\mathbb{Z}, +)$.

Groupe $(\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}, +)$. Générateurs de $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$.

Groupe monogène, groupe cyclique.

Groupe des racines n -ièmes de l'unité.

Tout groupe monogène infini est isomorphe à $(\mathbb{Z}, +)$. Tout groupe monogène fini de cardinal n est isomorphe à $(\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}, +)$.

Ordre d'un élément d'un groupe.

L'ordre de x est le cardinal du sous-groupe de G engendré par x .

Si x est d'ordre fini d et si e désigne le neutre de G , alors, pour tout $n \in \mathbb{Z}$, $x^n = e \iff d|n$.

L'ordre d'un élément d'un groupe fini divise le cardinal du groupe.

La démonstration n'est exigible que pour G commutatif.

b) Compléments sur les anneaux

Produit fini d'anneaux.

Idéal d'un anneau commutatif.

Noyau d'un morphisme d'anneaux commutatifs.

Idéal engendré par un élément.

Notation xA .

Divisibilité dans un anneau commutatif intègre.

Interprétation en termes d'idéaux.

c) Idéaux de \mathbb{Z}

Idéaux de \mathbb{Z} .

Définition du PGCD de $n \geq 2$ entiers relatifs en termes d'idéaux, relation de Bézout.

Lien avec le programme de première année.

d) Anneaux $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$

Anneau $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$.

Inversibles de $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$. Condition nécessaire et suffisante pour que $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$ soit un corps.

Notation \mathbb{F}_p lorsque p est premier.

Théorème chinois : isomorphisme naturel de $\mathbb{Z}/mn\mathbb{Z}$ sur $\mathbb{Z}/m\mathbb{Z} \times \mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$ si $m \wedge n = 1$; extension à plus de deux facteurs.

Application aux systèmes de congruences et à la résolution de systèmes d'équations dans $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$.

Indicatrice d'Euler φ . Calcul à l'aide de la décomposition en produits de facteurs premiers.

Relation $\varphi(mn) = \varphi(m)\varphi(n)$ si m et n sont premiers entre eux; expression de $\varphi(p^k)$ pour p premier.

Théorème d'Euler.

Lien avec le petit théorème de Fermat.

e) Anneaux $\mathbb{K}[X]$

Dans ce paragraphe, \mathbb{K} est un sous-corps de \mathbb{C} .

Idéaux de $\mathbb{K}[X]$.

Définition du PGCD de $n \geq 2$ polynômes en termes d'idéaux, relation de Bézout.

Par convention, le PGCD est unitaire.

Irréductibles de $\mathbb{K}[X]$. Existence et unicité de la décomposition en facteurs irréductibles unitaires.

Irréductibles de $\mathbb{C}[X]$ et $\mathbb{R}[X]$.

La démonstration du théorème de d'Alembert-Gauss est hors programme.

L'étude des irréductibles de $\mathbb{K}[X]$ pour un corps autre que \mathbb{R} ou \mathbb{C} n'est pas un objectif du programme.**f) Algèbres**

Algèbre.

Les algèbres sont unitaires.

Exemples : $\mathbb{K}[X]$, $\mathcal{L}(E)$, $\mathcal{M}_n(\mathbb{K})$, $\mathcal{F}(X, \mathbb{K})$.

Sous-algèbre.

Morphisme d'algèbres.

Réduction des endomorphismes et des matrices carrées

La réduction des endomorphismes et des matrices carrées prolonge les notions d'algèbre linéaire vues en première année. Elle trouve des applications et des illustrations dans d'autres domaines du programme (topologie, équations différentielles, systèmes dynamiques discrets, chaînes de Markov). Elle permet également de tisser des liens entre l'algèbre linéaire et l'algèbre générale, notamment polynomiale.

Le but de cette section est de donner une introduction substantielle au problème de la réduction. Les approches sont de deux types, qu'il convient d'identifier : la première, de nature géométrique, repose sur les notions de sous-espace stable et d'éléments propres ; la seconde, plus algébrique, fait appel aux polynômes annulateurs.

Sans soulever de difficulté, on signale que les notions d'algèbre linéaire étudiées en première année s'étendent au cas d'un corps de base quelconque. Pour éviter les difficultés liées aux polynômes en caractéristique non nulle, la section est traitée sous l'hypothèse que \mathbb{K} est un sous-corps de \mathbb{C} .

a) Compléments d'algèbre linéaire

Somme, somme directe d'une famille finie de sous-espaces vectoriels.

Projecteurs associés à une décomposition de E en somme directe.Si F_1, \dots, F_p sont des sous-espaces de dimension finie,

Base adaptée à une décomposition en somme directe.

$$\dim\left(\sum_{i=1}^p F_i\right) \leq \sum_{i=1}^p \dim(F_i)$$

avec égalité si et seulement si la somme est directe.

Si E_1, \dots, E_p sont des sous-espaces de E tels que $E = \bigoplus E_i$ et si $u_i \in \mathcal{L}(E_i, F)$ pour tout i , alors il existe une et une seule $u \in \mathcal{L}(E, F)$ telle que $u|_{E_i} = u_i$ pour tout i .

Matrices définies par blocs.

Interprétation géométrique des blocs.

Opérations par blocs de tailles compatibles (combinaison linéaire, produit, transposition).

La démonstration concernant le produit par blocs n'est pas exigible.

Transvections par blocs. Invariance du déterminant.

Déterminant d'une matrice triangulaire par blocs.

b) Éléments propres d'un endomorphisme, d'une matrice carrée

Sous-espace stable par un endomorphisme. Endomorphisme induit.

En dimension finie, traduction matricielle.

Droite stable par un endomorphisme. Valeur propre, vecteur propre (non nul), sous-espace propre.

Équation aux éléments propres $u(x) = \lambda x$.

Spectre d'un endomorphisme en dimension finie.

La notion de valeur spectrale est hors programme.

La somme d'une famille finie de sous-espaces propres d'un endomorphisme est directe.

Toute famille de vecteurs propres associés à des valeurs propres distinctes est libre.

Le spectre d'un endomorphisme d'un espace de dimension finie n est fini, et de cardinal au plus n .

Si deux endomorphismes u et v commutent, tout sous-espace propre de u est stable par v .
Valeur propre, vecteur propre, sous-espace propre et spectre d'une matrice carrée.

Le noyau et l'image de u sont stables par v .

Équation aux éléments propres $MX = \lambda X$.
Deux matrices semblables ont même spectre.
Si \mathbb{K} est un sous-corps de \mathbb{K}' et si $M \in \mathcal{M}_n(\mathbb{K})$, le spectre de M dans \mathbb{K} est contenu dans le spectre de M dans \mathbb{K}' .

c) Polynôme caractéristique

Polynôme caractéristique d'une matrice carrée, d'un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie.

Par convention le polynôme caractéristique est unitaire. Notations χ_A, χ_u . Coefficients du polynôme caractéristique de degrés 0 et $n - 1$.

Les valeurs propres d'un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie sont les racines de son polynôme caractéristique.

Deux matrices semblables ont même polynôme caractéristique.

Polynôme caractéristique d'une matrice triangulaire.

Polynôme caractéristique d'un endomorphisme induit.

Multiplicité d'une valeur propre.

La dimension du sous-espace propre associé à λ est majorée par la multiplicité de λ .

d) Endomorphismes et matrices carrées diagonalisables

Un endomorphisme d'un espace vectoriel E de dimension finie est dit diagonalisable s'il existe une base de E dans laquelle sa matrice est diagonale.

Une telle base est constituée de vecteurs propres. Cas des projecteurs, des symétries.

Pour qu'un endomorphisme soit diagonalisable, il faut et il suffit que la somme de ses sous-espaces propres soit égale à E .

Caractérisation par la somme des dimensions des sous-espaces propres.

Une matrice carrée est dite diagonalisable si elle est semblable à une matrice diagonale.

Interprétation en termes d'endomorphisme.

Cas d'un endomorphisme d'un espace de dimension n admettant n valeurs propres distinctes.

Dans les exercices pratiques, on se limite à $n = 2$ ou $n = 3$. Traduction matricielle.

Pour qu'un endomorphisme u soit diagonalisable, il faut et il suffit que χ_u soit scindé et que, pour toute valeur propre de u , la dimension de l'espace propre associé soit égale à sa multiplicité.

Traduction matricielle.

Cas où χ_u est scindé à racines simples.

e) Endomorphismes et matrices carrées trigonalisables

Un endomorphisme d'un espace vectoriel E de dimension finie est dit trigonalisable s'il existe une base de E dans laquelle sa matrice est triangulaire.

Interprétation géométrique.

Une matrice carrée est dite trigonalisable si elle est semblable à une matrice triangulaire.

Interprétation en termes d'endomorphisme.

Un endomorphisme est trigonalisable si et seulement si son polynôme caractéristique est scindé.

La pratique de la trigonalisation n'est pas un objectif du programme.

Traduction matricielle.

Expression à l'aide des valeurs propres de la trace et du déterminant d'un endomorphisme trigonalisable, d'une matrice trigonalisable.

f) Endomorphismes nilpotents, matrices nilpotentes

Endomorphisme nilpotent d'un espace vectoriel E de dimension finie, matrice nilpotente.

Caractérisation des endomorphismes nilpotents et des matrices nilpotentes par le polynôme caractéristique.

Un endomorphisme est nilpotent si et seulement si il est trigonalisable avec pour seule valeur propre 0.

L'indice de nilpotence est majoré par la dimension de E .

g) Polynômes d'un endomorphisme, d'une matrice carrée

Pour u dans $\mathcal{L}(E)$, morphisme d'algèbres $P \mapsto P(u)$ de $\mathbb{K}[X]$ dans $\mathcal{L}(E)$. Le noyau de ce morphisme est l'idéal annulateur de u . Son image est la sous-algèbre commutative $\mathbb{K}[u]$ de $\mathcal{L}(E)$.

Traduction matricielle.

Polynôme minimal d'un endomorphisme d'un espace de dimension finie, d'une matrice carrée.

Le polynôme minimal est unitaire.

Si d est le degré du polynôme minimal de u , alors la famille $(u^k)_{0 \leq k \leq d-1}$ est une base de $\mathbb{K}[u]$.

Notations $\pi_u, \mu_u, \pi_M, \mu_M$.

Si P annule u , toute valeur propre de u est racine de P .

Si $u(x) = \lambda x$, alors $P(u)(x) = P(\lambda)x$.

Les racines de π_u dans \mathbb{K} sont les valeurs propres de u .

h) Lemme de décomposition des noyaux

Si P_1, \dots, P_r sont des éléments de $\mathbb{K}[X]$ deux à deux premiers entre eux de produit égal à P , alors :

$$\text{Ker}(P(u)) = \bigoplus_{i=1}^r \text{Ker}(P_i(u)).$$

i) Polynômes annulateurs et réduction

Un endomorphisme est diagonalisable si et seulement s'il annule un polynôme simplement scindé, ou encore si et seulement si son polynôme minimal est simplement scindé.

Traduction matricielle.

Polynôme minimal d'un endomorphisme induit. Diagonalisabilité d'un endomorphisme induit par un endomorphisme diagonalisable.

Un endomorphisme est trigonalisable si et seulement s'il annule un polynôme scindé, ou encore si et seulement si son polynôme minimal est scindé.

Traduction matricielle.

j) Théorème de Cayley-Hamilton et sous-espaces caractéristiques

Théorème de Cayley-Hamilton.

La démonstration n'est pas exigible.

Sous-espaces caractéristiques d'un endomorphisme à polynôme caractéristique scindé; E est somme directe des sous-espaces caractéristiques de u .

Dimension d'un sous-espace caractéristique.

Traduction matricielle de cette décomposition : similitude à une matrice diagonale par blocs, chaque bloc diagonal étant triangulaire et à termes diagonaux égaux.

Endomorphismes d'un espace euclidien

L'objectif de cette section est double :

- approfondir dans le cadre euclidien la thématique de la réduction des endomorphismes, à travers l'étude des endomorphismes autoadjoints et des isométries;
- introduire la notion d'endomorphisme symétrique positif, notamment en vue du calcul différentiel d'ordre 2.

La notion de produit scalaire hermitien est hors programme.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Adjoint d'un endomorphisme

Représentation des formes linéaires sur un espace euclidien.

Adjoint d'un endomorphisme d'un espace euclidien.

Notation u^* .

Linéarité de $u \mapsto u^*$, adjoint d'une composée, involutivité du passage à l'adjoint.

Matrice de l'adjoint en base orthonormée.

Si le sous-espace F est stable par u , alors F^\perp est stable par u^* .

b) Matrices orthogonales

Matrice orthogonale : définition par $A^\top A = I_n$, caractérisation par le caractère orthonormal de la famille des colonnes, des lignes.

Interprétation comme matrice de changement de base orthonormée. Matrices orthogonalement semblables.

Groupe orthogonal.

Notations $O_n(\mathbb{R})$, $O(n)$.

Matrice orthogonale positive ou directe, négative ou indirecte.

Notations $SO_n(\mathbb{R})$, $SO(n)$.

Orientation d'un espace vectoriel réel de dimension finie.

Pour E euclidien orienté et e et e' bases orthonormées directes de E , égalité des applications \det_e et $\det_{e'}$.

c) Isométries vectorielles d'un espace euclidien

Isométrie vectorielle : définition par la conservation des normes.

Par définition, une isométrie vectorielle est linéaire. On mentionne la terminologie « automorphisme orthogonal » tout en lui préférant « isométrie vectorielle ».

Exemples : symétrie orthogonale, réflexion.

Caractérisations des isométries de E parmi les endomorphismes de E : par la conservation du produit scalaire, par l'image d'une base orthonormée, par la relation $u^* = u^{-1}$.

Groupe orthogonal.

Notation $O(E)$.

Déterminant d'une isométrie. Isométrie directe, indirecte.

Groupe spécial orthogonal.

Notation $SO(E)$.

d) Isométries vectorielles en dimension 2

Description des matrices orthogonales directes et indirectes de taille 2.

Rotation vectorielle d'un plan euclidien orienté.

On introduit à cette occasion, sans soulever de difficulté sur la notion d'angle, la notion de mesure d'un angle orienté de vecteurs.

Morphisme $t \mapsto \begin{pmatrix} \cos(t) & -\sin(t) \\ \sin(t) & \cos(t) \end{pmatrix}$ de \mathbb{R} dans $SO_2(\mathbb{R})$; surjectivité et noyau.

Isomorphisme de \mathbb{U} sur $SO_2(\mathbb{R})$. Le groupe $SO_2(\mathbb{R})$ est commutatif.

Classification des isométries d'un plan euclidien.

e) Réduction des isométries

Stabilité de l'orthogonal d'un sous-espace stable.

Réduction d'une isométrie en base orthonormée.

Interprétation matricielle.

Cas particulier : réduction d'une isométrie vectorielle directe d'un espace euclidien de dimension 3.

La forme réduite justifie la terminologie « rotation ». La pratique du calcul des éléments géométriques d'un élément de $SO_3(\mathbb{R})$ n'est pas un attendu du programme.

f) Endomorphismes autoadjoints d'un espace euclidien

Endomorphisme autoadjoint : définition par $u^* = u$.
Stabilité de l'orthogonal d'un sous-espace stable.
Caractérisation du caractère autoadjoint par la matrice en base orthonormée.

On mentionne la terminologie « endomorphisme symétrique », tout en lui préférant « endomorphisme autoadjoint ». Notation $\mathcal{S}(E)$.

Les projecteurs orthogonaux sont les projecteurs autoadjoints.

Théorème spectral : si u est un endomorphisme d'un espace euclidien E , alors u est autoadjoint si et seulement si E est somme orthogonale des sous-espaces propres de u ou, de manière équivalente, s'il existe une base orthonormée diagonalisant u .

Interprétation matricielle : une matrice de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ appartient à $\mathcal{S}_n(\mathbb{R})$ si et seulement si elle est orthogonalement diagonalisable.

g) Endomorphismes autoadjoints positifs, définis positifs

Endomorphisme autoadjoint positif, défini positif.
Matrice symétrique positive, définie positive.

Caractérisation spectrale. Notations $\mathcal{S}^+(E), \mathcal{S}^{++}(E)$.
Caractérisation spectrale. Notations $\mathcal{S}_n^+(\mathbb{R}), \mathcal{S}_n^{++}(\mathbb{R})$.

Topologie des espaces vectoriels normés

Les objectifs de cette section sont les suivants :

- introduire, dans le cadre des espaces vectoriels normés, le vocabulaire de la topologie;
- donner, à travers l'étude des espaces vectoriels normés de dimension finie, un cadre commode pour traiter diverses applications à l'analyse (fonctions vectorielles, équations différentielles linéaires);
- introduire la notion de partie compacte dans un espace vectoriel normé, en soulignant le rôle qu'elle joue dans les résultats d'existence, notamment en matière d'optimisation;
- introduire la notion de composante connexe par arcs d'un espace vectoriel normé, qui permet de généraliser le théorème des valeurs intermédiaires et intervient en calcul différentiel;
- dégager l'idée fondamentale d'inégalité linéaire, qui apparaît lors de l'étude de la comparaison des normes et de la continuité des applications linéaires, et qui est quantifiée par la notion de norme d'opérateur.

Les notions seront illustrées par des exemples variés. On pourra ainsi travailler dans les espaces \mathbb{K}^n , les espaces de polynômes, d'applications linéaires ou de matrices, ainsi que dans divers espaces fonctionnels.

Il convient de souligner le contenu géométrique des notions abordées, notamment à l'aide de nombreuses figures. Lors de l'étude de la connexité par arcs, un dessin pertinent peut valoir preuve.

Les notions d'espace métrique et, a fortiori, d'espace topologique, sont hors programme. Il en est de même des notions de suite de Cauchy et d'espace de Banach.

Dans toute cette section, \mathbb{K} désigne \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

a) Normes et espaces vectoriels normés

Norme sur un \mathbb{K} -espace vectoriel. Structure d'espace vectoriel normé.

Vecteurs unitaires.

Distance associée à une norme.

Inégalité triangulaire.

Boules fermées, boules ouvertes, sphères. Convexité des boules.

On introduit à cette occasion la notion de partie convexe d'un espace vectoriel réel.

Parties, suites, fonctions bornées.

Norme associée à un produit scalaire sur un espace préhilbertien réel.

Normes $\|\cdot\|_1, \|\cdot\|_2, \|\cdot\|_\infty$ sur \mathbb{K}^n .

Norme de la convergence uniforme sur l'espace des fonctions bornées à valeurs dans \mathbb{K} .

Notation $\|\cdot\|_\infty$.

Pour les applications pratiques, on peut utiliser sans justification l'égalité $\sup(kA) = k \sup(A)$ pour A partie non vide de \mathbb{R} et $k \in \mathbb{R}^+$.

Notations $\|\cdot\|_1$ et $\|\cdot\|_2$.

Normes de la convergence en moyenne et de la convergence en moyenne quadratique sur l'espace des fonctions continues sur un segment à valeurs réelles ou complexes. Produit fini d'espaces vectoriels normés.

b) Suites d'éléments d'un espace vectoriel normé

Suite convergente, divergente. Unicité de la limite. Caractère borné d'une suite convergente. Opérations algébriques sur les suites convergentes. Convergence d'une suite à valeurs dans un produit fini d'espaces vectoriels normés.

Suites extraites, valeurs d'adhérence.

Une suite ayant au moins deux valeurs d'adhérence diverge.

c) Comparaison des normes

Normes équivalentes. Invariance du caractère borné, de la convergence d'une suite.

Utilisation de suites pour établir que deux normes ne sont pas équivalentes.

d) Topologie d'un espace normé

Ouvert d'un espace normé. Stabilité de l'ensemble des ouverts par réunion quelconque, par intersection finie. Voisinage d'un point.

Une boule ouverte est un ouvert. Un produit (fini) d'ouverts est un ouvert.

Fermé d'un espace normé. Stabilité de l'ensemble des fermés par intersection quelconque, par réunion finie.

Une boule fermée, une sphère, sont fermées. Un produit (fini) de fermés est fermé.

Point intérieur, point adhérent.

Intérieur, adhérence, frontière d'une partie.

Caractérisation séquentielle des points adhérents, des fermés. Partie dense.

Invariance des notions topologiques par passage à une norme équivalente.

Si A est une partie d'un espace normé, ouvert et fermé relatifs de A . Voisinage relatif.

Par définition, une partie U de A est un ouvert relatif si U est voisinage relatif de chacun de ses points.

Caractérisation comme intersection avec A d'un ouvert de E .

Les fermés relatifs sont par définition les complémentaires dans A des ouverts relatifs. Caractérisation séquentielle. Caractérisation comme intersection avec A d'un fermé de E .

e) Étude locale d'une application, continuité

Limite en un point adhérent à une partie A .

Caractérisation séquentielle.

Extensions : limite de $f(x)$ lorsque $\|x\|$ tend vers $+\infty$, limite de $f(x)$ quand x tend vers $+\infty$ ou $-\infty$ lorsque A est une partie de \mathbb{R} , limite infinie en a adhérent à A pour une fonction réelle.

Cas d'une application à valeurs dans un produit fini d'espaces vectoriels normés.

Opérations algébriques sur les limites. Limite d'une composée.

Continuité en un point. Caractérisation séquentielle.

Opérations algébriques sur les applications continues. Composition de deux applications continues.

Deux applications continues qui coïncident sur une partie dense sont égales.

Image réciproque d'un ouvert, d'un fermé par une application continue.

Applications uniformément continues, applications lipschitziennes.

Caractère 1-lipschitzien de l'application $x \mapsto d(x, A)$ où A est une partie non vide de E .

f) Applications linéaires et multilinéaires continues

Critère de continuité d'une application linéaire entre deux espaces normés : $u \in \mathcal{L}(E, F)$ est continue si et seulement s'il existe $C \in \mathbb{R}^+$ tel que

$$\forall x \in E, \|u(x)\| \leq C\|x\|.$$

Notation $\mathcal{L}_c(E, F)$.

Norme subordonnée (ou norme d'opérateur) d'une application linéaire continue.

Notations $\|u\|$, $\|u\|_{\text{op}}$. La norme d'opérateur est une norme sur $\mathcal{L}_c(E, F)$. Sous-multiplicativité de la norme d'opérateur.

Critère de continuité des applications multilinéaires.

Adaptation aux matrices.

La démonstration n'est pas exigible.

g) Parties compactes d'un espace normé

Définition d'une partie compacte par la propriété de Bolzano-Weierstrass.

Une partie compacte est fermée et bornée.

Un fermé relatif d'une partie compacte est compact.

Une suite d'éléments d'une partie compacte converge si et seulement si elle admet une unique valeur d'adhérence.

Produit d'une famille finie de compacts.

La propriété de Borel-Lebesgue est hors programme.

h) Applications continues sur une partie compacte

Image continue d'une partie compacte.

Théorème de Heine.

Théorème des bornes atteintes pour une application numérique définie et continue sur un compact non vide.

On souligne l'importance de la compacité dans les problèmes d'optimisation, notamment en mettant en évidence des situations où l'on prouve l'existence d'un extremum à l'aide d'une restriction à un compact.

i) Connexité par arcs

Dans un espace vectoriel normé, chemin (ou arc) joignant deux points; partie connexe par arcs.

Cas des parties convexes, des parties étoilées.

Les parties connexes par arcs de \mathbb{R} sont les intervalles.

Image continue d'une partie connexe par arcs.

Relation d'équivalence associée sur une partie A de E . Les classes sont les composantes connexes par arcs.

Cas particulier des applications à valeurs réelles : théorème des valeurs intermédiaires.

j) Espaces vectoriels normés de dimension finie

Équivalence des normes en dimension finie.

Invariance des différentes notions topologiques par rapport au choix d'une norme en dimension finie. Topologie naturelle d'un espace normé de dimension finie.

Une partie d'un espace normé de dimension finie est compacte si et seulement si elle est fermée et bornée.

Une suite bornée d'un espace normé de dimension finie converge si et seulement si elle a une unique valeur d'adhérence.

La démonstration n'est pas exigible.

La convergence d'une suite (ou l'existence de la limite d'une fonction) à valeurs dans un espace vectoriel normé de dimension finie équivaut à celle de chacune de ses coordonnées dans une base.

Un sous-espace de dimension finie d'un espace normé est fermé.

Si E est de dimension finie, $\mathcal{L}(E, F) = \mathcal{L}_c(E, F)$.

Continuité des applications polynomiales définies sur un espace normé de dimension finie, des applications multilinéaires définies sur un produit d'espaces vectoriels normés de dimensions finies.

Exemples : déterminant, produit matriciel, composition d'applications linéaires.

Séries numériques et vectorielles

L'objectif de cette section est double :

- consolider les acquis de première année relatifs aux séries numériques, en particulier à travers l'étude de questions de calcul asymptotique;
- étendre la notion de série convergente au cadre des espaces vectoriels normés de dimension finie.

Les séries sont avant tout un outil. L'étude des séries semi-convergentes n'est pas un objectif du programme.

a) Séries à valeurs dans un espace normé de dimension finie

Sommes partielles. Convergence, divergence.

La série de terme général u_n est notée $\sum u_n$.

Somme et restes d'une série convergente.

En cas de convergence, notation $\sum_{n=0}^{+\infty} u_n$.

Linéarité de la somme.

Le terme général d'une série convergente tend vers 0.

Divergence grossière.

Lien suite-série, séries télescopiques.

Série absolument convergente.

Une série absolument convergente d'éléments d'un espace vectoriel normé de dimension finie est convergente.

Le critère de Cauchy est hors programme.

b) Compléments sur les séries numériques

Technique de comparaison série-intégrale.

Les étudiants doivent savoir utiliser la comparaison série-intégrale pour établir des convergences et des divergences de séries, estimer des sommes partielles de séries divergentes ou des restes de séries convergentes, notamment dans le cas d'une fonction monotone.

Règle de d'Alembert.

Sommation des relations de comparaison : domination, négligeabilité, équivalence, dans les cas convergent et divergent.

La suite de référence est de signe constant à partir d'un certain rang. Cas particulier : théorème de Cesàro (pour une limite finie ou infinie).

Suites et séries de fonctions, séries entières

A - Suites et séries de fonctions

Les objectifs de cette section sont les suivants :

- définir différents modes usuels de convergence des suites et séries de fonctions;
- étudier la stabilité des propriétés des fonctions par passage à la limite;
- introduire la thématique de l'approximation, reliée à la notion topologique de densité, à travers deux théorèmes d'approximation uniforme susceptibles de nombreuses applications.

La technique n'est pas un but en soi. On privilégie les exemples significatifs : construction de fonctions solutions de problèmes (équations fonctionnelles ou différentielles, par exemple), mise en évidence de fonctions aux propriétés remarquables...

En vue des applications aux équations différentielles linéaires, les fonctions considérées sont à valeurs dans un espace normé de dimension finie. Dans la pratique, on se limite pour l'essentiel au cas de fonctions à valeurs dans \mathbb{R} ou \mathbb{C} . On peut commencer par traiter le programme dans ce cadre et expliquer brièvement l'extension au cas général.

Les fonctions sont définies sur une partie A d'un espace vectoriel E de dimension finie et à valeurs dans un espace vectoriel normé F de dimension finie.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Convergence simple, convergence uniforme

Convergence simple d'une suite de fonctions. Convergence uniforme. La convergence uniforme entraîne la convergence simple.

Pour des fonctions bornées, interprétation en termes de norme.

b) Continuité, double limite

Si les u_n sont continues en a et si (u_n) converge uniformément vers u sur A , alors u est continue en a . En particulier, toute limite uniforme de fonctions continues sur A est continue sur A .

Théorème de la double limite : soit (u_n) une suite de fonctions de A dans F convergeant uniformément vers u sur A , et soit a un point adhérent à A ; si, pour tout n , u_n admet une limite ℓ_n en a , alors (ℓ_n) admet une limite ℓ et $u(x) \xrightarrow{x \rightarrow a} \ell$.

Le théorème s'applique dans le cas où l'hypothèse de convergence uniforme est satisfaite de façon locale, en particulier sur tout segment. En pratique, on vérifie la convergence uniforme sur des intervalles adaptés à la situation.

La démonstration est hors programme.

Adaptation, si $A \subset \mathbb{R}$, aux cas où $a = +\infty$ et $a = -\infty$.

c) Intégration d'une limite uniforme sur un segment

Soit (u_n) une suite de fonctions continues définies sur un intervalle I de \mathbb{R} et à valeurs dans F , a un point de I . On suppose que (u_n) converge uniformément sur tout segment de I vers une fonction u . Pour $n \in \mathbb{N}$ et $x \in I$ soit

$$U_n(x) = \int_a^x u_n, \quad U(x) = \int_a^x u.$$

Alors (U_n) converge uniformément vers U sur tout segment de I .

En particulier, si (u_n) converge uniformément vers u sur le segment $[a, b]$, alors : $\int_a^b u_n \rightarrow \int_a^b u$.

d) Dérivation d'une suite de fonctions

Soit (u_n) une suite de fonctions de classe \mathcal{C}^1 sur un intervalle I de \mathbb{R} , à valeurs dans F . Si (u_n) converge simplement sur I vers une fonction u , et si (u'_n) converge uniformément sur tout segment de I vers une fonction v , alors (u_n) converge uniformément vers u sur tout segment de I , u est de classe \mathcal{C}^1 sur I et $u' = v$.

En pratique, on vérifie la convergence uniforme de (u'_n) sur des intervalles adaptés à la situation.

Extension aux suites de fonctions de classe \mathcal{C}^k , sous l'hypothèse de convergence simple de $(u_n^{(j)})$ pour $0 \leq j \leq k-1$ et de convergence uniforme sur tout segment de $(u_n^{(k)})$.

En pratique, on vérifie la convergence uniforme de $(u_n^{(k)})$ sur des intervalles adaptés à la situation.

e) Séries de fonctions

Convergence simple, convergence uniforme.

Une série de fonctions converge uniformément si et seulement si elle converge simplement et si la suite de ses restes converge uniformément vers 0.

Adaptation des résultats des paragraphes précédents au cas des séries de fonctions.

Convergence normale d'une série de fonctions. La convergence normale implique la convergence uniforme.

La convergence normale implique la convergence absolue en tout point.

Exemples d'études de fonctions définies comme sommes de séries : régularité, étude asymptotique, utilisation de la comparaison série-intégrale.

f) Approximation uniforme

Approximation uniforme d'une fonction continue par morceaux sur un segment par des fonctions en escalier.

Théorème de Weierstrass : toute fonction continue sur un segment S et à valeurs dans \mathbb{K} est limite uniforme sur S de fonctions polynomiales à coefficients dans \mathbb{K} .

La démonstration n'est pas exigible.

B - Séries entières

Les objectifs de cette section sont les suivants :

- étudier la convergence d'une série entière et les propriétés de sa somme;
- introduire la notion de fonction développable en série entière;
- établir les développements en série entière des fonctions usuelles.

Les séries entières donnent un outil puissant pour aborder certains calculs : résolution d'équations différentielles linéaires, fonctions génératrices en probabilités... Elles permettent également de revenir sur la thématique de la régularité des fonctions, introduite en première année, et donnent l'occasion d'introduire la « variable complexe ».

Les coefficients des séries entières considérées sont réels ou complexes.

a) Généralités

Série entière de la variable réelle, de la variable complexe.

Lemme d'Abel : si la suite $(a_n z_0^n)$ est bornée alors, pour tout nombre complexe z tel que $|z| < |z_0|$, la série $\sum a_n z^n$ est absolument convergente.

Rayon de convergence d'une série entière, défini comme borne supérieure dans $[0, +\infty]$, de l'ensemble des réels positifs r tels que la suite $(a_n r^n)$ est bornée.

Disque ouvert de convergence.

Intervalle ouvert de convergence.

Si $a_n = O(b_n)$ et donc en particulier si $a_n = o(b_n)$, $R_a \geq R_b$.

Si $a_n \sim b_n$, $R_a = R_b$.

Application de la règle de d'Alembert pour les séries numériques au calcul du rayon.

Somme et produit de Cauchy de deux séries entières.

La série $\sum a_n z^n$ converge absolument si $|z| < R$, et elle diverge grossièrement si $|z| > R$.

Rayon de convergence de $\sum n^\alpha x^n$.

La limite du rapport $\frac{|a_{n+1}|}{|a_n|}$ peut être utilisée directement.

b) Continuité de la somme d'une série entière de la variable complexe

Convergence normale d'une série entière sur tout disque fermé de centre 0 contenu dans le disque ouvert de convergence.

Continuité de la somme d'une série entière sur le disque ouvert de convergence.

c) Régularité de la somme d'une série entière de la variable réelle

Théorème d'Abel radial :

si $\sum a_n x^n$ a pour rayon de convergence $R \in \mathbb{R}_+^*$ et si

$$\sum a_n R^n \text{ converge, alors } \sum_{n=0}^{+\infty} a_n x^n \xrightarrow{x \rightarrow R^-} \sum_{n=0}^{+\infty} a_n R^n.$$

La somme d'une série entière est de classe \mathcal{C}^∞ sur l'intervalle ouvert de convergence et ses dérivées s'obtiennent par dérivation terme à terme.

Expression des coefficients d'une série entière de rayon de convergence strictement positif à l'aide des dérivées en 0 de sa somme.

La démonstration est hors programme.

$$\text{Relation } R(\sum a_n x^n) = R(\sum n a_n x^n).$$

Si les fonctions $x \mapsto \sum_{n=0}^{+\infty} a_n x^n$ et $x \mapsto \sum_{n=0}^{+\infty} b_n x^n$ coïncident sur un intervalle $]0, \alpha]$ avec $\alpha > 0$, alors, pour tout $n \in \mathbb{N}$, $a_n = b_n$.

d) Fonctions développables en série entière, développements usuels

Fonction développable en série entière sur le disque ouvert de centre 0 et de rayon R , sur l'intervalle $] -R, R[$.

Développement de $\exp(z)$ sur \mathbb{C} .

Développement de $\frac{1}{1-z}$ sur $\{z \in \mathbb{C}, |z| < 1\}$.

Développements usuels dans le domaine réel.

Dans le cas réel, lien avec la série de Taylor.

Les étudiants doivent connaître les développements en série entière des fonctions exponentielle, hyperboliques, circulaires, Arctan, $x \mapsto \ln(1+x)$ et $x \mapsto (1+x)^\alpha$.

Les étudiants doivent savoir développer une fonction en série entière à l'aide d'une équation différentielle linéaire.

Fonctions vectorielles

Cette section a deux objectifs :

- étendre rapidement le programme d'analyse réelle de première année au cadre des fonctions vectorielles;
- fournir des outils pour l'étude des équations différentielles linéaires et du calcul différentiel.

Les fonctions sont définies sur un intervalle I de \mathbb{R} , à valeurs dans un espace normé de dimension finie E .

a) Dérivabilité en un point

Dérivabilité en un point.

Définition par le taux d'accroissement, caractérisation par le développement limité à l'ordre 1.

Interprétation cinématique.

Traduction en termes de coordonnées dans une base.

Dérivabilité à droite et à gauche.

b) Opérations sur les fonctions dérivables

Combinaison linéaire de fonctions dérivables.

Dérivabilité et dérivée de $L(f)$, où L est linéaire.

Dérivabilité et dérivée de $B(f, g)$, où B est bilinéaire, de $M(f_1, \dots, f_p)$, où M est multilinéaire.

Cas du produit scalaire, du déterminant.

Dérivabilité et dérivée de $f \circ \varphi$ où φ est une fonction réelle de variable réelle et f une fonction vectorielle.
Applications de classe \mathcal{C}^k . Opérations sur les applications de classe \mathcal{C}^k .

c) Intégration sur un segment

Intégrale d'une fonction vectorielle continue par morceaux sur un segment de \mathbb{R} .

$$\text{Notations } \int_{[a,b]} f, \int_a^b f, \int_a^b f(t) dt.$$

Linéarité de l'intégrale. Relation de Chasles.

Pour L linéaire, intégrale de $L(f)$.

Inégalité triangulaire $\left\| \int_a^b f \right\| \leq \int_a^b \|f\|$.

Sommes de Riemann associées à une subdivision régulière.

d) Intégrale fonction de sa borne supérieure

Dérivation de $x \mapsto \int_a^x f(t) dt$ pour f continue.

Inégalité des accroissements finis pour une fonction de classe \mathcal{C}^1 .

e) Formules de Taylor

Formule de Taylor avec reste intégral.

Inégalité de Taylor-Lagrange à l'ordre n pour une fonction de classe \mathcal{C}^n .

Formule de Taylor-Young à l'ordre n pour une fonction de classe \mathcal{C}^n .

Intégration sur un intervalle quelconque

L'objectif de cette section est triple :

- définir, dans le cadre restreint des fonctions continues par morceaux, les notions d'intégrale convergente et d'intégrabilité sur un intervalle non compact;
- donner des outils efficaces de passage à la limite sous l'intégrale, en particulier le théorème de convergence dominée;
- compléter l'étude des séries de fonctions par celle des intégrales à paramètre.

La technique n'est pas un but en soi. On privilégie donc les exemples significatifs : transformées intégrales (Fourier, Laplace), intégrales eulériennes...

On évite tout excès de rigueur dans la rédaction. Ainsi, dans les calculs concrets mettant en jeu l'intégration par parties ou le changement de variable, on n'impose pas de rappeler les hypothèses de régularité des énoncés. De même, dans l'application des théorèmes de passage à la limite sous l'intégrale ou de régularité des intégrales à paramètre, on se limite à la vérification des hypothèses cruciales, sans insister sur la continuité par morceaux en la variable d'intégration.

Les fonctions sont à valeurs dans \mathbb{K} , corps des nombres réels ou des nombres complexes.

a) Intégrales généralisées sur un intervalle de la forme $[a, +\infty[$

Pour f continue par morceaux de $[a, +\infty[$ dans \mathbb{K} , l'intégrale $\int_a^{+\infty} f$ est dite convergente si la fonction $x \mapsto \int_a^x f$ a une limite finie en $+\infty$.

$$\text{Notations } \int_a^{+\infty} f, \int_a^{+\infty} f(t) dt.$$

Intégrale convergente en $+\infty$.

Dérivation de $x \mapsto \int_x^{+\infty} f$ si f est continue.

Si f est continue par morceaux sur $[a, +\infty[$ et à valeurs positives, l'intégrale $\int_a^{+\infty} f$ converge si et seulement si $x \mapsto \int_a^x f$ est majorée.

Si f et g sont deux fonctions continues par morceaux sur $[a, +\infty[$ telles que $0 \leq f \leq g$, la convergence de $\int_a^{+\infty} g$ implique celle de $\int_a^{+\infty} f$.

Pour $a \in \mathbb{R}$, nature de l'intégrale de Riemann $\int_1^{+\infty} \frac{1}{t^\alpha} dt$.

Pour $a \in \mathbb{R}$, nature de l'intégrale $\int_0^{+\infty} e^{-at} dt$.

b) Intégrabilité sur un intervalle de la forme $[a, +\infty[$

Une fonction f est dite intégrable sur $[a, +\infty[$ si elle est continue par morceaux sur $[a, +\infty[$ et si $\int_a^{+\infty} |f|$ converge.

Si f est intégrable sur $[a, +\infty[$, alors $\int_a^{+\infty} f$ converge.

Théorème de comparaison : pour f et g deux fonctions continues par morceaux sur $[a, +\infty[$, à valeurs dans \mathbb{K} :

- si $f(x) \underset{x \rightarrow +\infty}{=} O(g(x))$, alors l'intégrabilité de g sur $[a, +\infty[$ implique celle de f ;
- si $f(x) \underset{x \rightarrow +\infty}{\sim} g(x)$, alors l'intégrabilité de g sur $[a, +\infty[$ équivaut à celle de f .

Écriture $\int_a^{+\infty} f = +\infty$ en cas de divergence.

On utilise indifféremment les expressions « f est intégrable sur $[a, +\infty[$ » et « l'intégrale $\int_a^{+\infty} f$ converge absolument ».

Pour f de signe constant, $\int_a^{+\infty} f$ converge si et seulement si f est intégrable sur $[a, +\infty[$.

Un calcul montrant que $\int_I |f| < +\infty$ vaut preuve d'intégrabilité.

Fonction intégrable en $+\infty$. L'étude des intégrales semi-convergentes n'est pas un objectif du programme.

Le résultat s'applique en particulier si $f(x) \underset{x \rightarrow +\infty}{=} o(g(x))$.

c) Intégrales généralisées sur un intervalle quelconque

Intégrale généralisée d'une fonction continue par morceaux sur un intervalle semi-ouvert ou ouvert de \mathbb{R} .

Notations $\int_a^b f, \int_a^b f(t) dt$.

Intégrale convergente en b , en a .

Écriture $\int_a^b f = +\infty$ si f est à valeurs dans \mathbb{R}^+ et d'intégrale divergente.

Pour une fonction à valeurs dans \mathbb{R}^+ , un calcul aboutissant à un résultat fini vaut preuve de convergence.

Propriétés des intégrales généralisées : linéarité, positivité, croissance, relation de Chasles.

Intégration par parties sur un intervalle quelconque :

$$\int_a^b f(t)g'(t) dt = [fg]_a^b - \int_a^b f'(t)g(t) dt.$$

L'existence des limites du produit fg aux bornes de l'intervalle assure que les intégrales de fg' et de $f'g$ sont de même nature.

Pour les applications pratiques, on ne demande pas de rappeler les hypothèses de régularité.

Adaptation au cas où φ est strictement décroissante.

On applique ce résultat sans justification dans des cas de changements de variable usuels.

Changement de variable : étant données une fonction f continue sur $]a, b[$ et une fonction $\varphi :]\alpha, \beta[\rightarrow]a, b[$ bijective, strictement croissante et de classe \mathcal{C}^1 , les intégrales

$\int_a^b f(t) dt$ et $\int_\alpha^\beta f(\varphi(u))\varphi'(u) du$ sont de même nature et égales en cas de convergence.

d) Intégrales absolument convergentes et fonctions intégrables

Intégrale absolument convergente.

La convergence absolue implique la convergence.

Une fonction est dite intégrable sur l'intervalle I si elle y est continue par morceaux et si son intégrale sur I est absolument convergente.

Espace $L^1(I, \mathbb{K})$ des fonctions intégrables de I dans \mathbb{K} .

Inégalité triangulaire.

Si f est continue et intégrable sur I , à valeurs dans \mathbb{R}^+ et si $\int_I f = 0$, alors f est identiquement nulle.

Adaptation du théorème de comparaison en une borne quelconque.

Si $\alpha \in \mathbb{R}$, nature de l'intégrale de Riemann $\int_a^b \frac{1}{|x-a|^\alpha} dx$.

On utilise indifféremment les expressions « f est intégrable sur $[a, b[$ » et « l'intégrale $\int_a^b f$ converge absolument ».

Fonction intégrable en b , en a .

Pour f intégrable de I dans \mathbb{K} , notation $\int_I f$.

La fonction f est intégrable en a (resp. b) si et seulement si $t \mapsto f(a+t)$ (resp. $t \mapsto f(b-t)$) est intégrable en 0.

e) Intégration des relations de comparaison

Intégration des relations de comparaison, pour les intégrales partielles ou les restes : domination, négligeabilité, équivalence.

La fonction de référence est réelle de signe constant.

f) Convergence dominée

Pour l'application pratique des énoncés de ce paragraphe, on vérifie les hypothèses de convergence simple et de domination, sans expliciter celles relatives à la continuité par morceaux par rapport à t .

Théorème de convergence dominée : soit (f_n) une suite de fonctions continues par morceaux de I dans \mathbb{K} convergeant simplement sur I vers une fonction f continue par morceaux et telle qu'il existe une fonction φ positive intégrable sur I vérifiant $|f_n| \leq \varphi$ pour tout n . Alors :

La démonstration est hors programme.

$$\int_I f_n \longrightarrow \int_I f.$$

Extension au cas d'une famille à paramètre réel $(f_\lambda)_{\lambda \in J}$ où J est un intervalle de \mathbb{R} .

g) Intégration terme à terme

Pour l'application pratique des énoncés de ce paragraphe, on vérifie les hypothèses de convergence simple et de positivité ou de sommabilité, sans expliciter celles relatives à la continuité par morceaux par rapport à t .

Si (f_n) est une suite de fonctions continues par morceaux et intégrables sur I , à valeurs dans \mathbb{R}^+ , telle que la série $\sum f_n$ converge simplement et que sa somme soit continue par morceaux sur I , alors, dans $[0, +\infty[$,

La démonstration est hors programme.

En particulier, l'intégrabilité de $\sum_{n=0}^{+\infty} f_n$ sur I équivaut à

$$\sum_{n=0}^{+\infty} \int_I f_n(t) dt < +\infty.$$

$$\int_I \left(\sum_{n=0}^{+\infty} f_n(t) \right) dt = \sum_{n=0}^{+\infty} \int_I f_n(t) dt.$$

Si (f_n) est une suite de fonctions continues par morceaux et intégrables sur I , à valeurs dans \mathbb{K} , telle que la série $\sum f_n$ converge simplement et que sa somme soit continue par morceaux sur I et telle que

$$\sum_{n=0}^{+\infty} \int_I |f_n(t)| dt < +\infty,$$

alors $\sum_{n=0}^{+\infty} f_n$ est intégrable sur I et

$$\int_I \sum_{n=0}^{+\infty} f_n(t) dt = \sum_{n=0}^{+\infty} \int_I f_n(t) dt.$$

La démonstration est hors programme. On met en évidence le parallélisme de cet énoncé et du précédent avec ceux issus de la théorie des familles sommables.

On présente des exemples sur lesquels cet énoncé ne s'applique pas, mais dans lesquels l'intégration terme à terme peut être justifiée par le théorème de convergence dominée pour les sommes partielles.

h) Régularité d'une fonction définie par une intégrale à paramètre

Pour l'application pratique des énoncés de ce paragraphe, on vérifie les hypothèses de régularité par rapport à x et de domination, sans expliciter celles relatives à la continuité par morceaux par rapport à t .

Soit A une partie d'un espace normé de dimension finie, I un intervalle de \mathbb{R} , f une fonction définie sur $A \times I$ à valeurs dans \mathbb{K} telle que :

- pour tout $t \in I$, $f(\cdot, t)$ est continue;
- pour tout $x \in A$, $f(x, \cdot)$ est continue par morceaux;
- il existe une fonction φ intégrable sur I telle que, pour tout x de A , $|f(x, \cdot)| \leq \varphi$.

Alors $x \mapsto \int_I f(x, t) dt$ est définie et continue sur A .

En pratique, on vérifie l'hypothèse de domination sur tout segment de A , ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.

Soit I et A deux intervalles de \mathbb{R} , f une fonction définie sur $A \times I$ à valeurs dans \mathbb{K} telle que :

- pour tout $t \in I$, $f(\cdot, t)$ est de classe \mathcal{C}^1 sur A ;
- pour tout $x \in A$, $f(x, \cdot)$ est intégrable sur I ;
- pour tout $x \in A$, $\frac{\partial f}{\partial x}(x, \cdot)$ est continue par morceaux sur I ;
- il existe une fonction φ positive intégrable sur I telle que, pour tout x de A , $\left| \frac{\partial f}{\partial x}(x, \cdot) \right| \leq \varphi$.

Alors $g : x \mapsto \int_I f(x, t) dt$ est de classe \mathcal{C}^1 sur A et vérifie :

$$\forall x \in A, \quad g'(x) = \int_I \frac{\partial f}{\partial x}(x, t) dt.$$

Extension à la classe \mathcal{C}^k d'une intégrale à paramètre, sous hypothèse de domination de $\frac{\partial^k f}{\partial x^k}(x, t)$ et d'intégrabilité des $\frac{\partial^j f}{\partial x^j}(x, \cdot)$ pour $0 \leq j \leq k-1$.

En pratique, on vérifie l'hypothèse de domination sur tout segment de A , ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.

Exemples d'études de fonctions définies comme intégrales à paramètre : régularité, étude asymptotique.

Variables aléatoires discrètes

Cette section généralise aux variables aléatoires discrètes l'étude menée en première année des variables aléatoires à valeurs dans un ensemble fini. Cette généralisation nécessite d'introduire des notions générales de théorie des probabilités, lesquelles font l'objet d'un exposé à minima. En particulier :

- la notion de tribu, introduite pour donner un cadre rigoureux, n'appelle aucun développement théorique ;
- la construction d'espaces probabilisés n'est pas un objectif du programme ;
- les diverses notions de convergence (presque sûre, en probabilité, en loi) sont hors programme.

La théorie des familles sommables permet une extension très naturelle des notions et résultats vus en première année. Cette extension est effectuée rapidement, de manière à libérer du temps pour les exemples et exercices. L'objectif de l'enseignement est en effet de renforcer la compréhension de l'aléatoire, en lien avec d'autres parties du programme. On pourra ainsi faire travailler les étudiants sur divers objets aléatoires (permutations, graphes, matrices...) les inégalités de concentration et des exemples de processus à temps discret (marches aléatoires, chaînes de Markov...).

La notion de variable à densité est hors programme.

La notion d'espérance conditionnelle est hors programme.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Ensembles dénombrables

Un ensemble est dit dénombrable s'il est en bijection avec \mathbb{N} .

Un ensemble est fini ou dénombrable si et seulement s'il est en bijection avec une partie de \mathbb{N} .

Un produit cartésien fini d'ensembles dénombrables est dénombrable. Une réunion finie ou dénombrable d'ensembles finis ou dénombrables est finie ou dénombrable.

L'ensemble \mathbb{R} n'est pas dénombrable.

Les parties infinies de \mathbb{N} sont dénombrables.

Un tel ensemble est dit au plus dénombrable.

Les démonstrations ne sont pas exigibles.
Les ensembles \mathbb{N}^p ($p \in \mathbb{N}^*$), \mathbb{Z} et \mathbb{Q} sont dénombrables. Le support d'une famille sommable de nombres complexes est dénombrable.

La démonstration n'est pas exigible.

b) Espaces probabilisés

Tribu sur un ensemble Ω . Espace probabilisable (Ω, \mathcal{A}) .

Événements.

Probabilité sur un espace probabilisable, σ -additivité.

Espace probabilisé (Ω, \mathcal{A}, P) .

Continuité croissante, continuité décroissante.

La manipulation de tribus n'est pas un objectif du programme.

Généralisation du vocabulaire relatif aux événements introduit en première année.

Application : pour une suite $(A_n)_{n \in \mathbb{N}}$ d'événements (non nécessairement monotone), limites quand n tend vers l'infini de

$$P\left(\bigcup_{k=0}^n A_k\right) \quad \text{et} \quad P\left(\bigcap_{k=0}^n A_k\right).$$

Propriété de sous-additivité de P pour une réunion dénombrable d'événements.

Événements négligeables, événements presque sûrs. Une réunion (resp. intersection) finie ou dénombrable d'événements négligeables (resp. presque sûrs) est un événement négligeable (resp. presque sûr).

Systèmes quasi-complets d'événements.

Tout développement supplémentaire sur ces notions est hors programme.

c) Probabilités conditionnelles et indépendance

Extension des résultats vus en première année : probabilité conditionnelle, formule des probabilités composées, formule des probabilités totales, formule de Bayes.

Par définition, les événements A et B sont indépendants si $P(A \cap B) = P(A)P(B)$.

Famille d'événements indépendants.

Si A et B sont indépendants, A et \bar{B} le sont aussi.

Notations $P_B(A)$, $P(A|B)$.

Lorsque $P(B) > 0$, l'indépendance de A et B s'écrit $P(A|B) = P(A)$.

L'indépendance deux à deux n'implique pas l'indépendance.

d) Espaces probabilisés discrets

Si Ω est un ensemble, une distribution de probabilités discrètes sur Ω est une famille d'éléments de \mathbb{R}^+ indexée par Ω et de somme 1.

Probabilité définie sur $\mathcal{A} = \mathcal{P}(\Omega)$ associée à une distribution de probabilités discrètes sur Ω .

Support d'une distribution de probabilités discrète ; le support est au plus dénombrable.

Si Ω est au plus dénombrable, on obtient ainsi toutes les probabilités sur $\mathcal{P}(\Omega)$.

e) Variables aléatoires discrètes

Une variable aléatoire discrète X définie sur l'espace probabilisé (Ω, \mathcal{A}, P) et à valeurs dans E est une application définie sur Ω , à valeurs dans l'ensemble E , telle que $X(\Omega)$ soit au plus dénombrable et que, pour tout $x \in X(\Omega)$, l'ensemble $X^{-1}(\{x\})$ appartienne à \mathcal{A} .

Loi P_X d'une variable aléatoire discrète X .

Dans ce qui suit, toutes les variables aléatoires sont supposées discrètes.

La probabilité P_X est déterminée par la distribution de probabilités discrète $(P(X = x))_{x \in X(\Omega)}$.

Notation $X \sim Y$.

Variable aléatoire $f(X)$.

Si $X \sim Y$ alors $f(X) \sim f(Y)$.

Loi conditionnelle d'une variable aléatoire X sachant un événement A .

Couple de variables aléatoires. Loi conjointe, lois marginales.

Détermination des lois marginales à partir de la loi conjointe.

Notations $(X = x)$, $(X \in A)$, $\{X = x\}$, $\{X \in A\}$.

Lorsque $E = \mathbb{R}$, la variable aléatoire X est dite réelle.

Notations $(X \leq x)$, $(X \geq x)$, $(X < x)$, $(X > x)$ (et analogues avec accolades) pour une variable aléatoire réelle X .

La loi de X peut au besoin être définie sur un ensemble contenant $X(\Omega)$.

La notation $X \sim Y$ ne suppose pas que X et Y sont définies sur le même espace probabilisé.

Un couple est une variable aléatoire à valeurs dans un produit.

Notation $P(X = x, Y = y)$.

Extension aux n -uplets de variables aléatoires.

f) Variables aléatoires indépendantes

Couple de variables aléatoires indépendantes, famille finie de variables aléatoires indépendantes.

Famille quelconque de variables aléatoires indépendantes.

Fonctions de variables aléatoires indépendantes : si $X \perp\!\!\!\perp Y$, alors $f(X) \perp\!\!\!\perp g(Y)$

Lemme des coalitions :

si les variables aléatoires X_1, \dots, X_n sont indépendantes, les variables aléatoires $f(X_1, \dots, X_m)$ et $g(X_{m+1}, \dots, X_n)$ le sont aussi.

Existence d'espaces probabilisés portant une suite de variables indépendantes de lois discrètes données.

Notation $X \perp\!\!\!\perp Y$.

Les variables aléatoires X et Y sont indépendantes si et seulement si la distribution de probabilités de (X, Y) est le produit des distributions de probabilités de X et Y .
Extension aux n -uplets de variables aléatoires.

Extension au cas de plus de deux variables.

Extension au cas de plus de deux coalitions.

La démonstration est hors programme.

Suites i.i.d. Modélisation du jeu de pile ou face infini : suite i.i.d. de variables de Bernoulli.

g) Lois usuelles

Pour p dans $]0, 1[$, loi géométrique de paramètre p .

Variable géométrique de paramètre p .

Pour λ dans \mathbb{R}_+^* , loi de Poisson de paramètre λ .

Variable de Poisson de paramètre λ .

Notations $\mathcal{G}(p)$, $X \sim \mathcal{G}(p)$.

Interprétation comme rang du premier succès dans le jeu de pile ou face infini.

Notations $\mathcal{P}(\lambda)$, $X \sim \mathcal{P}(\lambda)$.

Interprétation en termes d'événements rares.

h) Espérance d'une variable aléatoire réelle ou complexe

Si X est une variable aléatoire à valeurs dans $\mathbb{R}^+ \cup \{+\infty\}$, l'espérance de X est la somme, dans $[0, +\infty]$, de la famille $(x P(X = x))_{x \in X(\Omega)}$.

Pour une variable aléatoire à valeurs dans $\mathbb{N} \cup \{+\infty\}$, égalité $E(X) = \sum_{n=1}^{+\infty} P(X \geq n)$.

Une variable aléatoire complexe X est dite d'espérance finie si la famille $(x P(X = x))_{x \in X(\Omega)}$ est sommable; dans ce cas, la somme de cette famille est l'espérance de X .

Espérance d'une variable géométrique, d'une variable de Poisson.

Formule de transfert : soit X une variable aléatoire discrète, f une fonction définie sur $X(\Omega)$ à valeurs complexes; alors $f(X)$ est d'espérance finie si et seulement si la famille $(f(x) P(X = x))_{x \in X(\Omega)}$ est sommable; si tel est le cas : $E(f(X)) = \sum_{x \in X(\Omega)} f(x) P(X = x)$.

Linéarité, positivité, croissance, inégalité triangulaire.

Si $|X| \leq Y$ et si $Y \in L^1$, alors $X \in L^1$.

Si X et Y sont dans L^1 et indépendantes, alors XY est dans L^1 et :

$$E(XY) = E(X) E(Y).$$

Notation $E(X)$.

Notation $E(X)$. Variables centrées.

La notation $X \in L^1$ signifie que X est d'espérance finie. On ne soulèvera aucune difficulté quant à la définition précise de L^1 .

Caractérisation des variables aléatoires à valeurs dans \mathbb{R}^+ d'espérance nulle.

Extension au cas de n variables aléatoires.

i) Variance d'une variable aléatoire réelle, écart type et covariance

Si $E(X^2) < +\infty$, X est d'espérance finie.

Inégalité de Cauchy-Schwarz : si X et Y sont dans L^2 , XY est dans L^1 et $E(XY)^2 \leq E(X^2) E(Y^2)$.

Pour $X \in L^2$, variance et écart type de X .

Relation $V(X) = E(X^2) - E(X)^2$.

Relation $V(aX + b) = a^2 V(X)$.

Variance d'une variable géométrique, d'une variable de Poisson.

Covariance de deux variables aléatoires de L^2 .

Relation $\text{Cov}(X, Y) = E(XY) - E(X)E(Y)$. Cas de variables indépendantes.

Variance d'une somme de n variables aléatoires, cas de variables décorréliées.

La notation $X \in L^2$ signifie que X^2 est d'espérance finie. On ne soulèvera aucune difficulté quant à la définition précise de L^2 .

Cas d'égalité.

Notations $V(X), \sigma(X)$. Variables réduites.

Caractérisation des variables aléatoires de variance nulle.

Si $\sigma(X) > 0$, la variable aléatoire $\frac{X - E(X)}{\sigma(X)}$ est centrée réduite.

j) Inégalités probabilistes et loi faible des grands nombres

Inégalité de Markov.

Inégalité de Bienaymé-Tchebychev.

Loi faible des grands nombres : si $(X_n)_{n \geq 1}$ est une suite i.i.d. de variables aléatoires de variance finie, alors, pour tout $\varepsilon > 0$,

$$P\left(\left|\frac{S_n}{n} - m\right| \geq \varepsilon\right) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0,$$

où $S_n = \sum_{k=1}^n X_k$ et $m = E(X_1)$.

Utilisation des inégalités de Markov et de Bienaymé-Tchebychev pour établir des inégalités de concentration.

k) Fonctions génératrices

Fonction génératrice de la variable aléatoire X à valeurs

$$\text{dans } \mathbb{N} : G_X(t) = E(t^X) = \sum_{k=0}^{+\infty} P(X = k) t^k.$$

Détermination de la loi de X par G_X .

La variable aléatoire X est d'espérance finie si et seulement si G_X est dérivable en 1 ; dans ce cas $E(X) = G_X'(1)$.

Fonction génératrice d'une somme finie de variables aléatoires indépendantes à valeurs dans \mathbb{N} .

La série entière définissant G_X est de rayon supérieur ou égal à 1 et converge normalement sur le disque fermé de centre 0 et de rayon 1. Continuité de G_X .

La démonstration de la réciproque n'est pas exigible.

Utilisation de G_X pour le calcul de $E(X)$ et $V(X)$.

Les étudiants doivent savoir calculer rapidement la fonction génératrice d'une variable aléatoire de Bernoulli, binomiale, géométrique, de Poisson.

Équations différentielles linéaires

La notion générale d'équation différentielle linéaire est introduite à partir des exemples étudiés en première année : équation scalaire d'ordre 1, équation scalaire homogène d'ordre 2 à coefficients constants.

La pratique de la résolution explicite des systèmes linéaires à coefficients constants n'est pas un objectif du programme. On limite en conséquence la technicité des exercices sur ce point. On peut en revanche présenter aux étudiants divers exemples d'études qualitatives d'équations différentielles linéaires scalaires ou de systèmes linéaires. Concernant les systèmes à coefficients constants, on pourra souligner le rôle du signe des parties réelles des valeurs propres de la matrice ; on pourra également, en dimension 2, représenter les courbes intégrales.

Dans cette section, I est un intervalle de \mathbb{R} , E un espace normé de dimension finie.

a) Généralités

Équation différentielle linéaire :

$$x' = a(t) \cdot x + b(t)$$

où a est une application continue de I dans $\mathcal{L}(E)$ et b une application continue de I dans E .

Problème de Cauchy.

Représentation d'une équation scalaire linéaire d'ordre n par un système différentiel linéaire.

Problème de Cauchy pour une équation linéaire scalaire d'ordre n .

Forme matricielle : système différentiel linéaire

$$X' = A'(t)X + B(t).$$

Équation différentielle homogène associée à une équation différentielle linéaire. Principe de superposition.

Mise sous forme intégrale d'un problème de Cauchy.

b) Solutions d'une équation différentielle linéaire

Théorème de Cauchy linéaire : existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy.

Cas des équations scalaires d'ordre n .

Cas des équations homogènes : l'ensemble des solutions est un sous-espace vectoriel de $\mathcal{F}(I, E)$. Pour t_0 dans I , l'application $x \mapsto x(t_0)$ est un isomorphisme de cet espace sur E .

Dimension de l'espace des solutions. Cas des équations scalaires homogènes d'ordre n .

Structure de l'ensemble des solutions d'une équation avec second membre.

Exemples d'équations différentielles linéaires scalaires d'ordre 1 ou 2 non normalisées :

$$a(t)x' + b(t)x = c(t), \quad a(t)x'' + b(t)x' + c(t)x = d(t).$$

La démonstration n'est pas exigible.

Adaptation aux systèmes différentiels linéaires.

Exemples de recherche de solutions développables en série entière.

c) Exponentielle d'un endomorphisme, d'une matrice

Exponentielle d'un endomorphisme d'un espace normé de dimension finie, d'une matrice réelle ou complexe.
 Exponentielle d'une matrice diagonale. Exponentielle de matrices semblables. Spectre de $\exp(A)$.
 Continuité de l'exponentielle sur $\mathcal{L}(E)$, sur $\mathcal{M}_n(\mathbb{K})$.
 Dérivation de $t \mapsto \exp(ta)$ de $t \mapsto \exp(tA)$.
 Exponentielle de la somme de deux endomorphismes, de deux matrices carrées, qui commutent.

Notations $\exp(a)$, e^a , $\exp(A)$, e^A .

d) Systèmes différentiels linéaires homogènes à coefficients constants

Résolution du problème de Cauchy

$$x' = a(x), \quad x(t_0) = x_0$$

si a est un endomorphisme de E et x_0 un élément de E .

Traduction matricielle.

Pour les calculs explicites, on se limite aux deux cas suivants : a diagonalisable ou $\dim(E) \leq 3$.

e) Variation des constantes

Pour une équation différentielle linéaire scalaire homogène d'ordre 2, wronskien d'un couple de solutions. Caractérisation des bases de l'espace des solutions.
 Méthode de variation des constantes pour les équations différentielles linéaires d'ordre 2.

Calcul différentiel et optimisation

En première année, l'étudiant a rencontré les dérivées partielles d'une fonction numérique définie sur un ouvert de \mathbb{R}^2 . Les objectifs de cette section sont les suivants :

- généraliser et approfondir cette étude, en présentant les notions fondamentales de calcul différentiel dans le cadre des espaces vectoriels normés de dimension finie sur \mathbb{R} ;
- donner une introduction à la thématique de l'optimisation, en lien avec le théorème des bornes atteintes du cours de topologie.

On souligne le caractère géométrique des notions. En particulier, on exploite la possibilité de se ramener, pour un certain nombre de questions, à des fonctions d'une variable réelle, à travers l'utilisation de la formule donnant la dérivée d'une fonction le long d'un arc et la notion de vecteur tangent à une partie en un point.

Les fonctions considérées dans cette section sont définies sur un ouvert d'un \mathbb{R} -espace vectoriel normé E de dimension finie et à valeurs dans un \mathbb{R} -espace vectoriel normé F de dimension finie.

Le choix d'une base de l'espace d'arrivée permet de se ramener au cas des fonctions à valeurs réelles.

a) Dérivée selon un vecteur, dérivées partielles

Dérivée de l'application f au point a selon le vecteur v .

Notations $D_v f(a)$, $D_v f$.

Dérivées partielles dans une base.

Notations $\frac{\partial f}{\partial x_i}(a)$, $\partial_i f(a)$.

Lorsqu'une base de E est fixée, identification entre $f(x)$ et $f(x_1, \dots, x_n)$.

b) Différentielle

Application différentiable au point a .

Notation $o(h)$. Développement limité à l'ordre 1.

Lorsque $f = (f_1, \dots, f_p)$, f est différentiable en a si et seulement si toutes les f_i le sont.

Si f est différentiable en a , alors f est continue en a et dérivable en a selon tout vecteur.

Différentielle de f en a , encore appelée application linéaire tangente à f en a . Unicité de la différentielle et relation $df(a) \cdot v = D_v f(a)$.

Application différentiable sur un ouvert Ω . Différentielle sur Ω .

Cas particuliers : application constante, application linéaire.

Lien entre différentielle et dérivées partielles.

Cas des fonctions d'une variable : si Ω est un intervalle ouvert de \mathbb{R} , la différentiabilité de f en a équivaut à la dérivabilité de f en a ; relation $f'(a) = df(a) \cdot 1$.

Si l'espace E est euclidien, gradient en a d'une application numérique différentiable en a . Expression du gradient en base orthonormée.

Notation $df(a)$.

Notation df .

Si Ω est un ouvert de \mathbb{R}^n et si f est à valeurs dans \mathbb{R}^m , la matrice jacobienne de f en a est la matrice de $df(a)$ dans les bases canoniques.

Notation $\nabla f(a)$.

Interprétation géométrique : si $\nabla f(a) \neq 0$, $\nabla f(a)$ est positivement colinéaire au vecteur unitaire selon lequel la dérivée de f en a est maximale.

c) Opérations sur les applications différentiables

Différentielle d'une combinaison linéaire d'applications différentiables, de $M(f_1, \dots, f_p)$ où M est multilinéaire et où f_1, \dots, f_p sont des applications différentiables.

Règle de la chaîne : différentielle d'une composée d'applications différentiables.

Dérivée le long d'un arc : si γ est une application définie sur l'intervalle I de \mathbb{R} , dérivable en t , si f est différentiable en $\gamma(t)$, alors $(f \circ \gamma)'(t) = df(\gamma(t)) \cdot \gamma'(t)$.

Dérivées partielles d'une composée d'applications différentiables.

Interprétation géométrique en termes de tangentes.

Cas particulier fondamental : $\gamma(t) = x + tv$.

Dérivation de $t \mapsto f(x_1(t), \dots, x_n(t))$.

Dérivées partielles de

$$(u_1, \dots, u_m) \mapsto f(x_1(u_1, \dots, u_m), \dots, x_n(u_1, \dots, u_m)).$$

d) Applications de classe \mathcal{C}^1

Une application f est dite de classe \mathcal{C}^1 sur un ouvert Ω si elle est différentiable sur Ω et si df est continue sur Ω . L'application f est de classe \mathcal{C}^1 sur Ω si et seulement si les dérivées partielles relativement à une base de E existent en tout point de Ω et sont continues sur Ω .

Opérations algébriques sur les applications de classe \mathcal{C}^1 . Si f est une application de classe \mathcal{C}^1 de Ω dans F , si γ est une application de classe \mathcal{C}^1 de $[0, 1]$ dans Ω , si $\gamma(0) = a$ et $\gamma(1) = b$, alors :

$$f(b) - f(a) = \int_0^1 df(\gamma(t)) \cdot \gamma'(t) dt.$$

Si Ω est connexe par arcs, caractérisation des fonctions constantes sur Ω .

La démonstration n'est pas exigible.

Cas particulier $\gamma(t) = a + tv$ pour tout $t \in [0, 1]$.

Démonstration pour Ω convexe.

e) Vecteurs tangents à une partie d'un espace normé de dimension finie

Si X est une partie de E et x un point de X , un vecteur v de E est tangent à X en x s'il existe $\varepsilon > 0$ et un arc γ défini sur $] -\varepsilon, \varepsilon[$, à valeurs dans X , dérivable en 0, tel que $\gamma(0) = x, \gamma'(0) = v$.

Notation $T_x X$ pour l'ensemble des vecteurs tangents à X en x .

Exemples : sous-espace affine, sphère d'un espace euclidien, graphe d'une fonction numérique définie sur un ouvert de \mathbb{R}^2 .

Si g est une fonction numérique définie et de classe \mathcal{C}^1 sur l'ouvert Ω de E , si $x \in X$ et $dg(x) \neq 0$, alors $T_x X$ est égal au noyau de $dg(x)$.

La démonstration de cet énoncé et le théorème des fonctions implicites sont hors programme.

Traduction en termes de gradient si E est euclidien, en particulier pour $E = \mathbb{R}^n$ muni de sa structure euclidienne canonique.

Exemple : plan tangent à une surface de \mathbb{R}^3 définie par une équation.

f) Optimisation : étude au premier ordre

Point critique d'une application différentiable.

Condition nécessaire d'existence d'un extremum local en un point intérieur.

Si f est une fonction numérique définie sur l'ouvert Ω , si X est une partie de Ω , si la restriction de f à X admet un extremum local en x et si f est différentiable en x , alors $df(x)$ s'annule en tout vecteur tangent à X en x .

Théorème d'optimisation sous une contrainte : si f et g sont des fonctions numériques définies et de classe \mathcal{C}^1 sur l'ouvert Ω de E , si X est l'ensemble des zéros de g , si $x \in X$ et $dg(x) \neq 0$ et si la restriction de f à X admet un extremum local en x , alors $df(x)$ est colinéaire à $dg(x)$.

Exemples de recherches d'extremums globaux.

Si E est euclidien, traduction en termes de gradient.

Exemples de recherches d'extremums sous contrainte.

g) Applications de classe \mathcal{C}^k

Dérivées partielles d'ordre k d'une fonction définie sur un ouvert de \mathbb{R}^n .

Une application est dite de classe \mathcal{C}^k sur un ouvert Ω de \mathbb{R}^n si ses dérivées partielles d'ordre k existent et sont continues sur Ω .

Théorème de Schwarz.

Opérations algébriques sur les applications de classe \mathcal{C}^k .

Composition d'applications de classe \mathcal{C}^k .

Notations $\frac{\partial^k f}{\partial x_{j_k} \dots \partial x_{j_1}}, \partial_{j_k} \dots \partial_{j_1} f, \partial_{j_1, \dots, j_k} f$.

La notion de différentielle seconde est hors programme.

La démonstration n'est pas exigible.

Les démonstrations ne sont pas exigibles.

Exemples simples d'équations aux dérivées partielles du premier et du second ordre.

h) Optimisation : étude au second ordre

Matrice hessienne en un point d'une fonction de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert de \mathbb{R}^n , à valeurs réelles.

Formule de Taylor-Young à l'ordre 2 :

$$f(x+h) \underset{h \rightarrow 0}{=} f(x) + \langle \nabla f(x), h \rangle + \frac{1}{2} \langle H_f(x) \cdot h, h \rangle + o(\|h\|^2),$$

$$f(x+h) \underset{h \rightarrow 0}{=} f(x) + \nabla f(x)^\top h + \frac{1}{2} h^\top H_f(x) h + o(\|h\|^2).$$

Si f est une fonction de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert de \mathbb{R}^n et si f admet un minimum local en x , alors x est point critique de f et $H_f(x) \in \mathcal{S}_n^+(\mathbb{R})$.

Si f est une fonction de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert de \mathbb{R}^n , si x est point critique de f et si $H_f(x) \in \mathcal{S}_n^{++}(\mathbb{R})$, alors f atteint un minimum local strict en x .

Notation $H_f(x)$.

La démonstration n'est pas exigible.

Adaptation au cas d'un maximum local.

Adaptation au cas d'un maximum local.

Explicitation pour $n = 2$ (trace et déterminant).



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Mathématiques et physique (MP)

Annexe 2

Programme de physique-chimie

Programme de physique-chimie de la voie MP

Préambule

Objectifs de formation

Le programme de physique-chimie de la classe de MP est conçu comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques s'appuyant sur celles déjà travaillées au lycée et en classe de MPSI. Le programme vise à préparer les étudiants à un cursus d'ingénieur, de chercheur ou d'enseignant. Il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique : observer et s'approprier, analyser et modéliser, réaliser et valider, et enfin communiquer et valoriser ses résultats.

L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour l'enseignant. Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales qui développent la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est au cœur de son enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ces derniers auront à le faire dans l'exercice de leur métier.

De même, l'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte la place nouvelle des sciences numériques dans la formation des scientifiques notamment dans le domaine de la simulation. Elles offrent aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation avancée du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires.

La démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits, et celui des modèles et des théories. L'enseignant doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative. La construction d'un modèle passe aussi par l'utilisation maîtrisée des mathématiques dont un des fondateurs de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde.

Enfin, l'autonomie et la prise d'initiative sont spécifiquement développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes » qui visent à exercer les étudiants à mobiliser de façon complémentaire connaissances et capacités pour répondre à un questionnement ou atteindre un but sans qu'aucune démarche de résolution ne soit fournie.

Organisation du programme

Le programme est organisé en deux parties.

Dans la première partie, intitulée « **Formation expérimentale** », sont décrits les objectifs de formation sur le thème « Mesures et incertitudes » ainsi que les méthodes et les capacités expérimentales que les étudiants doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre doit notamment s'appuyer sur des problématiques concrètes identifiées en gras dans la seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». Elles doivent être programmées par l'enseignant de façon à assurer un apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.

La seconde partie, intitulée « **Contenus thématiques** » est structurée autour de neuf thèmes : « Mécanique », « Éléments de traitement du signal », « Optique », « Électromagnétisme », « Thermodynamique », « Physique quantique », « Éléments de thermodynamique statistique », « Transformations chimiques de la matière : aspects thermodynamiques » et « aspects

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie MP

thermodynamique et cinétique de l'électrochimie ». La présentation en deux colonnes (« notions et contenus » et « capacités exigibles ») met en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise.

Certains items de cette seconde partie, **identifiés en caractères gras** dans la colonne « capacités exigibles », se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant doivent être privilégiées. La présence de capacités numériques explicitées atteste par ailleurs de la volonté de renforcer ce volet de la formation des étudiants.

Trois annexes sont consacrées d'une part au matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes, d'autre part aux outils mathématiques et aux outils numériques que les étudiants doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie à la fin de l'année de la classe de MP.

Ce programme précise les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il n'impose en aucun cas une progression ; celle-ci relève de la liberté pédagogique de l'enseignant.

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'ensemble des activités proposées en classe préparatoire aux grandes écoles – activités expérimentales, résolutions de problèmes, TIPE, etc. – permet de travailler les compétences de la démarche scientifique qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation en CPGE. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la situation étudiée. - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau, etc.). - Énoncer ou dégager une problématique scientifique. - Représenter la situation par un schéma modèle. - Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. - Relier le problème à une situation modèle connue. - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.
Analyser / Reasonner	<ul style="list-style-type: none"> - Formuler des hypothèses. - Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples. - Proposer une stratégie pour répondre à une problématique. - Choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle ou des lois physiques. - Évaluer des ordres de grandeur. - Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations. - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de documents.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle.

	<ul style="list-style-type: none"> - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une photo. - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure. - Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant des règles de sécurité. - Effectuer des représentations graphiques à partir de données. - Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques. - Conduire une analyse dimensionnelle.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes. - Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document, à ses connaissances. - Confirmer ou infirmer une hypothèse, une information. - Analyser les résultats de manière critique. - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude, etc.). - Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente. o rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation. o utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, graphes, cartes mentales, etc.). - Écouter, confronter son point de vue.

Le niveau de maîtrise de ces compétences dépend de **l'autonomie et de l'initiative** requises dans les activités proposées aux étudiants sur les notions et capacités exigibles du programme.

La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à l'histoire de l'évolution des idées, des modèles et des théories en physique-chimie, à des questions liées à la recherche scientifique actuelle et à des enjeux citoyens comme la responsabilité individuelle et collective, la **sécurité** pour soi et pour autrui, **l'environnement** et le **développement durable** ou encore le **réchauffement climatique**.

Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, l'enseignant organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- privilégier la mise en activité des étudiants en évitant tout dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences est d'autant plus efficace que les étudiants sont acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment favoriser la réflexion, le raisonnement, la participation et l'autonomie des étudiants. L'investigation expérimentale et la résolution de problèmes facilitent cette mise en activité ;
- recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés industriels ou d'objets technologiques. Le recours à des approches documentaires est un moyen pertinent pour diversifier les supports d'accès à l'information scientifique et technologique et ainsi former l'étudiant à mieux en appréhender la complexité et à apprendre par lui-même. Lorsque le

- thème traité s'y prête, l'enseignant peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, avec des questions d'actualité ou des débats d'idées ;
- contribuer à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines scientifiques : mathématiques, informatique, sciences industrielles de l'ingénieur.

Concernant l'évaluation, qui vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants, l'enseignant veille soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Enfin, le professeur veille aussi à développer chez les étudiants des compétences transversales et préprofessionnelles relatives aux capacités suivantes :

- identifier les différents champs professionnels et les parcours pour y accéder ;
- valoriser ses compétences scientifiques et techniques en lien avec son projet de poursuite d'études ou professionnel.

Formation expérimentale

Cette partie est spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiants lors des séances de travaux pratiques.

Dans un premier temps, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la mesure et de l'évaluation des incertitudes. Elle présente ensuite de façon détaillée l'ensemble des capacités expérimentales qui doivent être acquises en autonomie par les étudiants à l'issue de leur seconde année de CPGE. Enfin, elle aborde la question de la prévention du risque au laboratoire de physique-chimie.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans l'annexe 1 du présent programme.

1. Mesures et incertitudes

Les notions et capacités identifiées ci-dessous couvrent les deux années de formation en classe préparatoire aux grandes écoles ; leur pleine maîtrise est donc un objectif de fin de seconde année.

L'accent est mis sur la variabilité de la mesure d'une grandeur physique et sa caractérisation à l'aide de l'incertitude-type. La comparaison entre deux valeurs mesurées d'une même grandeur physique est conduite au moyen de l'écart normalisé, l'objectif principal étant de développer l'esprit critique des étudiants en s'appuyant sur un critère quantitatif. Le même esprit prévaut dans l'analyse des résultats d'une régression linéaire qui ne saurait s'appuyer sur l'exploitation non raisonnée du coefficient de corrélation (R^2).

Le recours à la simulation vise à illustrer, sur la base de mesures expérimentales, différents effets de la variabilité de la mesure d'une grandeur physique dans les cas des incertitudes-types composées et de la régression linéaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Incertitude. Incertitude-type.	Identifier les incertitudes liées, par exemple, à l'opérateur, à l'environnement, aux instruments ou à la méthode de mesure. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B). Associer un intervalle de confiance à l'écart-type dans l'hypothèse d'une distribution suivant la loi normale.
Incertitudes-types composées.	Évaluer l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, à l'aide d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée. <u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs ; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé. Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.
Régression linéaire.	Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle. Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude ou analyse des écarts normalisés. <u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation Monte-Carlo – pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle.

2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les étudiants doivent acquérir au cours de l'année de MP durant les séances de travaux pratiques. Elle vient
© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie MP

prolonger la partie correspondante du programme de MPSI dont les capacités doivent être complètement acquises à l'issue des deux années de préparation, et restent donc au programme de la classe de MP.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret. À ce titre, elle vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

Les activités expérimentales sur le thème de la chimie sont aussi l'occasion de consolider les savoir-faire de la classe de MPSI en particulier dans le domaine des solutions aqueuses.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesures de temps et de fréquences	
Analyse spectrale.	Mettre en évidence le phénomène de repliement du spectre provoqué par l'échantillonnage avec un oscilloscope numérique ou une carte d'acquisition. Choisir les paramètres d'une acquisition numérique destinée à une analyse spectrale afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon, tout en optimisant la résolution spectrale.
2. Électricité et électronique	
Filtrage analogique d'un signal périodique.	Mettre en évidence l'action d'un filtre linéaire sur un signal périodique dans les domaines fréquentiel et temporel.
Montages utilisant un amplificateur linéaire intégré (ALI).	Mettre en œuvre divers montages utilisant un ALI, les schémas des montages étant fournis.
Électronique numérique.	Utiliser un convertisseur analogique-numérique et un convertisseur numérique-analogique.
Ondes électromagnétiques.	Mettre en œuvre un détecteur d'ondes électromagnétiques dans le domaine des ondes centimétriques.
3. Optique	
Analyse d'une lumière.	Identifier, à l'aide d'un polariseur, une onde polarisée rectilignement et déterminer sa direction de polarisation. Mesurer une longueur d'onde à l'aide d'un goniomètre équipé d'un réseau.
Analyse d'une figure d'interférence.	Mettre en œuvre un photodétecteur en sortie d'un interféromètre.

Étude de la cohérence temporelle d'une source.	Régler un interféromètre de Michelson compensé pour une observation en lame d'air avec une source étendue à l'aide d'un protocole fourni. Obtenir une estimation de la longueur de cohérence d'une source et de l'écart spectral d'un doublet à l'aide d'un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air.
4. Thermodynamique	
Conduction thermique.	Mettre en œuvre un dispositif de mesure de conductivité thermique.
5. Thermodynamique de la transformation chimique et électrochimie	
Bilans d'énergie.	Mettre en œuvre une technique de calorimétrie. Déterminer la valeur en eau d'un calorimètre. Estimer les fuites thermiques lors d'expériences réalisées avec un calorimètre.
Mesures de grandeurs électriques. : conductance-conductivité, tension électrique, intensité du courant.	Mettre en œuvre des mesures de grandeurs physiques pour déterminer la composition d'un système chimique.
Électrochimie.	Mettre en œuvre un dispositif à trois électrodes pour tracer des courbes courant-potentiel. Mettre en œuvre des piles et des électrolyseurs.

3. Prévention du risque au laboratoire de physique-chimie

Les étudiants doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique, optique et celles liées à la pression et à la température leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention des risques au laboratoire	Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
- Risque chimique Règles de sécurité au laboratoire. Classes et catégories de danger. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Mentions de danger (H) et conseils de prudence (P). Fiches de sécurité.	Relever les indications sur le risque associé au prélèvement, au mélange et au stockage des produits chimiques et adopter une attitude responsable lors de leur utilisation.
- Risque électrique	Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
- Risque optique	Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie MP

<p>- Risques liés à la pression et à la température</p>	<p>Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.</p>
<p>2. Prévention de l'impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.</p>	<p>Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.</p>

Contenus thématiques

Les contenus de la formation sont organisés autour de neuf thèmes.

1. Mécanique

- 1.1. Référentiels non galiléens
- 1.2. Lois du frottement solide

2. Éléments de traitement du signal

- 2.1. Signaux périodiques
- 2.2. Électronique numérique

3. Optique

- 3.1. Modèle scalaire des ondes lumineuses
- 3.2. Superposition d'ondes lumineuses
- 3.3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young
- 3.4. Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson éclairé par une source spatialement étendue

4. Électromagnétisme

- 4.1. Électrostatique
- 4.2. Magnétostatique
- 4.3. Équations de Maxwell
- 4.4. Énergie du champ électromagnétique
- 4.5. Propagation et rayonnement

5. Thermodynamique

- 5.1. Principes de la thermodynamique
- 5.2. Transferts thermiques

6. Physique quantique

- 6.1. Fonction d'onde et équation de Schrödinger
- 6.2. Particule libre
- 6.3. États stationnaires d'une particule dans des potentiels constants par morceaux
- 6.4. États non stationnaires d'une particule dans un puits de potentiel infini

7. Éléments de thermodynamique statistique

- 7.1. Facteur de Boltzmann
- 7.2. Système à spectres discrets d'énergie
- 7.3. Capacités thermiques classiques des gaz et des solides

8. Transformations chimiques de la matière : aspects thermodynamiques

- 8.1. Premier principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques
- 8.2. Deuxième principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques

9. Aspects thermodynamique et cinétique de l'électrochimie

- 9.1. Étude thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction
- 9.2. Étude cinétique des réactions d'oxydo-réduction : courbe courant-potentiel
- 9.3. Stockage et conversion d'énergie chimique dans des dispositifs électrochimiques
- 9.4. Corrosion humide et électrochimique

1. Mécanique

Le programme de mécanique de MP vise à compléter les acquis de mécanique du cours de MPSI. Il est structuré en deux sous-parties : la première est consacrée aux changements de référentiels, la seconde aux conséquences mécaniques des actions de frottements entre solides.

La partie intitulée « **Référentiels non galiléens** » est organisée autour de deux situations : la translation et la rotation uniforme autour d'un axe fixe. L'accent est mis sur la compréhension qualitative des effets observés, l'évaluation des ordres de grandeurs et les conséquences expérimentales.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1. Référentiels non galiléens	
Mouvement d'un référentiel par rapport à un autre dans les cas du mouvement de translation et du mouvement de rotation uniforme autour d'un axe fixe.	Reconnaître et caractériser un mouvement de translation et un mouvement de rotation uniforme autour d'un axe fixe d'un référentiel par rapport à un autre.
Vecteur rotation d'un référentiel par rapport à un autre.	Exprimer le vecteur rotation d'un référentiel par rapport à un autre.
Composition des vitesses et des accélérations dans le cas d'une translation, et dans le cas d'une rotation uniforme autour d'un axe fixe : vitesse d'entraînement, accélérations d'entraînement et de Coriolis.	Relier les dérivées d'un vecteur dans des référentiels différents par la relation de la dérivation composée. Citer et utiliser les expressions de la vitesse d'entraînement et des accélérations d'entraînement et de Coriolis.
Dynamique du point en référentiel non galiléen dans le cas où le référentiel entraîné est en translation, ou en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen. Forces d'inertie.	Exprimer les forces d'inerties, dans les seuls cas où le référentiel entraîné est en translation, ou en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen. Décrire et interpréter les effets des forces d'inertie dans des cas concrets : sens de la force d'inertie d'entraînement dans un mouvement de translation ; caractère centrifuge de la force d'inertie d'entraînement dans le cas où le référentiel est en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen. Utiliser les lois de la dynamique en référentiel non galiléen dans les seuls cas où le référentiel entraîné est en translation, ou en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen.

Caractère galiléen approché d'un référentiel. Exemple du référentiel de Copernic, du référentiel géocentrique et du référentiel terrestre.	Citer quelques manifestations du caractère non galiléen du référentiel terrestre. Estimer, en ordre de grandeur, la contribution de la force d'inertie de Coriolis dans un problème de dynamique terrestre.
--	---

La partie « **Lois du frottement solide** », est limitée au seul cas de la translation ; elle permet de mettre en œuvre un mode de raisonnement spécifique et particulièrement formateur, sans pour autant omettre les conséquences expérimentales.

1.2. Lois du frottement solide	
Contact entre deux solides. Aspects microscopiques. Lois de Coulomb du frottement de glissement dans le seul cas d'un solide en translation. Aspect énergétique.	Utiliser les lois de Coulomb dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage. Formuler une hypothèse (quant au glissement ou non) et la valider. Effectuer un bilan énergétique. Effectuer une mesure d'un coefficient de frottement. <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, simuler une situation mécanique dans laquelle intervient au moins un changement de mode de glissement.

2. Éléments de traitement du signal

Ce thème du programme, décomposé en deux parties, complète l'étude des circuits électriques linéaires menée dans la partie « **Ondes et signaux** » du programme de MPSI. La composante expérimentale est forte et les capacités exigibles ont vocation à être principalement développées au cours de séances de travaux pratiques.

Dans la première partie intitulée « **Signaux périodiques** », l'accent est mis sur l'action d'un filtre linéaire sur un signal périodique, l'objectif étant de comprendre le rôle central de la linéarité des systèmes pour interpréter ou prévoir la forme du signal résultant d'un filtrage.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1. Signaux périodiques	
Signaux périodiques.	Commenter le spectre d'un signal périodique : relier la décomposition spectrale et l'allure du signal dans le domaine temporel.
Action d'un filtre linéaire du premier ou du second ordre sur un signal périodique.	Prévoir l'effet d'un filtrage linéaire sur la composition spectrale d'un signal périodique. Expliciter les conditions pour obtenir un comportement intégrateur ou dérivateur. Mettre en œuvre un dispositif expérimental illustrant l'action d'un filtre sur un signal périodique.

La seconde partie intitulée « **Électronique numérique** » est à vocation uniquement expérimentale ; elle constitue une initiation au traitement numérique des signaux à travers les

points suivants : l'échantillonnage et le repliement de spectre, la conversion analogique/numérique et le filtrage numérique. Le phénomène de repliement de spectre est présenté qualitativement au moyen d'illustrations démonstratives, l'objectif étant de mettre en place la condition de Nyquist-Shannon afin de réaliser convenablement une acquisition numérique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2. Électronique numérique	
Échantillonnage, fréquence d'échantillonnage. Conséquences expérimentales du théorème de Nyquist-Shannon.	<p>Réaliser l'échantillonnage d'un signal. Choisir la fréquence d'échantillonnage afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon.</p> <p>Commenter la structure du spectre du signal obtenu après échantillonnage.</p> <p>Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre au moyen d'un oscilloscope numérique ou d'un logiciel de calcul numérique.</p>
Filtrage numérique.	<p>Mettre en œuvre un convertisseur analogique/numérique et un traitement numérique afin de réaliser un filtre passe-bas ; utiliser un convertisseur numérique/analogique pour restituer un signal analogique.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, simuler un filtrage numérique et visualiser son action sur un signal périodique.</p>

3. Optique

Le programme d'optique de la filière MP s'inscrit dans le prolongement du thème « **Ondes et signaux** » du programme de MPSI. Il s'agit pour les étudiants d'approfondir l'étude des phénomènes d'interférences lumineuses, dans le cadre du modèle ondulatoire de la lumière. L'approche reste centrée sur l'expérience, mais la modélisation doit permettre d'analyser de façon raisonnée les conditions optimales d'observation d'interférences lumineuses, et leur exploitation quantitative. L'enseignant ne manquera pas de rappeler que ces phénomènes, étudiés ici dans le cadre de l'optique, sont généralisables à tout comportement ondulatoire.

La partie « **Modèle scalaire des ondes lumineuses** » introduit les outils nécessaires pour décrire les phénomènes d'interférences. Le programme utilise le mot « intensité » pour décrire la grandeur détectée mais on peut utiliser indifféremment les mots « intensité » ou « éclaircissement » sans chercher à les distinguer à ce niveau. L'intensité lumineuse est introduite comme une puissance par unité de surface. Le théorème de Malus (orthogonalité des rayons de lumière et des surfaces d'ondes) est admis.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.1. Modèle scalaire des ondes lumineuses	
Modèle de propagation dans l'approximation de l'optique géométrique.	Utiliser une grandeur scalaire pour décrire un signal lumineux.

Chemin optique. Déphasage dû à la propagation. Surfaces d'ondes. Théorème de Malus (admis). Onde plane, onde sphérique ; effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss.	Exprimer le retard de phase en un point (par rapport à un autre) en fonction de la durée de propagation ou du chemin optique. Associer une description de la formation des images en termes de rayon lumineux et en termes de surfaces d'onde. Utiliser la propriété énonçant que le chemin optique séparant deux points conjugués est indépendant du rayon lumineux choisi.
Modèle d'émission. Relation (admise) entre le temps de cohérence et la largeur spectrale.	Citer l'ordre de grandeur du temps de cohérence Δt de quelques radiations visibles. Utiliser la relation $\Delta f \cdot \Delta t \sim 1$ pour relier le temps de cohérence à la largeur spectrale $\Delta \lambda$ de la radiation.
Récepteurs. Intensité de la lumière.	Relier l'intensité à la moyenne temporelle du carré de la grandeur scalaire de l'optique. Citer l'ordre de grandeur du temps de réponse de quelques récepteurs de lumière. Mettre en œuvre des expériences utilisant un capteur photographique numérique.

Dans la partie « **Superposition d'ondes lumineuses** », la formule de Fresnel, admise en classe de première année, est démontrée. L'étude de la superposition de N ondes cohérentes ne doit pas donner lieu à des développements calculatoires.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.2. Superposition d'ondes lumineuses	
Superposition de deux ondes incohérentes entre elles.	Justifier et utiliser l'additivité des intensités.
Superposition de deux ondes monochromatiques cohérentes entre elles : formule de Fresnel. Facteur de contraste.	Citer les principales conditions pour que le phénomène d'interférences apparaisse (ondes quasi synchrones, déphasage constant dans le temps ou très lentement variable). Établir et utiliser la formule de Fresnel. Associer un bon contraste à des ondes d'intensités voisines.
Superposition de N ondes monochromatiques cohérentes entre elles, de même amplitude et dont les phases sont en progression arithmétique.	Établir la relation fondamentale des réseaux liant la condition d'interférences constructives à l'expression de la différence de marche entre deux ondes issues de motifs consécutifs. Établir, par le calcul, la demi-largeur $2\pi/N$ des pics principaux de la courbe d'intensité en fonction du déphasage. Mettre en œuvre un dispositif expérimental utilisant un phénomène d'interférences à N ondes.

Dans la partie « **Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young** », les trous d'Young permettent de confronter théorie et expérience. Les fentes d'Young peuvent être abordées mais de manière exclusivement expérimentale. Aucune connaissance sur un autre diviseur du front d'onde n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young	
Trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif : source ponctuelle à distance finie et observation à grande distance. Champ d'interférences. Ordre d'interférences.	Définir, exprimer et utiliser l'interfrange et l'ordre d'interférences. Justifier que les franges ne sont pas localisées.
Variations de l'ordre d'interférences avec la position du point d'observation ; franges d'interférences.	Interpréter la forme des franges observées.
Variations de l'ordre d'interférences avec la position d'un point source. Perte de contraste par élargissement angulaire de la source.	Utiliser un critère de brouillage des franges portant sur l'ordre d'interférence.
Variations de l'ordre d'interférence avec la longueur d'onde. Perte de contraste par élargissement spectral de la source.	Utiliser un critère de brouillage des franges portant sur l'ordre d'interférence.

Dans la partie « **Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson éclairé par une source spatialement étendue** », l'étude de l'interféromètre de Michelson en lame d'air permet de confronter théorie et expérience. L'étude de l'interféromètre de Michelson en coin d'air est abordée de manière exclusivement expérimentale. Pour la modélisation d'un interféromètre de Michelson, on suppose la séparatrice infiniment mince.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.4. Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson éclairé par une source spatialement étendue	
Interféromètre de Michelson éclairé par une source spatialement étendue. Localisation (admise) des franges.	Citer les conditions d'éclairage et d'observation en lame d'air et en coin d'air.
Lame d'air : franges d'égale inclinaison.	Établir et utiliser l'expression de la différence de marche en fonction de l'épaisseur de la lame d'air équivalente et de l'angle d'incidence des rayons. Régler un interféromètre de Michelson pour une observation en lame d'air avec une source étendue à l'aide d'un protocole proposé. Mettre en œuvre un protocole pour accéder au profil spectral d'une raie ou d'un doublet à l'aide d'un interféromètre de Michelson.
Coin d'air : franges d'égale épaisseur.	Utiliser l'expression admise de la différence de marche en fonction de l'épaisseur. Caractériser la géométrie d'un objet ou l'indice d'un milieu à l'aide d'un interféromètre de Michelson. Interpréter qualitativement les observations en lumière blanche.

4. Électromagnétisme

Le programme d'électromagnétisme de la classe de MP s'inscrit dans le prolongement du thème « **Ondes et signaux** » du programme de MPSI. Il s'agit pour les étudiants de découvrir les lois locales et intégrales qui gouvernent les champs électrique et magnétique et les phénomènes que ces lois permettent de modéliser, notamment dans le domaine des ondes électromagnétiques.

L'étude des champs électrostatique et magnétostatique est présentée en deux parties distinctes ; l'enseignant est libre, s'il le souhaite, de procéder à une présentation unifiée de la notion de champ statique. Pour les calculs de champs, l'accent est mis sur les situations à haut degré de symétrie qui permettent l'utilisation efficace des propriétés de flux ou de circulation. Les équations locales des champs statiques sont introduites comme cas particuliers des équations de Maxwell.

La loi de Biot et Savart, les notions de potentiel vecteur et d'angle solide ne relèvent pas du programme.

Les relations de passage relatives au champ électromagnétique peuvent être exploitées mais doivent être systématiquement rappelées.

La partie « **Électrostatique** » constitue un approfondissement des lois quantitatives qui régissent le champ électrostatique. Les notions abordées sont donc centrées sur l'essentiel : distributions de charges, champ et potentiel. Pour le champ électrostatique et le potentiel, on se limite aux expressions dans le cas de charges ponctuelles.

L'accent est mis sur les propriétés intégrales du champ et sur le théorème de Gauss pour des situations présentant un haut degré de symétrie ; ce dernier est admis.

Des capacités sur la lecture des lignes de champ et des surfaces équipotentielles sont développées.

Le condensateur plan est introduit mais l'étude des conducteurs en équilibre électrostatique ne relève pas du programme.

Une approche énergétique est conduite dans un cas simple : une charge ponctuelle placée dans un champ électrostatique extérieur.

Le dipôle est traité, l'accent est mis sur les effets qualitatifs.

Les analogies avec la gravitation sont centrées sur l'application du théorème de Gauss.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.1. Électrostatique	
Loi de Coulomb. Champ électrostatique. Champ électrostatique créé par un ensemble de charges ponctuelles. Principe de superposition.	Exprimer le champ électrostatique créé par une distribution discrète de charges. Citer quelques ordres de grandeur de valeurs de champs électrostatiques.
Distributions continues de charges : volumique, surfacique, linéique.	Choisir un type de distribution continue adaptée à la situation modélisée. Relier les densités de charges de deux types de distributions modélisant une même situation. Déterminer la charge totale d'une distribution continue dans des situations simples.
Symétries et invariances du champ électrostatique.	Identifier les plans de symétrie et d'antisymétrie d'une distribution de charges. Identifier les invariances d'une distribution de charges. Exploiter les symétries et les invariances d'une distribution de charges pour caractériser le champ électrostatique créé.

<p>Circulation du champ électrostatique. Potentiel électrostatique. Opérateur gradient.</p>	<p>Relier le champ électrostatique au potentiel. Exprimer le potentiel créé par une distribution discrète de charges. Citer l'expression de l'opérateur gradient en coordonnées cartésiennes. Déterminer un champ électrostatique à partir du potentiel, l'expression de l'opérateur gradient étant fournie dans le cas des coordonnées sphériques et cylindriques. Déterminer une différence de potentiel par circulation du champ électrostatique dans des cas simples.</p>
<p>Flux du champ électrostatique. Théorème de Gauss.</p>	<p>Identifier les situations pour lesquelles le champ électrostatique peut être calculé à l'aide du théorème de Gauss.</p>
<p>----- Systèmes modélisés par une sphère, un cylindre infini ou un plan infini.</p>	<p>Établir les expressions des champs électrostatiques créés en tout point de l'espace par une sphère uniformément chargée en volume, par un cylindre infini uniformément chargé en volume et par un plan infini uniformément chargé en surface. Établir et énoncer qu'à l'extérieur d'une distribution à symétrie sphérique, le champ électrostatique créé est le même que celui d'une charge ponctuelle concentrant la charge totale et placée au centre de la distribution. Utiliser le théorème de Gauss pour déterminer le champ électrostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie.</p>
<p>Étude du condensateur plan modélisé comme la superposition de deux distributions surfaciques, de charges opposées.</p>	<p>Établir et citer l'expression de la capacité d'un condensateur plan dans le vide.</p>
<p>Lignes de champ, tubes de champ, surfaces équipotentielles.</p>	<p>Orienter les lignes de champ électrostatique créées par une distribution de charges. Représenter les surfaces équipotentielles connaissant les lignes de champ et inversement. Associer les variations de l'intensité du champ électrostatique à la position relative des lignes de champ. Vérifier qu'une carte de lignes de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution. <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, tracer quelques lignes de champ pour une distribution donnée.</p>
<p>Énergie potentielle électrostatique d'une charge placée dans un champ électrostatique extérieur.</p>	<p>Établir et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'une charge ponctuelle placée dans un champ électrostatique extérieur.</p>

Notion de dipôle électrostatique, moment dipolaire.	Exprimer le moment dipolaire d'un doublet de charges. Évaluer des ordres de grandeur dans le domaine microscopique.
Champ et potentiel créés par un dipôle électrostatique.	Expliciter l'approximation dipolaire. Représenter l'allure des lignes de champ et des surfaces équipotentielles d'un dipôle électrostatique. Établir et exploiter les expressions du champ et du potentiel créés par un doublet de charges dans l'approximation dipolaire.
Dipôle électrostatique placé dans un champ électrostatique extérieur : actions subies et énergie potentielle d'interaction.	Expliquer qualitativement le comportement d'un dipôle placé dans un champ électrostatique extérieur. Établir et exploiter les expressions des actions mécaniques subies par un doublet de charges dans un champ électrostatique extérieur uniforme. Exploiter l'expression fournie de la force subie par un dipôle placé dans un champ électrostatique extérieur non uniforme. Citer et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'interaction.
Analogies avec la gravitation.	Utiliser le théorème de Gauss de la gravitation.

La partie « **Magnétostatique** » s'appuie sur les différents aspects qualitatifs et quantitatifs vus en première année de la classe de MPSI. Les étudiants sont donc déjà familiarisés avec le concept de champ magnétostatique. La loi de Biot et Savart n'est pas introduite ; l'utilisation de celle-ci pour calculer un champ magnétostatique est donc exclue.

Les distributions de courants surfaciques ne sont pas introduites à ce niveau du programme, elles le sont uniquement à l'occasion de la réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait. L'étude des propriétés des dipôles magnétiques, déjà abordée en classe de MPSI est ici complétée notamment en ce qui concerne les actions subies par un dipôle magnétique placé dans un champ magnétostatique extérieur. On peut, sur ce thème, souligner les analogies avec l'électrostatique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.2. Magnétostatique	
Vecteur densité de courant volumique. Intensité du courant. Distributions de courant volumique et linéique.	Relier l'intensité du courant et le flux du vecteur densité de courant volumique.
Symétries et invariances des distributions de courant.	Exploiter les propriétés de symétrie et d'invariance des sources pour prévoir des propriétés du champ créé.

Propriétés de flux et de circulation. Théorème d'Ampère.	Identifier les situations pour lesquelles le champ magnétostatique peut être calculé à l'aide du théorème d'Ampère. Choisir un contour, une surface et les orienter pour appliquer le théorème d'Ampère en vue de déterminer l'expression d'un champ magnétique. Utiliser une méthode de superposition. Citer quelques ordres de grandeur de valeurs de champs magnétostatiques.
Modèles du fil rectiligne infini de section non nulle et du solénoïde infini.	Établir les expressions des champs magnétostatiques créés en tout point de l'espace par un fil rectiligne infini de section non nulle, parcouru par des courants uniformément répartis en volume, par un solénoïde infini en admettant que le champ est nul à l'extérieur.
Lignes de champ, tubes de champ.	Orienter les lignes de champ magnétostatique créées par une distribution de courants. Associer les variations de l'intensité du champ magnétostatique à la position relative des lignes de champ. Vérifier qu'une carte de lignes de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution
Notion de dipôle magnétique. Moment magnétique.	Exprimer le moment magnétique d'une boucle de courant plane. Évaluer des ordres de grandeur dans les domaines macroscopique et microscopique.
Champ créé par un dipôle magnétique.	Expliciter l'approximation dipolaire. Représenter l'allure des lignes de champ d'un dipôle magnétique. Exploiter l'expression fournie du champ créé par un dipôle magnétique.
Dipôle magnétique placé dans un champ magnétostatique extérieur : actions subies et énergie potentielle d'interaction.	Expliquer qualitativement le comportement d'un dipôle passif placé dans un champ magnétostatique extérieur. Exploiter les expressions fournies des actions mécaniques subies par un dipôle magnétique dans un champ magnétostatique extérieur uniforme. Exploiter l'expression fournie de la force subie par un dipôle magnétique dans un champ magnétostatique extérieur non uniforme. Citer et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'interaction.

Dans la partie « **Équations de Maxwell** » une vision unifiée des lois de l'électromagnétisme est présentée. Elle conduit à une première approche quantitative du phénomène de propagation et permet également de revenir sur les lois de l'induction étudiées en première année de MPSI. Les lois locales de l'électrostatique relatives au potentiel constituent un support pertinent pour procéder à une approche numérique de la résolution d'une équation aux dérivées partielles.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.3. Équations de Maxwell	

Principe de la conservation de la charge : formulation locale.	Établir l'équation locale de la conservation de la charge en coordonnées cartésiennes dans le cas à une dimension.
Équations de Maxwell : formulations locale et intégrale.	Associer l'équation de Maxwell-Faraday à la loi de Faraday. Citer, utiliser et interpréter les équations de Maxwell sous forme intégrale. Associer qualitativement le couplage spatio-temporel entre champ électrique et champ magnétique au phénomène de propagation. Vérifier la cohérence des équations de Maxwell avec l'équation locale de la conservation de la charge.
Équations de propagation des champs dans une région vide de charges et de courants.	Établir les équations de propagation à partir des équations de Maxwell.
Cas des champs statiques : équations locales.	Établir les lois locales des champs statiques à partir des équations de Maxwell.
Équation de Poisson et équation de Laplace de l'électrostatique.	Établir les équations de Poisson et de Laplace de l'électrostatique. Exprimer par analogie les équations de Poisson et de Laplace dans le cas de la gravitation.

Dans la partie « **Énergie du champ électromagnétique** », aucun modèle relatif à la loi d'Ohm locale n'est exigible ; l'accent est mis sur les échanges d'énergie entre la matière et le champ électromagnétique, sur l'utilisation du flux du vecteur de Poynting pour évaluer une puissance rayonnée à travers une surface et sur les bilans d'énergie et de puissance.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.4. Énergie du champ électromagnétique	
Force électromagnétique volumique. Puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.	Établir et utiliser l'expression de la puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.
Loi d'Ohm locale ; puissance volumique dissipée par effet Joule.	Analyser les aspects énergétiques dans le cas particulier d'un milieu ohmique.
Énergie électromagnétique volumique. Vecteur de Poynting. Bilan d'énergie.	Citer des ordres de grandeur de flux énergétiques moyens (flux solaire, laser...) Utiliser le flux du vecteur de Poynting à travers une surface orientée pour évaluer la puissance rayonnée. Effectuer un bilan d'énergie sous forme locale et intégrale. Interpréter chaque terme de l'équation locale de Poynting, celle-ci étant fournie.

La partie « **Propagation et rayonnement** » est l'occasion d'illustrer l'efficacité du formalisme local des équations de Maxwell en insistant sur les aspects qualitatifs et sur la variété des applications qui en découlent.

Si le modèle de l'onde plane est présenté dans le cadre de l'espace vide, les études des ondes électromagnétiques dans un plasma ainsi que dans un milieu ohmique permettent d'illustrer l'importance des couplages entre les champs, les charges et les courants. Elles sont également l'occasion d'enrichir les compétences des étudiants sur les phénomènes de propagation en

abondant, par exemple, l'effet de peau, le phénomène de dispersion, les notions de vitesse de groupe et de phase, de fréquence de coupure ou encore d'onde évanescente.

La réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait permet d'aborder la notion d'onde stationnaire. L'importance des conditions aux limites imposées sur la quantification des solutions est soulignée. La notion de densité de courant surfacique est introduite mais le calcul de l'intensité à travers un segment ne relève pas du programme.

L'étude du rayonnement dipolaire repose sur l'analyse et l'exploitation des expressions des champs, qui sont admises. Elle est l'occasion d'étudier une modélisation du phénomène de diffusion d'une onde électromagnétique par un atome et d'en analyser les conséquences.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.5. Propagation et rayonnement	
Onde plane dans l'espace vide de charge et de courant ; onde plane progressive et aspects énergétiques.	Citer les solutions de l'équation de d'Alembert à une dimension. Décrire la structure d'une onde plane et d'une onde plane progressive dans l'espace vide de charge et de courant.
Onde plane progressive monochromatique. Relation de dispersion.	Expliquer le caractère idéal du modèle de l'onde plane monochromatique. Déterminer la relation de dispersion. Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications. Exprimer le vecteur de Poynting et l'énergie électromagnétique volumique associés à une onde plane progressive monochromatique. Effectuer une étude énergétique dans le cas d'une onde plane progressive monochromatique.
Onde plane progressive monochromatique polarisée rectilignement ou circulairement.	Reconnaître une onde polarisée rectilignement ou circulairement. Utiliser des polariseurs et étudier quantitativement la loi de Malus.
Onde plane transverse électrique monochromatique dans un plasma dilué. Conductivité complexe du milieu. Pulsation de coupure. Ondes évanescentes.	Exprimer la conductivité complexe du milieu et établir la relation de dispersion. Décrire le phénomène de dispersion. Relier la fréquence de coupure aux caractéristiques du plasma et citer son ordre de grandeur dans le cas de l'ionosphère. Distinguer qualitativement les ondes évanescentes et les ondes progressives du point de vue du transport de l'énergie.
Vitesse de phase, vitesse de groupe. Propagation d'un paquet d'ondes dans un milieu linéaire faiblement dispersif.	Calculer la vitesse de groupe à partir de la relation de dispersion. Associer la vitesse de groupe à la propagation de l'enveloppe du paquet d'ondes.
Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu ohmique en régime lentement variable. Effet de peau.	Établir et interpréter l'expression de la longueur caractéristique d'atténuation de l'onde électromagnétique dans un milieu ohmique.

Réflexion sous incidence normale d'une onde plane, progressive et monochromatique polarisée rectilignement sur un plan conducteur parfait. Onde stationnaire.	Établir l'expression de l'onde réfléchie en exploitant les relations de passage fournies. Interpréter qualitativement la présence de courants localisés en surface. Reconnaître et caractériser une onde stationnaire.
Applications aux cavités à une dimension. Mode d'onde stationnaire.	Établir la condition de quantification des solutions. Mettre en œuvre un dispositif permettant d'étudier une onde électromagnétique, dans le domaine des ondes centimétriques.
Champ électromagnétique rayonné par un dipôle oscillant dans la zone de rayonnement. Puissance rayonnée.	Justifier l'intérêt du modèle du dipôle oscillant et citer des exemples dans différents domaines. Formuler et commenter les approximations reliant les trois échelles de longueur pertinentes. Analyser la structure du champ électromagnétique rayonné, les expressions des champs étant fournies, en utilisant des arguments généraux : symétrie, conservation de l'énergie et analyse dimensionnelle. Effectuer un bilan énergétique, les expressions des champs étant fournies. Représenter l'indicatrice de rayonnement. Détecter une onde électromagnétique rayonnée.
Diffusion d'une onde électromagnétique polarisée rectilignement par une molécule dans cadre du modèle de la charge élastiquement liée. Structure de l'onde diffusée. Puissance diffusée en fonction de la fréquence. Résonance. Domaine de Rayleigh.	Déterminer les caractéristiques du dipôle induit en régime établi, par l'action de l'onde incidente sur la molécule. Identifier les domaines de résonances et de Rayleigh. Citer des illustrations de la diffusion d'une onde électromagnétique par un milieu.

5. Thermodynamique

Le programme de thermodynamique de la classe de MP s'inscrit dans le prolongement de celui de MPSI. Les principes de la thermodynamique sont désormais écrits sous forme infinitésimale $dU+dE = \delta W+\delta Q$ et $dS = \delta S_e + \delta S_c$. Le premier principe écrit sous forme infinitésimale est réinvesti dans l'étude des transferts thermiques.

La partie intitulée « **Principes de la thermodynamique** » est principalement consacrée à l'étude des systèmes ouverts limitée au cas d'un écoulement unidimensionnel.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.1. Principes de la thermodynamique	
Formulation des principes de la thermodynamique pour une transformation élémentaire.	Utiliser avec rigueur les notations d et δ en leur attachant une signification.

Premier et deuxième principes de la thermodynamique pour un système ouvert en régime stationnaire, dans le seul cas d'un écoulement unidimensionnel dans la section d'entrée et la section de sortie.	Établir les relations $\Delta h + \Delta e = w_u + q$ et $\Delta s = s_e + s_c$ et les utiliser pour étudier des machines thermiques réelles à l'aide du diagramme (P,h).
---	---

Dans la partie « **Transferts thermiques** », l'établissement de l'équation de la diffusion thermique est limitée au cas des solides ; il est possible d'utiliser les résultats établis dans d'autres situations, notamment dans le cas de l'étude des fluides, en affirmant la généralisation des équations obtenues dans le cas des solides. Les mises en équations locales sont faites exclusivement sur des géométries où une seule variable d'espace intervient. On admet ensuite les formes générales des équations en utilisant les opérateurs d'analyse vectorielle. Enfin, aucune connaissance spécifique sur les solutions d'une équation de diffusion ne figure au programme.

La loi de Newton à l'interface entre un solide et un fluide est introduite.

5.2. Transferts thermiques	
Conduction, convection et rayonnement.	Identifier un mode de transfert thermique. Mettre en œuvre un dispositif expérimental utilisant une caméra thermique ou un capteur dans le domaine des infrarouges.
Flux thermique. Vecteur densité de flux thermique.	Calculer un flux thermique à travers une surface orientée et interpréter son signe.
Premier principe de la thermodynamique.	Effectuer un bilan local d'énergie interne pour un solide dans le cas d'une situation à une variable d'espace en géométrie cartésienne, cylindrique ou sphérique.
Loi de Fourier.	Interpréter et utiliser la loi de Fourier. Citer quelques ordres de grandeur de conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, verre, acier. Mesurer la conductivité thermique d'un matériau.
Équation de la diffusion thermique.	Établir l'équation de la diffusion thermique sans terme de source au sein d'un solide dans le cas d'une situation à une variable d'espace en géométrie cartésienne, cylindrique ou sphérique. Utiliser une généralisation de l'équation de la diffusion en présence d'un terme de source. Utiliser une généralisation en géométrie quelconque en utilisant l'opérateur Laplacien et son expression fournie. Analyser une équation de diffusion thermique en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle. <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, résoudre l'équation de la diffusion thermique à une dimension par une méthode des différences finies dérivée de la méthode d'Euler explicite de résolution des équations différentielles ordinaires.

Régime stationnaire. Résistance thermique.	Définir la notion de résistance thermique par analogie avec l'électrocinétique. Déterminer l'expression de la résistance thermique d'un solide dans le cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Exploiter les lois d'association de résistances thermiques.
Coefficient de transfert thermique de surface ; loi de Newton.	Utiliser la loi de Newton comme condition aux limites à une interface solide-fluide.

6. Physique quantique

Cette partie s'inscrit dans le prolongement du programme de la classe de MPSI. Il s'agit cependant de dépasser l'approche descriptive et qualitative et de donner aux étudiants leurs premiers outils quantitatifs d'analyse. Le cœur de cet enseignement est construit sur la mécanique ondulatoire de Schrödinger et propose des résolutions d'exemples simples mais fondamentaux pour la bonne compréhension de problèmes plus complexes : particule dans une marche de potentiel et effet tunnel, particule dans un puits de potentiel infini et quantification de l'énergie d'une particule confinée. On se limite à l'introduction heuristique de la dualité onde-particule et de la densité de courant de probabilité pour une particule libre sans développer la notion de paquet d'ondes.

L'accent doit être mis sur l'interprétation et l'exploitation des résultats et non pas sur les calculs, non exigibles pour l'exemple plus délicat de la barrière de potentiel. Le professeur peut au contraire, s'il le souhaite, proposer des analyses de graphes, des exploitations de formules analytiques fournies, des estimations numériques, des simulations... afin d'aborder des modélisations plus réalistes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6.1. Fonction d'onde et équation de Schrödinger	
Fonction d'onde ψ d'une particule sans spin et densité de probabilité de présence.	Interpréter en termes de probabilité l'amplitude d'une onde associée à une particule.
Équation de Schrödinger à une dimension dans un potentiel $V(x)$.	Utiliser le caractère linéaire de l'équation (principe de superposition).
États stationnaires de l'équation de Schrödinger.	Procéder à la séparation des variables temps et espace. Distinguer l'onde associée à un état stationnaire en mécanique quantique d'une onde stationnaire au sens usuel de la physique des ondes. Relier l'énergie de la particule à l'évolution temporelle de sa fonction d'onde et faire le lien avec la relation de Planck-Einstein. Identifier le terme associé à l'énergie cinétique.
6.2. Particule libre	
Fonction d'onde d'une particule libre non localisée.	Établir les solutions. Interpréter la difficulté de normalisation de cette fonction d'onde.
Relation de de Broglie.	Relier l'énergie de la particule et le vecteur d'onde de l'onde plane associée.

Inégalité d'Heisenberg spatiale et paquet d'ondes.	Expliquer, en s'appuyant sur l'inégalité d'Heisenberg spatiale, que la localisation de la particule peut s'obtenir par superposition d'ondes planes.
Densité de courant de probabilité associée à une particule libre.	Utiliser l'expression admise du courant de probabilité associé à une particule libre ; l'interpréter comme un produit densité*vitesse.
6.3. États stationnaires d'une particule dans des potentiels constants par morceaux	
États stationnaires d'une particule dans le cas d'une marche de potentiel. Cas $E > V$: probabilité de transmission et de réflexion. Cas $E < V$: évanescence.	Citer des exemples physiques illustrant cette problématique. Exploiter les conditions de continuité (admises) relatives à la fonction d'onde. Établir la solution dans le cas d'une particule incidente sur une marche de potentiel. Expliquer les différences de comportement par rapport à une particule classique Déterminer les coefficients de transmission et de réflexion en utilisant les courants de probabilités. Reconnaître l'existence d'une onde évanescente et la caractériser.
Barrière de potentiel et effet tunnel.	Décrire qualitativement l'influence de la hauteur ou de largeur de la barrière de potentiel sur le coefficient de transmission. Exploiter un coefficient de transmission fourni. Citer des applications.
États stationnaires d'une particule dans un puits de potentiel infini.	Établir les solutions et les niveaux d'énergie de la particule confinée. Identifier des analogies avec d'autres domaines de la physique.
Énergie de confinement.	Estimer l'énergie d'une particule confinée dans son état fondamental pour un puits non rectangulaire. Associer l'analyse à l'inégalité d'Heisenberg.
6.4. États non stationnaires d'une particule dans un puits de potentiel infini	
Combinaison linéaire d'états stationnaires.	Expliquer qu'une superposition de deux états stationnaires engendre une évolution au cours du temps de l'état de la particule. Établir l'expression de la densité de probabilité de présence de la particule dans le cas d'une superposition de deux états stationnaires ; interpréter le résultat.

7. Éléments de thermodynamique statistique

L'objectif de cette partie est de relier certaines propriétés macroscopiques d'un système constitué d'un grand nombre de particules avec celles des constituants microscopiques. Le facteur de Boltzmann est introduit de manière inductive à partir du modèle d'atmosphère isotherme. L'étude des systèmes à spectre discret d'énergies est l'occasion de montrer, qu'à température donnée l'énergie fluctue et que les fluctuations relatives diminuent avec la taille du système. L'étude des systèmes à deux niveaux, conduite de manière plus exhaustive, permet une analyse plus fine des phénomènes.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie MP

L'étude de l'énergie d'un ensemble de particules libres dans une boîte unidimensionnelle à une température donnée établit un lien entre la physique quantique et les propriétés macroscopiques de la matière

Le théorème d'équipartition de l'énergie est l'occasion de procéder à une évaluation des capacités thermiques des gaz et des solides.

Notions et contenus	Capacités exigibles
7.1. Facteur de Boltzmann	
Modèle de l'atmosphère isotherme.	Établir la variation de la pression avec l'altitude dans l'hypothèse d'une atmosphère isotherme.
Poids de Boltzmann d'une particule indépendante à l'équilibre avec un thermostat.	Interpréter la loi du nivellement barométrique avec le poids de Boltzmann. Identifier un facteur de Boltzmann. Comparer kT à des écarts d'énergie et estimer les conséquences d'une variation de température.
7.2. Systèmes à spectre discret d'énergies	
Probabilité d'occupation d'un état d'énergie non dégénéré par une particule indépendante.	Exprimer la probabilité d'occupation d'un état d'énergie en utilisant la condition de normalisation. Exploiter un rapport de probabilités entre deux états.
Énergie moyenne et écart quadratique moyen.	Exprimer sous forme d'une somme sur ses états l'énergie moyenne et l'écart-quadratique énergétique d'un système.
Cas d'un système à N particules indépendantes.	Expliquer pourquoi les fluctuations relatives d'énergie régressent quand la taille du système augmente et associer cette régression au caractère quasi-certain des grandeurs thermodynamiques.
Système à deux niveaux non dégénérés d'énergies $\pm \varepsilon$.	Citer des exemples de systèmes modélisables par un système à deux niveaux. Déterminer l'énergie moyenne et la capacité thermique d'un système à deux niveaux. Interpréter l'évolution de l'énergie moyenne avec la température, notamment les limites basse et haute température. Relier les fluctuations d'énergies à la capacité thermique.
Énergie moyenne d'équilibre à la température T d'un ensemble de N particules dans un puits de potentiel infini.	Déterminer l'énergie moyenne d'un ensemble de particules à une température donnée, dans la limite où l'énergie de confinement est faible devant l'énergie d'agitation thermique. Relier l'expression de l'énergie moyenne en fonction de la température au théorème de l'équipartition de l'énergie.
7.3. Capacités thermiques classiques des gaz et des solides	
Théorème d'équipartition pour un degré de liberté énergétique indépendant quadratique.	Exploiter la contribution $kT/2$ par degré quadratique à l'énergie moyenne.

Capacité thermique molaire des gaz classiques dilués monoatomiques et diatomiques. Capacité thermique molaire des solides dans le modèle d'Einstein classique : loi de Dulong et Petit.	Dénombrer des degrés de libertés énergétiques quadratiques indépendants et en déduire la capacité thermique molaire d'un système.
--	---

8. Transformations chimiques de la matière : aspects thermodynamiques

Les transformations chimiques de la matière ont été abordées dès le début de la classe de MPSI ; le critère d'évolution spontanée d'un système chimique en transformation y a été présenté sans être démontré. Ce dernier a été remobilisé lors de l'étude des transformations chimiques en solution aqueuse.

Le but de cette partie est d'une part d'aborder les transferts thermiques et d'autre part d'établir puis exploiter le critère d'évolution spontanée d'un système engagé dans une transformation physico-chimique, ce qui nécessite l'introduction de la fonction enthalpie libre G et du potentiel chimique.

Dans la partie « **Premier principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques** », l'étude des transferts thermiques, abordée en première année dans le cadre du cours de physique relatif aux transformations physiques du corps pur, est ici généralisée aux transformations physico-chimiques. Les enthalpies standard de réaction sont considérées comme indépendantes de la température.

Les notions et contenus sont illustrés à travers des applications liées à la vie quotidienne (contenu calorique des aliments, pouvoirs calorifiques des carburants, etc.), à la recherche (apports des techniques calorimétriques modernes, etc.) ou au domaine industriel.

Notions et contenus	Capacités exigibles
8.1. Premier principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques	
État standard. Enthalpie standard de réaction. Loi de Hess. Enthalpie standard de formation, état standard de référence d'un élément.	Déterminer l'enthalpie standard de réaction à l'aide de tables de données thermodynamiques. Associer le signe de l'enthalpie standard de réaction au caractère endothermique ou exothermique de la réaction.

<p>Effets thermiques pour une transformation monobare :</p> <ul style="list-style-type: none"> - transfert thermique associé à la transformation chimique en réacteur monobare, isotherme ; - variation de température en réacteur adiabatique, monobare. 	<p>Prévoir, à partir de données thermodynamiques, le sens et une estimation de la valeur du transfert thermique entre un système, siège d'une transformation physico-chimique et le milieu extérieur. Évaluer la température atteinte par un système siège d'une transformation chimique supposée monobare et réalisée dans un réacteur adiabatique.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation, l'évolution temporelle de la température pour un système siège d'une transformation adiabatique modélisée par une seule réaction chimique dont les caractéristiques cinétiques et l'enthalpie standard de réaction sont données.</p> <p>Déterminer une enthalpie standard de réaction.</p>
---	--

Dans la partie « **Second principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques** », on adopte pour les potentiels chimiques une expression générale : $\mu_i = \mu_{i,\text{réf}} + RT \ln(a_i)$ qui fait référence aux activités a_i introduites en première année. L'établissement de cette expression est hors programme. L'influence de la pression sur le potentiel chimique d'un constituant en phase condensée pure n'est pas abordée. On se limite aux cas d'une espèce chimique pure, d'une espèce en solution aqueuse très diluée et d'une espèce en mélange de gaz parfaits avec référence à l'état standard.

Pour le calcul des grandeurs standard de réaction, les enthalpies et entropies standard de réaction sont supposées indépendantes de la température. Les grandeurs standard de réaction permettent la détermination de la valeur, à une température donnée, de la constante thermodynamique d'équilibre K° caractéristique d'une réaction, valeur qui était systématiquement fournie en première année. C'est ainsi l'occasion de revenir sur la détermination de la composition d'un système physico-chimique en fin d'évolution.

La notion d'affinité chimique n'est pas utilisée, le sens d'évolution spontanée d'un système hors d'équilibre, à température et pression fixées, est déterminé par le signe de l'enthalpie libre de réaction $\Delta_r G$.

Enfin, l'étude de l'influence de la modification d'un paramètre (pression, température ou composition) sur un système chimique permet d'aborder la problématique de l'optimisation des conditions opératoires d'un procédé chimique.

Les illustrations et applications sont choisis dans le domaine industriel, dans la vie courante et au niveau du laboratoire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
8.2. Deuxième principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques	
Potentiel chimique ; enthalpie libre d'un système chimique. Activité.	Définir le potentiel chimique à l'aide de la fonction enthalpie libre et donner l'expression (admise) du potentiel chimique d'un constituant en fonction de son activité. Exprimer l'enthalpie libre d'un système chimique en fonction des potentiels chimiques.

<p>Enthalpie de réaction, entropie de réaction, enthalpie libre de réaction et grandeurs standard associées. Relation entre enthalpie libre de réaction et quotient de réaction ; évolution d'un système chimique.</p>	<p>Justifier qualitativement ou prévoir le signe de l'entropie standard de réaction. Relier création d'entropie et enthalpie libre de réaction lors d'une transformation d'un système physico-chimique à pression et température fixées. Prévoir le sens d'évolution à pression et température fixées d'un système physico-chimique dans un état donné à l'aide de l'enthalpie libre de réaction. Déterminer les grandeurs standard de réaction à partir des tables de données thermodynamiques et de la loi de Hess. Déterminer les grandeurs standard de réaction d'une réaction dont l'équation est combinaison linéaire d'autres équations de réaction.</p>
<p>Constante thermodynamique d'équilibre ; relation de Van 't Hoff.</p>	<p>Citer et exploiter la relation de Van 't Hoff. Déterminer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre à une température quelconque.</p> <p>Déterminer l'évolution de la valeur d'une constante thermodynamique d'équilibre en fonction de la température.</p>
<p>État final d'un système : équilibre chimique ou transformation totale.</p>	<p>Déterminer la composition chimique d'un système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p>
<p>Optimisation thermodynamique d'un procédé chimique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - par modification de la valeur de K° ; - par modification de la valeur du quotient de réaction. 	<p>Identifier les paramètres d'influence et leur contrôle pour optimiser une synthèse ou minimiser la formation d'un produit secondaire indésirable.</p>

9. Aspects thermodynamique et cinétique de l'électrochimie.

Les aspects thermodynamiques et cinétiques des réactions d'oxydo-réduction sont appliqués notamment à la corrosion d'une part et aux dispositifs électrochimiques que sont les piles et les accumulateurs d'autre part. L'illustration des notions gagne à s'appuyer sur des applications concrètes comme par exemple la mise en œuvre de capteurs électrochimiques dans l'analyse de l'eau, de l'air ou d'effluents.

L'approche de l'électrochimie proposée ici privilégie les raisonnements qualitatifs et les aspects expérimentaux, plutôt que les développements théoriques et formels.

La partie « **Étude thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction** » se fonde sur les acquis de première année relatifs à l'étude des réactions d'oxydo-réduction et des piles, ainsi que sur la partie de thermodynamique chimique de seconde année pour relier les grandeurs thermodynamiques aux potentiels.

Notions et contenus	Capacités exigibles
9.1. Étude thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction	
Relation entre enthalpie libre de réaction et potentiels des couples mis en jeu dans une réaction d'oxydo-réduction.	Citer et exploiter la relation entre l'enthalpie libre de réaction et les potentiels des couples mis en jeu dans une réaction d'oxydo-réduction.
Relation entre enthalpie libre standard de réaction et potentiels standard des couples impliqués.	Déterminer l'enthalpie libre standard d'une réaction d'oxydo-réduction à partir des potentiels standard des couples. Déterminer la valeur du potentiel standard d'un couple d'oxydo-réduction à partir de données thermodynamiques.

La partie « **Étude cinétique des réactions d'oxydo-réduction : courbe courant-potentiel** » se fonde sur les acquis de cinétique chimique de première année et les prolongent par le tracé et l'exploitation de courbes courant-potentiel

Les courbes courant-potentiel, dont le tracé est proposé en capacité expérimentale, sont un outil essentiel dans la compréhension et la modélisation des systèmes électrochimiques.

L'écart entre le potentiel d'une électrode et son potentiel d'équilibre est appelé surpotentiel plutôt que surtension pour des raisons pédagogiques, en cohérence avec le vocabulaire anglo-saxon correspondant.

Notions et contenus	Capacités exigibles
9.2. Étude cinétique des réactions d'oxydo-réduction : courbe courant-potentiel	
<p>Courbes courant-potentiel sur une électrode en régime stationnaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - surpotentiel ; - systèmes rapides et systèmes lents ; - nature de l'électrode ; - courant de diffusion limite ; - vagues successives ; - domaine d'inertie électrochimique du solvant. 	<p>Décrire le montage à trois électrodes permettant de tracer des courbes courant-potentiel. Relier vitesse de réaction électrochimique et intensité du courant. Identifier le caractère lent ou rapide d'un système à partir des courbes courant-potentiel. Identifier les espèces électroactives pouvant donner lieu à une limitation en courant par diffusion. Relier qualitativement ou quantitativement, à partir de relevés expérimentaux, l'intensité du courant de diffusion limite à la concentration du réactif et à la surface immergée de l'électrode. Tracer l'allure de courbes courant-potentiel de branches d'oxydation ou de réduction à partir de données fournies, de potentiels standard, concentrations et surpotentiels.</p> <p>Tracer et exploiter des courbes courant-potentiel.</p>

La partie « **Stockage et conversion d'énergie dans des dispositifs électrochimiques** » s'appuie sur les courbes courant-potentiel pour étudier le fonctionnement des piles et leur recharge, ainsi que les électrolyseurs. Ces courbes permettent en effet de déterminer différentes caractéristiques : réactions aux électrodes, tension à vide, tension à imposer pour une recharge, etc.

Notions et contenus	Capacités exigibles
9.3. Stockage et conversion d'énergie chimique dans des dispositifs électrochimiques	
<p>Conversion d'énergie chimique en énergie électrique : fonctionnement des piles.</p> <p>Transformations spontanées et réaction modélisant le fonctionnement d'une pile électrochimique.</p>	<p>Établir l'inégalité reliant la variation d'enthalpie libre et le travail électrique.</p> <p>Relier la tension à vide d'une pile et l'enthalpie libre de la réaction modélisant son fonctionnement.</p> <p>Déterminer la capacité électrique d'une pile.</p>
<p>Courbes courant-potential et fonctionnement d'une pile électrochimique.</p>	<p>Exploiter les courbes courant-potential pour rendre compte du fonctionnement d'une pile électrochimique et tracer sa caractéristique.</p> <p>Citer les paramètres influençant la résistance interne d'une pile électrochimique.</p>
<p>Conversion d'énergie électrique en énergie chimique.</p> <p>Transformations forcées lors d'une électrolyse et de la recharge d'un accumulateur.</p>	<p>Exploiter les courbes courant-potential pour rendre compte du fonctionnement d'un électrolyseur et prévoir la valeur de la tension minimale à imposer.</p> <p>Exploiter les courbes courant-potential pour justifier les contraintes (purification de la solution électrolytique, choix des électrodes) dans la recharge d'un accumulateur.</p> <p>Déterminer la masse de produit formé pour une durée et des conditions données d'électrolyse.</p> <p>Déterminer un rendement faradique à partir d'informations fournies concernant le dispositif étudié.</p>
<p>Stockage et conversion d'énergie chimique.</p>	<p>Étudier le fonctionnement d'une pile ou d'un électrolyseur pour effectuer des bilans de matière et des bilans électriques.</p>

La lutte contre la corrosion est un enjeu économique et la compréhension des phénomènes de corrosion et des facteurs influençant cette corrosion est essentielle pour effectuer des choix de méthodes de protection. La partie « **Corrosion humide ou électrochimique** » exploite les courbes courant-potential pour interpréter les phénomènes de corrosion, de protection et de passivation. On se limite à la corrosion uniforme et à la corrosion galvanique de deux métaux en contact. Les tracés de diagrammes de Tafel ou d'Evans sont hors-programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
9.4. Corrosion humide ou électrochimique	

Corrosion uniforme en milieu acide ou en milieu neutre oxygéné : potentiel de corrosion, courant de corrosion. Corrosion d'un système de deux métaux en contact.	Positionner un potentiel de corrosion sur un tracé de courbes courant-potentiel. Interpréter le phénomène de corrosion uniforme d'un métal ou de deux métaux en contact en utilisant des courbes courant-potentiel ou d'autres données expérimentales, thermodynamiques et cinétiques. Citer des facteurs favorisant la corrosion.
Protection contre la corrosion : - revêtement ; - anode sacrificielle ; - protection électrochimique par courant imposé.	Exploiter des tracés de courbes courant-potentiel pour expliquer qualitativement : - la qualité de la protection par un revêtement métallique ; - le fonctionnement d'une anode sacrificielle.
Passivation.	Interpréter le phénomène de passivation sur une courbe courant-potentiel. Mettre en évidence le phénomène de corrosion et de protection et des facteurs l'influençant.

Annexe 1 : matériel

Cette liste complète celle donnée en annexe 1 du programme de physique-chimie de la classe de MPSI. À elles deux, ces listes regroupent le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée. Une utilisation de matériel hors de ces listes lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une aide.

1. Domaine optique

- Polariseur.
- Interféromètre de Michelson motorisé.
- Capteur photographique numérique.
- Spectromètre à fibre optique.

2. Domaine électrique

- Oscilloscope numérique avec analyseur de spectre.
- Carte d'acquisition dont l'API est publiée.
- Microcontrôleur.
- Émetteur et récepteur dans le domaine des ondes centimétriques.

3. Domaine de la chimie

- Calorimètre.
- Électrode de référence.
- Électrolyseur et électrodes.

Annexe 2 : outils mathématiques

Les outils mathématiques dont la maîtrise est nécessaire à la mise en œuvre du programme de physique de la classe de MP sont d'une part ceux qui figurent dans l'annexe 2 du programme de la classe de MPSI et d'autre part ceux qui figurent dans la liste ci-dessous.

Le thème « analyse vectorielle » prolonge l'outil « gradient » abordé en première année, en introduisant de nouveaux opérateurs : seules les expressions des opérateurs en coordonnées cartésiennes sont exigibles. Les expressions des opérateurs en coordonnées cylindriques et sphériques et les formules d'analyse vectorielle ne sont pas exigibles ; elles doivent donc être systématiquement rappelées.

Le thème « analyse de Fourier » prolonge l'étude de l'outil « séries de Fourier » abordée en MPSI et réutilisée en classe de MP. On étend la décomposition d'un signal périodique comme somme de ses harmoniques à l'expression d'un signal non périodique sous forme d'une intégrale (synthèse spectrale) ; aucun résultat n'est exigible. On souligne en revanche la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale Δf et la durée caractéristique Δt d'un signal non périodique.

Dans le thème « équations aux dérivées partielles », aucune méthode générale d'étude n'est exigible : on se limite à chercher des solutions d'une forme donnée par substitution, menant ainsi soit à des équations différentielles classiques, soit à une relation de dispersion. L'accent est mis sur le rôle des conditions aux limites.

Les capacités relatives à la notion de différentielle d'une fonction de plusieurs variables sont limitées à l'essentiel, elles sont mobilisées principalement dans le cours de thermodynamique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Analyse vectorielle	
Gradient.	Citer le lien entre le gradient et la différentielle. Exprimer les composantes du gradient en coordonnées cartésiennes. Utiliser le fait que le gradient d'une fonction f est perpendiculaire aux surfaces iso- f et orienté dans le sens des valeurs de f croissantes.
Divergence.	Citer et utiliser le théorème d'Ostrogradski. Exprimer la divergence en coordonnées cartésiennes.
Rotationnel.	Citer et utiliser le théorème de Stokes. Exprimer le rotationnel en coordonnées cartésiennes.
Laplacien d'un champ scalaire.	Définir le laplacien à l'aide de la divergence et du gradient. Exprimer le laplacien en coordonnées cartésiennes.
Laplacien d'un champ de vecteurs.	Exprimer le laplacien d'un champ de vecteurs en coordonnées cartésiennes. Utiliser la formule d'analyse vectorielle : $\text{rot}(\text{rot}\mathbf{A}) = \text{grad}(\text{div}\mathbf{A}) - \Delta\mathbf{A}$.
Cas des champs proportionnels à $\exp(i\omega t - \mathbf{i}\mathbf{k}\cdot\mathbf{r})$ ou à $\exp(\mathbf{i}\mathbf{k}\cdot\mathbf{r} - i\omega t)$.	Exprimer l'action des opérateurs d'analyse vectorielle sur un tel champ à l'aide du vecteur $\mathbf{i}\mathbf{k}$.
2. Analyse de Fourier	
Décomposition d'une fonction périodique en série de Fourier.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni. Utiliser un raisonnement par superposition.

Synthèse spectrale d'un signal non périodique.	Utiliser un raisonnement par superposition. Citer et utiliser la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale Δf et la durée caractéristique Δt d'un signal non périodique.
3. Équations aux dérivées partielles	
Exemples d'équations aux dérivées partielles : équation de Laplace, équation de diffusion, équation de d'Alembert, équation de Schrödinger.	Identifier une équation aux dérivées partielles connue. Transposer une solution familière dans un domaine de la physique à un autre domaine. Obtenir des solutions de forme donnée par substitution. Utiliser des conditions initiales et des conditions aux limites.
4. Calcul différentiel	
Différentielle d'une fonction de plusieurs variables. Dérivée partielle. Théorème de Schwarz.	Connaître l'expression de la différentielle en fonction des dérivées partielles. Identifier la valeur d'une dérivée partielle, l'expression de la différentielle étant donnée. Utiliser le théorème de Schwarz (admis).

Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python dans la formation des étudiants inclut l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques. Elle vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est par ailleurs toujours recommandée. Elle a aussi pour objectif de mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités utiles à la physique comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples.

Le tableau ci-dessous complète les outils numériques identifiés dans le programme de première année de la classe de MPSI.

Domaines numériques	Capacités exigibles
Équation de diffusion à une dimension.	Mettre en œuvre une méthode des différences finies explicite pour résoudre l'équation de diffusion à une dimension en régime variable.

Enseignements secondaire et supérieur

Classes préparatoires scientifiques

Objectifs de formation et programme des classes préparatoires de seconde année de physique et chimie (PC) et de physique et chimie* (PC*) : modification

NOR : ESRS2111703A

arrêté du 13-7-2021 - JO du 5-8-2021

MESRI - DGESIP A1-2 - MENJS - DGESCO - MOM

Vu Code de l'éducation, notamment articles D. 612-19 à D. 612-29 ; arrêtés du 10-2-1995 modifiés ; arrêté du 20-6-1996 modifié ; avis du Cneser du 8-6-2021 ; avis du CSE du 17-6-2021 ; avis de la ministre des Armées des 1er, 2, 5 et 6-7-2021

Article 1 - Les programmes de mathématiques, de physique et de chimie de seconde année de la classe préparatoire scientifique physique et chimie (PC), annexés à l'arrêté du 20 juin 1996 susvisé, sont remplacés par ceux figurant respectivement aux annexes 1, 2 et 3 du présent arrêté.

Article 2 - Les dispositions du présent arrêté prennent effet à compter de la rentrée de l'année scolaire 2022-2023.

Article 3 - I. - L'article 3 de l'arrêté du 20 juin 1996 susvisé est remplacé par les dispositions suivantes :
« Article 3 - Les dispositions du présent arrêté s'appliquent dans les îles Wallis et Futuna et en Nouvelle-Calédonie. »

II. - Les dispositions du présent arrêté s'appliquent dans les îles Wallis et Futuna et en Nouvelle-Calédonie.

Article 4 - Le présent arrêté sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 13 juillet 2021

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Édouard Geffray

Pour le ministre des Outre-mer, et par délégation,
La directrice générale des outre-mer,
Sophie Brocas

Pour la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et par délégation,
Pour la directrice générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle, et par délégation,
La cheffe du service de la stratégie des formations et de la vie étudiante, adjointe à la directrice générale,
Isabelle Prat

Annexes

➔ Programmes des classes préparatoires de seconde année de physique et chimie (PC) et de physique et chimie* (PC*)



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Physique et chimie (PC)

Annexe 1

Programme de mathématiques

Classe préparatoire PC

Programme de mathématiques

Table des matières

Préambule	2
Objectifs de formation	2
Description et prise en compte des compétences	2
Unité de la formation scientifique	3
Architecture et contenu du programme	4
Organisation du texte	5
Programme	6
Algèbre linéaire	6
A - Compléments sur les espaces vectoriels, les endomorphismes et les matrices	6
B - Réduction des endomorphismes et des matrices carrées	7
Endomorphismes des espaces euclidiens	8
Espaces vectoriels normés	9
Suites et séries de fonctions	11
A - Compléments sur les séries numériques	11
B - Suites et séries de fonctions	11
C - Séries entières	12
Intégration sur un intervalle quelconque	14
Variables aléatoires discrètes	17
A - Ensembles dénombrables, familles sommables	17
B - Probabilités, variables aléatoires discrètes et lois usuelles	17
C - Espérance et variance	19
Calcul différentiel	21
A - Dérivabilité des fonctions vectorielles	21
B - Fonctions de plusieurs variables	21

Préambule

Les programmes de mathématiques des classes préparatoires scientifiques MPSI, PCSI, PTSI, MP2I, MP, PC, PSI, PT, MPI sont conçus comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités, avec l'objectif de préparer les étudiantes et étudiants à poursuivre avec succès dans les écoles et les universités un cursus de formation aux métiers de l'ingénierie, de l'enseignement, de la recherche.

Ce programme permet de conjuguer deux aspects de l'activité mathématique : d'une part la construction d'objets souvent introduits de manière intrinsèque et l'importance de la démonstration; d'autre part la technique qui permet de rendre ces objets opérationnels.

Objectifs de formation

La formation est conçue en fonction de quatre objectifs essentiels :

- fournir un solide bagage de connaissances, de concepts et de méthodes;
- exploiter toute la richesse de la démarche mathématique : analyser un problème, expérimenter sur des exemples, formuler une conjecture, élaborer et mettre en œuvre des concepts et des résultats théoriques, rédiger une solution rigoureuse, contrôler les résultats obtenus et évaluer la pertinence des concepts et des résultats au regard du problème posé;
- développer l'intuition, l'imagination, le raisonnement et la rigueur;
- promouvoir la réflexion personnelle des étudiantes et étudiants sur les problèmes et les phénomènes mathématiques, sur la portée des concepts, des hypothèses, des résultats et des méthodes, au moyen d'exemples et de contre-exemples; développer ainsi une attitude de questionnement et de recherche.

En continuité avec les programmes de mathématiques du lycée, les programmes des classes préparatoires scientifiques définissent un corpus de connaissances et de capacités et explicitent six grandes compétences mathématiques :

- **chercher, mettre en œuvre des stratégies** : découvrir une problématique, l'analyser, la transformer ou la simplifier, expérimenter sur des exemples, formuler des hypothèses, identifier des particularités ou des analogies;
- **modéliser** : extraire un problème de son contexte pour le traduire en langage mathématique, comparer un modèle à la réalité, le valider, le critiquer;
- **représenter** : choisir le cadre (numérique, algébrique, géométrique...) le mieux adapté pour traiter un problème ou représenter un objet mathématique, passer d'un mode de représentation à un autre, changer de registre;
- **raisonner, argumenter** : effectuer des inférences inductives et déductives, conduire une démonstration, confirmer ou infirmer une conjecture;
- **calculer, utiliser le langage symbolique** : manipuler des expressions contenant des symboles, organiser les différentes étapes d'un calcul complexe, effectuer un calcul automatisable à la main où à l'aide d'un instrument (calculatrice, logiciel...), contrôler les résultats;
- **communiquer** à l'écrit et à l'oral : comprendre les énoncés mathématiques écrits par d'autres, rédiger une solution rigoureuse, présenter et défendre un travail mathématique.

Description et prise en compte des compétences

Chercher

Cette compétence vise à développer les attitudes de questionnement et de recherche, au travers de réelles activités mathématiques, prenant place au sein ou en dehors de la classe. Les différents temps d'enseignement (cours, travaux dirigés, heures d'interrogation, TIPE) doivent privilégier la découverte et l'exploitation de problématiques, la réflexion sur les démarches suivies, les hypothèses formulées et les méthodes de résolution. Le professeur ne saurait limiter son enseignement à un cours dogmatique : afin de développer les capacités d'autonomie des étudiants, il doit les amener à se poser eux-mêmes des questions, à prendre en compte une problématique mathématique, à utiliser des outils logiciels, et à s'appuyer sur la recherche et l'exploitation, individuelle ou en équipe, de documents.

Les travaux proposés aux étudiants en dehors des temps d'enseignement doivent combiner la résolution d'exercices d'entraînement relevant de techniques bien répertoriées et l'étude de questions plus complexes. Posées sous forme de problèmes ouverts, elles alimentent un travail de recherche individuel ou collectif, nécessitant la mobilisation d'un large éventail de connaissances et de capacités.

Modéliser

Le programme présente des notions, méthodes et outils mathématiques permettant de modéliser l'état et l'évolution de systèmes déterministes ou aléatoires issus de la rencontre du réel et du contexte, et éventuellement du traitement qui en a été fait par la mécanique, la physique, la chimie, les sciences industrielles. Ces interprétations viennent en retour éclairer les concepts fondamentaux de l'analyse, de l'algèbre linéaire, de la géométrie ou des probabilités. La modélisation contribue ainsi de façon essentielle à l'unité de la formation scientifique et valide les approches interdisciplinaires. À cet effet, il importe de promouvoir l'étude de questions mettant en œuvre des interactions

entre les différents champs de connaissance scientifique (mathématiques et physique, mathématiques et chimie, mathématiques et sciences industrielles, mathématiques et informatique).

Représenter

Un objet mathématique se prête en général à des représentations issues de différents cadres ou registres : algébrique, géométrique, graphique, numérique. Élaborer une représentation, changer de cadre, traduire des informations dans plusieurs registres sont des composantes de cette compétence. Ainsi, en analyse, le concept de fonction s'appréhende à travers diverses représentations (graphique, numérique, formelle) ; en algèbre, un problème linéaire se prête à des représentations de nature géométrique, matricielle ou algébrique ; un problème de probabilités peut recourir à un arbre, un tableau, des ensembles. Le recours régulier à des figures ou à des croquis permet de développer une vision géométrique des objets abstraits et favorise de fructueux transferts d'intuition.

Raisonner, argumenter

La pratique du raisonnement est au cœur de l'activité mathématique. Basé sur l'élaboration de liens déductifs ou inductifs entre différents éléments, le raisonnement mathématique permet de produire une démonstration, qui en est la forme aboutie et communicable. La présentation d'une démonstration par le professeur (ou dans un document) permet aux étudiants de suivre et d'évaluer l'enchaînement des arguments qui la composent ; la pratique de la démonstration leur apprend à créer et à exprimer eux-mêmes de tels arguments. L'intérêt de la construction d'un objet mathématique ou de la démonstration d'un théorème repose sur ce qu'elles apportent à la compréhension même de l'objet ou du théorème : préciser une perception intuitive, analyser la portée des hypothèses, éclairer une situation, exploiter et réinvestir des concepts et des résultats théoriques.

Calculer, manipuler des symboles, maîtriser le formalisme mathématique

Le calcul et la manipulation des symboles sont omniprésents dans les pratiques mathématiques. Ils en sont des composantes essentielles, inséparables des raisonnements qui les guident ou qu'en sens inverse ils outillent.

Mener efficacement un calcul simple fait partie des compétences attendues des étudiants. En revanche, les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils de calcul formel ou numérique. La maîtrise des méthodes de calcul figurant au programme nécessite aussi la connaissance de leur cadre d'application, l'anticipation et le contrôle des résultats qu'elles permettent d'obtenir.

Communiquer à l'écrit et à l'oral

La phase de mise au point d'un raisonnement et de rédaction d'une solution permet de développer les capacités d'expression. La qualité de la rédaction et de la présentation, la clarté et la précision des raisonnements, constituent des objectifs très importants. La qualité de structuration des échanges entre le professeur et sa classe, entre le professeur et chacun de ses étudiants, entre les étudiants eux-mêmes, doit également contribuer à développer des capacités de communication (écoute et expression orale) à travers la formulation d'une question, d'une réponse, d'une idée, d'hypothèses, l'argumentation de solutions ou l'exposé de démonstrations. Les travaux individuels ou en petits groupes proposés aux étudiants en dehors du temps d'enseignement, au lycée ou à la maison, (interrogations orales, devoirs libres, comptes rendus de travaux dirigés ou d'interrogations orales) contribuent fortement à développer cette compétence. La communication utilise des moyens diversifiés : les étudiants doivent être capables de présenter un travail clair et soigné, à l'écrit ou à l'oral, au tableau ou à l'aide d'un dispositif de projection.

L'intégration des compétences à la formation des étudiants permet à chacun d'eux de gérer ses propres apprentissages de manière responsable en repérant ses points forts et ses points faibles, et en suivant leur évolution. Les compétences se recouvrent largement et il importe de les considérer globalement : leur acquisition doit se faire dans le cadre de situations suffisamment riches pour nécessiter la mobilisation de plusieurs d'entre elles.

Unité de la formation scientifique

Il est important de mettre en valeur l'interaction entre les différentes parties du programme, tant au niveau du cours que des thèmes des travaux proposés aux étudiants. À titre d'exemples, le calcul différentiel et l'optimisation exploitent les endomorphismes autoadjoints ; les probabilités utilisent le vocabulaire ensembliste et les familles sommables, et illustrent certains résultats d'analyse.

La coopération des enseignants d'une même classe ou d'une même discipline et, plus largement, celle de l'ensemble des enseignants d'un cursus donné, doit contribuer de façon efficace et cohérente à la qualité de ces interactions.

Il importe aussi que le contenu culturel et historique des mathématiques ne soit pas sacrifié au profit de la seule technicité. En particulier, il peut s'avérer pertinent d'analyser l'interaction entre un contexte historique et social donné, une problématique spécifique et la construction, pour la résoudre, d'outils mathématiques.

Architecture et contenu du programme

L'étude de chaque domaine du programme (analyse, algèbre, probabilités) permet de développer des aptitudes au raisonnement et à la modélisation, et d'établir des liens avec les autres disciplines.

Afin de contribuer au développement des compétences de modélisation et de représentation, le programme préconise le recours à des figures géométriques pour aborder l'algèbre linéaire, les espaces préhilbertiens, les fonctions de variable réelle ou vectorielle.

Le programme d'algèbre comprend deux sections. La première prolonge l'étude de l'algèbre linéaire abordée en première année et combine les points de vue géométrique (éléments propres), algébrique (polynômes d'endomorphisme) et matriciel pour aboutir à une solide étude de la réduction : diagonalisation, trigonalisation. La deuxième étudie, dans le cadre euclidien, les isométries vectorielles et les endomorphismes autoadjoints (théorème spectral), et introduit les endomorphismes autoadjoints positifs en vue de l'optimisation.

La topologie est étudiée dans le cadre général des espaces vectoriels normés. Son étude permet d'étendre les notions de suite, limite, continuité étudiées en première année dans le cadre de la droite réelle, et de mettre en évidence quelques aspects de la dimension finie : équivalence des normes, théorème des bornes atteintes pour les fonctions continues sur les fermés bornés, continuité des applications linéaires et polynomiales.

Après quelques compléments sur les séries numériques, la section sur les suites et séries de fonctions étudie divers modes de convergence et établit des résultats de régularité pour les limites de suites ou les sommes de séries de fonctions à valeurs réelles ou complexes.

Les séries entières permettent de construire des fonctions de variable complexe et de fournir un outil pour la résolution d'équations différentielles linéaires, en admettant le théorème de Cauchy, et pour les probabilités au travers des fonctions génératrices.

La section sur l'intégration introduit, pour les fonctions continues par morceaux sur un intervalle quelconque, la notion d'intégrale généralisée et celle de fonction intégrable.

Les théorèmes sur l'intégration des suites et séries de fonctions (convergence dominée, intégration terme à terme) et sur les intégrales à paramètre concluent cette section.

La section sur les variables aléatoires discrètes propose une introduction à minima de la dénombrabilité et des familles sommables en appui des notions générales de la théorie des probabilités, afin d'étendre l'étude menée en première année des variables aléatoires finies, ce qui permet d'élargir le champ des situations se prêtant à une modélisation probabiliste.

La loi faible des grands nombres permet de justifier a posteriori l'approche fréquentiste d'une probabilité pour un schéma de Bernoulli, déjà évoquée dans le cursus antérieur des étudiants. L'inégalité qui la sous-tend précise la vitesse de convergence de cette approximation et valide l'interprétation de la variance comme indicateur de dispersion.

Cette section a vocation à interagir avec le reste du programme, notamment en exploitant les séries génératrices.

Le programme permet aussi, en liaison avec la réduction, de traiter des exemples d'équations ou de systèmes différentiels linéaires à coefficients constants.

Après quelques éléments sur la dérivabilité des fonctions vectorielles, la section sur les fonctions de plusieurs variables est axée sur la mise en place d'outils permettant de traiter des applications du calcul différentiel à l'analyse et à la géométrie. Elle s'achève par une étude au second ordre des extremums qui s'appuie sur les matrices symétriques.

Organisation du texte

Les programmes définissent les objectifs de l'enseignement et décrivent les connaissances et les capacités exigibles des étudiants ; ils précisent aussi certains points de terminologie et certaines notations. Ils fixent clairement les limites à respecter tant au niveau de l'enseignement qu'à celui des épreuves d'évaluation, y compris par les opérateurs de concours.

Le programme est décliné en sections. Chaque section comporte un bandeau définissant les objectifs essentiels et délimitant le cadre d'étude des notions qui lui sont relatives et un texte présenté en deux colonnes : à gauche figurent les contenus du programme (connaissances et méthodes) ; à droite un commentaire indique les capacités exigibles des étudiants, précise quelques notations ainsi que le sens ou les limites à donner à certaines questions. Dans le cadre de sa liberté pédagogique et dans le respect de la cohérence de la formation globale, le professeur décide de l'organisation de son enseignement et du choix de ses méthodes.

En particulier, l'ordre de présentation des différentes sections ne doit pas être interprété comme un modèle de progression. Parmi les connaissances (définitions, notations, énoncés, démonstrations, méthodes, algorithmes...) et les capacités de mobilisation de ces connaissances, le texte du programme délimite trois catégories :

- celles qui sont exigibles des étudiants : il s'agit de l'ensemble des points figurant dans la colonne de gauche des différentes sections ;
- celles qui sont indiquées dans les bandeaux et la colonne de droite comme étant « hors programme ». Elles ne doivent pas être traitées et ne peuvent faire l'objet d'aucune épreuve d'évaluation ;
- celles qui relèvent d'activités possibles ou souhaitables, mais qui ne sont pas exigibles des étudiants. Il s'agit des activités proposées pour illustrer les différentes notions du programme (visualisations à l'aide de l'outil informatique, activités en lien avec les autres disciplines).

Pour les démonstrations des théorèmes dont l'énoncé figure au programme et qui sont repérées dans la colonne de droite par la locution « démonstration non exigible », le professeur est libre d'apprécier, selon le cas, s'il est souhaitable de démontrer en détail le résultat considéré, d'indiquer seulement l'idée de sa démonstration, ou de l'admettre.

Programme

Algèbre linéaire

Dans toute cette partie, \mathbb{K} désigne \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

A - Compléments sur les espaces vectoriels, les endomorphismes et les matrices

Le programme est organisé autour de trois objectifs :

- consolider les acquis de la classe de première année;
- introduire de nouveaux concepts préliminaires à la réduction des endomorphismes : somme de plusieurs sous-espaces vectoriels, somme directe, sous-espaces stables, matrices par blocs, trace, polynômes d'endomorphismes et de matrices carrées, polynômes interpolateurs de Lagrange;
- passer du point de vue vectoriel au point de vue matriciel et inversement.

Le programme valorise les interprétations géométriques et préconise l'illustration des notions et résultats par de nombreuses figures.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Produit d'espaces vectoriels, somme de sous-espaces vectoriels

Produit d'un nombre fini d'espaces vectoriels ; dimension dans le cas où ces espaces sont de dimension finie.

Somme, somme directe d'une famille finie de sous-espaces vectoriels.

En dimension finie, base adaptée à un sous-espace vectoriel, à une décomposition $E = \bigoplus E_i$.

Si F_1, \dots, F_p sont des sous-espaces de dimension finie,

$$\dim\left(\sum_{i=1}^p F_i\right) \leq \sum_{i=1}^p \dim(F_i)$$

avec égalité si et seulement si la somme est directe.

Décomposition en somme directe obtenue par partition d'une base.

b) Matrices par blocs et sous-espaces stables

Matrices définies par blocs, opérations par blocs de tailles compatibles (combinaison linéaire, produit, transposition).

Déterminant d'une matrice triangulaire par blocs.

Sous-espace vectoriel stable par un endomorphisme, endomorphisme induit.

Si u et v commutent alors le noyau de u est stable par v .

Traduction matricielle de la stabilité d'un sous-espace vectoriel par un endomorphisme et interprétation en termes d'endomorphismes d'une matrice triangulaire ou diagonale par blocs.

c) Trace

Trace d'une matrice carrée.

Linéarité, trace d'une transposée.

Relation $\text{tr}(AB) = \text{tr}(BA)$.

Invariance de la trace par similitude. Trace d'un endomorphisme d'un espace de dimension finie.

Notation $\text{tr}(A)$.

d) Polynômes d'endomorphismes et de matrices carrées

Polynôme d'un endomorphisme, d'une matrice carrée.

Polynôme annulateur.

Deux polynômes de l'endomorphisme u commutent.

Adaptation de ces résultats aux matrices carrées.

Relation $(PQ)(u) = P(u) \circ Q(u)$.

Application au calcul de l'inverse et des puissances.

Le noyau de $P(u)$ est stable par u .

e) Interpolation de Lagrange

Base de $\mathbb{K}_n[X]$ constituée des polynômes interpolateurs de Lagrange en $n + 1$ points distincts de \mathbb{K} .

Déterminant de Vandermonde.

Expression d'un polynôme $P \in \mathbb{K}_n[X]$ dans cette base.

La somme des polynômes interpolateurs de Lagrange en $n + 1$ points est le polynôme constant égal à 1.

Lien avec le problème d'interpolation de Lagrange.

B - Réduction des endomorphismes et des matrices carrées

La réduction des endomorphismes et des matrices carrées permet d'approfondir les notions étudiées en première année. Il est attendu des étudiants qu'ils maîtrisent les deux points de vue suivants :

- l'aspect géométrique (sous-espaces stables, éléments propres);
- l'aspect algébrique (utilisation de polynômes annulateurs).

L'étude des classes de similitude est hors programme ainsi que la notion de polynôme minimal.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Éléments propres

Droite stable par un endomorphisme.

Valeur propre, vecteur propre (non nul), sous-espace propre d'un endomorphisme.

Spectre d'un endomorphisme en dimension finie.

La somme d'une famille finie de sous-espaces propres d'un endomorphisme est directe.

Si un polynôme P annule u , toute valeur propre de u est racine de P .

Valeur propre, vecteur propre, sous-espace propre et spectre d'une matrice carrée.

Équation aux éléments propres $u(x) = \lambda x$.

Si u et v commutent, les sous-espaces propres de u sont stables par v .

Notation $\text{Sp}(u)$.

La notion de valeur spectrale est hors programme.

Toute famille finie de vecteurs propres associés à des valeurs propres distinctes est libre.

Si $u(x) = \lambda x$, alors $P(u)(x) = P(\lambda)x$.

Équation aux éléments propres $AX = \lambda X$.

b) Polynôme caractéristique

Polynôme caractéristique d'une matrice carrée, d'un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie.

Les valeurs propres d'un endomorphisme de dimension finie sont les racines de son polynôme caractéristique.

Multiplicité d'une valeur propre. Majoration de la dimension d'un sous-espace propre par la multiplicité.

Théorème de Cayley-Hamilton.

Par convention le polynôme caractéristique est unitaire.

Notations χ_A, χ_u .

Coefficients de degrés 0 et $n - 1$.

Spectre complexe d'une matrice carrée réelle.

Deux matrices semblables ont le même polynôme caractéristique, donc les mêmes valeurs propres avec mêmes multiplicités.

La démonstration n'est pas exigible.

c) Diagonalisation en dimension finie

Un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie est dit diagonalisable s'il existe une base dans laquelle sa matrice est diagonale.

Une matrice carrée est dite diagonalisable si elle est semblable à une matrice diagonale.

Un endomorphisme d'un espace vectoriel E est diagonalisable si et seulement si la somme de ses sous-espaces propres est égale à E .

Un endomorphisme est diagonalisable si et seulement si la somme des dimensions de ses sous-espaces propres est égale à la dimension de l'espace.

Un endomorphisme est diagonalisable si et seulement si son polynôme caractéristique est scindé sur \mathbb{K} et si, pour toute valeur propre, la dimension du sous-espace propre associé est égale à sa multiplicité.

Un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension n admettant n valeurs propres distinctes est diagonalisable.

Une telle base est constituée de vecteurs propres.

Interprétation en termes d'endomorphisme.

Calcul des puissances d'une matrice diagonalisable.

Dans la pratique des cas numériques, on se limite à $n = 2$ ou $n = 3$.

Exemple des projecteurs et des symétries.

Traduction matricielle.

Traduction matricielle.

Polynôme caractéristique scindé à racines simples.

Traduction matricielle.

d) Diagonalisabilité et polynômes annulateurs

Un endomorphisme est diagonalisable si et seulement s'il admet un polynôme annulateur scindé à racines simples.

L'endomorphisme induit par un endomorphisme diagonalisable sur un sous-espace vectoriel stable est diagonalisable.

Un endomorphisme u est diagonalisable si et seulement s'il admet $\prod_{\lambda \in \text{Sp}(u)} (X - \lambda)$ pour polynôme annulateur.

La démonstration n'est pas exigible.

Traduction matricielle.

Le lemme de décomposition des noyaux est hors programme.

e) Trigonalisation en dimension finie

Un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie est dit trigonalisable s'il existe une base dans laquelle sa matrice est triangulaire.

Une matrice carrée est dite trigonalisable si elle est semblable à une matrice triangulaire.

Un endomorphisme est trigonalisable si et seulement si son polynôme caractéristique est scindé sur \mathbb{K} .

Toute matrice de $\mathcal{M}_n(\mathbb{C})$ est trigonalisable.

Expression de la trace et du déterminant d'un endomorphisme trigonalisable, d'une matrice trigonalisable à l'aide des valeurs propres.

Interprétation en termes d'endomorphisme.

La démonstration n'est pas exigible.

Traduction matricielle.

La technique générale de trigonalisation est hors programme. On se limite dans la pratique à des exemples simples en petite dimension et tout exercice de trigonalisation effective doit comporter une indication.

Endomorphismes des espaces euclidiens

Cette section vise les objectifs suivants :

- consolider les acquis de la classe de première année sur les espaces préhilbertiens réels;
- étudier isométries vectorielles et matrices orthogonales, et les décrire en dimension deux en insistant sur les représentations géométriques;
- approfondir la thématique de réduction des endomorphismes dans le cadre euclidien en énonçant les formes géométrique et matricielle du théorème spectral;
- introduire la notion d'endomorphisme autoadjoint positif, qui trouvera notamment son application au calcul différentiel d'ordre 2.

Pour les applications courantes en dimension trois, on peut au besoin recourir au produit vectoriel, déjà introduit et connu des étudiants dans l'enseignement des sciences physiques notamment.

La notion d'adjoint est hors programme.

a) Isométries vectorielles d'un espace euclidien

Un endomorphisme d'un espace euclidien est une isométrie vectorielle s'il conserve la norme.

Caractérisations par la conservation du produit scalaire, par l'image d'une base orthonormée.

Groupe orthogonal.

Exemple : symétries orthogonales, cas particulier des réflexions.

Notation $O(E)$.

On vérifie les propriétés lui conférant une structure de groupe, mais la définition axiomatique des groupes est hors programme.

Stabilité de l'orthogonal d'un sous-espace stable.

b) Matrices orthogonales

Une matrice A de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ est orthogonale si $A^T A = I_n$.	Interprétation en termes de colonnes et de lignes. Caractérisation comme matrice de changement de base orthonormée.
Caractérisation d'une isométrie vectorielle à l'aide de sa matrice dans une base orthonormée. Groupe orthogonal.	On mentionne la terminologie « automorphisme orthogonal », tout en lui préférant celle d'« isométrie vectorielle ». Notations $O_n(\mathbb{R})$, $O(n)$.
Déterminant d'une matrice orthogonale. Groupe spécial orthogonal. Orientation. Bases orthonormées directes.	Notations $SO_n(\mathbb{R})$, $SO(n)$.

c) Isométries vectorielles d'un plan euclidien

Description des matrices de $O_2(\mathbb{R})$, de $SO_2(\mathbb{R})$. Rotation vectorielle d'un plan euclidien orienté.	Commutativité de $SO_2(\mathbb{R})$. On introduit à cette occasion, sans soulever de difficulté, la notion de mesure d'un angle orienté de vecteurs non nuls.
Classification des isométries vectorielles d'un plan euclidien.	

d) Réduction des endomorphismes autoadjoints et des matrices symétriques réelles

Endomorphisme autoadjoint d'un espace euclidien.	Notation $\mathcal{S}(E)$. Caractérisation des projecteurs orthogonaux.
Caractérisation d'un endomorphisme autoadjoint à l'aide de sa matrice dans une base orthonormée.	On mentionne la terminologie « endomorphisme symétrique », tout en lui préférant celle d'« endomorphisme autoadjoint ».
Théorème spectral : tout endomorphisme autoadjoint d'un espace euclidien admet une base orthonormée de vecteurs propres.	La démonstration n'est pas exigible. Forme matricielle du théorème spectral.
Endomorphisme autoadjoint positif, défini positif. Matrice symétrique positive, définie positive.	Caractérisation spectrale. Notations $\mathcal{S}^+(E)$, $\mathcal{S}^{++}(E)$. Caractérisation spectrale. Notations $\mathcal{S}_n^+(\mathbb{R})$, $\mathcal{S}_n^{++}(\mathbb{R})$.

Espaces vectoriels normés

Cette section vise les objectifs suivants :

- généraliser au cas des espaces vectoriels sur $\mathbb{K} = \mathbb{R}$ ou \mathbb{C} certaines notions (convergence de suites, limite et continuité de fonctions) étudiées en première année dans le cadre de l'analyse réelle, indispensables pour aborder l'étude des suites de matrices, des fonctions à valeurs vectorielles et du calcul différentiel;
- fournir un cadre topologique à la convergence des suites et séries de fonctions.

Les notions seront illustrées par des exemples concrets et variés.

Il convient de souligner l'aspect géométrique des concepts topologiques à l'aide de nombreuses figures.

a) Normes

Norme sur un espace vectoriel réel ou complexe. Espace vectoriel normé. Norme associée à un produit scalaire sur un espace pré-hilbertien réel.	Normes usuelles $\ \cdot\ _1$, $\ \cdot\ _2$ et $\ \cdot\ _\infty$ sur \mathbb{K}^n . Norme $\ \cdot\ _\infty$ sur un espace de fonctions bornées à valeurs dans \mathbb{K} . L'égalité $\sup(kA) = k \sup(A)$ pour A partie non vide de \mathbb{R} et $k \in \mathbb{R}^+$ peut être directement utilisée.
Distance associée à une norme. Boule ouverte, boule fermée, sphère. Partie convexe. Partie bornée, suite bornée, fonction bornée.	Convexité des boules.

b) Suites d'éléments d'un espace vectoriel normé

Convergence et divergence d'une suite.
 Unicité de la limite. Opérations sur les limites.
 Une suite convergente est bornée.
 Toute suite extraite d'une suite convergente est convergente.

Exemples dans des espaces de matrices, dans des espaces de fonctions.

c) Comparaison des normes

Normes équivalentes.

Invariance du caractère borné, de la convergence d'une suite.
 Utilisation de suites pour montrer que deux normes ne sont pas équivalentes.
 La comparaison effective de deux normes n'est pas un objectif du programme. On se limite en pratique à des exemples élémentaires.

d) Topologie d'un espace vectoriel normé

Point intérieur à une partie.
 Ouvert d'un espace normé.
 Stabilité par réunion quelconque, par intersection finie.
 Fermé d'un espace normé.

Une boule ouverte est un ouvert.

Caractérisation séquentielle.
 Une boule fermée, une sphère, sont des fermés.

Stabilité par réunion finie, par intersection quelconque.
 Point adhérent à une partie, adhérence.

L'adhérence est l'ensemble des points adhérents.
 Caractérisation séquentielle. Toute autre propriété de l'adhérence est hors programme.

Partie dense.
 Invariance des notions topologiques par passage à une norme équivalente.

e) Limite et continuité en un point

Limite d'une fonction en un point adhérent à son domaine de définition.
 Opérations algébriques sur les limites, composition.
 Continuité en un point.

Caractérisation séquentielle.

Caractérisation séquentielle.

f) Continuité sur une partie

Opérations algébriques, composition.
 Image réciproque d'un ouvert, d'un fermé par une application continue.

Si f est une application continue de E dans \mathbb{R} alors l'ensemble défini par $f(x) > 0$ est un ouvert et les ensembles définis par $f(x) = 0$ ou $f(x) \geq 0$ sont des fermés.

Fonction lipschitzienne. Toute fonction lipschitzienne est continue.

g) Espaces vectoriels normés de dimension finie

Équivalence des normes en dimension finie.

La démonstration est hors programme.
 La convergence d'une suite (ou l'existence de la limite d'une fonction) à valeurs dans un espace vectoriel normé de dimension finie équivaut à celle de chacune de ses coordonnées dans une base.
 La démonstration est hors programme.

Théorème des bornes atteintes :
 toute fonction réelle continue sur une partie non vide fermée bornée d'un espace vectoriel normé de dimension finie est bornée et atteint ses bornes.
 Continuité des applications linéaires, multilinéaires et polynomiales.

La notion de norme subordonnée est hors programme.
 Exemples du déterminant, du produit matriciel.

Suites et séries de fonctions

A - Compléments sur les séries numériques

Cette section a pour objectif de consolider et d'élargir les acquis de première année sur les séries, notamment la convergence absolue, en vue de l'étude des probabilités discrètes et des séries de fonctions. L'étude de la semi-convergence n'est pas un objectif du programme.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

Technique de comparaison série-intégrale.	Les étudiants doivent savoir utiliser la comparaison série-intégrale pour établir des convergences et des divergences de séries, estimer des sommes partielles de séries divergentes ou des restes de séries convergentes dans le cas d'une fonction monotone.
Formule de Stirling : équivalent de $n!$.	La démonstration n'est pas exigible.
Règle de d'Alembert.	
Théorème spécial des séries alternées, majoration et signe du reste.	La transformation d'Abel est hors programme.
Produit de Cauchy de deux séries absolument convergentes.	La démonstration n'est pas exigible.

B - Suites et séries de fonctions

Cette section a pour objectif de définir différents modes de convergence d'une suite, d'une série de fonctions et d'étudier le transfert à la limite, à la somme des propriétés des fonctions. Les fonctions sont définies sur un intervalle I de \mathbb{R} et à valeurs dans \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Modes de convergence d'une suite ou d'une série de fonctions

Convergence simple d'une suite de fonctions. Convergence uniforme. La convergence uniforme entraîne la convergence simple.	
Norme de la convergence uniforme sur l'espace des fonctions bornées à valeurs dans \mathbb{R} ou \mathbb{C} .	
Convergence simple, convergence uniforme, convergence normale d'une série de fonctions.	Utilisation d'une majoration uniforme de $ f_n(x) $ pour établir la convergence normale de $\sum f_n$.
La convergence normale entraîne la convergence uniforme.	La convergence normale entraîne la convergence absolue en tout point.

b) Régularité de la limite d'une suite de fonctions

Continuité de la limite d'une suite de fonctions : si une suite (f_n) de fonctions continues sur I converge uniformément vers f sur I , alors f est continue sur I .	En pratique, on vérifie la convergence uniforme sur tout segment, ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.
Intégration sur un segment de la limite d'une suite de fonctions : si une suite (f_n) de fonctions continues converge uniformément vers f sur $[a, b]$ alors : $\int_a^b f_n(t) dt \xrightarrow{n \rightarrow +\infty} \int_a^b f(t) dt.$	
Dérivabilité de la limite d'une suite de fonctions : si une suite (f_n) de fonctions de classe \mathcal{C}^1 sur un intervalle I converge simplement sur I vers une fonction f , et si la suite (f'_n) converge uniformément sur I vers une fonction g , alors f est de classe \mathcal{C}^1 sur I et $f' = g$.	En pratique, on vérifie la convergence uniforme sur tout segment, ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.

Extension aux suites de fonctions de classe \mathcal{C}^k , sous l'hypothèse de convergence uniforme de $(f_n^{(k)})$ et de convergence simple de $(f_n^{(j)})$ pour $0 \leq j < k$.

c) Régularité de la somme d'une série de fonctions

Continuité de la somme d'une série de fonctions :
si une série $\sum f_n$ de fonctions continues sur I converge uniformément sur I , alors sa somme est continue sur I .

En pratique, on vérifie la convergence uniforme sur tout segment, ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.

Théorème de la double limite :
si une série $\sum f_n$ de fonctions définies sur I converge uniformément sur I et si, pour tout n , f_n admet une limite ℓ_n en a borne de I (éventuellement infinie), alors la série $\sum \ell_n$ converge, la somme de la série admet une limite en a et :

La démonstration est hors programme.

$$\sum_{n=0}^{+\infty} f_n(x) \xrightarrow{x \rightarrow a} \sum_{n=0}^{+\infty} \ell_n.$$

Intégration de la somme d'une série de fonctions sur un segment :
si une série $\sum f_n$ de fonctions continues converge uniformément sur $[a, b]$ alors la série des intégrales est convergente et :

$$\int_a^b \sum_{n=0}^{+\infty} f_n(t) dt = \sum_{n=0}^{+\infty} \int_a^b f_n(t) dt.$$

Dérivation de la somme d'une série de fonctions :
si une série $\sum f_n$ de classe \mathcal{C}^1 converge simplement sur un intervalle I et si la série $\sum f_n'$ converge uniformément sur I , alors la somme $\sum_{n=0}^{+\infty} f_n$ est de classe \mathcal{C}^1 sur I et sa dérivée est $\sum_{n=0}^{+\infty} f_n'$.

En pratique, on vérifie la convergence uniforme sur tout segment ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.

Extension à la classe \mathcal{C}^k sous hypothèse similaire à celle décrite dans le cas des suites de fonctions.

C - Séries entières

Les objectifs de cette section sont les suivants :

- étudier la convergence d'une série entière et mettre en évidence la notion de rayon de convergence;
- étudier les propriétés de sa somme en se limitant à la continuité dans le cas d'une variable complexe;
- établir les développements en série entière des fonctions usuelles.

Les séries entières trouveront un cadre d'application dans la notion de fonction génératrice en probabilités.

a) Rayon de convergence

Série entière de la variable réelle, de la variable complexe.
Lemme d'Abel :
si la suite $(a_n z_0^n)$ est bornée alors, pour tout nombre complexe z tel que $|z| < |z_0|$, la série $\sum a_n z^n$ est absolument convergente.

Rayon de convergence R défini comme borne supérieure dans $[0, +\infty)$ de l'ensemble des réels positifs r tels que la suite $(a_n r^n)$ est bornée.

La série $\sum a_n z^n$ converge absolument si $|z| < R$, et elle diverge grossièrement si $|z| > R$.

Intervalle ouvert de convergence.

Disque ouvert de convergence.

Avec R_a (resp. R_b) le rayon de convergence de $\sum a_n z^n$, (resp. $\sum b_n z^n$) :

- si $a_n = O(b_n)$, alors $R_a \geq R_b$;
- si $a_n \sim b_n$, alors $R_a = R_b$.

Pour $\alpha \in \mathbb{R}$, $R(\sum n^\alpha x^n) = 1$.

Le résultat s'applique en particulier lorsque $a_n = o(b_n)$.

Application de la règle de d'Alembert pour les séries numériques au calcul du rayon.

Rayon de convergence de la somme et du produit de Cauchy de deux séries entières.

La limite du rapport $\frac{|a_{n+1}|}{|a_n|}$ peut être directement utilisée.

b) Régularité de la somme d'une série entière de la variable réelle

Convergence normale d'une série entière d'une variable réelle sur tout segment inclus dans l'intervalle ouvert de convergence.

Continuité de la somme sur l'intervalle ouvert de convergence.

Primitivation d'une série entière d'une variable réelle sur l'intervalle ouvert de convergence.

Caractère \mathcal{C}^∞ de la somme d'une série entière d'une variable réelle sur l'intervalle ouvert de convergence et obtention des dérivées par dérivation terme à terme.

Expression des coefficients d'une série entière de rayon de convergence strictement positif au moyen des dérivées successives en 0 de sa somme.

L'étude des propriétés de la somme au bord de l'intervalle ouvert de convergence n'est pas un objectif du programme.

Relation $R(\sum a_n x^n) = R(\sum n a_n x^n)$.

c) Développement en série entière au voisinage de 0 d'une fonction d'une variable réelle

Fonction développable en série entière sur un intervalle $] -r, r[$.

Série de Taylor d'une fonction de classe \mathcal{C}^∞ .

Unicité du développement en série entière.

Développements des fonctions usuelles.

Formule de Taylor avec reste intégral.

Les étudiants doivent connaître les développements en série entière des fonctions : exponentielle, cosinus, sinus, cosinus et sinus hyperboliques, Arctan, $x \mapsto \ln(1+x)$ et $x \mapsto (1+x)^\alpha$.

Les étudiants doivent savoir développer une fonction en série entière à l'aide d'une équation différentielle linéaire. L'unicité de la solution d'un problème de Cauchy adapté sera explicitement admise.

d) Séries géométrique et exponentielle d'une variable complexe

Continuité de la somme d'une série entière de la variable complexe sur le disque ouvert de convergence.

Développement de $\frac{1}{1-z}$ sur le disque unité ouvert.

Développement de $\exp(z)$ sur \mathbb{C} .

La démonstration est hors programme.

Intégration sur un intervalle quelconque

Cette section vise les objectifs suivants :

- étendre la notion d'intégrale étudiée en première année à des fonctions continues par morceaux sur un intervalle quelconque par le biais des intégrales généralisées ;
- définir, dans le cadre des fonctions continues par morceaux, la notion de fonction intégrable ;
- compléter la section dédiée aux suites et aux séries de fonctions par les théorèmes de convergence dominée et d'intégration terme à terme ;
- étudier les fonctions définies par des intégrales dépendant d'un paramètre.

On évite tout excès de rigueur dans la rédaction. Ainsi, dans les calculs concrets mettant en jeu l'intégration par parties ou le changement de variable, on n'impose pas de rappeler les hypothèses de régularité des résultats utilisés. De même, dans l'application des théorèmes de passage à la limite sous l'intégrale ou de régularité des intégrales à paramètre, on se limite à la vérification des hypothèses cruciales, sans insister sur la continuité par morceaux en la variable d'intégration.

Les fonctions considérées sont définies sur un intervalle de \mathbb{R} et à valeurs dans \mathbb{K} , ensemble des nombres réels ou des nombres complexes.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Fonctions continues par morceaux

Fonctions continues par morceaux sur un segment, sur un intervalle de \mathbb{R} .

Intégrale sur un segment d'une fonction continue par morceaux.

Brève extension des propriétés de l'intégrale d'une fonction continue sur un segment étudiées en première année. Aucune construction n'est exigible.

b) Intégrales généralisées sur un intervalle de la forme $[a, +\infty[$

Pour f continue par morceaux sur $[a, +\infty[$, l'intégrale $\int_a^{+\infty} f(t) dt$ est dite convergente si $\int_a^x f(t) dt$ a une limite finie lorsque x tend vers $+\infty$.

Notations $\int_a^{+\infty} f$, $\int_a^{+\infty} f(t) dt$.
Intégrale convergente (resp. divergente) en $+\infty$.

Si f est continue par morceaux sur $[a, +\infty[$ et à valeurs positives, alors $\int_a^{+\infty} f(t) dt$ converge si et seulement si $x \mapsto \int_a^x f(t) dt$ est majorée.

Si f et g sont deux fonctions continues par morceaux sur $[a, +\infty[$ telles que $0 \leq f \leq g$, la convergence de $\int_a^{+\infty} g$ implique celle de $\int_a^{+\infty} f$.

c) Intégrales généralisées sur un intervalle quelconque

Adaptation du paragraphe précédent aux fonctions continues par morceaux définies sur un intervalle semi-ouvert ou ouvert de \mathbb{R} .

Propriétés des intégrales généralisées :
linéarité, positivité, croissance, relation de Chasles.

Notations $\int_a^b f$, $\int_a^b f(t) dt$.
Intégrale convergente (resp. divergente) en b , en a .

Intégration par parties sur un intervalle quelconque :

$$\int_a^b f(t) g'(t) dt = [fg]_a^b - \int_a^b f'(t) g(t) dt.$$

La démonstration n'est pas exigible.
L'existence des limites finies du produit fg aux bornes de l'intervalle assure que les intégrales de fg' et $f'g$ sont de même nature.
Pour les applications pratiques, on ne demande pas de rappeler les hypothèses de régularité.

Changement de variable :

si $\varphi :]\alpha, \beta[\rightarrow]a, b[$ est une bijection strictement croissante de classe \mathcal{C}^1 , et si f est continue sur $]a, b[$, alors $\int_a^b f(t) dt$ et $\int_\alpha^\beta (f \circ \varphi)(u) \varphi'(u) du$ sont de même nature, et égales en cas de convergence.

La démonstration n'est pas exigible.

Adaptation au cas où φ est strictement décroissante.

On applique ce résultat sans justification dans les cas de changements de variable usuels.

d) Intégrales absolument convergentes et fonctions intégrables

Intégrale absolument convergente.

La convergence absolue implique la convergence.

Inégalité triangulaire.

Une fonction est dite intégrable sur un intervalle I si elle est continue par morceaux sur I et son intégrale sur I est absolument convergente.

Espace vectoriel $L^1(I, \mathbb{K})$ des fonctions intégrables sur I à valeurs dans \mathbb{K} .

Si f est continue, intégrable et positive sur I , et si $\int_I f(t) dt = 0$, alors f est identiquement nulle.

Théorème de comparaison :

pour f et g deux fonctions continues par morceaux sur $[a, +\infty[$:

- si $f(t) \underset{t \rightarrow +\infty}{=} O(g(t))$, alors l'intégrabilité de g en $+\infty$ implique celle de f .
- si $f(t) \underset{t \rightarrow +\infty}{\sim} g(t)$, alors l'intégrabilité de f en $+\infty$ est équivalente à celle de g .

L'étude des intégrales semi-convergentes n'est pas un objectif du programme.

Notations $\int_I f, \int_I f(t) dt$.

Pour $I = [a, b[$ (respectivement $]a, b]$), fonction intégrable en b (resp. en a).

Adaptation au cas d'un intervalle quelconque.

Le résultat s'applique en particulier si $f(t) \underset{t \rightarrow +\infty}{=} o(g(t))$.

Fonctions de référence :

pour $\alpha \in \mathbb{R}$,

- intégrales de Riemann : étude de l'intégrabilité de $t \mapsto \frac{1}{t^\alpha}$ en $+\infty$, en 0^+ ;
- étude de l'intégrabilité de $t \mapsto e^{-\alpha t}$ en $+\infty$.

L'intégrabilité de $t \mapsto \ln t$ en 0 peut être directement utilisée.

Les résultats relatifs à l'intégrabilité de $x \mapsto \frac{1}{|x-a|^\alpha}$ en a peuvent être directement utilisés.

Plus généralement, les étudiants doivent savoir que la fonction $x \mapsto f(x)$ est intégrable en a^+ (resp. en b^-) si $t \mapsto f(a+t)$ (resp. $t \mapsto f(b-t)$) l'est en 0^+ .

e) Suites et séries de fonctions intégrables

Pour l'application pratique des énoncés de ce paragraphe, on vérifie les hypothèses de convergence simple et de domination (resp. convergence de la série des intégrales), sans expliciter celles relatives à la continuité par morceaux.

Théorème de convergence dominée :

si une suite (f_n) de fonctions continues par morceaux sur I converge simplement vers une fonction f continue par morceaux sur I et s'il existe une fonction φ intégrable sur I vérifiant $|f_n| \leq \varphi$ pour tout n , alors les fonctions f_n et f sont intégrables sur I et :

$$\int_I f_n(t) dt \xrightarrow{n \rightarrow +\infty} \int_I f(t) dt.$$

La démonstration est hors programme.

Théorème d'intégration terme à terme :

si une série $\sum f_n$ de fonctions intégrables sur I converge simplement, si sa somme est continue par morceaux sur I , et si la série $\sum \int_I |f_n(t)| dt$ converge, alors $\sum_{n=0}^{+\infty} f_n$ est intégrable sur I et :

$$\int_I \sum_{n=0}^{+\infty} f_n(t) dt = \sum_{n=0}^{+\infty} \int_I f_n(t) dt.$$

La démonstration est hors programme.

On présente des exemples sur lesquels cet énoncé ne s'applique pas, mais dans lesquels l'intégration terme à terme peut être justifiée par le théorème de convergence dominée pour les sommes partielles.

f) Régularité d'une fonction définie par une intégrale à paramètre

Pour l'application pratique des énoncés de ce paragraphe, on vérifie les hypothèses de régularité par rapport à x et de domination, sans expliciter celles relatives à la continuité par morceaux par rapport à t .

Théorème de continuité :

si A et I sont deux intervalles de \mathbb{R} et f une fonction définie sur $A \times I$, telle que :

- pour tout $t \in I$, $x \mapsto f(x, t)$ est continue sur A ;
- pour tout $x \in A$, $t \mapsto f(x, t)$ est continue par morceaux sur I ;
- il existe une fonction φ intégrable sur I , telle que pour tout $(x, t) \in A \times I$, on ait $|f(x, t)| \leq \varphi(t)$;

alors la fonction $x \mapsto \int_I f(x, t) dt$ est définie et continue sur A .

Théorème de convergence dominée à paramètre continu: si A et I sont deux intervalles de \mathbb{R} , a une borne de A et f une fonction définie sur $A \times I$ telle que :

- pour tout $t \in I$, $f(x, t) \xrightarrow{x \rightarrow a} \ell(t)$;
- pour tout $x \in A$, $t \mapsto f(x, t)$ et $t \mapsto \ell(t)$ sont continues par morceaux sur I ;
- il existe une fonction φ intégrable sur I , telle que pour tout $(x, t) \in A \times I$, on ait $|f(x, t)| \leq \varphi(t)$;

alors ℓ est intégrable sur I et :

$$\int_I f(x, t) dt \xrightarrow{x \rightarrow a} \int_I \ell(t) dt.$$

Théorème de dérivation :

si A et I sont deux intervalles de \mathbb{R} et f une fonction définie sur $A \times I$, telle que :

- pour tout $t \in I$, $x \mapsto f(x, t)$ est de classe \mathcal{C}^1 sur A ;
- pour tout $x \in A$, $t \mapsto f(x, t)$ est intégrable sur I ;
- pour tout $x \in A$, $t \mapsto \frac{\partial f}{\partial x}(x, t)$ est continue par morceaux sur I ;
- il existe une fonction φ intégrable sur I , telle que pour tout $(x, t) \in A \times I$, on ait $\left| \frac{\partial f}{\partial x}(x, t) \right| \leq \varphi(t)$;

alors la fonction $g : x \mapsto \int_I f(x, t) dt$ est de classe \mathcal{C}^1 sur A et vérifie :

$$\forall x \in A, \quad g'(x) = \int_I \frac{\partial f}{\partial x}(x, t) dt.$$

Extension à la classe \mathcal{C}^k d'une intégrale à paramètre, sous hypothèse de domination de $t \mapsto \frac{\partial^k f}{\partial x^k}(x, t)$ et d'intégrabi-

lité des $t \mapsto \frac{\partial^j f}{\partial x^j}(x, t)$ pour $0 \leq j < k$.

En pratique, on vérifie l'hypothèse de domination sur tout segment de A , ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.

On remarque qu'il s'agit d'une simple extension du théorème relatif aux suites de fonctions.

La démonstration n'est pas exigible.

En pratique, on vérifie l'hypothèse de domination sur tout segment de A , ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.

Exemples d'études de fonctions définies comme intégrales à paramètre : régularité, étude asymptotique, exploitation d'une équation différentielle élémentaire. L'unicité de la solution d'un problème de Cauchy adapté sera explicitement admise.

Variabes aléatoires discrètes

On généralise l'étude des variables aléatoires à valeurs dans un ensemble fini menée en première année aux variables aléatoires discrètes. Ces outils permettent d'aborder, sur des exemples simples, l'étude de procédés stochastiques à temps discret. La mise en place du cadre de cette étude se veut à la fois minimale, pratique et rigoureuse :

- la notion de tribu n'appelle aucun autre développement que sa définition;
- l'étude de la dénombrabilité d'un ensemble et la construction d'espaces probabilisés sont hors programme;
- les diverses notions de convergences (presque sûre, en probabilité, en loi, etc.) sont hors programme.

Toutes les variables aléatoires mentionnées dans le programme sont implicitement supposées discrètes.

La notion de variable à densité est hors programme.

La notion d'espérance conditionnelle est hors programme.

A - Ensembles dénombrables, familles sommables

Ce préambule propose une introduction a minima de la dénombrabilité et des familles sommables, afin de poser les bases de vocabulaire, méthodes et résultats qui seront admis, et directement utilisés. Chaque professeur est libre d'en adapter le contenu au niveau de formalisme qu'il juge préférable pour ses étudiants.

Ces notions ne feront l'objet d'aucune évaluation spécifique, et leur usage est strictement réservé au contexte probabiliste.

- Un ensemble est dit (au plus) dénombrable s'il est en bijection avec (une partie de) \mathbb{N} , c'est-à-dire s'il peut être décrit en extension sous la forme $\{x_i, i \in I\}$ où $I = \mathbb{N}$ ($I \subset \mathbb{N}$) avec des x_i distincts.

Sont dénombrables : \mathbb{Z} , un produit cartésien d'un nombre fini d'ensembles dénombrables, une union au plus dénombrable d'ensembles dénombrables. Une partie d'un ensemble dénombrable est au plus dénombrable.

- En vue de généraliser les sommes finies et les sommes de séries de réels positifs, on admet sans soulever de difficulté qu'on sait associer à toute famille au plus dénombrable $(x_i)_{i \in I}$ d'éléments de $[0, +\infty]$ sa somme

$$\sum_{i \in I} x_i \in [0, +\infty], \text{ et que pour tout découpage en paquets } I = \bigcup_{n \in \mathbb{N}} I_n \text{ de } I, \sum_{i \in I} x_i = \sum_{n=0}^{+\infty} \left(\sum_{i \in I_n} x_i \right).$$

La famille $(x_i)_{i \in I}$ d'éléments de $[0, +\infty]$ est dite sommable si $\sum_{i \in I} x_i < \infty$. En pratique, dans le cas positif, les étudiants peuvent découper, calculer et majorer leurs sommes directement, la finitude de la somme valant preuve de sommabilité.

- Une famille $(x_i)_{i \in I}$ au plus dénombrable de nombres complexes est dite sommable si $(|x_i|)_{i \in I}$ l'est. Pour $I = \mathbb{N}$, la sommabilité d'une suite équivaut à la convergence absolue de la série associée. Si $|x_i| \leq y_i$ pour tout $i \in I$, la sommabilité de $(y_i)_{i \in I}$ implique celle de $(x_i)_{i \in I}$.

En cas de sommabilité, les sommes se manipulent naturellement grâce aux propriétés suivantes : croissance, linéarité, sommation par paquets, théorème de Fubini, produit de deux sommes.

B - Probabilités, variables aléatoires discrètes et lois usuelles

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Univers, événements, variables aléatoires discrètes

Univers Ω , tribu \mathcal{A} . Espace probabilisable (Ω, \mathcal{A}) .

On se limite à la définition et à la stabilité par les opérations ensemblistes finies ou dénombrables.

Traduction de la réalisation des événements $\bigcup_{n=0}^{+\infty} A_n$ et

$\bigcap_{n=0}^{+\infty} A_n$ à l'aide des quantificateurs \exists et \forall .

Événements.

Généralisation du vocabulaire relatif aux événements introduit en première année.

Une variable aléatoire discrète X est une application définie sur Ω , telle que $X(\Omega)$ est au plus dénombrable et, pour tout $x \in X(\Omega)$, $X^{-1}(\{x\})$ est un événement.

L'univers Ω n'est en général pas explicité.

Notations $(X = x)$, $\{X = x\}$, $(X \in A)$.

Notation $(X \geq x)$ (et analogues) lorsque X est à valeurs réelles.

b) Probabilité

Probabilité sur (Ω, \mathcal{A}) , σ -additivité.
Espace probabilisé (Ω, \mathcal{A}, P) .

Notation $P(A)$.

Probabilité de la réunion ou de la différence de deux événements, de l'événement contraire.
Croissance de la probabilité.
Continuité croissante, continuité décroissante.

Application : pour une suite $(A_n)_{n \in \mathbb{N}}$ d'événements (non nécessairement monotone), limites quand n tend vers l'infini de

$$P\left(\bigcup_{k=0}^n A_k\right) \quad \text{et} \quad P\left(\bigcap_{k=0}^n A_k\right).$$

Sous-additivité : $P\left(\bigcup_{n=0}^{+\infty} A_n\right) \leq \sum_{n=0}^{+\infty} P(A_n)$.

En cas de divergence de la série à termes positifs $\sum P(A_n)$, on rappelle que

$$\sum_{n=0}^{+\infty} P(A_n) = +\infty.$$

Événement presque sûr, événement négligeable.

Système quasi-complet d'événements.

c) Probabilités conditionnelles

Si $P(B) > 0$, la probabilité conditionnelle de A sachant B est définie par la relation $P(A|B) = P_B(A) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$.

L'application P_B définit une probabilité.
Formule des probabilités composées.
Formule des probabilités totales.

Si $(A_n)_{n \geq 0}$ est un système complet ou quasi-complet d'événements, alors

$$P(B) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(B \cap A_n) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(B|A_n)P(A_n)$$

On rappelle la convention $P(B|A_n)P(A_n) = 0$ lorsque $P(A_n) = 0$.

Formule de Bayes.

d) Loi d'une variable aléatoire discrète

Loi P_X d'une variable aléatoire discrète.

La probabilité P_X est déterminée par la distribution de probabilités $(P(X = x))_{x \in X(\Omega)}$.

Variable aléatoire $f(X)$.
Si $X \sim Y$ alors $f(X) \sim f(Y)$.

On note $X \sim Y$ lorsque les variables X et Y suivent la même loi, sans soulever de difficulté sur cette notation.
On ne soulève aucune difficulté sur le fait que $f(X)$ est une variable aléatoire.

Variable géométrique de paramètre $p \in]0, 1[$:
 $\forall k \in \mathbb{N}^*, P(X = k) = p(1 - p)^{k-1}$.

Notation $X \sim \mathcal{G}(p)$.

Relation $P(X > k) = (1 - p)^k$.

Interprétation comme rang du premier succès dans une suite illimitée d'épreuves de Bernoulli indépendantes et de même paramètre p .

Variable de Poisson de paramètre $\lambda > 0$:
 $\forall k \in \mathbb{N}, P(X = k) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!}$.

Notation $X \sim \mathcal{P}(\lambda)$.

Interprétation en termes d'événements rares.

Couple de variables aléatoires discrètes.

Un couple de variables aléatoires est une variable aléatoire à valeurs dans un produit.

Notation $P(X = x, Y = y)$.

Extension aux n -uplets de variables aléatoires.

Loi conjointe, lois marginales.

Loi conditionnelle de Y sachant un événement A .

e) Événements indépendants

Indépendance de deux événements.

Si $P(B) > 0$, l'indépendance de A et B équivaut à $P(A|B) = P(A)$.

Indépendance d'une famille finie d'événements.

L'indépendance deux à deux n'entraîne pas l'indépendance.

Si A et B sont indépendants, A et \bar{B} le sont aussi.Extension au cas de n événements.**f) Variables aléatoires indépendantes**Deux variables aléatoires discrètes X et Y définies sur Ω sont indépendantes si, pour tout $A \subset X(\Omega)$ et $B \subset Y(\Omega)$, les événements $(X \in A)$ et $(Y \in B)$ sont indépendants.Notation $X \perp\!\!\!\perp Y$.De façon équivalente, la distribution de probabilités de (X, Y) est donnée par

$$P(X = x, Y = y) = P(X = x)P(Y = y).$$

Extension au cas de n variables aléatoires.

Suites de variables aléatoires indépendantes, suites i.i.d.

On ne soulève aucune difficulté quant à l'existence d'un espace probabilisé portant une suite i.i.d.

Modélisation du jeu de pile ou face infini : suite i.i.d. de variables de Bernoulli.

Fonctions de variables indépendantes :

si $X \perp\!\!\!\perp Y$, alors $f(X) \perp\!\!\!\perp g(Y)$.

Lemme des coalitions :

si les variables aléatoires X_1, \dots, X_n sont indépendantes, alors $f(X_1, \dots, X_m)$ et $g(X_{m+1}, \dots, X_n)$ le sont aussi.

Extension au cas de plus de deux variables aléatoires.

Extension au cas de plus de deux coalitions.

C - Espérance et variance**a) Espérance d'une variable aléatoire discrète réelle ou complexe**Espérance d'une variable aléatoire à valeurs dans $[0, +\infty]$, définie par

$$E(X) = \sum_{x \in X(\Omega)} xP(X = x).$$

On adopte la convention $xP(X = x) = 0$ lorsque $x = +\infty$ et $P(X = +\infty) = 0$.Variable aléatoire X à valeurs réelles ou complexes d'espérance finie, espérance de X . X est d'espérance finie si la famille $(xP(X = x))_{x \in X(\Omega)}$ est sommable. Dans ce cas, la somme de cette famille est l'espérance de X .

Variable centrée.

Pour X variable aléatoire à valeurs dans $\mathbb{N} \cup \{+\infty\}$, relation :

$$E(X) = \sum_{n=1}^{+\infty} P(X \geq n).$$

Espérance d'une variable géométrique, de Poisson.

Formule de transfert :

 $f(X)$ est d'espérance finie si et seulement si la famille $(f(x)P(X = x))_{x \in X(\Omega)}$ est sommable. Dans ce cas :

$$E(f(X)) = \sum_{x \in X(\Omega)} f(x)P(X = x).$$

On remarque que la formule s'applique aux couples, aux n -uplets de variables aléatoires.

Linéarité de l'espérance.

Si $|X| \leq Y$ et $E(Y) < +\infty$, alors X est d'espérance finie.

Positivité, croissance de l'espérance.

Si X est positive et d'espérance nulle, alors $(X = 0)$ est presque sûr.

Pour X et Y deux variables aléatoires indépendantes d'espérance finie, alors XY est d'espérance finie et :

$$E(XY) = E(X)E(Y).$$

Extension au cas de n variables aléatoires.

b) Variance d'une variable aléatoire discrète réelle, écart type et covariance

Si X^2 est d'espérance finie, X est d'espérance finie.

Inégalité de Cauchy-Schwarz :

si X^2 et Y^2 sont d'espérance finie, alors XY l'est aussi et :

$$E(XY)^2 \leq E(X^2)E(Y^2)$$

Cas d'égalité.

Variance, écart type.

Notations $V(X)$, $\sigma(X)$.

Variable réduite.

Relation $V(X) = E(X^2) - E(X)^2$.

Relation $V(aX + b) = a^2V(X)$.

Si $\sigma(X) > 0$, la variable $\frac{X - E(X)}{\sigma(X)}$ est centrée réduite.

Variance d'une variable géométrique, de Poisson.

Covariance de deux variables aléatoires.

Relation $\text{Cov}(X, Y) = E(XY) - E(X)E(Y)$, cas de deux variables indépendantes.

Variance d'une somme finie, cas de variables deux à deux indépendantes.

c) Fonctions génératrices

Fonction génératrice de la variable aléatoire X à valeurs dans \mathbb{N} :

$$G_X(t) = E(t^X) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(X = n)t^n.$$

La série entière définissant G_X est de rayon ≥ 1 et converge normalement sur $[-1, 1]$. Continuité de G_X .

Les étudiants doivent savoir calculer rapidement la fonction génératrice d'une variable aléatoire de Bernoulli, binomiale, géométrique, de Poisson.

La loi d'une variable aléatoire X à valeurs dans \mathbb{N} est caractérisée par sa fonction génératrice G_X .

La variable aléatoire X est d'espérance finie si et seulement si G_X est dérivable en 1 ; dans ce cas $E(X) = G_X'(1)$.

Fonction génératrice d'une somme de deux variables aléatoires indépendantes à valeurs dans \mathbb{N} .

La démonstration de la réciproque n'est pas exigible.

Utilisation de G_X pour calculer $E(X)$ et $V(X)$.

Extension au cas d'une somme finie de variables aléatoires indépendantes.

d) Inégalités probabilistes

Inégalité de Markov.

Inégalité de Bienaymé-Tchebychev.

Loi faible des grands nombres :

si $(X_n)_{n \geq 1}$ est une suite i.i.d. de variables aléatoires de variance finie, alors en notant $S_n = \sum_{k=1}^n X_k$ et $m = E(X_1)$,

pour tout $\varepsilon > 0$:

$$P\left(\left|\frac{S_n}{n} - m\right| \geq \varepsilon\right) \xrightarrow{n \rightarrow +\infty} 0.$$

Les étudiants doivent savoir retrouver, avec $\sigma = \sigma(X_1)$:

$$P\left(\left|\frac{S_n}{n} - m\right| \geq \varepsilon\right) \leq \frac{\sigma^2}{n\varepsilon^2}.$$

Calcul différentiel

A - Dérivabilité des fonctions vectorielles

L'objectif de cette section est de généraliser aux fonctions à valeurs dans \mathbb{R}^n la notion de dérivée d'une fonction numérique. Toutes les fonctions sont définies sur un intervalle I de \mathbb{R} et à valeurs dans \mathbb{R}^n .

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

Dérivabilité en un point.
Dérivabilité sur un intervalle.

Définition par le taux d'accroissement, caractérisation par le développement limité d'ordre un.
Traduction par les coordonnées dans la base canonique.
Interprétation cinématique.

Combinaison linéaire de fonctions dérivables.
Dérivée de $L(f)$, où L est linéaire et f à valeurs dans \mathbb{R}^n .
Dérivée de $B(f, g)$, où B est bilinéaire, de $M(f_1, \dots, f_p)$, où M est p -linéaire, et f, g, f_1, \dots, f_p à valeurs vectorielles.
Dérivée de $f \circ \varphi$ où φ est à valeurs réelles et f à valeurs vectorielles.
Fonction de classe \mathcal{C}^k , de classe \mathcal{C}^∞ sur un intervalle.

La démonstration n'est pas exigible.
Application au produit scalaire et au déterminant.

B - Fonctions de plusieurs variables

Les dérivées partielles d'une fonction numérique définie sur un ouvert de \mathbb{R}^2 ont été introduites en première année. L'objectif de cette section est d'approfondir et de généraliser cette étude aux fonctions de $p \geq 2$ variables. L'étude d'une fonction de \mathbb{R}^p dans \mathbb{R}^n se ramenant à celle de ses coordonnées, cette section se consacre à l'étude des fonctions de \mathbb{R}^p dans \mathbb{R} . Elle est axée sur la mise en place d'outils permettant de traiter des applications du calcul différentiel à l'analyse et la géométrie. On se limite en pratique au cas $p = 2$ ou $p = 3$.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Fonctions de classe \mathcal{C}^1

Dérivée en un point selon un vecteur.
Dérivées partielles d'ordre 1 en un point d'une fonction définie sur un ouvert Ω de \mathbb{R}^p à valeurs dans \mathbb{R} .
Une fonction est dite de classe \mathcal{C}^1 sur Ω si ses dérivées partielles d'ordre 1 existent et sont continues sur Ω .
Opérations sur les fonctions de classe \mathcal{C}^1 .
Une fonction de classe \mathcal{C}^1 sur Ω admet en tout point a de Ω un développement limité d'ordre 1.
Différentielle de f en a .

Notation $D_v f(a)$.
Notation $\frac{\partial f}{\partial x_i}(a)$. On peut aussi utiliser $\partial_i f(a)$.
La démonstration n'est pas exigible.
Une fonction de classe \mathcal{C}^1 sur Ω est continue sur Ω .
Elle est définie comme la forme linéaire sur \mathbb{R}^p :
$$df(a) : (h_1, \dots, h_p) \mapsto \sum_{i=1}^p \frac{\partial f}{\partial x_i}(a) h_i.$$

Notation $df(a) \cdot h$.

b) Règle de la chaîne

Dérivée de $t \mapsto f(x_1(t), \dots, x_p(t))$.
Application au calcul des dérivées partielles de :
 $(u_1, \dots, u_n) \mapsto f(x_1(u_1, \dots, u_n), \dots, x_p(u_1, \dots, u_n)).$

En pratique, on se limite à $n \leq 3$ et $p \leq 3$.
Les étudiants doivent connaître le cas particulier des coordonnées polaires.

Caractérisation des fonctions constantes sur un ouvert convexe.

c) Gradient

Dans \mathbb{R}^p muni de sa structure euclidienne canonique, gradient d'une fonction de classe \mathcal{C}^1 .
 Pour $h \in \mathbb{R}^p$, relation $df(a) \cdot h = \langle \nabla f(a), h \rangle$.

Le gradient est défini par ses coordonnées.
 Notation $\nabla f(a)$.
 Interprétation géométrique du gradient : si $\nabla f(a) \neq 0$, il est colinéaire au vecteur unitaire selon lequel la dérivée de f en a est maximale, et de même sens.

d) Fonctions de classe \mathcal{C}^2

Dérivées partielles d'ordre 2 d'une fonction définie sur un ouvert de \mathbb{R}^p à valeurs dans \mathbb{R} .
 Fonction de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert de \mathbb{R}^p .
 Théorème de Schwarz.
 Matrice hessienne en un point a d'une fonction de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert de \mathbb{R}^p à valeurs dans \mathbb{R} .
 Formule de Taylor-Young à l'ordre 2 :

$$f(a+h) \underset{h \rightarrow 0}{=} f(a) + \nabla f(a)^\top h + \frac{1}{2} h^\top H_f(a) h + o(\|h\|^2).$$

Notations $\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j}$.

La démonstration est hors programme.
 Notation $H_f(a)$.

La démonstration est hors programme.
 Expression en termes de produit scalaire.

e) Extremums d'une fonction de \mathbb{R}^p dans \mathbb{R}

Extremum local, global.
 Point critique d'une application de classe \mathcal{C}^1 .
 Si une fonction de classe \mathcal{C}^1 sur un ouvert de \mathbb{R}^p admet un extremum local en un point a , alors a est un point critique.
 Si f est une fonction de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert de \mathbb{R}^p et a un point critique de f :
 – si $H_f(a) \in \mathcal{S}_p^{++}(\mathbb{R})$, alors f atteint un minimum local strict en a ;
 – si $H_f(a) \notin \mathcal{S}_p^{++}(\mathbb{R})$, alors f n'a pas de minimum en a .

Adaptation à l'étude d'un maximum local.
 Explicitation pour $p = 2$ (trace et déterminant).

Exemples de recherche d'extremums globaux sur une partie de \mathbb{R}^p .



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Physique et chimie (PC)

Annexe 2

Programme de physique

Programme de physique de la voie PC

Préambule

Objectifs de formation

Le programme de physique de la classe de PC est conçu comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques s'appuyant sur celles déjà travaillées au lycée et en classe de PCSI. Le programme vise à préparer les étudiants à un cursus d'ingénieur, de chercheur ou d'enseignant. Il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique : observer et s'approprier, analyser et modéliser, réaliser et valider, et enfin communiquer et valoriser ses résultats.

L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour l'enseignant. Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales qui développent la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est au cœur de son enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ces derniers auront à le faire dans l'exercice de leur métier.

De même, l'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte la place nouvelle des sciences numériques dans la formation des scientifiques notamment dans le domaine de la simulation. Elles offrent aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation avancée du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires.

La démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits, et celui des modèles et des théories. L'enseignant doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative. La construction d'un modèle passe aussi par l'utilisation maîtrisée des mathématiques dont un des fondateurs de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde.

Enfin, l'autonomie et la prise d'initiative sont spécifiquement développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes » qui visent à exercer les étudiants à mobiliser de façon complémentaire connaissances et capacités pour répondre à un questionnement ou atteindre un but sans qu'aucune démarche de résolution ne soit fournie.

Organisation du programme

Le programme est organisé en deux parties.

Dans la première partie, intitulée « **Formation expérimentale** », sont décrits les objectifs de formation sur le thème « Mesures et incertitudes » ainsi que les méthodes et les capacités expérimentales que les étudiants doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre doit notamment s'appuyer sur des problématiques concrètes identifiées en gras dans la colonne « capacités exigibles » de la seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». Elles doivent être programmées par l'enseignant de façon à assurer un apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique PC

La seconde partie, intitulée « **Contenus thématiques** » est structurée autour de six thèmes : « Optique », « Électronique », « Thermodynamique », « Mécanique », « Électromagnétisme » et « Physique des ondes ». La présentation en deux colonnes (« notions et contenus » et « capacités exigibles ») met en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Certains items de cette seconde partie, **identifiés en caractères gras** dans la colonne « capacités exigibles », se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant doivent être privilégiées. La présence de capacités numériques explicitées atteste par ailleurs de la volonté de renforcer ce volet de la formation des étudiants.

Trois annexes sont consacrées, d'une part, au matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes et, d'autre part, aux outils mathématiques et aux outils numériques que les étudiants doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie à la fin de la classe de PC.

Ce programme précise les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il n'impose en aucun cas une progression, celle-ci relève de la liberté pédagogique de l'enseignant.

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'ensemble des activités proposées en classe préparatoire aux grandes écoles – activités expérimentales, résolutions de problèmes, TIPE, etc. – permet de travailler les compétences de la démarche scientifique qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation en CPGE. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la situation étudiée. - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau, etc.). - Énoncer ou dégager une problématique scientifique. - Représenter la situation par un schéma modèle. - Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. - Relier le problème à une situation modèle connue. - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.
Analyser / Reasonner	<ul style="list-style-type: none"> - Formuler des hypothèses. - Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples. - Proposer une stratégie pour répondre à une problématique. - Choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle ou des lois physiques. - Évaluer des ordres de grandeur.

	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations. - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de documents.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle. - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une photo. - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure. - Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant des règles de sécurité. - Effectuer des représentations graphiques à partir de données. - Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques. - Conduire une analyse dimensionnelle.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes. - Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document, à ses connaissances. - Confirmer ou infirmer une hypothèse, une information. - Analyser les résultats de manière critique. - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplète, etc.). - Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente. o rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation. o utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, graphes, cartes mentales, etc.). - Écouter, confronter son point de vue.

Le niveau de maîtrise de ces compétences dépend de l'**autonomie et de l'initiative** requises dans les activités proposées aux étudiants sur les notions et capacités exigibles du programme.

La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à l'histoire de l'évolution des idées, des modèles et des théories en physique-chimie, à des questions liées à la recherche scientifique actuelle et à des enjeux citoyens comme la responsabilité individuelle et collective, la **sécurité** pour soi et pour autrui, l'**environnement** et le **développement durable** ou encore le **réchauffement climatique**.

Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, l'enseignant organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- privilégier la mise en activité des étudiants en évitant tout dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences est d'autant plus efficace que les étudiants sont acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique PC

doivent notamment favoriser la réflexion, le raisonnement, la participation et l'autonomie des étudiants. L'investigation expérimentale et la résolution de problèmes facilitent cette mise en activité ;

- recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés industriels ou d'objets technologiques. Le recours à des approches documentaires est un moyen pertinent pour diversifier les supports d'accès à l'information scientifique et technologique et ainsi former l'étudiant à mieux en appréhender la complexité et à apprendre par lui-même. Lorsque le thème traité s'y prête, l'enseignant peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, avec des questions d'actualité ou des débats d'idées ;
- contribuer à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques : la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines scientifiques (mathématiques, chimie, informatique).

Concernant l'évaluation, qui vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants, l'enseignant veille soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Le professeur veille aussi à développer chez les étudiants des compétences transversales et préprofessionnelles relatives aux capacités suivantes :

- identifier les différents champs professionnels et les parcours pour y accéder ;
- valoriser ses compétences scientifiques et techniques en lien avec son projet de poursuite d'études ou professionnel.

Formation expérimentale

Cette partie est spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiants lors des séances de travaux pratiques.

Dans un premier temps, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la mesure et de l'évaluation des incertitudes. Elle présente ensuite de façon détaillée l'ensemble des capacités expérimentales qui doivent être acquises en autonomie par les étudiants à l'issue de leur seconde année de CPGE. Enfin, elle aborde la question de la prévention du risque au laboratoire de physique-chimie.

1. Mesures et incertitudes

Les notions et capacités identifiées ci-dessous couvrent les deux années de formation en classe préparatoire aux grandes écoles ; leur pleine maîtrise est donc un objectif de fin de seconde année.

L'accent est mis sur la variabilité de la mesure d'une grandeur physique et sa caractérisation à l'aide de l'incertitude-type. La comparaison entre deux valeurs mesurées d'une même grandeur physique est conduite au moyen de l'écart normalisé, l'objectif principal étant de développer l'esprit critique des étudiants en s'appuyant sur un critère quantitatif. Le même esprit prévaut dans l'analyse des résultats d'une régression linéaire qui ne saurait s'appuyer sur l'exploitation non raisonnée du coefficient de corrélation (R^2).

Le recours à la simulation vise à illustrer, sur la base de mesures expérimentales, différents effets de la variabilité de la mesure d'une grandeur physique dans les cas des incertitudes-types composées et de la régression linéaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Incertitude. Incertitude-type.	<p>Identifier les incertitudes liées, par exemple, à l'opérateur, à l'environnement, aux instruments ou à la méthode de mesure.</p> <p>Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A).</p> <p>Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).</p> <p>Associer un intervalle de confiance à l'écart-type dans l'hypothèse d'une distribution suivant la loi normale.</p>
Incertitudes-types composées.	<p>Évaluer l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, à l'aide d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient.</p> <p>Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.</p>
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs ; écart normalisé.	<p>Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé.</p> <p>Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.</p>
Régression linéaire.	<p>Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle.</p> <p>Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude ou analyse des écarts normalisés.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation Monte-Carlo – pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle.</p>

2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les étudiants doivent acquérir au cours de l'année de PC durant les séances de travaux pratiques. Elle vient prolonger la partie correspondante de PCSI dont les capacités doivent être complètement acquises à l'issue des deux années de préparation, et restent donc naturellement au programme de seconde année PC.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret. À ce titre, elle vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesures de temps et de fréquences	
Mesurer indirectement une fréquence par comparaison avec une fréquence connue voisine, en utilisant une détection synchrone.	Réaliser une détection « synchrone » à l'aide d'un multiplieur et d'un passe-bas simple adapté à la mesure.
Réaliser une analyse spectrale.	Mettre en évidence le phénomène de repliement du spectre provoqué par l'échantillonnage avec un oscilloscope numérique ou une carte d'acquisition. Choisir les paramètres d'une acquisition numérique destinée à une analyse spectrale afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon, tout en optimisant la résolution spectrale.
2. Électricité	
Générateurs basse fréquence à modulation interne ou externe.	Élaborer un signal électrique analogique modulé en fréquence.
Montages utilisant un amplificateur linéaire intégré (ALI).	Mettre en œuvre divers montages utilisant un ALI, les schémas des montages étant fournis.
3. Optique	
Analyser une lumière complètement polarisée.	Identifier de façon absolue l'axe d'un polariseur par une méthode mettant en œuvre la réflexion vitreuse Identifier les lignes neutres d'une lame quart d'onde ou demi-onde, sans distinction entre axe lent et rapide. Modifier la direction d'une polarisation rectiligne. Obtenir une polarisation circulaire à partir d'une polarisation rectiligne, sans prescription sur le sens de rotation. Mesurer un pouvoir rotatoire naturel.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique PC

Étudier la cohérence temporelle d'une source.	Régler un interféromètre de Michelson pour une observation en lame d'air avec une source étendue par une démarche autonome non imposée. Obtenir une estimation semi-quantitative de la longueur de cohérence d'une radiation à l'aide d'un interféromètre de Michelson en lame d'air.
Mesurer une faible différence de longueurs d'onde : doublet spectral, modes d'une diode laser.	Réaliser la mesure d'un faible écart spectral avec un interféromètre de Michelson.

3. Prévention du risque au laboratoire de physique

L'apprentissage et le respect des règles de sécurité électrique, optique et celles liées à la pression et à la température permettent aux étudiants de prévenir et de minimiser les risques. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Prévention des risques au laboratoire	Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
- Risque électrique	Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
- Risque optique	Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.
- Risques liés à la pression et à la température	Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.

Contenus thématiques

Les contenus de la formation sont organisés autour de six thèmes.

1. Optique

- 1.1. Modèle scalaire des ondes lumineuses
- 1.2. Superposition d'ondes lumineuses
- 1.3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young
- 1.4. Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson

2. Électronique

3. Thermodynamique

- 3.1. Systèmes ouverts en régime stationnaire
- 3.2. Diffusion de particules
- 3.3. Diffusion thermique
- 3.4. Rayonnement thermique

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique PC

4. Mécanique

- 4.1. Changements de référentiel
- 4.2. Dynamique dans un référentiel non galiléen
- 4.3. Mécanique des fluides

5. Électromagnétisme

- 5.1. Sources du champ électromagnétique
- 5.2. Électrostatique
- 5.3. Magnétostatique
- 5.4. Équations de Maxwell

6. Physique des ondes

- 6.1. Phénomènes de propagation non dispersifs : équation de d'Alembert
- 6.2. Phénomènes de propagation linéaires unidimensionnels
- 6.3. Interfaces entre deux milieux
- 6.4. Introduction à la physique du laser
- 6.5. Approche ondulatoire de la mécanique quantique

1. Optique

Le programme de la classe de PC s'inscrit dans la continuité de la partie « **Formation des images** » du thème « **Ondes et signaux** » du programme de PCSI. Dans une première partie, on introduit les éléments spécifiques à l'émission, la propagation et la détection des ondes lumineuses. Les parties suivantes traitent essentiellement des interférences lumineuses : partant des trous d'Young éclairés par une source ponctuelle strictement monochromatique, on étudie ensuite l'évolution de la visibilité sous l'effet d'un élargissement spatial et spectral de la source. Le brouillage des franges précédentes sous l'effet d'un élargissement spatial de la source conduit à montrer l'un des avantages de l'interféromètre de Michelson éclairé par une source étendue (franges d'égale inclinaison et franges d'égale épaisseur) en constatant expérimentalement l'existence d'un lieu de localisation des franges. L'objectif de cette partie n'est pas le calcul de la répartition de l'intensité lumineuse modélisant les figures observées : on exploite le plus souvent les variations de l'ordre d'interférences (avec la position du point d'observation, la position du point source et la longueur d'onde) pour interpréter les observations sans expliciter l'intensité de la lumière.

La partie « **Modèle scalaire des ondes lumineuses** » introduit les outils nécessaires à l'étude des phénomènes ondulatoires dans le domaine de l'optique. La réponse des récepteurs est supposée proportionnelle à la moyenne du carré du champ électrique de l'onde. Le programme utilise uniquement le mot « intensité » pour décrire la grandeur détectée mais on peut employer indifféremment les termes « intensité » et « éclairement » sans chercher à les distinguer à ce niveau de formation. Le théorème de Malus (orthogonalité des rayons lumineux et des surfaces d'ondes dans l'approximation de l'optique géométrique) est admis. Dans le cadre de l'optique, on qualifie une onde de plane ou sphérique par référence à la forme des surfaces d'ondes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1. Modèle scalaire des ondes lumineuses	
Modèle de propagation dans l'approximation de l'optique géométrique. Vibration lumineuse.	Associer la grandeur scalaire de l'optique à une composante d'un champ électrique.

Chemin optique. Déphasage dû à la propagation.	Exprimer le retard de phase en un point en fonction de la durée de propagation ou du chemin optique.
Surfaces d'ondes. Théorème de Malus. Onde plane, onde sphérique ; effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss.	Utiliser l'égalité des chemins optiques sur les rayons d'un point objet à son image. Associer une description de la formation des images en termes de rayons lumineux et en termes de surfaces d'onde.
Modèle d'émission. Largeur spectrale. Cohérence temporelle.	Classer différentes sources lumineuses (lampe spectrale basse pression, laser, source de lumière blanche...) en fonction du temps de cohérence de leurs diverses radiations. Citer quelques ordres de grandeur des longueurs de cohérence temporelle associées à différentes sources. Relier, en ordre de grandeur, le temps de cohérence et la largeur spectrale de la radiation considérée.
Réception d'une onde lumineuse. Récepteurs. Intensité lumineuse.	Comparer le temps de réponse d'un récepteur usuel (œil, photodiode, capteur CCD) aux temps caractéristiques des vibrations lumineuses. Relier l'intensité lumineuse à la moyenne temporelle du carré de la grandeur scalaire de l'optique. Mettre en œuvre un capteur optique.

Dans la partie « **Superposition d'ondes lumineuses** », le professeur est invité à s'appuyer sur des situations concrètes, des illustrations expérimentales et des simulations afin de donner du sens aux différentes notions présentées.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2. Superposition d'ondes lumineuses	
Superposition de deux ondes quasi-monochromatiques non synchrones ou incohérentes entre elles.	Justifier et utiliser l'additivité des intensités.
Superposition de deux ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles : formule de Fresnel.	Établir la formule de Fresnel. Identifier une situation de cohérence entre deux ondes et utiliser la formule de Fresnel.
Contraste.	Associer un bon contraste à des ondes d'intensités voisines.
Superposition de N ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles, de même amplitude et dont les phases sont	Expliquer qualitativement l'influence de N sur l'intensité et la finesse des franges brillantes observées.

en progression arithmétique dans le cas $N \gg 1$.	Établir, par le calcul, la condition d'interférences constructives et la demi-largeur $2\pi/N$ des franges brillantes. Établir et utiliser la formule indiquant la direction des maxima d'intensité derrière un réseau de fentes rectilignes parallèles.
---	--

Dans la partie « **Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young** », les trous d'Young permettent de confronter théorie et expérience. En revanche, les fentes d'Young sont abordées de manière exclusivement expérimentale. Aucun autre interféromètre à division du front d'onde n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young	
Dispositif-modèle des trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif (source ponctuelle à grande distance finie ; observation à grande distance finie).	
Champ d'interférences. Ordre d'interférences.	Définir, déterminer et utiliser l'ordre d'interférences.
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
Du dispositif-modèle au dispositif réel.	
Fentes d'Young. Montage de Fraunhofer.	Identifier l'effet de la diffraction sur la figure observée. Expliquer l'intérêt pratique du dispositif des fentes d'Young comparativement aux trous d'Young. Exprimer l'ordre d'interférences sur l'écran dans le cas d'un dispositif des fentes d'Young utilisé en configuration de Fraunhofer.
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
Perte de contraste par élargissement spatial de la source.	Utiliser un critère semi-quantitatif de brouillage des franges portant sur l'ordre d'interférences pour interpréter des observations expérimentales.
-----	-----
-----	-----
-----	-----
Perte de contraste par élargissement spectral de la source.	Utiliser un critère semi-quantitatif de brouillage des franges portant sur l'ordre d'interférences pour interpréter des observations expérimentales. Relier la longueur de cohérence temporelle, la largeur spectrale et la longueur d'onde en ordres de grandeur.
-----	-----
-----	-----
-----	-----
Observations en lumière blanche (blanc d'ordre supérieur, spectre cannelé).	Déterminer les longueurs d'ondes des cannelures.

Dans le prolongement de la partie précédente, la partie « **Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson** » vise à mettre en lumière l'intérêt des dispositifs interférentiels par division d'amplitude, en s'appuyant sur

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique PC

l'exemple de l'interféromètre de Michelson. L'accent est ainsi mis sur l'importance expérimentale de ces dispositifs, notamment dans le domaine de la métrologie. Lors de la modélisation de l'interféromètre de Michelson, la séparatrice est supposée d'épaisseur négligeable.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.4. Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson	
<p>Interféromètre de Michelson équivalent à une lame d'air éclairée par une source spatialement étendue.</p> <p>Localisation des franges. Franges d'égale inclinaison.</p>	<p>Justifier les conditions d'observation des franges d'égale inclinaison, le lieu de localisation des franges étant admis. Établir et utiliser l'expression de l'ordre d'interférences en fonction de l'épaisseur de la lame, l'angle d'incidence et la longueur d'onde.</p> <p>Décrire et mettre en œuvre les conditions d'éclairage et d'observation adaptées à l'utilisation d'un interféromètre de Michelson en lame d'air.</p> <p>Mesurer l'écart en longueur d'onde d'un doublet et la longueur de cohérence d'une radiation.</p> <p>Interpréter des observations faites en lumière blanche avec l'interféromètre de Michelson en configuration lame d'air.</p>
<p>Interféromètre de Michelson équivalent à un coin d'air éclairé par une source spatialement étendue.</p> <p>Localisation des franges. Franges d'égale épaisseur.</p>	<p>Justifier les conditions d'observation des franges d'égale épaisseur, le lieu de localisation des franges étant admis. Utiliser l'expression donnée de la différence de marche en fonction de l'épaisseur pour exprimer l'ordre d'interférences.</p> <p>Décrire et mettre en œuvre les conditions d'éclairage et d'observation adaptées à l'utilisation d'un interféromètre de Michelson en coin d'air.</p> <p>Caractériser la géométrie d'un objet ou l'indice d'un milieu à l'aide d'un interféromètre de Michelson.</p> <p>Interpréter des observations faites en lumière blanche avec l'interféromètre</p>

2. Électronique

La partie « **Production, acquisition et traitement d'un signal électrique** » est abordée exclusivement de manière expérimentale et prolonge sur ce thème le programme de première année de la classe de PCSI. De par leur large champ d'applications, les capacités identifiées dans cette partie peuvent être reliées de façon fructueuse à d'autres capacités expérimentales du programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Production, acquisition et traitement d'un signal électrique. Oscillateur quasi-sinusoïdal réalisé en bouclant un filtre passe-bande du deuxième ordre avec un amplificateur.	Mettre en œuvre un oscillateur quasi-sinusoïdal et analyser les spectres des signaux générés.
Échantillonnage.	Expliquer l'influence de la fréquence d'échantillonnage.
Condition de Nyquist-Shannon.	Utiliser la condition de Nyquist-Shannon. Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre au moyen d'un oscilloscope numérique ou d'une acquisition numérique.
Détection synchrone.	Mettre en œuvre un protocole de détection synchrone.

3. Thermodynamique

Le programme de thermodynamique de la classe de PC s'inscrit dans le prolongement de celui de la classe de PCSI : les principes de la thermodynamique peuvent être désormais écrits sous forme infinitésimale pour un système évoluant entre deux instants infiniment proches, d'une part dans le cadre de l'étude des machines thermiques avec écoulement en régime stationnaire et d'autre part dans le cadre de l'étude de la diffusion thermique. Les expressions des variations infinitésimales des fonctions d'état en fonction des variables d'état doivent être fournies pour les systèmes envisagés.

Ce thème contribue également à asseoir la maîtrise des opérateurs d'analyse vectorielle (gradient, divergence, laplacien) mais le formalisme doit rester au deuxième plan. Les mises en équations locales sont réalisées dans le cas de problèmes ne dépendant que d'une seule coordonnée d'espace en coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques. On admet ensuite les formes générales des équations en utilisant les opérateurs d'analyse vectorielle, ce qui permet d'aborder des situations plus variées en fournissant les expressions de la divergence et du laplacien.

Au travers des illustrations et des exemples traités, le professeur est invité à sensibiliser les étudiants à certains enjeux sociétaux liés par exemple aux questions d'économies d'énergie et de réchauffement climatique ; ceci est aussi l'occasion d'insister sur la notion de modèle en physique et plus généralement en sciences.

La partie « **Systèmes ouverts en régime stationnaire** » complète la partie « **Machines thermique** » du programme de première année de la classe de PCSI en proposant notamment un bilan d'entropie. La maîtrise des démonstrations par les étudiants et l'application des résultats à des situations concrètes constituent des objectifs de formation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.1. Systèmes ouverts en régime stationnaire	
Premier et deuxième principes de la thermodynamique pour un système ouvert en régime stationnaire, dans le seul cas d'un écoulement unidimensionnel au niveau de la section d'entrée et de la section de sortie.	Établir les relations $\Delta h + \Delta e = w_u + q$ et $\Delta s = s_e + s_c$ et les utiliser pour étudier des machines thermiques réelles à l'aide de diagrammes thermodynamiques (T,s) et (P,h).

Dans la partie « **Diffusion de particules** », l'accent est mis sur le notion de bilan dans le cas où le phénomène de convection est négligé. Cette partie se termine par un modèle microscopique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.2. Diffusion de particules	
Vecteur densité de flux de particules \mathbf{j}_N .	Exprimer le flux de particules traversant une surface orientée en utilisant le vecteur \mathbf{j}_N .
Bilans de particules.	Utiliser la notion de flux pour traduire un bilan global de particules. Établir l'équation locale traduisant un bilan de particules dans le cas d'un problème ne dépendant qu'une d'une seule coordonnée d'espace en coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques, éventuellement en présence de sources internes. Utiliser l'opérateur divergence et son expression fournie pour exprimer le bilan local de particules dans le cas d'une géométrie quelconque.
Loi de Fick.	Utiliser la loi de Fick. Citer l'ordre de grandeur d'un coefficient de diffusion dans un gaz dans les conditions usuelles.
Régimes stationnaires.	Utiliser, en régime stationnaire, la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de sources internes.
Équation de diffusion en l'absence de sources internes.	Établir l'équation de la diffusion en l'absence de sources internes. Utiliser l'opérateur laplacien et son expression fournie pour écrire l'équation de diffusion dans le cas d'une géométrie quelconque. Analyser une équation de diffusion en ordres de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle.

<p>Approche microscopique du phénomène de diffusion.</p>	<p>Mettre en place un modèle probabiliste discret à une dimension de la diffusion (marche au hasard) et évaluer le coefficient de diffusion associé en fonction du libre parcours moyen et de la vitesse quadratique moyenne.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, simuler la marche au hasard d'un grand nombre de particules à partir d'un centre et caractériser l'étalement spatial de cet ensemble de particules au cours du temps.</p>
--	--

Dans la partie « **Diffusion thermique** », la mise en équations de la diffusion thermique est limitée au cas des solides ; on peut étendre les résultats ainsi établis aux milieux fluides en l'absence de convection en affirmant la généralisation des équations obtenues dans les solides. La loi phénoménologique de Newton à l'interface entre un solide et un fluide peut être utilisée dès lors qu'elle est fournie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.3. Diffusion thermique	
Vecteur densité de flux thermique \mathbf{j}_q	Exprimer le flux thermique à travers une surface orientée en utilisant le vecteur \mathbf{j}_q .
Premier principe de la thermodynamique.	Établir, pour un milieu solide, l'équation locale traduisant le premier principe dans le cas d'un problème ne dépendant qu'une d'une seule coordonnée d'espace en coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques, éventuellement en présence de sources internes. Utiliser l'opérateur divergence et son expression fournie pour exprimer le bilan local dans le cas d'une géométrie quelconque, éventuellement en présence de sources internes.
Loi de Fourier.	Utiliser la loi de Fourier. Citer quelques ordres de grandeur de conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, béton, métaux.
Régimes stationnaires. Résistance thermique.	Utiliser la conservation du flux thermique sous forme locale ou globale en l'absence de source interne. Définir la notion de résistance thermique par analogie avec l'électrocinétique. Établir l'expression d'une résistance thermique dans le cas d'un modèle unidimensionnel. Utiliser les lois d'associations de résistances thermiques.

Équation de la diffusion thermique.	<p>Établir une équation de diffusion thermique. Utiliser l'opérateur laplacien et son expression fournie pour écrire l'équation de diffusion dans le cas d'une géométrie quelconque.</p> <p>Analyser une équation de diffusion en ordres de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle. Utiliser la loi de Newton fournie comme condition aux limites à une interface solide-fluide.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, résoudre l'équation de la diffusion thermique à une dimension par une méthode des différences finies dérivée de la méthode d'Euler explicite de résolution des équations différentielles ordinaires.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental utilisant une caméra thermique ou un capteur dans le domaine des infrarouges.</p>
-------------------------------------	--

Dans la partie « **Rayonnement thermique** », une étude qualitative du rayonnement du corps noir est proposée sans qu'aucune formule ne soit exigible. Celle-ci permet également d'aborder de manière quantitative l'effet de serre.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.4. Rayonnement thermique	
Approche descriptive du rayonnement du corps noir. Loi de Wien, loi de Stefan. Effet de serre. Albédo.	Exploiter les expressions fournies des lois de Wien et de Stefan. Analyser quantitativement l'effet de serre en s'appuyant sur un bilan énergétique dans le cadre d'un modèle à une couche.

4. Mécanique

Le programme de mécanique de PC s'inscrit dans le prolongement du thème « **Mouvements et interactions** » et de la partie « **Statique des fluides dans un référentiel galiléen** » du thème « **Énergie : conversion et transfert** » du programme de PCSI. Il est constitué de trois parties relevant successivement de la mécanique du point ou des fluides.

Dans la première partie « **Changements de référentiel** », la cinématique des changements de référentiels n'est pas étudiée pour elle-même mais en vue d'applications en dynamique du point ou des fluides.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.1. Changements de référentiel	

Référentiel en translation rectiligne uniforme par rapport à un autre : transformation de Galilée, composition des vitesses.	Relier la transformation de Galilée et la formule de composition des vitesses à la relation de Chasles et au caractère supposé absolu du temps.
Composition des vitesses et des accélérations dans le cas d'un référentiel en translation par rapport à un autre : point coïncident, vitesse d'entraînement, accélération d'entraînement.	Exprimer la vitesse d'entraînement et l'accélération d'entraînement.
Composition des vitesses et des accélérations dans le cas d'un référentiel en rotation uniforme autour d'un axe fixe : point coïncident, vitesse d'entraînement, accélération d'entraînement, accélération de Coriolis.	Exprimer la vitesse d'entraînement et l'accélération d'entraînement. Citer et utiliser l'expression de l'accélération de Coriolis.

Dans la partie « **Dynamique dans un référentiel non galiléen** », l'étude du champ de pesanteur est conduite en supposant le référentiel géocentrique galiléen. De nombreuses applications permettent d'illustrer cette partie : le pendule de Foucault, la déviation vers l'est, les vents géostrophiques, les courants marins ; l'étude statique des marées constitue également une ouverture pertinente.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.2. Dynamique dans un référentiel non galiléen	
Cas d'un référentiel en translation par rapport à un référentiel galiléen : force d'inertie d'entraînement.	Déterminer la force d'inertie d'entraînement. Appliquer la deuxième loi de Newton, le théorème du moment cinétique et le théorème de l'énergie cinétique dans un référentiel non galiléen.
Cas d'un référentiel en rotation uniforme autour d'un axe fixe dans un référentiel galiléen : force d'inertie d'entraînement, force d'inertie de Coriolis.	Exprimer la force d'inertie d'entraînement et la force d'inertie de Coriolis. Associer la force d'inertie d'entraînement axifuge à l'expression familière « force centrifuge ». Appliquer la deuxième loi de Newton, le théorème du moment cinétique et le théorème de l'énergie cinétique dans un référentiel non galiléen.
Champ de pesanteur terrestre : définition, évolution qualitative avec la latitude, ordres de grandeur.	Distinguer le champ de pesanteur et le champ gravitationnel. <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, illustrer un effet lié au caractère non galiléen du référentiel terrestre
Équilibre d'un fluide dans un référentiel non galiléen en translation ou en rotation uniforme autour d'un axe fixe dans un référentiel galiléen.	Établir et utiliser l'expression de la force d'inertie d'entraînement volumique.

La partie intitulée « **Mécanique des fluides** » est conçue comme une initiation de telle sorte que de nombreux concepts sont introduits de manière élémentaire. Toute extension du programme vers les cours spécialisés doit être évitée : par exemple l'approche lagrangienne, la fonction de courant, le potentiel complexe, l'étude locale du champ des vitesses, la relation de Bernoulli pour des écoulements compressibles ou instationnaires, le théorème de Reynolds et le théorème d'Euler sont hors programme.

L'apprentissage de la mécanique des fluides contribue à la maîtrise progressive des opérateurs d'analyse vectorielle qui sont utilisés par ailleurs en thermodynamique et en électromagnétisme. Quel que soit l'ordre dans lequel le professeur choisit de présenter ces parties, il convient d'introduire ces opérateurs en insistant sur le contenu physique sous-jacent. En outre, la recherche de lignes de courants est traitée exclusivement à l'aide d'outils numériques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.3. Mécanique des fluides	
4.3.1. Description d'un fluide en mouvement	
Champ eulérien des vitesses. Lignes de champ. Tubes de champ.	Définir et utiliser l'approche eulérienne.
Écoulement stationnaire.	Discuter du caractère stationnaire d'un écoulement en fonction du référentiel d'étude.
Dérivée particulaire de la masse volumique. Écoulement incompressible.	Établir l'expression de la dérivée particulaire de la masse volumique. Utiliser l'expression de la dérivée particulaire de la masse volumique pour caractériser un écoulement incompressible.
Débit massique. Débit volumique.	Définir le débit massique et l'écrire comme le flux du vecteur densité de courant de masse à travers une surface orientée. Définir le débit volumique et l'écrire comme le flux du champ de vitesse à travers une surface orientée.
Équation locale de conservation de la masse.	Établir l'équation locale de conservation de la masse dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Citer et utiliser une généralisation admise en géométrie quelconque à l'aide de l'opérateur divergence et son expression fournie.
Caractérisation d'un écoulement incompressible par la divergence du champ des vitesses.	Traduire localement, en fonction du champ de vitesses, le caractère incompressible d'un écoulement.
Dérivée particulaire du champ de vitesse : terme local ; terme convectif.	Associer la dérivée particulaire de la vitesse à l'accélération de la particule de fluide qui passe en un point. Utiliser l'expression de l'accélération, le terme convectif étant écrit sous la forme ($\mathbf{v} \cdot \text{grad}$) \mathbf{v} . Utiliser l'expression fournie de l'accélération convective en fonction de grad ($v^2/2$) et $\text{rot } \mathbf{v} \times \mathbf{v}$.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique PC

Écoulement irrotationnel défini par la nullité du rotationnel du champ des vitesses en tout point ; potentiel des vitesses.	Traduire localement, en fonction du champ de vitesses, le caractère irrotationnel d'un écoulement et en déduire l'existence d'un potentiel des vitesses.
4.3.2. Actions de contact dans un fluide en mouvement	
Forces de pression. Équivalent volumique.	Exprimer la force de pression exercée par un fluide sur une surface élémentaire. Exprimer l'équivalent volumique des forces de pression à l'aide d'un gradient.
Contraintes tangentielles dans un écoulement $\mathbf{v} = v_x(y) \mathbf{u}_x$ au sein d'un fluide newtonien ; viscosité.	Utiliser l'expression fournie $d\mathbf{F} = \eta \partial v_x / \partial y d\mathbf{S} \mathbf{u}_x$.
Équivalent volumique des forces de viscosité dans un écoulement incompressible.	Établir l'expression de l'équivalent volumique des forces de viscosité dans le cas d'un écoulement de cisaillement à une dimension et utiliser sa généralisation admise pour un écoulement incompressible quelconque.
Traînée d'une sphère solide en mouvement rectiligne uniforme dans un fluide newtonien : nombre de Reynolds ; coefficient de traînée C_x ; graphe de C_x en fonction du nombre de Reynolds.	Évaluer un nombre de Reynolds pour choisir un modèle de traînée linéaire ou un modèle de traînée quadratique.
4.3.3. Équations dynamiques locales	
Équation de Navier-Stokes dans un fluide newtonien en écoulement incompressible. Terme convectif. Terme diffusif. Nombre de Reynolds dans le cas d'une unique échelle spatiale.	Utiliser l'équation de Navier-Stokes dans un fluide newtonien en écoulement incompressible. Évaluer en ordre de grandeur le rapport du terme convectif sur le terme diffusif et le relier au nombre de Reynolds dans le cas d'une unique échelle spatiale.
Notion d'écoulement parfait et de couche limite.	Exploiter l'absence de forces de viscosité et le caractère isentropique de l'évolution des particules de fluide. Utiliser la condition aux limites sur la composante normale du champ des vitesses.
Relation de Bernoulli pour un écoulement parfait, stationnaire, incompressible et homogène dans le champ de pesanteur uniforme dans un référentiel galiléen.	Établir et utiliser la relation de Bernoulli pour un écoulement parfait, stationnaire, incompressible et homogène dans le champ de pesanteur uniforme dans un référentiel galiléen.
4.3.4. Bilans macroscopiques	
Bilans de masse.	Établir un bilan de masse en raisonnant sur un système ouvert et fixe ou sur un système fermé et mobile.

Bilans de quantité de mouvement ou d'énergie cinétique pour un écoulement stationnaire unidimensionnel à une entrée et une sortie.	Associer un système fermé à un système ouvert pour faire un bilan. Utiliser le théorème de la quantité de mouvement et le théorème de l'énergie cinétique pour réaliser un bilan. Exploiter la nullité (admise) de la puissance des forces intérieures dans un écoulement parfait et incompressible.
--	--

5. Électromagnétisme

L'électromagnétisme a été abordé en classe de PCSI dans un domaine restreint (magnétostatique, induction électromagnétique et forces de Laplace) et sans le support des équations locales. Le programme de la classe de PC couvre en revanche tout le spectre des fréquences, des régimes stationnaires jusqu'aux phénomènes de propagation en passant par les régimes quasi-stationnaires et prend appui sur les équations locales (équation de conservation de la charge et équations de Maxwell). Le programme est découpé en parties indépendantes dont l'ordre de présentation relève de la liberté pédagogique du professeur. De nombreuses approches sont possibles, y compris en fractionnant les parties. Les phénomènes de propagation sont étudiés essentiellement dans le cadre du thème « **Physique des ondes** » du programme : l'articulation entre les parties « **Électromagnétisme** » et « **Physique des ondes** » relève elle aussi de la liberté pédagogique.

Toute étude de distributions de courants superficiels est exclue. La modélisation superficielle d'une distribution de charges est strictement limitée à la modélisation du condensateur plan par deux plans infinis uniformément chargés : on fait remarquer la discontinuité du champ à la traversée d'une nappe de charges superficielles mais les relations de passage ne figurent pas au programme.

S'agissant des potentiels, on se limite à introduire le potentiel scalaire en électrostatique et à faire remarquer que le champ électrique ne dérive pas d'un potentiel scalaire en régime variable.

L'apprentissage de l'électromagnétisme contribue à la maîtrise progressive des opérateurs d'analyse vectorielle qui sont utilisés par ailleurs en thermodynamique et en mécanique des fluides. Quel que soit l'ordre dans lequel le professeur choisit de présenter ces parties, il convient d'introduire ces opérateurs en insistant sur le contenu physique sous-jacent.

L'étude de l'électromagnétisme n'est pas centrée sur les calculs de champs : ceux-ci se limitent donc à des calculs motivés par des applications pratiques d'intérêt évident. La recherche des lignes de champ d'un champ donné est traitée exclusivement à l'aide d'outils numériques.

La partie « **Sources du champ électromagnétique** » étudie les sources du champ électromagnétique dans l'approximation des milieux continus. Par ailleurs, il convient de souligner et d'exploiter les analogies formelles avec les autres théories de champs : diffusion de particules, diffusion thermique, gravitation, mécanique des fluides.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.1. Sources du champ électromagnétique	
5.1.1. Description microscopique et mésoscopique des sources	

Densité volumique de charges. Charge traversant un élément de surface fixe et vecteur densité de courant. Intensité du courant.	Exprimer la densité volumique de charge et le vecteur densité de courant en fonction de la vitesse moyenne des porteurs de charge, de leur charge et de leur densité volumique. Relier l'intensité du courant et le flux du vecteur densité de courant.
5.1.2 Conservation de la charge	
Équation locale de conservation de la charge.	Établir l'équation traduisant la conservation de la charge dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Citer et utiliser une généralisation admise en géométrie quelconque utilisant l'opérateur divergence, son expression étant fournie. Exploiter le caractère conservatif du vecteur densité de courant en régime stationnaire ; relier cette propriété à la loi des nœuds de l'électrocinétique.
5.1.3 Conduction électrique dans un conducteur ohmique	
Loi d'Ohm locale. Conductivité électrique.	Établir l'expression de la conductivité électrique à l'aide d'un modèle microscopique, l'action de l'agitation thermique et des défauts du réseau étant décrite par une force de frottement fluide linéaire. Discuter de l'influence de la fréquence sur la conductivité électrique. Établir l'expression de la résistance d'une portion de conducteur filiforme.
Effet Hall.	Interpréter qualitativement l'effet Hall dans une géométrie parallélépipédique.
Effet thermique du courant électrique : loi de Joule locale.	Exprimer la puissance volumique dissipée par effet Joule dans un conducteur ohmique.

La partie « **Électrostatique** » étudie les lois de l'électrostatique et quelques applications. Les calculs de champs doivent être motivés par l'utilisation de ces champs pour étudier des situations d'intérêt pratique évident. Ces calculs ne s'appuient sur la loi de Coulomb que pour des distributions de charges discrètes. Dans le cas des distributions continues, on se limite aux situations de haute symétrie permettant de calculer le champ par le théorème de Gauss et aux superpositions de champs ainsi obtenus. Cette rubrique permet aussi d'introduire et d'exploiter des analogies avec le champ gravitationnel qui a été étudié en PCSI dans le seul cas d'astres ponctuels.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.2. Électrostatique	
5.2.1. Champ électrostatique	

Loi de Coulomb. Champ et potentiel électrostatiques créés par une charge ponctuelle. Principe de superposition.	Exprimer le champ électrostatique et le potentiel créés par une distribution discrète de charges. Citer quelques ordres de grandeur de champs électrostatiques.
Propriétés du champ électrostatique Symétries.	Exploiter les propriétés de symétrie des sources (translation, rotation, symétrie plane, conjugaison de charges) pour prévoir des propriétés du champ créé.
Circulation du champ électrostatique. Potentiel électrostatique. Équations locales.	Relier l'existence d'un potentiel électrostatique à la nullité du rotationnel du vecteur champ électrostatique. Justifier l'orthogonalité des lignes de champ avec les surfaces équipotentielles et leur orientation dans le sens des potentiels décroissants.
Théorème de Gauss et équation locale de Maxwell-Gauss.	Choisir une surface adaptée et utiliser le théorème de Gauss.
Lignes de champ électrostatique. Équipotentielles.	Justifier qu'une carte de lignes de champ puisse ou non être celle d'un champ électrostatique. Repérer, sur une carte de champ électrostatique, d'éventuelles sources du champ et leur signe. Associer l'évolution de la norme du champ électrostatique à l'évasement des tubes de champ loin des sources. Relier équipotentielles et lignes de champ électrostatique. Évaluer la norme du champ électrostatique à partir d'un réseau de lignes équipotentielles.
5.2.2. Exemples de champs électrostatiques	
Dipôle électrostatique. Moment dipolaire.	Citer les conditions de l'approximation dipolaire.
Potentiel et champ créés par un dipôle.	Établir l'expression du potentiel électrostatique. Comparer la décroissance du champ et du potentiel avec la distance dans le cas d'une charge ponctuelle et dans le cas d'un dipôle. Tracer l'allure des lignes de champ électrostatique engendrées par un dipôle.
Actions subies par un dipôle placé dans un champ électrostatique d'origine extérieure : résultante et moment.	Utiliser les expressions fournies de la résultante et du moment des actions subies par un dipôle placé dans un champ électrostatique d'origine extérieure.

Énergie potentielle d'un dipôle rigide dans un champ électrostatique d'origine extérieure.	Utiliser l'expression fournie de l'énergie potentielle d'un dipôle rigide dans un champ électrostatique d'origine extérieure. Prévoir qualitativement l'évolution d'un dipôle rigide dans un champ électrostatique d'origine extérieure.
Interactions ion-molécule et molécule-molécule.	Expliquer qualitativement la solvation des ions dans un solvant polaire.
Dipôle induit. Polarisabilité.	Associer la polarisabilité et le volume de l'atome en ordre de grandeur.
Plan infini uniformément chargé en surface.	Établir l'expression du champ créé par un plan infini uniformément chargé en surface.
Condensateur plan. Capacité. Densité volumique d'énergie électrostatique.	Établir l'expression du champ créé par un condensateur plan. Déterminer l'expression de la capacité d'un condensateur plan. Citer l'ordre de grandeur du champ disruptif dans l'air. Déterminer l'expression de la densité volumique d'énergie électrostatique dans le cas du condensateur plan à partir de celle de l'énergie du condensateur.
Énergie de constitution d'un noyau atomique modélisé par une boule uniformément chargée.	Exprimer l'énergie de constitution d'un noyau en construisant le noyau par adjonction progressive de charges apportées de l'infini.
5.2.3. Analogies avec le champ gravitationnel	
Analogies entre champ électrostatique et champ gravitationnel.	Utiliser les analogies entre les forces électrostatique et gravitationnelle pour déterminer l'expression de champs gravitationnels.

La partie « **Magnétostatique** » aborde l'étude du champ magnétique en régime stationnaire en prenant appui sur les équations locales : la loi de Biot et Savart ne figure pas au programme. L'objectif réside davantage dans l'étude des propriétés des champs magnétiques que dans leur calcul : les calculs de champ magnétique doivent donc se limiter à des situations d'intérêt pratique évident. Enfin, la notion de potentiel-vecteur est hors programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.3. Magnétostatique	
5.3.1. Champ magnétostatique	
Équations locales de la magnétostatique et formes intégrales : flux conservatif et théorème d'Ampère.	Choisir un contour fermé et une surface et les orienter pour appliquer le théorème d'Ampère.
Linéarité des équations.	Utiliser une méthode de superposition.
Propriétés de symétrie.	Exploiter les propriétés de symétrie des sources (rotation, symétrie plane) pour prévoir des propriétés du champ créé.

Propriétés topographiques.	Justifier qu'une carte de lignes de champ puisse ou non être celle d'un champ magnétostatique. Repérer, sur une carte de champ magnétostatique, d'éventuelles sources du champ et leur sens. Associer l'évolution de la norme d'un champ magnétique à l'évasement des tubes de champ.
5.3.2. Exemples de champs magnétostatiques	
Modèle du câble rectiligne infini.	Déterminer le champ créé par un câble rectiligne infini.
Solénoïde long sans effets de bords.	Établir et citer l'expression du champ à l'intérieur d'un solénoïde long, la nullité du champ extérieur étant admise.
Inductance propre. Densité volumique d'énergie magnétique.	Établir les expressions de l'inductance propre et de l'énergie d'une bobine modélisée par un solénoïde long. Associer l'énergie d'une bobine à une densité volumique d'énergie magnétique.
5.3.3. Dipôles magnétostatiques	
Moment magnétique d'une boucle de courant plane.	Relier le moment magnétique d'un atome d'hydrogène à son moment cinétique.
Rapport gyromagnétique de l'électron. Magnéton de Bohr.	Construire en ordre de grandeur le magnéton de Bohr par analyse dimensionnelle. Évaluer l'ordre de grandeur maximal du moment magnétique volumique d'un aimant permanent.
Actions subies par un dipôle magnétique placé dans un champ magnétostatique d'origine extérieure : résultante et moment.	Utiliser les expressions fournies de la résultante et du moment des actions subies par un dipôle magnétique placé dans un champ magnétostatique d'origine extérieure. Décrire l'expérience de Stern et Gerlach et expliquer ses enjeux.
Énergie potentielle d'un dipôle magnétique rigide placé dans un champ magnétostatique d'origine extérieure.	Utiliser l'expression fournie de l'énergie potentielle d'un dipôle rigide dans un champ magnétostatique d'origine extérieure. Prévoir qualitativement l'évolution d'un dipôle rigide dans un champ magnétostatique d'origine extérieure.

La partie « **Équations de Maxwell** » présente les équations de Maxwell en régime dépendant du temps. La notion de potentiel-vecteur est hors-programme mais on insiste sur le fait que le champ électrique ne dérive pas en général d'un potentiel scalaire. L'étude détaillée des ondes électromagnétiques qui prolonge cette partie est placée dans la partie « **Physique des ondes** ». On ne mentionne ici les phénomènes de propagation que pour les négliger dans le cadre des régimes lentement variables. Le cadre adopté est celui de

l'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS) magnétique, pour lequel les effets des distributions de courants dominant ceux des distributions de charges.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.4. Équations de Maxwell	
5.4.1. Postulats de l'électromagnétisme	
Force de Lorentz. Équations locales de Maxwell. Formes intégrales.	Utiliser les équations de Maxwell sous forme locale ou intégrale. Relier l'équation de Maxwell-Faraday et la loi de Faraday. Établir l'équation locale de la conservation de la charge à partir des équations de Maxwell. Utiliser une méthode de superposition. Mettre en œuvre un dispositif expérimental utilisant des capteurs inductifs.
5.4.2. Aspects énergétiques	
Vecteur de Poynting. Densité volumique d'énergie électromagnétique. Équation locale de Poynting.	Utiliser les grandeurs énergétiques pour conduire des bilans d'énergie électromagnétique. Associer le vecteur de Poynting et l'intensité lumineuse utilisée dans le domaine de l'optique.
5.4.3. Approximation des régimes quasi-stationnaires magnétique	
Équations de propagation des champs électrique et magnétique dans le vide.	Établir les équations de propagation des champs électrique et magnétique dans le vide. Expliquer le caractère non instantané des interactions électromagnétiques.
ARQS magnétique.	Discuter l'approximation des régimes quasi-stationnaires. Simplifier et utiliser les équations de Maxwell et l'équation de conservation de la charge dans l'approximation du régime quasi-stationnaire. Étendre le domaine de validité des expressions des champs magnétiques obtenues en régime stationnaire.

6. Physique des ondes

Le programme de physique des ondes de la classe de PC s'inscrit dans le prolongement de la partie « **Propagation d'un signal** » du thème « **Ondes et signaux** » du programme de PCSI où des propriétés unificatrices (interférences, battements, etc.) ont été abordées en s'appuyant sur une approche expérimentale et sans référence à une équation d'onde. Il s'agit désormais de mettre en place l'équation d'onde de d'Alembert en mécanique, en acoustique et en électromagnétisme. On aborde ensuite l'étude de la dispersion, de l'atténuation et de l'absorption associées à des phénomènes de propagation régis par des équations aux dérivées partielles linéaires à coefficients constants. La propagation d'ondes dans des milieux différents conduit naturellement à étudier la réflexion et la transmission d'ondes à une

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique PC

interface. L'étude de la physique des ondes s'achève par une introduction à la physique du laser et par une introduction à l'approche ondulatoire de la mécanique quantique.

La partie « **Phénomènes de propagation non dispersifs : équation de d'Alembert** » est consacrée à l'étude de phénomènes ondulatoires non dispersifs régis par l'équation d'onde de d'Alembert. Le choix a été fait ici de privilégier les solutions harmoniques dans la résolution pour leur universalité comme solutions adaptées aux équations d'ondes linéaires. S'agissant de la modélisation microscopique des solides, l'objectif est uniquement de proposer une interprétation du module d'Young d'un solide ; par la suite, la mise en équations des ondes longitudinales dans les solides est conduite directement dans l'approximation du solide continu. Dans le cadre de la physique des ondes, on qualifiera de plane ou sphérique une onde par référence à sa dépendance spatiale $f(x,t)$ ou $f(r,t)$.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6.1. Phénomènes de propagation non dispersifs : équation de d'Alembert	
6.1.1. Ondes mécaniques unidimensionnelles dans les solides déformables	
Ondes transversales sur une corde vibrante.	Établir l'équation d'onde décrivant les ondes transversales sur une corde vibrante infiniment souple dans l'approximation des petits mouvements transverses.
Domaine d'élasticité d'un solide : module d'Young, loi de Hooke.	Exploiter le modèle de la chaîne d'atomes élastiquement liés pour relier le module d'Young d'un solide élastique à ses caractéristiques microscopiques.
Ondes mécaniques longitudinales dans une tige solide dans l'approximation des milieux continus.	Établir l'équation d'onde décrivant les ondes mécaniques longitudinales dans une tige solide.
Équation de d'Alembert ; célérité.	Identifier l'équation de d'Alembert. Relier qualitativement la célérité d'ondes mécaniques, la raideur et l'inertie du milieu support.
Ondes progressives, ondes progressives harmoniques ; ondes stationnaires.	Différencier une onde stationnaire d'une onde progressive. Utiliser qualitativement l'analyse de Fourier pour décrire une onde non harmonique.
Modes propres d'une corde vibrante fixée à ses deux extrémités. Résonances d'une corde de Melde.	Décrire les modes propres d'une corde vibrante fixée à ses deux extrémités. Interpréter quantitativement les résonances observées avec la corde de Melde en négligeant l'amortissement.
6.1.2. Ondes acoustiques dans les fluides	
Approximation acoustique. Équation de d'Alembert pour la surpression acoustique.	Classer les ondes acoustiques par domaines fréquentiels. Valider l'approximation acoustique. Établir, par une approche eulérienne, l'équation de propagation de la surpression acoustique dans une situation unidimensionnelle en coordonnées cartésiennes. Utiliser l'opérateur laplacien pour généraliser l'équation d'onde.

Célérité des ondes acoustiques.	Exprimer la célérité des ondes acoustiques en fonction de la température pour un gaz parfait.
Ondes planes progressives harmoniques : caractère longitudinal, impédance acoustique.	Exploiter la notion d'impédance acoustique pour faire le lien entre les champs de surpression et de vitesse d'une onde plane progressive harmonique. Utiliser le principe de superposition des ondes planes progressives harmoniques.
Densité volumique d'énergie acoustique, vecteur densité de courant énergétique. Intensité sonore. Niveau d'intensité sonore.	Utiliser les expressions admises du vecteur densité de courant énergétique et de la densité volumique d'énergie associés à la propagation de l'onde. Citer quelques ordres de grandeur de niveaux d'intensité sonore.
Ondes acoustiques sphériques harmoniques.	Utiliser une expression fournie de la surpression pour interpréter par un argument énergétique la décroissance en $1/r$ de l'amplitude.
6.1.3. Ondes électromagnétiques dans le vide	
Équations de propagation d'un champ électromagnétique dans une région sans charge ni courant.	Établir et citer les équations de propagation d'un champ électromagnétique dans le vide.
Structure d'une onde plane progressive harmonique.	Établir et exploiter la structure d'une onde électromagnétique plane progressive harmonique. Utiliser la superposition d'ondes planes progressives harmoniques pour justifier les propriétés d'ondes électromagnétiques planes progressives non harmoniques.
Aspects énergétiques.	Relier la direction du vecteur de Poynting et la direction de propagation de l'onde électromagnétique. Interpréter le flux du vecteur de Poynting en termes particuliers. Citer quelques ordres de grandeur de flux énergétiques surfaciques moyens et les relier aux ordres de grandeur des champs électriques associés.
Polarisation des ondes électromagnétiques planes progressives harmoniques : polarisation elliptique, circulaire et rectiligne. Loi de Malus.	Relier l'expression du champ électrique à l'état de polarisation de l'onde. Utiliser la loi de Malus. Reconnaître une lumière polarisée rectilignement. Distinguer une lumière non polarisée d'une lumière totalement polarisée. Utiliser une lame quart d'onde ou demi-onde pour modifier ou analyser un état de polarisation, avec de la lumière totalement polarisée.

La partie « **Phénomènes de propagation linéaires unidimensionnels** » est consacrée aux phénomènes de propagation régis par des équations aux dérivées partielles linéaires à coefficients constants. L'étude s'appuie sur des exemples variés empruntés aux domaines de la mécanique ou de l'électromagnétisme. Elle est menée sur des ondes harmoniques planes en représentation complexe puis sur des paquets d'ondes harmoniques planes. S'agissant des paquets d'ondes, on se limite au cas où l'étalement est négligeable.

L'étude de la propagation des ondes dans un plasma dilué est exclusivement limitée aux ondes transverses électriques ; le professeur est invité à signaler, sans soucis d'exhaustivité, quelques limites du modèle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6.2. Phénomènes de propagation linéaires unidimensionnels	
6.2.1. Dispersion et absorption	
Propagation unidimensionnelle d'une onde harmonique dans un milieu linéaire.	Identifier le caractère linéaire d'une équation aux dérivées partielles. Établir la relation de dispersion caractéristique d'un phénomène de propagation en utilisant des ondes de la forme $\exp\pm j(\underline{k}x - \omega t)$. Distinguer différents types de comportements selon la valeur de la pulsation.
Dispersion, absorption.	Associer les parties réelle et imaginaire de \underline{k} aux phénomènes de dispersion et d'absorption.
Propagation d'un paquet d'ondes dans un milieu non absorbant et faiblement dispersif : vitesse de phase et vitesse de groupe.	Énoncer et exploiter la relation entre les ordres de grandeur de la durée temporelle d'un paquet d'onde et la largeur fréquentielle de son spectre. Déterminer la vitesse de groupe d'un paquet d'ondes à partir de la relation de dispersion. Associer la vitesse de groupe à la propagation de l'enveloppe du paquet d'ondes. Étudier la propagation d'une onde électrique dans un câble coaxial. <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, simuler la propagation d'un paquet d'ondes dans un milieu dispersif et visualiser le phénomène d'étalement.
6.2.2. Ondes électromagnétiques dans les milieux matériels	
Propagation d'une onde électromagnétique plane harmonique unidirectionnelle dans un conducteur ohmique de conductivité réelle. Effet de peau dans un conducteur ohmique.	Identifier une analogie avec un phénomène de diffusion. Établir la relation de dispersion des ondes électromagnétiques dans un conducteur ohmique à basses fréquences. Associer l'atténuation de l'onde dans le milieu conducteur à une dissipation d'énergie.

	Estimer l'ordre de grandeur de l'épaisseur de peau du cuivre à différentes fréquences.
Propagation d'une onde électromagnétique plane harmonique transverse et unidirectionnelle dans un plasma dilué. Conductivité électrique complexe.	Justifier la neutralité électrique locale du plasma en présence d'une onde transverse. Établir l'expression de la conductivité électrique complexe du plasma. Interpréter énergétiquement le caractère imaginaire pur de la conductivité électrique complexe du plasma.
Relation de dispersion. Pulsation plasma. Domaine de transparence. Domaine réactif, onde évanescence.	Établir la relation de dispersion des ondes planes progressives harmoniques transverses. Exprimer la vitesse de phase et la vitesse de groupe d'un paquet d'ondes dans le domaine de transparence du plasma. Interpréter la pulsation plasma comme une pulsation de coupure. Citer les caractéristiques d'une onde stationnaire évanescence. Justifier que, dans le domaine réactif, une onde électromagnétique harmonique ne transporte aucune puissance en moyenne.

La partie « **Interfaces entre deux milieux** » est consacrée à la réflexion et la transmission d'ondes à une interface plane sous incidence normale en acoustique et en électromagnétisme. Dans ce dernier cas, on admet que les milieux diélectriques, linéaires, homogènes et isotropes (DLHI) relèvent d'un traitement faisant apparaître l'indice complexe, mais aucune modélisation du comportement des DLHI ne figure au programme. On se limite dans tous les cas à des milieux non magnétiques. La notion de densité de courants superficiels et les relations de passage du champ électromagnétique ne figurent pas au programme de même que la notion de conducteur parfait. Les conditions aux limites sur la composante normale du champ électrique et la composante tangentielle du champ magnétique doivent être fournies si nécessaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6.3. Interfaces entre deux milieux	
Réflexion et transmission d'une onde acoustique plane progressive sous incidence normale sur une interface plane infinie entre deux fluides : coefficients de réflexion et de transmission en amplitude des vitesses, des surpressions et des puissances acoustiques surfaciques moyennes.	Expliciter des conditions aux limites à une interface. Établir les expressions des coefficients de transmission et de réflexion. Associer l'adaptation des impédances au transfert maximum de puissance.
Réflexion et transmission d'une onde électromagnétique plane progressive harmonique polarisée rectilignement à l'interface entre deux milieux d'indices complexes \underline{n}_1 et \underline{n}_2 dans le cas d'une incidence normale : coefficients de réflexion et de transmission du champ électrique.	Exploiter la continuité admise du champ électromagnétique dans cette configuration pour obtenir l'expression des coefficients de réflexion et de transmission en fonction des indices complexes. Utiliser les expressions des coefficients de réflexion et de transmission du champ électrique dans des situations variées. Établir et interpréter les expressions des coefficients de réflexion et de transmission en puissance dans le cas d'une interface

	entre deux milieux diélectriques linéaires, homogènes, isotopes et transparents. Étudier la réflexion en amplitude de tension d'une onde électrique à l'extrémité d'un câble coaxial pour une impédance terminale nulle, infinie ou résistive.
--	--

La partie « **Introduction à la physique du laser** » est consacrée à une introduction modeste à la physique du laser. Une approche descriptive des milieux amplificateurs de lumière est d'abord proposée ainsi qu'une introduction descriptive simplifiée à l'optique des faisceaux spatialement limités, dont l'un des objectifs est de pouvoir déterminer la puissance surfacique disponible, à partir de la prévision des dimensions de la tache de section minimale dans des configurations optiques élémentaires. On se limite au mode fondamental gaussien.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6.4. Introduction à la physique du laser	
6.4.1. Milieu amplificateur de lumière	
Absorption, émission stimulée, émission spontanée.	Distinguer les propriétés d'un photon émis par émission spontanée ou stimulée.
Coefficients d'Einstein.	Associer l'émission spontanée à la durée de vie d'un niveau excité. Utiliser les coefficients d'Einstein dans le cas d'un système à plusieurs niveaux non dégénérés.
Amplification d'ondes lumineuses par émission stimulée.	Justifier qualitativement la nécessité d'une inversion de population pour parvenir à amplifier une onde électromagnétique dans un laser.
6.4.2. Propriétés optiques d'un faisceau spatialement limité	
Description simplifiée d'un faisceau de profil gaussien : waist, longueur de Rayleigh, ouverture angulaire.	Justifier qualitativement l'inadéquation du modèle de l'onde plane pour décrire un faisceau laser. Utiliser l'expression fournie du profil radial d'intensité. Construire l'allure d'un faisceau de profil gaussien à partir de l'enveloppe d'un faisceau cylindrique et d'un faisceau conique. Exploiter qualitativement le phénomène de diffraction pour relier le waist et l'ouverture angulaire du faisceau à grande distance.
Transformation à l'aide d'une lentille d'un faisceau cylindrique en faisceau conique et réciproquement. Élargisseur de faisceau.	Déterminer la dimension et la position de la section minimale du faisceau émergent d'une lentille éclairée par un faisceau cylindrique.

Les parties précédentes ont permis d'introduire les outils et concepts de base associés à la physique des ondes, particulièrement tant qu'elle est régie par des équations aux dérivées partielles linéaires. S'il est un domaine où cette notion de linéarité joue un rôle central, c'est bien celui de la mécanique quantique.

La partie « **Approche ondulatoire de la mécanique quantique** » présente quelques-unes des notions associées à une description ondulatoire de ce domaine. La démarche adoptée, volontairement modeste, est centrée sur un approfondissement des notions introduites en première année que sont la dualité onde-corpuscule et l'inégalité de Heisenberg spatiale, les objectifs étant désormais quantitatifs. Il s'agit, sur des systèmes unidimensionnels et des situations physiques simplifiées d'envisager quelques conséquences qui découlent de cette description ondulatoire : l'effet tunnel et ses applications sont ainsi discutés comme aboutissement naturel des notions abordées dans cette partie. Elle est ancrée dans le réel : on insiste sur le fait que les situations envisagées décrivent des systèmes physiques réels effectivement unidimensionnels

Toute discussion autour de la mesure et de ses effets sur un système est exclue, de même que toute introduction au spin. L'accent est mis avant tout sur la mise en équations des situations physiques proposées à l'aide des outils de la physique des ondes, et sur la discussion graphique des résultats qui en découlent. Tout développement des calculs intermédiaires est donc naturellement proscrit et les expressions sur lesquelles s'appuient les discussions qualitatives doivent être fournies.

Le courant de probabilité est introduit dans un contexte restreint avec pour seul objectif d'exprimer le coefficient de transmission d'une barrière de potentiel.

6.5. Approche ondulatoire de la mécanique quantique	
6.5.1. Amplitude de probabilité	
Fonction d'onde $\psi(x,t)$ associée à une particule dans un problème unidimensionnel. Densité linéique de probabilité de présence.	Normaliser une fonction d'onde. Relier qualitativement la fonction d'onde à la notion d'orbitale en chimie.
Principe de superposition. Interférences.	Relier la superposition de fonctions d'ondes à la description d'une expérience d'interférences entre particules.
6.5.2. Équation de Schrödinger pour une particule libre	
Équation de Schrödinger.	Utiliser l'équation de Schrödinger fournie.
États stationnaires.	Associer les états stationnaires aux états d'énergie déterminée. Établir et utiliser la forme $\psi(x,t) = \phi(x) \exp(-iEt/\hbar)$ pour la fonction d'onde d'un état stationnaire et l'associer à la relation de Planck-Einstein. Distinguer l'onde associée à un état stationnaire en mécanique quantique d'une onde stationnaire au sens usuel de la physique des ondes.
Paquet d'ondes associé à une particule libre. Relation $\Delta k_x \Delta x \geq 1/2$.	Utiliser l'équation de Schrödinger pour déterminer la partie spatiale $\phi(x)$ des fonctions d'onde stationnaires décrivant une particule libre. Identifier la vitesse d'une particule libre et la vitesse du paquet d'ondes la décrivant. Exploiter l'inégalité de Heisenberg pour relier l'étendue spatiale et l'étendue spectrale du paquet d'ondes décrivant une particule libre.

Courant de probabilité associé à une particule libre.	Utiliser l'expression admise du courant de probabilité associé à une particule libre et l'interpréter comme un produit densité*vitesse.
6.5.3. Équation de Schrödinger dans un potentiel $V(x)$ uniforme par morceaux	
Quantification de l'énergie dans un puits de potentiel rectangulaire de profondeur infinie.	Établir les expressions des énergies des états stationnaires. Retrouver qualitativement l'énergie minimale à partir de l'inégalité de Heisenberg spatiale.
Énergie de confinement quantique.	Associer le confinement d'une particule quantique à une augmentation de l'énergie cinétique.
Évolution temporelle d'une particule confinée dans une superposition d'états.	Mettre en évidence les oscillations d'une particule dont la fonction d'onde s'écrit comme la superposition de deux états stationnaires et relier la fréquence d'oscillation à la différence des énergies.
Quantification de l'énergie des états liés dans un puits de profondeur finie. Élargissement effectif du puits par les ondes évanescentes.	Décrire la forme des fonctions d'onde dans les différents domaines. Utiliser les conditions aux limites admises : continuité de ϕ et $d\phi/dx$. Associer la quantification de l'énergie au caractère lié de la particule. Mener une discussion graphique. Interpréter qualitativement, à partir de l'inégalité de Heisenberg spatiale, l'abaissement des niveaux d'énergie par rapport au puits de profondeur infinie.
6.5.4. Effet tunnel	
Effet tunnel. Coefficient de transmission associé à une particule libre incidente sur une barrière de potentiel.	Citer quelques applications de l'effet tunnel. Définir le coefficient de transmission comme un rapport de courants de probabilités. Utiliser une expression fournie du coefficient de transmission à travers une barrière de potentiel.

Annexe 1 : matériel

Cette liste complète celle donnée en annexe 1 du programme de physique de PCSI. À elles deux, ces listes regroupent le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée. Une utilisation de matériel hors de ces listes lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une aide.

1. Domaine optique

- Lames quart d'onde, lames demi-onde
- Interféromètre de Michelson

2. Domaine électrique

- Générateurs de signaux basse fréquence à modulation de fréquence
- Câbles coaxiaux, bouchons adaptés

3. Domaine thermodynamique

- Caméra thermique

Annexe 2 : outils mathématiques

Les outils mathématiques dont la maîtrise est nécessaire à la mise en œuvre du programme de physique de la classe de PC sont d'une part ceux qui figurent dans l'annexe 2 du programme de la classe de PCSI et d'autre part ceux qui figurent dans la liste ci-dessous.

Le thème « analyse vectorielle » prolonge l'étude de l'outil gradient abordée en classe de PCSI en introduisant de nouveaux opérateurs : seules leurs expressions en coordonnées cartésiennes sont exigibles. Toutes les autres formules utiles (expressions en coordonnées cylindriques ou sphériques, actions sur des produits, combinaisons d'opérateurs, etc.) doivent être fournies.

Le thème « analyse de Fourier » prolonge l'étude de l'outil « séries de Fourier » abordée en classe de PCSI en admettant la décomposition d'une fonction non périodique du temps en une somme continue de fonctions sinusoïdales. De même qu'en classe de PCSI où le calcul des coefficients d'un développement en série de Fourier est exclu, on ne cherche pas à expliciter le poids relatif et les déphasages relatifs des différentes composantes de Fourier, de telle sorte que la transformée de Fourier n'est pas exigible. On insiste en revanche sur la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale « utile » ($\Delta\omega$ ou Δk_x) et l'étendue caractéristique d'un signal non périodique (Δt ou Δx).

Dans le thème « équations aux dérivées partielles », aucune méthode générale d'étude n'est exigible : on se limite à chercher des solutions d'une forme donnée par substitution, menant soit à des équations différentielles classiques, soit à une relation de dispersion.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Calcul différentiel	
Fonctions de plusieurs variables à valeurs réelles. Dérivées partielles. Différentielle. Théorème de Schwarz.	Relier la différentielle et les dérivées partielles premières. Utiliser le théorème de Schwarz (admis).
Intégration de l'expression d'une dérivée partielle.	Intégrer une expression de la forme $\partial f/\partial x = g(x,y)$ à y fixé en introduisant une fonction $\varphi(y)$ inconnue comme « constante d'intégration ».
2. Analyse vectorielle	
Gradient.	Relier le gradient à la différentielle d'un champ scalaire à une date fixée. Exprimer les composantes du gradient en coordonnées cartésiennes.
Divergence.	Citer et utiliser le théorème d'Ostrogradski. Exprimer la divergence en coordonnées cartésiennes.

Rotationnel.	Citer et utiliser le théorème de Stokes. Exprimer le rotationnel en coordonnées cartésiennes.
Opérateur b.grad .	Exprimer la différentielle d'un champ de vecteurs à une date fixée. Exprimer les composantes de (b.grad)a en coordonnées cartésiennes.
Laplacien d'un champ scalaire.	Définir le laplacien à l'aide de la divergence et du gradient. Exprimer le laplacien en coordonnées cartésiennes.
Laplacien d'un champ de vecteurs.	Exprimer le laplacien d'un champ de vecteurs en coordonnées cartésiennes.
Cas des champs proportionnels à $\exp(i\omega t - i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r})$ ou $\exp(i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r} - i\omega t)$.	Exprimer l'action des opérateurs d'analyse vectorielle sur un tel champ à l'aide du vecteur $i\mathbf{k}$.
3. Analyse de Fourier	
Synthèse spectrale d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni. Utiliser un raisonnement par superposition.
Synthèse spectrale d'une fonction non périodique.	Utiliser un raisonnement par superposition. Citer et utiliser la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale « utile » ($\Delta\omega$ ou Δk_x) et l'étendue caractéristique d'un signal non périodique (Δt ou Δx).
4. Équations aux dérivées partielles	
Exemples d'équations aux dérivées partielles : équation de Laplace, équation de diffusion, équation de d'Alembert, équation de Schrödinger.	Identifier une équation aux dérivées partielles connue. Transposer une solution familière dans un domaine de la physique à un autre domaine. Obtenir des solutions de forme donnée par substitution. Utiliser des conditions initiales et des conditions aux limites

Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python dans la formation des étudiants inclut l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques. Elle vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est par ailleurs toujours recommandée. Elle a aussi pour objectif de mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités utiles à la physique comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples.

Le tableau ci-dessous complète les outils numériques identifiés dans le programme de physique de première année de la classe de PCSI.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique PC

Domaines numériques	Capacités exigibles
1. Tableaux	
Tableaux à une ou deux dimensions.	Choisir une structure de données appropriée à la modélisation d'un problème physique. Réaliser des opérations algébriques simples sur des tableaux. Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque numpy (leurs spécifications étant fournies) pour manipuler des tableaux.
2. Équations différentielles et équations aux dérivées partielles	
Équation de diffusion à une dimension.	Mettre en œuvre une méthode des différences finies explicite pour résoudre l'équation de diffusion à une dimension en régime variable.



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Physique et chimie (PC)

Annexe 3

Programme de chimie

Programme de chimie de la voie PC

Préambule

Objectifs de formation

Le programme de chimie de la classe de PC est conçu comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques s'appuyant sur celles déjà travaillées au lycée et en classe de PCSI. Le programme vise à préparer les étudiant·e·s à un cursus d'ingénieur·e, de chercheur·se, d'enseignant·e ou de scientifique. Il s'agit de renforcer chez l'étudiant·e les compétences déjà travaillées au lycée inhérentes à la pratique de la démarche scientifique : observer et s'approprier, analyser et modéliser, réaliser et valider, et enfin communiquer et valoriser ses résultats. L'acquisition de ce socle par les étudiant·es constitue un objectif prioritaire pour l'enseignant·e.

Parce que la chimie est avant tout une science expérimentale qui développe la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est au cœur de son enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ils auront à le faire dans l'exercice de leur métier d'ingénieur·e, de chercheur·se ou de scientifique.

De même, l'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte la place nouvelle des sciences numériques dans la formation des scientifiques, notamment dans le domaine de la simulation. Ces sciences offrent aujourd'hui aux étudiant·es la possibilité de modélisations numériques complexes, permettant de décrire plus finement le monde réel.

Afin justement de pouvoir élaborer des modèles en prise avec la réalité, les étudiant·es doivent apprendre à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits et celui des concepts et des théories. La démarche de modélisation occupe donc une place centrale dans le programme et l'enseignant·e doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle passe par l'utilisation maîtrisée des mathématiques dont un des fondateurs de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde.

Enfin, l'autonomie de l'étudiant·e et la prise d'initiative sont spécifiquement développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes » qui visent à apprendre à mobiliser connaissances et capacités pour répondre à un questionnement ou atteindre un but sans qu'aucune démarche de résolution ne soit fournie.

Organisation du programme

Le programme est organisé en deux parties.

Dans la première partie, intitulée « **Formation expérimentale** », sont décrits les objectifs de formation sur le thème « Mesures et incertitudes » ainsi que les méthodes et les capacités expérimentales que les étudiant·es doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre doit notamment s'appuyer sur des problématiques concrètes identifiées en gras dans la seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». Elles doivent être programmées par l'enseignant de façon à assurer un apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Chimie PC

La seconde partie, intitulée « **Contenus thématiques** » est structurée autour de chapitres portant sur les transformations de la matière d'une part et la constitution et les propriétés physiques et chimiques de la matière d'autre part, des modélisations macroscopiques et microscopiques venant rendre compte des phénomènes de plus en plus précisément. La présentation en deux colonnes « notions et contenus » et « capacités exigibles » met en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiant·es est requise. Pour faciliter la progressivité des acquisitions, des reprises sont effectuées en enrichissant les descriptions ; par exemple, le modèle de Lewis a été utilisé en première année pour décrire la constitution des entités et le modèle quantique est abordé en seconde année, la cinétique a été limitée en première année aux transformations en réacteur fermé et en deuxième année se poursuit dans le cadre de différents modèles de réacteurs ouverts. Le dialogue entre les deux niveaux de description macroscopique-microscopique se prolonge et, comme le dialogue entre le monde des objets et des phénomènes et celui des modèles, reste une priorité du programme de chimie de deuxième année.

Certains items de cette seconde partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant·e doivent être privilégiées. La présence de capacités numériques explicitées atteste par ailleurs de la volonté de renforcer ce volet de la formation des étudiant·es ; l'annexe dédiée à cette composante en précise les objectifs.

Trois annexes sont consacrées d'une part au matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes, d'autre part aux outils mathématiques et aux outils numériques que les étudiant·es doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de chimie et de physique en fin de l'année de PC.

Ce programme précise les objectifs de formation à atteindre pour tou·tes les étudiant·es. Il n'impose en aucun cas une progression, celle-ci relevant de la liberté pédagogique de l'enseignant·e.

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'ensemble des activités proposées en classe préparatoire aux grandes écoles – activités expérimentales, résolutions de problèmes, TIPE, etc. – permet de travailler les compétences de la démarche scientifique qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation en CPGE. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiant·es et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

Le niveau de maîtrise de ces compétences dépend de l'**autonomie et de l'initiative** requises dans les activités proposées aux étudiant·es sur les notions et capacités exigibles du programme.

La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les étudiant·es des questions liées à la poursuite d'études scientifiques, à l'histoire de l'évolution des idées, des modèles et des théories en physique-chimie, à des questions liées à la recherche scientifique actuelle et à des enjeux citoyens comme par exemple la responsabilité individuelle et collective, la **sécurité** pour soi et pour autrui, l'éducation à l'**environnement** et au **développement durable**, le **réchauffement climatique**.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la situation étudiée. - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, représentation graphique, tableau, etc.). - Énoncer ou dégager une problématique scientifique. - Représenter la situation par un schéma modèle. - Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. - Relier le problème à une situation modèle connue. - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.
Analyser / Raisonner	<ul style="list-style-type: none"> - Formuler des hypothèses. - Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples. - Proposer une stratégie pour répondre à une problématique. - Choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle ou des lois physiques. - Évaluer des ordres de grandeur. - Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations. - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de plusieurs documents.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle. - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une photo. - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure. - Utiliser le matériel et les espèces chimiques de manière adaptée en respectant des règles de sécurité. - Effectuer des représentations graphiques à partir de données. - Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques. - Conduire une analyse dimensionnelle.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes. - Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document, à ses connaissances. - Confirmer ou infirmer une hypothèse, une information. - Analyser les résultats de manière critique. - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude, etc.). - Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> ○ présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente ; ○ rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation ; ○ utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, représentations graphiques, cartes mentales, etc.). - Écouter, confronter son point de vue.

L'enseignant·e veille aussi à développer chez les étudiant·es des compétences transversales et préprofessionnelles relatives aux capacités suivantes :

- identifier les différents champs professionnels et les parcours pour y accéder ;
- caractériser et valoriser ses compétences scientifiques, techniques en lien avec son projet de poursuite d'études ou professionnel.

Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, l'enseignant·e organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- privilégier la mise en activité des étudiant·es en évitant tout dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiant·es seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment favoriser la réflexion, le raisonnement, la participation et l'autonomie des étudiant·es. L'investigation expérimentale et la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité ;
- recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés industriels ou d'objets technologiques. Le recours à des approches documentaires est un moyen pertinent pour diversifier les supports d'accès à l'information scientifique et technologique et ainsi former l'étudiant·e à mieux en appréhender la complexité et à apprendre par lui-même. Lorsque le thème traité s'y prête, l'enseignant·e peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, avec des questions d'actualité ou des débats d'idées ;
- contribuer à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines scientifiques, physique, mathématiques, informatique.

Concernant l'évaluation, qui vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiant·es, l'enseignant·e veillera soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiant·es lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

D'une part, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**. D'autre part, elle présente de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et pratiquées en autonomie par les étudiant·es à l'issue de la seconde année, un grand nombre d'entre elles ayant déjà été mise en œuvre en première année.

Une liste de matériel, que les étudiant·es doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure en **Annexe 1** du présent programme.

1. Mesures et incertitudes

Les notions et capacités identifiées ci-dessous couvrent les deux années de formation en classe préparatoire aux grandes écoles ; leur pleine maîtrise est donc un objectif de fin de seconde année. L'accent est mis sur la variabilité de la mesure d'une grandeur physique et sa caractérisation à l'aide de l'incertitude-type. La comparaison entre deux valeurs mesurées d'une même grandeur physique

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Chimie PC

est conduite au moyen de l'écart normalisé, l'objectif principal étant de développer l'esprit critique des étudiant·es en s'appuyant sur un critère quantitatif. Le même esprit prévaut dans l'analyse des résultats d'une régression linéaire qui ne saurait s'appuyer sur l'exploitation non raisonnée du coefficient de corrélation (R^2).

Le recours à la simulation vise à illustrer, sur la base de mesures expérimentales, différents effets de la variabilité de la mesure d'une grandeur physique dans les cas des incertitudes-types composées et de la régression linéaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Incertitude. Incertitude-type.	Identifier les incertitudes liées, par exemple, à l'opérateur, à l'environnement, aux instruments ou à la méthode de mesure. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B). Associer un intervalle de confiance à l'écart-type dans l'hypothèse d'une distribution suivant la loi normale.
Incertitudes-types composées.	Évaluer l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, à l'aide d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée. Capacité numérique : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire de type Monte-Carlo permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs ; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé. Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.
Régression linéaire.	Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle. Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude ou analyse des écarts normalisés. Capacité numérique : à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, simuler un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation Monte-Carlo – pour évaluer l'incertitude-type sur les paramètres du modèle.

2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les étudiant·es doivent avoir acquises, durant les séances de travaux pratiques, à l'issue de la seconde année. Une séance de travaux pratiques s'articule autour d'une problématique, que les thèmes – repérés en gras dans le corps du programme – peuvent servir à définir.

Les capacités rassemblées ici ne constituent donc en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'organiseraient autour d'une découverte du matériel : par exemple, toutes les capacités mises en œuvre autour d'un appareil de mesure ne sauraient être l'objectif unique d'une séance, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion de l'étude d'un problème concret.

Les différentes capacités à acquérir sont, pour plus de clarté, regroupées en quatre domaines en chimie, les deux premiers étant davantage transversaux :

- 2.1. Prévention du risque au laboratoire de chimie
- 2.2. Mesures de grandeurs physiques
- 2.3. Synthèses chimiques
- 2.4. Analyses qualitatives et quantitatives

Cette structuration ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale à un seul domaine. En effet, lors de la mise en œuvre d'une synthèse au laboratoire, il peut être utile de procéder à une analyse du produit formé ou à une mesure de grandeur physique caractéristique et, bien entendu, il est indispensable de prendre en compte les consignes de sécurité.

Par ailleurs, il convient de développer les compétences de la démarche scientifique et de favoriser l'autonomie et la prise d'initiative des étudiant·es lors des activités expérimentales.

Le matériel nécessaire à l'acquisition de l'ensemble des capacités ci-dessous figure en **Annexe 1** du programme.

2.1. Prévention du risque au laboratoire de chimie

Les étudiant·es doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation, au rejet et au stockage des espèces chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futur·es ingénieur·es, chercheur·es, enseignant·es, il·elle·s doivent être sensibilisé·es au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Prévention du risque chimique Règles de sécurité au laboratoire. Classes et catégories de danger. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Mentions de danger (H), conseils de prudence (P). Fiches de sécurité.	Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Relever les indications sur le risque associé au prélèvement, au mélange et au stockage des produits chimiques. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
Prévention de l'impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

2.2. Mesures de grandeurs physiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Mesures de : - Volume - Masse - pH - Conductance et conductivité - Tension et intensité du courant - Température - Pouvoir rotatoire - Indice de réfraction - Absorbance et transmittance	Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise. Distinguer les instruments de verrerie <i>In</i> et <i>Ex</i> . Préparer une solution de concentration en masse ou en quantité de matière donnée à partir d'un solide, d'un liquide, d'une solution de composition connue avec le matériel approprié. Utiliser les méthodes et le matériel adéquats pour transférer l'intégralité du solide ou du liquide pesé. Utiliser les appareils de mesure (balance, pH-mètre, conductimètre, voltmètre, ampèremètre, thermomètre, réfractomètre, spectrophotomètre, polarimètre) en s'appuyant sur une notice. Mettre en œuvre des mesures calorimétriques à pression constante. Choisir les électrodes adaptées à une mesure électrochimique. Construire un dispositif électrochimique à partir de sa représentation symbolique. Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.

2.3. Synthèses chimiques

Au cours de la seconde année, l'étudiant·e poursuit l'acquisition des différentes techniques mises en œuvre dans les synthèses et de leurs fondements théoriques, en lien avec les propriétés physico-chimiques concernées. Progressivement, il·elle est invité·e à proposer des stratégies de transformation des réactifs, de séparation et de purification des produits synthétisés.

Les différentes techniques utilisées permettent de réaliser les opérations de :

- chauffage et refroidissement ;
- séparation et purification : extraction liquide-liquide ou liquide-solide, filtration, distillation, séchage d'un liquide ou d'un solide, séparation avec usage de l'évaporateur rotatif, recristallisation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Transformation chimique Transformations à chaud, à froid, à température ambiante. Contrôle et régulation de la température du milieu réactionnel.	Choisir la verrerie adaptée à la transformation réalisée et aux conditions opératoires mises en œuvre. Réaliser le ou les montages appropriés et en expliquer le principe et l'intérêt.

	<p>Choisir ou justifier l'ordre d'introduction des réactifs.</p> <p>Réaliser et réguler une addition au goutte à goutte.</p> <p>Utiliser le moyen de chauffage ou de refroidissement adéquat.</p> <p>Suivre et contrôler l'évolution de la température dans le réacteur.</p> <p>Choisir un moyen approprié pour réguler une éventuelle ébullition.</p> <p>Utiliser un réfrigérant, contrôler et réguler le reflux.</p>
Suivi de l'évolution de la transformation.	Mettre en œuvre des méthodes permettant de suivre qualitativement ou quantitativement l'avancement de la transformation.
Séparation et purification	Choisir ou justifier un protocole de séparation ou de purification d'un produit, sur la base de données fournies ou issues d'observations et/ou de mesures.
Séparation de deux liquides non miscibles.	Réaliser une extraction liquide-liquide. Identifier la nature des phases dans une ampoule à décanter. Distinguer extraction et lavage d'une phase.
Séparations par distillation.	Réaliser une hydrodistillation. Réaliser une distillation fractionnée.
Séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.	Élaborer et mettre en œuvre un protocole de séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.
Séparation d'un soluté du solvant. Séparation d'un liquide et d'un solide.	Expliquer l'intérêt de l'évaporateur rotatif. Réaliser et mettre en œuvre une filtration simple, une filtration sous pression réduite. Choisir et justifier la méthode de filtration adaptée au système étudié.
Lavage d'un solide.	Réaliser et justifier les différentes étapes du lavage d'un solide : ajout du solvant de lavage, trituration, essorage.
Recristallisation d'un solide.	Expliquer et mettre en œuvre la technique de recristallisation. Justifier à l'aide de données pertinentes et/ou par l'observation le choix d'un solvant de recristallisation et la quantité mise en œuvre.
Séchage d'un liquide.	Utiliser un desséchant solide et estimer correctement, par l'observation, la quantité à utiliser.

2.4. Analyses qualitatives et quantitatives

Au cours de la première année, l'étudiant·e acquiert la maîtrise de différentes techniques expérimentales mises en œuvre lors des analyses qualitatives et quantitatives pour identifier et caractériser une espèce chimique, en contrôler la pureté ou la doser. L'étudiant·e sait distinguer les méthodes d'analyse destructives et non destructives et développe progressivement la capacité à proposer une stratégie de mesures de concentrations ou de quantités de matière, une méthode de

caractérisation d'une espèce chimique, tenant compte des propriétés physico-chimiques du système étudié.

Les techniques utilisées lors des analyses qualitatives et quantitatives sont les suivantes : pH-métrie, conductimétrie, potentiométrie à intensité nulle, spectrophotométrie UV-visible, polarimétrie, réfractométrie, chromatographie sur couche mince.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Caractérisation d'une espèce chimique et contrôle de sa pureté	Proposer ou mettre en œuvre, à partir d'informations fournies, des tests qualitatifs préalables à l'élaboration d'un protocole.
Chromatographie sur couche mince.	Mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince pour l'identification d'un produit et le suivi d'une transformation. Justifier le choix de la méthode de révélation utilisée. Interpréter l'ordre d'éluion des différentes espèces en relation avec leurs propriétés physico-chimiques et les caractéristiques de la phase stationnaire et de l'éluant.
Détermination expérimentale de grandeurs physiques ou spectroscopiques caractéristiques de l'espèce chimique (les principes théoriques de la RMN sont hors programme).	Extraire d'une banque de données des informations sur les propriétés physiques des produits. Mesurer une température de fusion. Mesurer un indice de réfraction. Mesurer un pouvoir rotatoire. Mesurer une absorbance. Déterminer un coefficient d'absorption molaire en spectroscopie UV-visible. Comparer les données tabulées aux valeurs mesurées et interpréter d'éventuels écarts. Comparer les caractéristiques d'un produit synthétisé avec celles du produit commercial. À partir d'une mesure appropriée, déterminer le rendement d'une synthèse, d'une méthode de séparation.
Dosages par étalonnage	Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage. Déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-visible.
Dosages par titrage Titrages directs, indirects. Équivalence. Titrages simples, successifs, simultanés. Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, conductimétrie, potentiométrie à intensité nulle, indicateurs de fin de titrage.	Identifier et exploiter la réaction support du titrage (recenser les espèces présentes dans le milieu au cours du titrage, repérer l'équivalence, justifier qualitativement l'allure de la courbe ou le changement de couleur ou d'aspect observé). Proposer ou justifier le protocole d'un titrage à l'aide de données fournies ou à rechercher. Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage direct ou indirect. Choisir et utiliser un indicateur de fin de titrage.

Méthodes d'exploitation des courbes expérimentales.	Exploiter une courbe de titrage pour déterminer la quantité de matière, masse ou concentration de l'espèce titrée. Exploiter une courbe de titrage pour déterminer une valeur expérimentale d'une constante thermodynamique d'équilibre. Utiliser un logiciel de simulation pour tracer des courbes de distribution et confronter la courbe de titrage simulée à la courbe expérimentale. Justifier la nécessité d'effectuer un titrage indirect. Distinguer équivalence et repérage de fin de titrage.
Suivi cinétique de transformations chimiques Suivi de l'évolution temporelle d'une grandeur physique. Limitation de l'évolution temporelle (trempe) d'un système par dilution, transformation chimique ou refroidissement. Régulation de la température.	Choisir une méthode de suivi prenant en compte la facilité de mise en œuvre, les propriétés des espèces étudiées, la durée de la transformation estimée ou fournie. Exploiter les résultats d'un suivi temporel de concentration pour déterminer les caractéristiques cinétiques d'une réaction. Proposer et mettre en œuvre des conditions expérimentales permettant la simplification de la loi de vitesse. Déterminer une énergie d'activation.

Contenus thématiques

Les contenus thématiques de la classe de PC complètent ceux introduits en PCSI en chimie sur la constitution et les transformations de la matière et en physique sur la thermodynamique et la mécanique quantique. Ils enrichissent des modèles déjà abordés et en introduisent de nouveaux tant à l'échelle microscopique que macroscopique : modèle quantique des atomes et des molécules, modèles de réacteurs ouverts, etc.

Tout au long des deux années, la formation en chimie privilégie la capacité de l'étudiant·e à raisonner, à prévoir et à transposer ses connaissances dans des situations nouvelles ou sur des espèces proches de celles étudiées, plutôt que sa capacité à restituer, à reproduire. Ainsi les programmes sont structurés autour des outils du raisonnement que sont les théories et les modèles de comportement macroscopique ou microscopique et non pas autour d'une présentation encyclopédique, systématique, des espèces chimiques et des réactions associées.

Il s'agit de montrer que la chimie est une science au sein de laquelle la dialectique entre savoirs et méthodes permet d'aborder des situations nouvelles et de construire de nouvelles connaissances en chimie mais aussi aux interfaces avec la biologie, la physique, les géosciences. Ainsi formés en chimie, les futur·es ingénieur·es ou chercheur·es scientifiques pourront être acteurs de l'innovation, que ce soit dans le cadre de la recherche, du développement et de la production industrielle pour relever les défis sociétaux et environnementaux à venir.

L'ordre de présentation des contenus proposé n'est pas nécessairement celui qui doit être adopté par l'enseignant·e qui dispose de toute liberté pour effectuer des choix et établir sa propre progression annuelle dont le seul objectif reste de permettre l'acquisition par tous les étudiant·es de l'ensemble des capacités exigibles. Un travail en collaboration avec l'enseignant·e de physique est vivement recommandé afin de favoriser les apprentissages sur les domaines communs abordés dans les deux disciplines. Par ailleurs, les contenus thématiques précisent les concepts et les

modèles à étudier : l'enseignant·e les aborde à partir de problématiques authentiques et les illustre par des applications concrètes et motivantes.

1. Transformations chimiques de la matière : aspects thermodynamique et cinétique

- 1.1. Premier principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques
- 1.2. Deuxième principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques
- 1.3. Procédés industriels continus : aspects cinétiques et thermodynamiques
- 1.4. Changements de phase de corps purs et de mélanges binaires
- 1.5. Thermodynamique et cinétique des transformations modélisées par des réactions d'oxydo-réduction

2. Constitution de la matière : modélisation quantique et réactivité

- 2.1. Orbitales atomiques
- 2.2. Orbitales moléculaires et réactivité
- 2.3. Constitution et réactivité des complexes

3. Transformations de la matière en chimie organique

- 3.1. Conversion de groupes caractéristiques
- 3.2. Création de liaisons carbone-carbone

1. Transformations chimiques de la matière : aspects thermodynamique et cinétique

Au laboratoire et dans l'industrie, l'innovation comme l'optimisation des techniques et des procédés de synthèse ou de séparation s'appuient sur des fondements thermodynamiques et cinétiques. La thermodynamique notamment permet de prévoir si la transformation envisagée est possible ou non et de trouver d'éventuelles pistes d'augmentation du rendement en faisant évoluer l'état d'équilibre final du système. Elle permet aussi d'appréhender les propriétés physico-chimiques des mélanges et d'envisager une voie d'accès aux corps purs.

Les objectifs de cette partie sont les suivants :

- appliquer les deux principes de la thermodynamique à la transformation physico-chimique ;
- aborder les changements d'échelle opérés dans les procédés industriels avec les transformations et effets thermiques mis en jeu dans des réacteurs continus ;
- utiliser les diagrammes isobares de mélanges binaires pour interpréter les techniques de séparation ;
- appliquer les notions de thermodynamique et de cinétique aux réactions d'oxydo-réduction mises en jeu dans les piles et les électrolyseurs.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- faire preuve de rigueur dans la définition et la description d'un système physico-chimique ;
- modéliser un système réel ;
- distinguer modélisation d'une transformation (réaction et écriture de l'équation de réaction) et description quantitative de l'évolution d'un système prenant en compte les conditions expérimentales choisies pour réaliser la transformation ;
- établir un bilan thermique ;
- confronter des grandeurs calculées ou tabulées à des mesures expérimentales ;
- pratiquer un raisonnement qualitatif ou quantitatif à partir de représentations graphiques.

1.1. Premier principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques

L'étude des transferts thermiques, abordée en première année dans le cadre du cours de physique relatif à la transformation du corps pur, est ici généralisée aux transformations physico-chimiques isobares. Les enthalpies standard de réaction sont considérées comme indépendantes de la température.

Les notions et contenus sont illustrés à travers des applications liées à la vie quotidienne (contenu calorique des aliments, PCI et PCS des carburants, etc.), à la recherche (apports des techniques calorimétriques modernes, etc.) ou au domaine industriel. Un prolongement est proposé dans le cadre de l'étude thermique au sein des réacteurs continus dans la partie portant sur les procédés industriels.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>État standard.</p> <p>Enthalpie standard de réaction.</p> <p>Loi de Hess.</p> <p>État standard de référence d'un élément, enthalpie standard de formation.</p> <p>Enthalpie standard de dissociation de liaison.</p>	<p>Déterminer une enthalpie standard de réaction à l'aide de données thermodynamiques.</p>
<p>Effets thermiques lors d'une transformation monobare :</p> <ul style="list-style-type: none"> - transfert thermique associé à la transformation chimique monobare monotherme ; - variation de température lors d'une transformation monobare et adiabatique. 	<p>Prévoir le sens et calculer la valeur du transfert thermique entre un système, siège d'une transformation physico-chimique monobare et monotherme, et le milieu extérieur.</p> <p>Évaluer la température atteinte par un système siège d'une transformation physico-chimique, monobare et adiabatique.</p> <p>Capacité numérique : tracer, à l'aide d'un langage de programmation, l'évolution temporelle de la température pour un système siège d'une transformation adiabatique modélisée par une seule réaction chimique dont les caractéristiques cinétiques et l'enthalpie standard de réaction sont données.</p> <p>Déterminer une enthalpie standard de réaction.</p>

1.2. Deuxième principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques

Le critère d'évolution spontanée d'un système, utilisé dès la première année en chimie, est démontré par application du second principe de la thermodynamique introduit en physique en première année.

On adopte pour les potentiels chimiques une expression générale : $\mu_i = \mu_i^{\text{réf}} + RT \times \ln(a_i)$ qui fait référence aux activités a_i introduites en première année. L'influence de la pression sur le potentiel chimique d'une espèce en phase condensée est illustrée à travers le phénomène d'osmose.

Les transformations physico-chimiques envisagées sont des transformations isobares. Pour le calcul des grandeurs standard de réaction, les enthalpies et entropies standard de réaction sont supposées indépendantes de la température. Les capacités numériques abordées en PCSI pour déterminer l'état final d'un système dont la transformation est modélisée par une ou deux réactions peuvent être réactivées.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Chimie PC

En première année, la relation d'Arrhenius a permis de modéliser, au niveau macroscopique, l'évolution de la constante de vitesse d'une réaction chimique avec la température et a introduit la notion d'énergie d'activation qui suggère qu'un système doit surmonter une barrière énergétique pour réagir ; cette modélisation empirique n'a nécessité aucune connaissance microscopique sur l'évolution du système et sur le mécanisme réactionnel. La théorie du complexe activé (état de transition) repose sur un modèle microscopique (dont les hypothèses ne sont pas abordées) et permet de relier les propriétés d'un système réactif à la constante de vitesse de réaction à travers la relation d'Eyring (non démontrée) dont l'expression est analogue à celle de la relation d'Arrhenius. La constante de vitesse est ainsi reliée aux enthalpie et entropie standard d'activation, définies en considérant les différences de ces grandeurs entre état de transition et état réactif.

Problématiques, illustrations et applications sont choisies dans le domaine industriel (optimisation d'une synthèse, traitement d'une eau par procédés osmotiques, etc.), en biologie (ATP et réactions couplées, respiration, etc.), et en géosciences (sédimentation, concrétions calcaires, etc.), mais aussi au niveau du laboratoire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Identités thermodynamiques ; potentiel chimique.</p> <p>Entropie, entropie molaire standard absolue.</p> <p>Enthalpie libre.</p>	<p>Écrire les identités thermodynamiques pour les fonctions U, H et G.</p> <p>Distinguer et justifier le caractère intensif ou extensif des grandeurs physiques utilisées.</p> <p>Interpréter qualitativement une variation d'entropie en termes de nombre de micro-états accessibles.</p>
<p>Potentiel chimique dans le cas modèle des gaz parfaits : $\mu_i = \mu_i^\circ(T) + RT \times \ln(p_i/p^\circ)$</p> <p>Potentiel chimique $\mu_i = \mu_i^{\text{réf}} + RT \times \ln a_i$ dans les cas modèles de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - espèces chimiques en phase condensée en mélange idéal ; - solutés infiniment dilués. <p>Influence de la pression sur $\mu_i^{\text{réf}}$ pour des espèces en phase condensée.</p>	<p>Établir l'expression du potentiel chimique dans le cas modèle des gaz parfaits purs.</p> <p>Utiliser le potentiel chimique pour prévoir l'évolution d'un système contenant une espèce chimique dans plusieurs phases.</p> <p>Exprimer l'enthalpie libre d'un système chimique en fonction des potentiels chimiques.</p> <p>Déterminer une variation d'enthalpie libre, d'enthalpie et d'entropie entre deux états du système chimique.</p>
<p>Osmose, pression osmotique d'une solution.</p>	<p>Utiliser le potentiel chimique pour interpréter le transfert d'un solvant au travers d'une membrane.</p> <p>Relier la pression osmotique à la différence de potentiel chimique du solvant dans les deux phases.</p>
<p>Enthalpie de réaction, entropie de réaction, enthalpie libre de réaction ; grandeurs standard associées.</p> <p>Relation entre enthalpie libre de réaction et quotient de réaction.</p> <p>Équilibre physico-chimique.</p> <p>Constante thermodynamique d'équilibre ; relation de van't Hoff.</p>	<p>Justifier qualitativement ou prévoir le signe de l'entropie standard de réaction.</p> <p>Relier enthalpie libre de réaction et création d'entropie lors d'une transformation d'un système physico-chimique.</p> <p>Prévoir le sens d'évolution d'un système physico-chimique dans un état donné à l'aide de l'enthalpie libre de réaction.</p>

<p>Relation entre enthalpie libre de réaction, constante thermodynamique d'équilibre et quotient de réaction.</p>	<p>Déterminer une grandeur standard de réaction à l'aide de données thermodynamiques et de la loi de Hess.</p> <p>Déterminer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre à une température quelconque.</p> <p>Déterminer la composition chimique d'un système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une ou plusieurs réactions chimiques.</p> <p>Capacité numérique : tracer, à l'aide d'un langage de programmation, le taux d'avancement à l'équilibre en fonction de la température pour un système siège d'une transformation chimique modélisée par une seule réaction.</p>
<p>Nombre de degrés de liberté d'un système physico-chimique à l'équilibre ; variance.</p>	<p>Reconnaître si une grandeur intensive est ou non un facteur d'équilibre.</p> <p>Dénombrer les degrés de liberté d'un système à l'équilibre et interpréter le résultat.</p>
<p>Enthalpie libre standard d'activation, enthalpie standard d'activation, entropie standard d'activation.</p>	<p>Déterminer une enthalpie standard ou une entropie standard d'activation à partir de données cinétiques, la relation d'Eyring étant fournie.</p> <p>Relier l'entropie standard d'activation aux contraintes dans l'état de transition.</p> <p>Interpréter l'action d'un catalyseur à l'aide de données sur les enthalpies et entropies standard d'activation.</p>

1.3. Procédés industriels continus : aspects cinétiques et thermodynamiques

Les transformations chimiques de la matière réalisées au laboratoire mettent en jeu de faibles quantités de matière et sont conduites en réacteur fermé. À l'échelle industrielle, les transformations mettent en jeu des quantités de matière beaucoup plus élevées et sont souvent conduites en réacteur ouvert pour assurer un fonctionnement continu.

Les chimistes peuvent être amenés à transposer à l'échelle industrielle un protocole élaboré au laboratoire.

L'objectif de cette partie est un réinvestissement de connaissances acquises en cinétique et en thermodynamique dans le cadre d'une initiation aux bilans de matière et aux bilans thermiques effectués sur des réacteurs ouverts continus.

L'étude des opérations unitaires s'inscrit dans le prolongement de la mécanique des fluides en physique, et, en chimie, de la cinétique en réacteur fermé et de la thermodynamique, domaines qui sont à la base du génie des procédés et de la technologie chimique.

Les modèles de réacteurs continus idéaux étudiés sont transposables aux réacteurs microfluidiques, mais également en biologie et en géosciences.

Sensibiliser les étudiant·es aux enjeux spécifiques du secteur industriel est un élément majeur de leur formation. Des procédés chimiques innovants s'imposent pour développer des techniques et des appareils adaptés permettant d'obtenir des rendements supérieurs à ceux des procédés conventionnels, tout en limitant leurs impacts environnementaux, en mettant au point des procédés

plus sûrs, moins consommateurs d'énergie, de matières premières et de solvants et également moins polluants.

Notions et contenus	Capacités exigibles
D'un protocole de laboratoire à un procédé industriel	
<p>Opérations unitaires d'un procédé.</p> <p>Procédés discontinus.</p> <p>Procédés continus en régime stationnaire : débit de matière en masse et en quantité de matière, bilan de matière.</p>	<p>Exploiter un schéma de procédé légendé.</p> <p>Identifier un procédé continu ou discontinu.</p> <p>Effectuer un bilan de matière global ou sur une seule espèce pour une opération unitaire d'un procédé continu de caractéristiques données.</p>
Cinétique de transformations en réacteur chimique ouvert	
<p>Modèle du réacteur parfaitement agité continu en régime stationnaire dans le cas d'un écoulement de débits en volume égaux à l'entrée et à la sortie ; dimensionnement du réacteur.</p> <p>Taux de conversion d'un réactif.</p> <p>Temps de passage.</p>	<p>Effectuer un bilan de matière pour un réacteur parfaitement agité continu.</p> <p>Relier le taux de conversion du réactif au temps de passage pour une transformation modélisée par une réaction de loi de vitesse donnée.</p> <p>Estimer le dimensionnement d'un réacteur parfaitement agité continu pour un taux de conversion et un débit de matière donnés.</p>
<p>Modèle du réacteur chimique en écoulement piston isotherme en régime stationnaire dans le cas de débits en volume égaux à l'entrée et à la sortie du réacteur ; dimensionnement du réacteur.</p>	<p>Établir un bilan de matière pour un réacteur en écoulement piston.</p> <p>Relier le taux de conversion en sortie d'un réacteur en écoulement piston et le temps de passage pour une transformation modélisée par une loi de vitesse d'ordre 1.</p> <p>Estimer le dimensionnement d'un réacteur en écoulement piston pour un taux de conversion et un débit de matière donné.</p>
Étude thermique d'un réacteur chimique ouvert	
<p>Bilan énergétique sur un réacteur parfaitement agité continu en régime stationnaire dans le cas de débits en volume égaux à l'entrée et à la sortie.</p> <p>Sécurité des réacteurs : flux thermique et régulation de température.</p>	<p>Effectuer un bilan énergétique sur un réacteur parfaitement agité continu en régime stationnaire.</p> <p>Déterminer la température de fonctionnement d'un réacteur parfaitement agité continu de caractéristiques données dans l'hypothèse d'une transformation adiabatique.</p> <p>Déterminer le flux thermique échangé par un réacteur parfaitement agité dans des conditions de fonctionnement données.</p> <p>Capacité numérique : à l'aide d'un langage de programmation, déterminer le(s) point(s) de fonctionnement (température et taux de conversion) d'un réacteur parfaitement agité continu siège d'une transformation modélisée par une réaction unique et en discuter la stabilité.</p>

1.4. Changements de phase de corps purs et de mélanges binaires

L'étude des changements de phase de corps purs et de mélanges binaires s'effectue à l'aide de diagrammes isobares construits à partir des courbes d'analyse thermique ou fournis. Les tracés théoriques ne sont pas attendus. Ces diagrammes sont utilisés pour interpréter les techniques de distillations.

L'enseignant·e choisit des exemples concrets relatifs à des problématiques rencontrées au laboratoire et à des procédés industriels.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Corps pur, mélange, système binaire, fractions molaire et massique.</p> <p>Miscibilité totale, partielle ou nulle.</p>	<p>Convertir des fractions molaires en fractions massiques dans le cas de systèmes binaires et inversement.</p> <p>Interpréter la miscibilité à l'échelle microscopique par les interactions entre entités.</p> <p>Citer la température comme facteur d'influence de la miscibilité.</p>
<p>Diagrammes isobares d'équilibre liquide-vapeur :</p> <ul style="list-style-type: none"> - avec miscibilité totale à l'état liquide, - avec miscibilité nulle à l'état liquide, - avec miscibilité partielle à l'état liquide. <p>Théorème des moments chimiques.</p>	<p>Construire un diagramme isobare d'équilibre entre phases d'un mélange binaire à partir d'informations relatives aux courbes d'analyse thermique.</p> <p>Décrire les caractéristiques des mélanges homoazéotropes, hétéroazéotropes.</p> <p>Exploiter les diagrammes isobares d'équilibre entre phases, pour une composition en fraction molaire ou massique donnée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - tracer l'allure de la courbe d'analyse thermique en indiquant le nombre de degrés de liberté du système sur chaque partie de la courbe ; - déterminer les températures de début et de fin de changement d'état ; - déterminer la composition des phases en présence à une température fixée ainsi que les quantités de matière ou les masses dans chaque phase. <p>Déterminer la solubilité d'une des espèces chimiques du système binaire dans l'autre à partir du diagramme binaire.</p>
<p>Distillations.</p>	<p>Interpréter une distillation simple, une hydrodistillation, une distillation fractionnée, à l'aide des diagrammes isobares d'équilibre liquide-vapeur.</p> <p>Mettre en œuvre une distillation fractionnée ou une hydrodistillation à la pression atmosphérique.</p>

1.5. Thermodynamique et cinétique des transformations modélisées par des réactions d'oxydo-réduction

L'importance des systèmes électrochimiques se manifeste dans la diversité de leurs applications : accumulateurs et procédés d'électrosynthèse mettent en jeu la conversion d'énergie électrique en énergie chimique, des capteurs électrochimiques sont utilisés dans l'analyse de l'eau, de l'air ou d'effluents, la protection contre la corrosion est un enjeu sociétal important, etc.

L'étude thermodynamique et cinétique des réactions d'oxydo-réduction développée dans cette partie se fonde sur les acquis de cinétique chimique et sur l'étude des réactions d'oxydo-réduction et des piles débutée en première année, ainsi que sur la partie de thermodynamique chimique de seconde année.

L'approche de l'électrochimie proposée ici privilégie les raisonnements qualitatifs et les aspects expérimentaux, plutôt que les développements théoriques et mathématisés. Les courbes courant-potential, dont le tracé est proposé en capacité expérimentale, sont un outil essentiel dans la compréhension et la modélisation des systèmes électrochimiques. L'étude d'une électrolyse complète les capacités expérimentales sur les piles développées en première année.

L'écart entre le potentiel d'une électrode et son potentiel d'équilibre est appelé surpotential plutôt que surtension pour des raisons pédagogiques, en cohérence avec le vocabulaire anglo-saxon correspondant.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Étude thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction	
Relation entre enthalpie libre de réaction et potentiels de Nernst des couples mis en jeu dans une réaction d'oxydo-réduction.	Citer et exploiter la relation entre l'enthalpie libre de réaction et les potentiels de Nernst des couples mis en jeu dans une réaction d'oxydo-réduction.
Relation entre enthalpie libre standard de réaction et potentiels standard des couples impliqués.	Déterminer l'enthalpie libre standard d'une réaction d'oxydo-réduction à partir des potentiels standard des couples mis en jeu. Déterminer la valeur du potentiel standard d'un couple d'oxydo-réduction à partir de données thermodynamiques (constantes d'équilibre, potentiels standard).
Approche thermodynamique du fonctionnement d'une pile électrochimique.	Relier tension à vide d'une pile et enthalpie libre de réaction. Décrire et expliquer le fonctionnement d'une pile électrochimique à partir de données sur sa constitution et de tables de potentiels standard.
Étude cinétique des réactions d'oxydo-réduction	
Courbes courant-potential sur une électrode en régime stationnaire : <ul style="list-style-type: none"> - surpotential, - systèmes rapides et systèmes lents, - nature de l'électrode, - courant limite de diffusion, - vagues successives, - domaine d'inertie électrochimique du solvant. 	Relier vitesse de réaction électrochimique et intensité du courant. Identifier les espèces électroactives pouvant donner lieu à une limitation en courant par diffusion. Relier, qualitativement ou quantitativement, l'intensité du courant limite de diffusion à la concentration du réactif, au nombre d'électrons échangés et à la surface immergée de l'électrode.

Notions et contenus	Capacités exigibles
	<p>Tracer l'allure de courbes courant-potentiel à partir de données fournies.</p> <p>Identifier les paramètres d'influence du domaine d'inertie électrochimique du solvant.</p>
<p>Utilisation des courbes courant-potentiel</p> <p>Transformations spontanées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - notion de potentiel mixte, - fonctionnement d'une pile électrochimique. 	<p>Tracer et utiliser des courbes courant-potentiel.</p> <p>Reconnaitre une transformation spontanée et étudier qualitativement sa vitesse à partir de courbes courant-potentiel données.</p> <p>Utiliser les courbes courant-potentiel pour rendre compte du fonctionnement d'une pile électrochimique et prévoir la valeur de la tension à vide.</p> <p>Citer les paramètres influençant la résistance interne d'une pile.</p>
<p>Transformations forcées : électrolyse, recharge d'un accumulateur.</p>	<p>Mettre en œuvre une électrolyse.</p> <p>Utiliser les courbes courant-potentiel pour rendre compte du fonctionnement d'un dispositif siège d'une électrolyse et prévoir la valeur de la tension minimale à imposer.</p> <p>Utiliser les courbes courant-potentiel pour justifier la nécessité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de purifier une solution électrolytique avant l'électrolyse, - de choisir les électrodes permettant de réaliser l'électrolyse voulue. <p>Déterminer un rendement faradique à partir d'informations fournies concernant le dispositif étudié.</p> <p>Déterminer la masse de produit formé pour une durée et des conditions données d'électrolyse.</p> <p>Citer les paramètres influençant la résistance interne du dispositif siège d'une électrolyse.</p>
<p>Stockage et conversion d'énergie chimique.</p>	<p>Identifier piles, électrolyseurs et accumulateurs comme des dispositifs mettant en jeu des conversions entre énergie chimique et énergie électrique.</p>

2. Constitution de la matière : modélisation quantique et réactivité

La catalyse par les complexes des métaux de transition trouve de très nombreuses applications comme par exemple la réaction de Heck en chimie fine, la carbonylation du méthanol en chimie industrielle, les processus de respiration et de photosynthèse en chimie du vivant. Elle s'inscrit dans la démarche vertueuse de la chimie éco-responsable et permet notamment des synthèses dans des conditions douces. La compréhension de ces systèmes catalytiques nécessite l'analyse de la structure électronique des complexes par l'utilisation des orbitales atomiques et moléculaires.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Chimie PC

Ces nouveaux modèles de description de la matière à l'échelle microscopique complètent la description des entités moléculaires abordée en première année, en s'appuyant sur la notion de fonction d'onde introduite dans le programme de physique de PCSI. L'objectif de cette description microscopique est l'interprétation et la prévision de la réactivité dans le cadre de l'approximation des orbitales frontalières.

Les objectifs de cette partie sont les suivants :

- construire des diagrammes d'orbitales moléculaires ou les interpréter en vue de la prévision de la réactivité d'une entité chimique ;
- interpréter des propriétés des complexes de métaux de transition et l'utilisation de ces complexes comme catalyseurs ou éléments structurants.

2.1. Orbitales atomiques

La modélisation quantique de l'atome a été abordée en première année dans le cadre du cours de physique au travers des concepts de fonction d'onde et de quantification de l'énergie, ainsi que du modèle de Bohr de l'atome d'hydrogène. Ces premiers éléments sont ici réinvestis pour construire le modèle quantique de l'atome d'hydrogène et des atomes polyélectroniques. Aucune détermination d'expression analytique d'une fonction d'onde n'est attendue.

Cette partie est par ailleurs l'occasion de relier la construction du tableau périodique des éléments, utilisé depuis le lycée, à la modélisation quantique de l'atome et de compléter la description de l'organisation de cet outil essentiel pour les chimistes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Fonctions d'onde électroniques ψ de l'atome d'hydrogène.</p> <p>Nombres quantiques n, l, m_l, m_s.</p> <p>Énergie et rayon associés à une fonction d'onde.</p>	<p>Interpréter $\psi ^2$ comme la densité de probabilité de présence d'un électron en un point et la relier à la densité de charge.</p> <p>Prévoir qualitativement, pour l'atome d'hydrogène et les ions hydrogénoïdes, l'évolution du rayon et de l'énergie associés à une fonction d'onde en fonction du nombre quantique principal.</p>
<p>Orbitales des atomes polyélectroniques, représentation schématique.</p> <p>Configuration électronique d'un atome et d'un ion monoatomique.</p> <p>Électrons de cœur et de valence.</p>	<p>Dessiner l'allure des orbitales atomiques s et p.</p> <p>Établir la configuration électronique d'un atome ou d'un ion à l'état fondamental.</p> <p>Déterminer le nombre d'électrons non appariés d'un atome dans son état fondamental.</p>
<p>Notion qualitative de charge effective.</p> <p>Électronégativité.</p> <p>Rayon d'une orbitale atomique, polarisabilité.</p>	<p>Relier qualitativement le rayon associé à une orbitale atomique à la charge effective.</p> <p>Relier qualitativement l'énergie associée à une orbitale atomique à l'électronégativité de l'atome.</p> <p>Relier qualitativement le rayon associé aux orbitales de valence d'un atome à sa polarisabilité.</p>
<p>Architecture du tableau périodique des éléments.</p> <p>Organisation par blocs.</p>	<p>Relier la position d'un élément dans le tableau périodique à la configuration électronique de l'atome associé dans son état fondamental.</p>

Situer dans le tableau les familles suivantes : métaux alcalins et alcalino-terreux, halogènes et gaz nobles.

2.2. Orbitales moléculaires et réactivité

La construction des diagrammes d'orbitales moléculaires est limitée aux cas des molécules diatomiques A_2 ou AB, sans mélange d'orbitales s et p. En revanche, les diagrammes d'interaction impliquant trois orbitales ou plus ne sont pas à construire mais sont fournis à l'étudiant-e qui doit pouvoir les interpréter : remplissage des niveaux, identification des orbitales frontalières HO et BV, analyse du caractère liant, antiliant ou non liant d'une orbitale moléculaire.

De même, la construction des diagrammes d'orbitales moléculaires de systèmes plus complexes est hors programme ; l'étudiant-e interprète ces diagrammes à partir des propriétés de deux fragments en interaction dont les orbitales sont fournies.

Dans le but de disposer de modèles simples applicables en chimie organique, l'approximation des orbitales frontalières permet de prévoir la réactivité électrophile ou nucléophile des entités mises en jeu ; ce modèle complète l'étude de l'addition nucléophile et de la substitution nucléophile abordées en première année. Ces orbitales peuvent être obtenues grâce à des logiciels ou à partir de bases de données.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Construction des orbitales moléculaires</p> <p>Méthode de Combinaison Linéaire des Orbitales Atomiques.</p> <p>Interaction de deux orbitales atomiques sur deux centres :</p> <ul style="list-style-type: none">- recouvrement ;- orbitales liante, antiliante, non liante ;- énergie d'une orbitale moléculaire ;- orbitale σ, orbitale π ;- représentation conventionnelle d'une orbitale moléculaire par schématisation graphique de la combinaison linéaire des orbitales atomiques. <p>Interaction d'orbitales de fragments.</p> <p>Diagramme d'orbitales moléculaires : occupation des niveaux, orbitales frontalières haute occupée et basse vacante, cas des entités radicalaires.</p> <p>Ordre de liaison dans les molécules diatomiques.</p>	<p>Identifier les conditions d'interaction de deux orbitales atomiques : recouvrement et critère énergétique.</p> <p>Construire des orbitales moléculaires de molécules diatomiques par interaction d'orbitales atomiques du même type (s-s, p-p).</p> <p>Reconnaître le caractère liant, antiliant, non liant d'une orbitale moléculaire à partir de sa représentation conventionnelle ou d'une surface d'iso-densité.</p> <p>Identifier la symétrie σ ou π d'une orbitale moléculaire à partir de sa représentation conventionnelle ou d'une surface d'iso-densité.</p> <p>Proposer une représentation conventionnelle d'une orbitale moléculaire tenant compte d'une éventuelle dissymétrie du système.</p> <p>Justifier la dissymétrie d'une orbitale moléculaire obtenue par interaction d'orbitales atomiques centrées sur des atomes d'éléments différents.</p> <p>Prévoir ou interpréter l'ordre énergétique des orbitales moléculaires et établir qualitativement un diagramme énergétique d'orbitales d'une molécule diatomique.</p> <p>Justifier l'existence d'interactions entre orbitales de fragment en termes de recouvrement ou d'écart d'énergie.</p>

	<p>Décrire l'occupation des niveaux d'un diagramme d'orbitales moléculaires.</p> <p>Identifier les orbitales frontalières à partir d'un diagramme d'orbitales moléculaires de valence fourni.</p> <p>Interpréter un diagramme d'orbitales moléculaires obtenu par interaction des orbitales de deux fragments, fournies.</p> <p>Relier, dans une molécule diatomique, l'évolution des caractéristiques de la liaison à l'évolution de l'ordre de liaison.</p>
<p>Prévision de la réactivité</p> <p>Approximation des orbitales frontalières.</p>	<p>Utiliser les orbitales frontalières pour prévoir la réactivité nucléophile ou électrophile d'une entité (molécule ou ion).</p> <p>Interpréter l'addition nucléophile sur le groupe carbonyle et la substitution nucléophile en termes d'interactions frontalières.</p> <p>Comparer la réactivité de deux entités à l'aide des orbitales frontalières.</p>

2.3. Constitution et réactivité des complexes

L'étude de la structure des complexes est limitée à l'interprétation de la liaison entre l'atome central et le ligand par l'interaction entre une orbitale d d'une entité du bloc d et une orbitale d'un ligand σ -donneur ou d'un ligand ayant des effets π , par une démarche identique à celle développée dans la partie « Orbitales moléculaires et réactivité ». Les représentations des orbitales d ne sont pas exigibles et doivent être fournies. La construction complète du diagramme d'orbitales moléculaires d'un complexe et la levée partielle de dégénérescence des orbitales d sont hors-programme.

Les complexes constituent des systèmes très importants à la fois dans le domaine industriel où ils interviennent dans les procédés de séparation, de dépollution et en catalyse, ainsi que dans celui du vivant au travers des métalloenzymes intervenant dans des processus biologiques. L'étude de la stabilité des complexes prolonge la partie du programme de première année sur les transformations chimiques en solution aqueuse et permet un réinvestissement des capacités correspondantes : utilisation de données thermodynamiques, prévision de l'état final d'un système modélisé par une seule réaction, interprétation d'observations. Elle permet aussi la mise en œuvre de concepts de thermodynamique, d'oxydo-réduction et de chimie orbitale.

Pour l'étude de la stabilité des complexes en solution aqueuse, les équations des réactions correspondant aux formations et dissociations ne sont pas exigibles et sont fournies. Les transformations abordées sont modélisées par une seule réaction : les problématiques liées à des phénomènes de complexations successives sont donc hors-programme.

Les complexes peuvent être utilisés comme catalyseurs, par exemple pour des hydrogénations et des polymérisations. Aucun cycle catalytique n'est exigible, mais les étapes d'un cycle fourni doivent être reconnues par l'étudiant·e. Le formalisme de Green est hors-programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Structure des complexes	Reconnaitre le(s) site(s) de coordination d'un

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Chimie PC

<p>Modélisation de la liaison dans un complexe entre une entité du bloc <i>d</i> et un ligand σ-donneur intervenant par une seule orbitale.</p>	<p>ligand à partir d'un schéma de Lewis.</p> <p>Établir qualitativement le diagramme d'interaction entre une orbitale d'une entité du bloc <i>d</i> et une orbitale d'un ligand σ-donneur.</p> <p>Prévoir qualitativement l'influence de l'énergie de l'orbitale de l'entité du bloc <i>d</i> sur la stabilisation des électrons du ligand par la complexation.</p>
<p>Stabilité des complexes métalliques en solution aqueuse</p> <p>Constantes de formation et de dissociation.</p> <p>Diagramme de prédominance en fonction de pL.</p> <p>Effet chélate.</p>	<p>Extraire, de ressources disponibles, les données thermodynamiques pertinentes pour prévoir qualitativement l'état final d'un système siège d'une unique réaction de complexation ou pour interpréter des observations expérimentales.</p> <p>Utiliser les diagrammes de prédominance pour prévoir des espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.</p> <p>Retrouver les valeurs de constantes thermodynamiques d'équilibre par lecture de courbes de distribution et de diagrammes de prédominance (et réciproquement).</p> <p>Interpréter, à l'aide du modèle orbitalaire, des différences de valeurs de constante de formation de différents complexes.</p> <p>Interpréter l'évolution du caractère oxydant ou réducteur d'une entité par complexation.</p> <p>Interpréter l'effet d'un ligand polydenté sur la constante de formation d'un complexe.</p> <p>Préparer, analyser, caractériser ou déterminer la constante de formation d'un complexe d'une entité du bloc d.</p> <p>Mettre en œuvre une réaction de complexation pour réaliser une analyse qualitative ou quantitative en solution aqueuse.</p>
<p>Activité catalytique des complexes ; cycles catalytiques</p> <p>Ligands π-donneurs et π-accepteurs.</p> <p>Coordination des systèmes π non délocalisés.</p>	<p>Reconnaître un ligand ayant des effets π à partir de la donnée de ses orbitales de valence.</p> <p>Identifier les interactions orbitalaires principales entre une entité du bloc <i>d</i> et un alcène, le monoxyde de carbone et le dihydrogène.</p> <p>Interpréter la modification de réactivité d'un alcène, du monoxyde de carbone et du dihydrogène par les phénomènes électroniques mis en jeu lors de leur coordination.</p>
<p>Cycles catalytiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - étapes d'association et de dissociation, d'addition oxydante et 	<p>Établir l'équation de la réaction catalysée à partir de la donnée d'un cycle catalytique.</p>

<p>d'élimination réductrice, d'insertion et d'élimination ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - catalyseurs et précurseurs de catalyseur. <p>Hydrogénation en catalyse homogène.</p> <p>Polymérisation des alcènes par coordination.</p>	<p>Reconnaître la nature d'une étape dans un cycle catalytique.</p> <p>Proposer un ou des produits plausibles d'une étape d'un cycle dont les réactifs sont donnés.</p> <p>Identifier la nature des étapes intervenant lors de l'hydrogénation en catalyse homogène et de la polymérisation des alcènes par coordination, les cycles catalytiques étant fournis.</p> <p>Proposer une structure pour la macromolécule vinylique linéaire obtenue par polymérisation d'un alcène donné.</p> <p>Déterminer la structure de l'alcène permettant de synthétiser une macromolécule vinylique linéaire donnée.</p>
--	---

3. Transformations de la matière en chimie organique

Médicaments, produits phytosanitaires, matériaux polymères de synthèse aussi différents que les latex de peinture ou les boucliers thermiques des véhicules spatiaux : ces synthèses en chimie fine ou en productions de fort tonnage découlent d'une démarche d'ingénierie moléculaire s'appuyant entre autres sur les apports de la chimie organique. L'élaboration, l'identification et la caractérisation des structures et la prévision de la réactivité des entités relèvent de méthodes fondamentales dont les principes sont abordés dans les programmes de chimie des deux années.

Le programme de seconde année s'inscrit dans la continuité de celui de première année et poursuit les objectifs suivants :

- s'approprier la logique de la synthèse organique grâce aux compléments de formation relatifs aux conversions de groupes caractéristiques et à la création de liaison carbone-carbone ;
- consolider et compléter les connaissances des mécanismes fondamentaux et les capacités relatives à leur écriture à l'aide du formalisme des flèches courbes et des orbitales moléculaires.

L'enseignement de la chimie organique s'appuie sur les connaissances et capacités nouvellement acquises en thermodynamique et cinétique chimiques et exploite les modèles orbitaux de description des structures et de la réactivité, introduits dans la partie « Constitution de la matière : modélisation quantique et réactivité ». L'utilisation des orbitales frontalières permet la prévision des géométries d'approche des réactifs et, dans le cas où l'évolution du système est sous contrôle frontalière, la prévision de la structure du produit majoritaire dans la transformation. Les orbitales moléculaires sont systématiquement fournies aux étudiant·es. Le tableau à la fin de ce préambule et précédant le paragraphe 3.1, comporte des notions et capacités exigibles transversales et communes à toutes les transformations abordées dans les parties 3.1 et 3.2.

L'approche retenue privilégie l'aspect mécanistique et la stratégie de synthèse et non une présentation monographique, ceci afin de favoriser le raisonnement et la transférabilité dans des situations analogues, mais l'enseignant·e dispose de sa liberté pédagogique pour construire la progression de son choix.

Le programme de seconde année poursuit la volonté du programme de première année d'amener les étudiant·es à conduire une véritable réflexion sur la stratégie de synthèse : identification des groupes caractéristiques mis en jeu, analyse de la réactivité comparée des entités, interprétation de la nature et de l'ordre des étapes mises en œuvre dans le cas d'une synthèse multi-étapes, analyse des choix expérimentaux.

L'élaboration d'une synthèse multi-étapes par les étudiant·es eux-mêmes peut se faire en autonomie à l'aide d'une banque de réactions fournie ou à l'aide des réactions qui figurent explicitement au

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Chimie PC

programme. Les réactions indiquées dans la colonne de gauche doivent être connues et seuls les mécanismes explicitement inscrits sont exigibles et doivent pouvoir être écrits sans information supplémentaire. Pour ce qui concerne les propriétés acido-basiques, une table de pK_a sera systématiquement fournie.

Le cours et les activités s'appuient sur des exemples issus aussi bien des domaines de la chimie fine, de la chimie du vivant et de la chimie industrielle et permettent une sensibilisation aux principes de la chimie éco-responsable. À travers les capacités et contenus exigibles, sont développées des compétences générales qui pourront par la suite être réinvesties, consolidées et valorisées, parmi lesquelles :

- choisir le ou les modèle(s) pertinent(s) de description géométrique, électronique ou orbitale d'une entité pour rendre compte de sa réactivité ;
- utiliser des modèles de prédiction de l'évolution du système dans le cadre des transformations proposées ;
- pratiquer un raisonnement par analogie (analyse de réactivités et écriture de mécanismes) ;
- proposer une stratégie de synthèse à l'aide d'une banque de réactions ou des réactions au programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Familles fonctionnelles en chimie organique.</p> <p>Aspects thermodynamiques et cinétiques des transformations de la matière en chimie organique.</p> <p>Sites électrophiles et nucléophiles des réactifs.</p> <p>Modélisation de la géométrie des approches des réactifs.</p>	<p>Identifier dans une entité donnée les familles fonctionnelles suivantes : alcène, alcyne, halogénoalcane, alcool, ester sulfonique, 1,2-diol, éther-oxyde, époxyde, hémiacétal, acétal, amine, aldéhyde, cétone, acide carboxylique, ester, amide, chlorure d'acyle, anhydride d'acide.</p> <p>Discuter des aspects thermodynamiques et cinétiques des transformations effectuées à l'aide de données tabulées et de résultats expérimentaux.</p> <p>Identifier les sites électrophiles et nucléophiles des réactifs à l'aide de leurs structures de Lewis ou de leurs orbitales frontalières.</p> <p>Prévoir ou justifier la géométrie privilégiée d'approche de réactifs à partir de leurs orbitales frontalières fournies.</p>
<p>Synthèses organiques au laboratoire.</p>	<p>Conduire des synthèses, des purifications, des caractérisations et des analyses de la pureté de produits à l'aide de protocoles donnés.</p> <p>Proposer ou adapter un protocole expérimental permettant de réaliser une synthèse organique à partir de données fournies.</p> <p>Analyser et justifier les choix expérimentaux dans une synthèse organique.</p>

3.1. Conversion de groupes caractéristiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Additions électrophiles sur les doubles liaisons carbone-carbone</p> <p>Hydratation en milieu acide : conditions expérimentales, régiosélectivité, réactivité comparée des alcènes, mécanisme limite.</p> <p>Hydroboration d'une double liaison carbone-carbone terminale par le borane : régiosélectivité, mécanisme limite de l'addition du borane sur l'alcène ; hydrolyse oxydante.</p>	<p>Prévoir ou justifier la régiosélectivité de l'hydratation à l'aide de la stabilité des carbocations intermédiaires.</p> <p>Prévoir ou justifier la régiosélectivité de l'hydroboration à l'aide des effets stériques.</p>
<p>Additions nucléophiles suivies du départ d'un nucléofuge</p> <p>De l'acide carboxylique aux amides et aux esters.</p> <p>Activation <i>ex situ</i> du groupe carboxyle sous forme d'un chlorure d'acyle ou d'un anhydride d'acide.</p> <p>Activation <i>in situ</i> du groupe carboxyle par protonation.</p> <p>Autres activations du groupe carboxyle : utilisation d'une banque de réactions.</p> <p>Synthèse des esters à partir des acides carboxyliques, des chlorures d'acyle et des anhydrides d'acide : aspects cinétiques et thermodynamiques, mécanismes limites.</p> <p>Synthèse des amides à partir des acides carboxyliques, des chlorures d'acyle et des anhydrides d'acide : aspects cinétiques et thermodynamiques, mécanismes limites.</p>	<p>Comparer les réactivités électrophiles des acides carboxyliques, chlorures d'acyle, anhydrides d'acide, esters, amides, les aptitudes nucléofuges des groupes partants dans les molécules correspondantes et en déduire l'importance de l'activation du groupe carboxyle.</p> <p>Proposer et/ou analyser, le cas échéant à partir d'une banque de réactions fournie, différents moyens d'activation d'un groupe carboxyle.</p> <p>Expliquer comment obtenir un bon rendement de synthèse d'un ester à partir d'un alcool primaire ou secondaire et d'un acide carboxylique, selon la méthode d'activation choisie et les conditions expérimentales.</p> <p>Justifier le choix des conditions expérimentales retenues pour la synthèse des amides.</p>
<p>Des amides ou esters à l'acide carboxylique.</p> <p>Hydrolyses en milieu acide et en milieu basique des esters et des amides : conditions expérimentales, mécanismes.</p>	<p>Justifier le choix des conditions opératoires d'hydrolyse.</p>
<p>Utilisation de la synthèse d'amides ou d'esters pour la protection des groupes carboxyle, amino ou hydroxyle.</p>	<p>Reconnaître ou justifier la nécessité de protéger un groupe carboxyle, amino ou hydroxyle dans le cadre d'une stratégie de synthèse.</p> <p>Proposer ou justifier des conditions de protection ou de déprotection d'un groupe carboxyle, amino ou hydroxyle à partir d'une banque de réactions fournie.</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
Synthèse de polyesters et de polyamides à partir de diacides carboxyliques.	<p>Proposer des réactifs permettant de synthétiser un polyester ou un polyamide donné.</p> <p>Représenter le polyester ou le polyamide obtenu par polymérisation de monomères donnés.</p> <p>Justifier les choix expérimentaux effectués dans un protocole donné de synthèse de polyester ou de polyamide.</p>
Structure primaire des peptides et protéines : acides α -aminés, liaison peptidique.	<p>Identifier un peptide ou une protéine comme un enchaînement d'unités issues d'acides α-aminés (aucune structure ou nomenclature d'acides α-aminés n'est exigible).</p> <p>Identifier les chaînes latérales dans des acides α-aminés, des peptides ou des protéines fournis.</p>
Conversion de groupes caractéristiques par des réactions d'oxydo-réduction	
Hydrogénation des doubles et triples liaisons carbone-carbone en catalyse hétérogène, aspects stéréochimiques.	Identifier les différents types d'interactions entre le catalyseur hétérogène et les réactifs.
Époxydation directe par un peroxyacide ; réactivité comparée des alcènes. Ouverture des époxydes en milieu basique : mécanisme, élaboration de diols par addition anti.	<p>Discuter de la régiosélectivité de l'époxydation sur un polyène.</p> <p>Justifier la régiosélectivité et la stéréosélectivité de l'ouverture d'un époxyde par un nucléophile, en l'absence d'activation par un acide de Lewis ou de Bronsted.</p>
De l'ester à l'aldéhyde ou à l'alcool primaire ; mécanisme schématique de la réduction des esters.	<p>Interpréter la réduction d'un ester en alcool primaire en assimilant le réactif à un ion hydrure nucléophile.</p> <p>Identifier le produit de réduction d'un ester par un hydrure complexe, à l'aide de données fournies (chimiques et/ou spectroscopiques).</p> <p>Reconnaître ou proposer dans une stratégie de synthèse la conversion entre un ester et un aldéhyde ou un alcool primaire.</p>

3.2. Création de liaisons carbone-carbone

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Réaction de Diels-Alder</p> <p>Diastéréosélectivité, stéréospécificité, régiosélectivité, influence de la structure des réactifs sur la vitesse de la transformation (règle d'Alder).</p> <p>Réaction de rétro-Diels-Alder.</p>	<p>Identifier les interactions orbitales mises en jeu entre les réactifs.</p> <p>Interpréter les résultats cinétiques, stéréochimiques et la régiosélectivité d'une réaction de Diels-Alder sous contrôle cinétique.</p>
<p>Réactivité nucléophile des énolates</p> <p>Équilibre de tautomérie céto-énolique.</p> <p>Acidité d'un aldéhyde ou d'une cétone.</p> <p>Généralisation à d'autres espèces énolisables.</p>	<p>Représenter le(s) énol(s) isomère(s) d'une espèce énolisable.</p> <p>Identifier un énol et représenter l'aldéhyde ou la cétone dont il est l'isomère.</p> <p>Représenter la base conjuguée d'une espèce énolisable et justifier sa stabilité à l'aide du formalisme de la mésomérie.</p> <p>Proposer ou justifier le choix d'une base permettant de déprotoner une espèce énolisable, les valeurs des pK_a étant fournies.</p>
<p>C-alkylation en position α d'un groupe carbonyle de cétone : mécanisme limite, régiosélectivité de l'alkylation des énolates.</p>	<p>Justifier la réactivité nucléophile ambivalente de l'énolate dans le formalisme de la mésomérie ou par l'analyse de ses orbitales frontalières.</p> <p>Décrire les interactions entre orbitales frontalières des réactifs et interpréter la régiosélectivité de l'alkylation de l'énolate.</p>
<p>Aldolisation non dirigée : mécanisme en milieu basique aqueux ou alcoolique.</p> <p>Aldolisation croisée dirigée avec déprotonation totale préalable : mécanisme, intérêt synthétique.</p>	<p>Identifier dans une analyse rétrosynthétique les réactifs permettant d'obtenir un aldol, un cétoal, un α-énal, une α-énone.</p> <p>Choisir dans le cadre d'une stratégie de synthèse les meilleures conditions expérimentales de préparation d'un aldol (d'un cétoal) issu d'une aldolisation croisée.</p> <p>Justifier par la compétition avec l'aldolisation l'impossibilité d'alkyler un aldéhyde.</p>
<p>Crotonisation : déshydratation de l'aldol (cétoal) en présence d'une base, mécanisme $E1_{cb}$, régiosélectivité.</p>	<p>Justifier la régiosélectivité de la crotonisation en présence d'une base.</p>
<p>Réaction de Michael sur une α-énone ; mécanisme.</p>	<p>Décrire les interactions entre orbitales frontalières des réactifs et interpréter la régiosélectivité de la réaction de Michael.</p> <p>Identifier dans une analyse rétrosynthétique les réactifs permettant de réaliser une addition de Michael sur une α-énone.</p>
<p>Utilisation des organomagnésiens en synthèse</p>	

Notions et contenus	Capacités exigibles
Synthèse des alcools par action des organomagnésiens sur les époxydes et les esters, mécanismes.	Identifier dans une analyse rétrosynthétique les réactifs de la synthèse magnésienne d'un alcool.

Annexe 1 : liste de matériel

Cette liste regroupe le matériel que les étudiant·es doivent savoir utiliser avec, le cas échéant, l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

- Verrerie classique de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, béchers, etc.
- Matériel classique de chimie organique, rodée ou non rodée : ballons, ampoule de coulée (isobare ou non), réfrigérant, dispositifs de chauffage ou de refroidissement (bain-marie, bain froid, chauffe-ballon, agitateur magnétique chauffant, etc.), dispositifs d'agitation, colonne à distiller, ampoule à décanter, matériel de filtration sous pression atmosphérique et sous pression réduite, appareil de Dean-Stark.
- Évaporateur rotatif
- Matériel de chromatographie sur couche mince
- Lampe UV
- Banc de Kofler
- Réfractomètre
- Spectrophotomètre UV-visible
- pH-mètre et électrodes de mesure
- Voltmètre et électrodes
- Ampèremètre
- Conductimètre et cellule de mesure
- Polarimètre
- Thermomètre
- Balance de précision

Annexe 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en chimie. La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la chimie fait partie des compétences exigibles. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu, mais tous ces outils n'ont pas vocation à être mis en œuvre en chimie. Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique ou formel).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
1. Équations algébriques	
Système linéaire de n équations à p inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$. Utiliser des outils numériques ou de calcul formel dans les autres cas.
Équation non linéaire.	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$.

	Interpréter graphiquement la ou les solutions. Dans le cas général, résoudre à l'aide d'un outil numérique ou de calcul formel.
2. Équations différentielles	
Équations différentielles linéaires à coefficients constants. Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$.	Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique. Trouver la solution générale de l'équation sans second membre : « équation homogène ».
Autres équations différentielles d'ordre 1.	Résoudre numériquement l'équation différentielle avec un outil fourni. Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et la représentation graphique de la solution correspondante.
3. Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithmes népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle.
Dérivée. Notation dx/dt . Développements limités.	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement. Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1+x)^\alpha$, e^x , $\ln(1+x)$ et $\sin(x)$, et à l'ordre 2 de la fonction $\cos(x)$.
Primitive et intégrale.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques.
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation $y = f(x)$ donnée. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
4. Géométrie	
Vecteurs et système de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée d'un espace de dimension inférieure ou égale à 3. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, à un point, les translations et les rotations de l'espace.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une branche d'hyperbole, d'une parabole.
Longueurs, aires et volumes classiques.	Connaître les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une

	sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre, du volume d'un parallélépipède.
Barycentre d'un système de points.	Connaître la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène.
5. Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(\pi \pm x)$ et $\cos\left(\frac{\pi}{2} \pm x\right)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.

Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python incluant l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques dans la formation des étudiant-es vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est par ailleurs toujours recommandée et à mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique-chimie. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités utiles à la physique-chimie comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples.

Outils numériques	Capacités exigibles
1. Outils graphiques	
Représentation graphique d'un nuage de points.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque matplotlib pour représenter un nuage de points et rendre le graphe exploitable (présence d'une légende, choix des échelles...).
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque matplotlib pour tracer la courbe représentative d'une fonction et rendre le graphe exploitable (présence d'une légende, choix des échelles...).
2. Équations algébriques	
Résolution d'une équation algébrique ou d'une équation transcendante : méthode dichotomique.	Déterminer, en s'appuyant sur une représentation graphique, un intervalle adapté à la recherche numérique d'une racine par la méthode dichotomique. Écrire un programme mettant en œuvre la méthode dichotomique afin de résoudre une équation avec une précision donnée. Utiliser les fonctions bisect ou newton de la bibliothèque scipy.optimize (leurs spécifications étant fournies).

<p>Systèmes linéaires de n équations indépendantes à n inconnues.</p>	<p>Définir les matrices A et B adaptées à la représentation matricielle $AX = B$ du système à résoudre. Utiliser la fonction solve de la bibliothèque numpy.linalg (sa spécification étant fournie).</p>
<p>3. Intégration – Dérivation</p>	
<p>Calcul approché du nombre dérivé d'une fonction en un point.</p>	<p>Utiliser un schéma numérique centré ou décentré pour déterminer une valeur approchée du nombre dérivé d'une fonction en un point.</p>
<p>4. Équations différentielles</p>	
<p>Équations différentielles d'ordre 1.</p>	<p>Écrire un programme mettant en œuvre la méthode d'Euler explicite afin de résoudre une équation différentielle d'ordre 1 ou un système d'équations différentielles.</p>
<p>5. Statistiques</p>	
<p>Variable aléatoire.</p>	<p>Utiliser les fonctions de base des bibliothèques random et/ou numpy (leurs spécifications étant fournies) pour réaliser des tirages d'une variable aléatoire. Utiliser la fonction hist de la bibliothèque matplotlib.pyplot (sa spécification étant fournie) pour représenter les résultats d'un ensemble de tirages d'une variable aléatoire. Déterminer la moyenne et l'écart-type d'un ensemble de tirages d'une variable aléatoire.</p>
<p>Régression linéaire.</p>	<p>Utiliser la fonction polyfit de la bibliothèque numpy (sa spécification étant fournie) pour exploiter des données. Utiliser la fonction random.normal de la bibliothèque numpy (sa spécification étant fournie) pour simuler un processus aléatoire.</p>

Enseignements secondaire et supérieur

Classes préparatoires scientifiques

Objectifs de formation et programme des classes préparatoires de seconde année de physique et technologie (PT) et de physique et technologie* (PT*) : modification

NOR : ESRS2111735A

arrêté du 13-7-2021 - JO du 5-8-2021

MESRI - DGESIP A1-2 - MENJS - DGESCO - MOM

Vu Code de l'éducation, notamment articles D. 612-19 à D. 612-29 ; arrêtés du 10 février 1995 modifiés ; arrêté du 20-6-1996 modifié ; avis du Cneser du 8-6-2021 ; avis du CSE du 17-6-2021

Article 1 - Les programmes de mathématiques, de physique et de chimie de seconde année de la classe préparatoire scientifique physique et technologie (PT), annexés à l'arrêté du 20 juin 1996 susvisé, sont remplacés par les programmes de mathématiques et de physique-chimie figurant respectivement aux annexes 1 et 2 du présent arrêté.

Article 2 - Les dispositions du présent arrêté prennent effet à compter de la rentrée de l'année scolaire 2022-2023.

Article 3 - Les dispositions du présent arrêté s'appliquent dans les îles Wallis et Futuna et en Nouvelle-Calédonie.

Article 4 - Le présent arrêté sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 13 juillet 2021

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Édouard Geffray

Pour le ministre des Outre-mer, et par délégation,
La directrice générale des outre-mer,
Sophie Brocas

Pour la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et par délégation,
Pour la directrice générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle, et par délégation,
La cheffe du service de la stratégie des formations et de la vie étudiante, adjointe à la directrice générale,
Isabelle Prat

Annexes

↳ **Programmes des classes préparatoires de seconde année de physique et technologie (PT) et de physique et technologie* (PT*)**



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Physique et technologie (PT)

Annexe 1

Programme de mathématiques

Classe préparatoire PT

Programme de mathématiques

Table des matières

Préambule	2
Objectifs de formation	2
Description et prise en compte des compétences	2
Unité de la formation scientifique	3
Architecture et contenu du programme	4
Organisation du texte	5
Programme	6
Algèbre linéaire	6
A - Compléments d'algèbre linéaire	6
B - Déterminants	7
C - Réduction des endomorphismes et des matrices carrées	8
Espaces préhilbertiens et euclidiens	9
A - Structure préhilbertienne	9
B - Isométries d'un espace euclidien	10
Fonctions vectorielles d'une variable réelle et courbes paramétrées	11
Séries numériques	13
Séries entières	13
Intégration sur un intervalle quelconque	15
Variables aléatoires discrètes	17
A - Probabilités, variables aléatoires discrètes et lois usuelles	17
B - Espérance et variance	19
Équations différentielles et calcul différentiel	21
A - Équations différentielles scalaires d'ordre 2	21
B - Fonctions de deux ou trois variables	21
Courbes et surfaces	23
A - Courbes implicites du plan	23
B - Surfaces	24

Préambule

Les programmes de mathématiques des classes préparatoires scientifiques MPSI, PCSI, PTSI, MP2I, MP, PC, PSI, PT, MPI sont conçus comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités, avec l'objectif de préparer les étudiantes et étudiants à poursuivre avec succès dans les écoles et les universités un cursus de formation aux métiers de l'ingénierie, de l'enseignement, de la recherche.

Ce programme permet de conjuguer deux aspects de l'activité mathématique : d'une part la construction d'objets souvent introduits de manière intrinsèque et l'importance de la démonstration; d'autre part la technique qui permet de rendre ces objets opérationnels.

Objectifs de formation

La formation est conçue en fonction de quatre objectifs essentiels :

- fournir un solide bagage de connaissances, de concepts et de méthodes;
- exploiter toute la richesse de la démarche mathématique : analyser un problème, expérimenter sur des exemples, formuler une conjecture, élaborer et mettre en œuvre des concepts et des résultats théoriques, rédiger une solution rigoureuse, contrôler les résultats obtenus et évaluer la pertinence des concepts et des résultats au regard du problème posé;
- développer l'intuition, l'imagination, le raisonnement et la rigueur;
- promouvoir la réflexion personnelle des étudiantes et étudiants sur les problèmes et les phénomènes mathématiques, sur la portée des concepts, des hypothèses, des résultats et des méthodes, au moyen d'exemples et de contre-exemples; développer ainsi une attitude de questionnement et de recherche.

En continuité avec les programmes de mathématiques du lycée, les programmes des classes préparatoires scientifiques définissent un corpus de connaissances et de capacités et explicitent six grandes compétences mathématiques :

- **chercher, mettre en œuvre des stratégies** : découvrir une problématique, l'analyser, la transformer ou la simplifier, expérimenter sur des exemples, formuler des hypothèses, identifier des particularités ou des analogies;
- **modéliser** : extraire un problème de son contexte pour le traduire en langage mathématique, comparer un modèle à la réalité, le valider, le critiquer;
- **représenter** : choisir le cadre (numérique, algébrique, géométrique...) le mieux adapté pour traiter un problème ou représenter un objet mathématique, passer d'un mode de représentation à un autre, changer de registre;
- **raisonner, argumenter** : effectuer des inférences inductives et déductives, conduire une démonstration, confirmer ou infirmer une conjecture;
- **calculer, utiliser le langage symbolique** : manipuler des expressions contenant des symboles, organiser les différentes étapes d'un calcul complexe, effectuer un calcul automatisable à la main où à l'aide d'un instrument (calculatrice, logiciel...), contrôler les résultats;
- **communiquer** à l'écrit et à l'oral : comprendre les énoncés mathématiques écrits par d'autres, rédiger une solution rigoureuse, présenter et défendre un travail mathématique.

Description et prise en compte des compétences

Chercher

Cette compétence vise à développer les attitudes de questionnement et de recherche, au travers de réelles activités mathématiques, prenant place au sein ou en dehors de la classe. Les différents temps d'enseignement (cours, travaux dirigés, heures d'interrogation, TIPE) doivent privilégier la découverte et l'exploitation de problématiques, la réflexion sur les démarches suivies, les hypothèses formulées et les méthodes de résolution. Le professeur ne saurait limiter son enseignement à un cours dogmatique : afin de développer les capacités d'autonomie des étudiants, il doit les amener à se poser eux-mêmes des questions, à prendre en compte une problématique mathématique, à utiliser des outils logiciels, et à s'appuyer sur la recherche et l'exploitation, individuelle ou en équipe, de documents.

Les travaux proposés aux étudiants en dehors des temps d'enseignement doivent combiner la résolution d'exercices d'entraînement relevant de techniques bien répertoriées et l'étude de questions plus complexes. Posées sous forme de problèmes ouverts, elles alimentent un travail de recherche individuel ou collectif, nécessitant la mobilisation d'un large éventail de connaissances et de capacités.

Modéliser

Le programme présente des notions, méthodes et outils mathématiques permettant de modéliser l'état et l'évolution de systèmes déterministes ou aléatoires issus de la rencontre du réel et du contexte, et éventuellement du traitement qui en a été fait par la mécanique, la physique, la chimie, les sciences industrielles. Ces interprétations viennent en retour éclairer les concepts fondamentaux de l'analyse, de l'algèbre linéaire, de la géométrie ou des probabilités. La modélisation contribue ainsi de façon essentielle à l'unité de la formation scientifique et valide les approches interdisciplinaires. À cet effet, il importe de promouvoir l'étude de questions mettant en œuvre des interactions

entre les différents champs de connaissance scientifique (mathématiques et physique, mathématiques et chimie, mathématiques et sciences industrielles, mathématiques et informatique).

Représenter

Un objet mathématique se prête en général à des représentations issues de différents cadres ou registres : algébrique, géométrique, graphique, numérique. Élaborer une représentation, changer de cadre, traduire des informations dans plusieurs registres sont des composantes de cette compétence. Ainsi, en analyse, le concept de fonction s'appréhende à travers diverses représentations (graphique, numérique, formelle) ; en algèbre, un problème linéaire se prête à des représentations de nature géométrique, matricielle ou algébrique ; un problème de probabilités peut recourir à un arbre, un tableau, des ensembles. Le recours régulier à des figures ou à des croquis permet de développer une vision géométrique des objets abstraits et favorise de fructueux transferts d'intuition.

Raisonnement, argumenter

La pratique du raisonnement est au cœur de l'activité mathématique. Basé sur l'élaboration de liens déductifs ou inductifs entre différents éléments, le raisonnement mathématique permet de produire une démonstration, qui en est la forme aboutie et communicable. La présentation d'une démonstration par le professeur (ou dans un document) permet aux étudiants de suivre et d'évaluer l'enchaînement des arguments qui la composent ; la pratique de la démonstration leur apprend à créer et à exprimer eux-mêmes de tels arguments. L'intérêt de la construction d'un objet mathématique ou de la démonstration d'un théorème repose sur ce qu'elles apportent à la compréhension même de l'objet ou du théorème : préciser une perception intuitive, analyser la portée des hypothèses, éclairer une situation, exploiter et réinvestir des concepts et des résultats théoriques.

Calculer, manipuler des symboles, maîtriser le formalisme mathématique

Le calcul et la manipulation des symboles sont omniprésents dans les pratiques mathématiques. Ils en sont des composantes essentielles, inséparables des raisonnements qui les guident ou qu'en sens inverse ils outillent.

Mener efficacement un calcul simple fait partie des compétences attendues des étudiants. En revanche, les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils de calcul formel ou numérique. La maîtrise des méthodes de calcul figurant au programme nécessite aussi la connaissance de leur cadre d'application, l'anticipation et le contrôle des résultats qu'elles permettent d'obtenir.

Communiquer à l'écrit et à l'oral

La phase de mise au point d'un raisonnement et de rédaction d'une solution permet de développer les capacités d'expression. La qualité de la rédaction et de la présentation, la clarté et la précision des raisonnements, constituent des objectifs très importants. La qualité de structuration des échanges entre le professeur et sa classe, entre le professeur et chacun de ses étudiants, entre les étudiants eux-mêmes, doit également contribuer à développer des capacités de communication (écoute et expression orale) à travers la formulation d'une question, d'une réponse, d'une idée, d'hypothèses, l'argumentation de solutions ou l'exposé de démonstrations. Les travaux individuels ou en petits groupes proposés aux étudiants en dehors du temps d'enseignement, au lycée ou à la maison, (interrogations orales, devoirs libres, comptes rendus de travaux dirigés ou d'interrogations orales) contribuent fortement à développer cette compétence. La communication utilise des moyens diversifiés : les étudiants doivent être capables de présenter un travail clair et soigné, à l'écrit ou à l'oral, au tableau ou à l'aide d'un dispositif de projection.

L'intégration des compétences à la formation des étudiants permet à chacun d'eux de gérer ses propres apprentissages de manière responsable en repérant ses points forts et ses points faibles, et en suivant leur évolution. Les compétences se recouvrent largement et il importe de les considérer globalement : leur acquisition doit se faire dans le cadre de situations suffisamment riches pour nécessiter la mobilisation de plusieurs d'entre elles.

Unité de la formation scientifique

Il est important de mettre en valeur l'interaction entre les différentes parties du programme, tant au niveau du cours que des thèmes des travaux proposés aux étudiants. À titre d'exemples, la géométrie apparaît comme un champ d'utilisation des concepts développés en algèbre linéaire et euclidienne d'une part, en analyse (calcul différentiel) d'autre part ; les probabilités utilisent le vocabulaire ensembliste et illustrent certains résultats d'analyse.

La coopération des enseignants d'une même classe ou d'une même discipline et, plus largement, celle de l'ensemble des enseignants d'un cursus donné, doit contribuer de façon efficace et cohérente à la qualité de ces interactions. Il importe aussi que le contenu culturel et historique des mathématiques ne soit pas sacrifié au profit de la seule technicité. En particulier, il peut s'avérer pertinent d'analyser l'interaction entre un contexte historique et social donné, une problématique spécifique et la construction, pour la résoudre, d'outils mathématiques.

Architecture et contenu du programme

L'étude de chaque domaine du programme (analyse, algèbre, probabilités) permet de développer des aptitudes au raisonnement et à la modélisation et d'établir des liens avec les autres disciplines. Afin de contribuer au développement des compétences de modélisation et de représentation, le programme préconise le recours à des figures géométriques pour aborder l'algèbre linéaire, les espaces préhilbertiens, les fonctions de variable réelle ou vectorielle.

Le programme d'algèbre comprend deux sections. La première prolonge l'étude de l'algèbre linéaire abordée en première année, introduit la notion de déterminant en dimension quelconque et aboutit à une solide étude de la réduction : diagonalisation, trigonalisation. La deuxième, après quelques généralités sur les espaces préhilbertiens et le théorème de projection orthogonale sur un sous-espace de dimension finie, étudie les isométries vectorielles d'un espace euclidien avec un accent sur les dimensions 2 et 3. Le théorème spectral est étudié du point de vue matriciel.

Le programme d'analyse est introduit par l'étude des fonctions vectorielles d'une variable réelle qui s'attache à relier les registres analytique et géométrique en développant une étude aussi bien affine que métrique des arcs paramétrés. L'étude des enveloppes insiste sur la vision géométrique et conduit à celle de la développée d'une courbe régulière.

La section relative aux séries numériques met l'accent sur la convergence absolue et limite l'étude des séries semi-convergentes au cas des séries alternées. Il constitue une introduction à l'étude des séries entières qui sont utilisées pour développer une fonction en série, calculer la somme de certaines séries numériques, trouver des solutions d'une équation différentielle, ou encore définir les séries génératrices en probabilités.

La section sur l'intégration introduit, pour les fonctions continues sur un intervalle quelconque, la notion d'intégrale généralisée et celle de fonction intégrable.

Le théorème d'intégration terme à terme des séries de fonction et l'étude de la régularité d'une fonction définie par une intégrale à paramètre concluent cette section.

La section sur les variables aléatoires discrètes propose une introduction à minima de la dénombrabilité en appui des notions générales de la théorie des probabilités, afin d'étendre l'étude menée en première année des variables aléatoires finies, ce qui permet d'élargir le champ des situations se prêtant à une modélisation probabiliste. La loi faible des grands nombres permet de justifier a posteriori l'approche fréquentiste d'une probabilité pour un schéma de Bernoulli, déjà évoquée dans le cursus antérieur des étudiants.

Cette section a vocation à interagir avec le reste du programme, notamment en exploitant les séries génératrices.

L'étude des équations différentielles est limitée au cas des équations linéaires d'ordre 2, dont les interventions sont fréquentes tant en mathématiques que dans les autres disciplines scientifiques. L'utilisation dans ce cadre du théorème de Cauchy permet d'établir la structure de l'ensemble des solutions, illustrant la pertinence des outils de l'algèbre linéaire pour résoudre des problèmes d'analyse. On indique quelques exemples de résolution : solutions développables en série entière, résolution à partir d'une solution de l'équation homogène ne s'annulant pas.

La section sur les fonctions de deux ou trois variables vise à mettre en place des outils pour l'analyse et la géométrie et prévoit une étude à l'ordre deux des extremums des fonctions de deux variables. La section sur les courbes et les surfaces exploite, d'une part, les fonctions de deux ou trois variables (courbes du plan définies par une équation cartésienne, surfaces paramétrées ou définies par une équation cartésienne, courbes sur une surface), d'autre part, la géométrie euclidienne du plan et les matrices symétriques d'ordre 2 (étude des coniques).

Organisation du texte

Les programmes définissent les objectifs de l'enseignement et décrivent les connaissances et les capacités exigibles des étudiants ; ils précisent aussi certains points de terminologie et certaines notations. Ils fixent clairement les limites à respecter tant au niveau de l'enseignement qu'à celui des épreuves d'évaluation, y compris par les opérateurs de concours. Le programme est décliné en sections. Chaque section comporte un bandeau définissant les objectifs essentiels et délimitant le cadre d'étude des notions qui lui sont relatives et un texte présenté en deux colonnes : à gauche figurent les contenus du programme (connaissances et méthodes) ; à droite un commentaire indique les capacités exigibles des étudiants, précise quelques notations ainsi que le sens ou les limites à donner à certaines questions. Dans le cadre de sa liberté pédagogique et dans le respect de la cohérence de la formation globale, le professeur décide de l'organisation de son enseignement et du choix de ses méthodes. En particulier, l'ordre de présentation des différentes sections ne doit pas être interprété comme un modèle de progression. Parmi les connaissances (définitions, notations, énoncés, démonstrations, méthodes, algorithmes...) et les capacités de mobilisation de ces connaissances, le texte du programme délimite trois catégories :

- celles qui sont exigibles des étudiants : il s'agit de l'ensemble des points figurant dans la colonne de gauche des différentes sections ;
- celles qui sont indiquées dans les bandeaux et la colonne de droite comme étant « hors programme ». Elles ne doivent pas être traitées et ne peuvent faire l'objet d'aucune épreuve d'évaluation ;
- celles qui relèvent d'activités possibles ou souhaitables, mais qui ne sont pas exigibles des étudiants. Il s'agit des activités proposées pour illustrer les différentes notions du programme (visualisations à l'aide de l'outil informatique, activités en lien avec les autres disciplines).

Pour les démonstrations des théorèmes dont l'énoncé figure au programme et qui sont repérées dans la colonne de droite par la locution « démonstration non exigible », le professeur est libre d'apprécier, selon le cas, s'il est souhaitable de démontrer en détail le résultat considéré, d'indiquer seulement l'idée de sa démonstration, ou de l'admettre.

Programme

Algèbre linéaire

Dans toute cette partie, \mathbb{K} désigne \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

A - Compléments d'algèbre linéaire

Cette section est organisée autour de trois objectifs :

- consolider les acquis de la classe de première année;
- introduire de nouveaux concepts : produit et somme de plusieurs sous-espaces vectoriels, sous-espaces stables, trace, hyperplans;
- passer du point de vue géométrique au point de vue matriciel et inversement.

Le programme valorise les interprétations géométriques en dimensions 2 et 3 et préconise l'illustration des notions et résultats par de nombreuses figures.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Produit d'espaces vectoriels, somme de sous-espaces vectoriels

Produit d'un nombre fini d'espaces vectoriels. Dimension dans le cas où ces espaces sont de dimension finie.

Somme d'un nombre fini de sous-espaces vectoriels.

Somme directe.

En dimension finie, base adaptée à une décomposition en somme directe. Dimension d'une somme directe.

Caractérisation par l'unicité de la décomposition du vecteur nul. Pour la somme de plus de trois sous-espaces, toute autre caractérisation est hors programme.

b) Sous-espaces stables

Sous-espace stable par un endomorphisme. Endomorphisme induit. Matrice dans une base adaptée.

Les étudiants doivent savoir interpréter une forme matricielle par blocs en termes de stabilité d'un sous-espace et, inversement, traduire cette stabilité sous forme matricielle.

c) Trace

Trace d'une matrice carrée.

Linéarité de la trace, relation $\text{tr}(AB) = \text{tr}(BA)$.

Deux matrices semblables ont même trace.

Trace d'un endomorphisme en dimension finie.

Notation $\text{tr}(A)$.

d) Hyperplans en dimension finie

Hyperplan d'un espace vectoriel de dimension finie, défini comme sous-espace admettant une droite comme supplémentaire.

Équations d'un hyperplan.

Si E est de dimension n , l'intersection de p hyperplans est de dimension au moins $n - p$. Réciproquement, tout sous-espace de E de dimension $n - p$ est l'intersection de p hyperplans.

Système d'équations d'un sous-espace vectoriel.

Interprétation géométrique de l'ensemble des solutions d'un système d'équations linéaires.

B - Déterminants

Le déterminant est présenté dans sa version matricielle. L'interprétation géométrique en termes d'aire et de volume algébrique est faite via le produit mixte défini en première année. Les capacités attendues sont la connaissance et l'utilisation des propriétés du déterminant permettant un calcul simple via des opérations élémentaires. Tout excès de technicité est exclu et l'outil informatique est utilisé dès que le calcul s'avère trop lourd. Le vocabulaire des formes multilinéaires alternées, le groupe symétrique et les formules de Cramer sont hors programme.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Déterminant d'une matrice carrée

Il existe une unique application $\det : \mathcal{M}_n(\mathbb{K}) \rightarrow \mathbb{K}$ vérifiant les trois propriétés suivantes :

- i. \det est linéaire par rapport à chacune des colonnes de sa variable ;
- ii. \det est antisymétrique par rapport aux colonnes de sa variable ;
- iii. $\det(I_n) = 1$.

La démonstration de ce théorème pour $n \geq 4$ et la notion générale de forme multilinéaire sont hors programme. Pour $n \in \{2, 3\}$, on fait le lien avec le produit mixte de deux ou trois vecteurs.

b) Propriétés du déterminant

Le déterminant d'une matrice ayant deux colonnes égales est nul.

Expression de $\det(\lambda A)$ pour $\lambda \in \mathbb{K}$ et $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{K})$.

Effet sur un déterminant des opérations élémentaires en colonnes.

Déterminant d'une matrice triangulaire.

Une matrice carrée est inversible si et seulement si son déterminant est non nul.

Déterminant d'un produit de matrices carrées.

Déterminant de l'inverse.

Déterminant de la transposée.

Développement par rapport à une colonne ou une ligne du déterminant d'une matrice.

Les étudiants doivent savoir calculer un déterminant par opérations élémentaires sur les colonnes.

Le déterminant d'une matrice carrée est nul si et seulement si la famille de ses colonnes est liée.

La démonstration est hors programme.

La démonstration est hors programme.

Le déterminant vérifie les mêmes propriétés vis-à-vis des lignes que des colonnes.

La démonstration n'est pas exigible.

La notion de comatrice est hors programme.

c) Déterminant d'une famille de vecteurs, d'un endomorphisme

Déterminant d'une famille de vecteurs dans une base.

Caractérisation des bases.

Déterminant d'un endomorphisme. Caractérisation des automorphismes.

La formule de changement de base pour un déterminant est hors programme.

Traduction sur le déterminant d'un endomorphisme des propriétés relatives au déterminant d'une matrice.

C - Réduction des endomorphismes et des matrices carrées

Après avoir introduit le vocabulaire des éléments propres en dimension quelconque, cette partie s'intéresse de manière plus approfondie au cas de la dimension finie, et à la question de la diagonalisabilité d'un endomorphisme ou d'une matrice carrée.

Tout développement sur les polynômes d'endomorphisme est hors programme.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Éléments propres d'un endomorphisme, d'une matrice carrée

Droite stable par un endomorphisme.

Valeur propre, vecteur propre (non nul), sous-espace propre d'un endomorphisme en dimension quelconque.

Spectre d'un endomorphisme en dimension finie.

La somme d'une famille finie de sous-espaces propres d'un endomorphisme est directe.

Valeur propre, vecteur propre, sous-espace propre et spectre d'une matrice carrée.

Équation aux éléments propres $f(x) = \lambda x$.

Notation $\text{Sp}(f)$.

Toute famille de vecteurs propres associés à des valeurs propres distinctes est libre.

Équation aux éléments propres $AX = \lambda X$.

Notation $\text{Sp}(A)$.

b) Polynôme caractéristique

Pour $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{K})$, la fonction $x \mapsto \det(xI_n - A)$ est polynomiale, unitaire, de degré n .

Polynôme caractéristique d'une matrice carrée, d'un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie.

Les valeurs propres d'un endomorphisme de dimension finie sont les racines de son polynôme caractéristique.

Multiplicité d'une valeur propre. Majoration de la dimension d'un sous-espace propre par la multiplicité.

La démonstration n'est pas exigible pour $n \geq 4$.

Notations χ_A, χ_f .

Deux matrices semblables ont le même polynôme caractéristique, donc les mêmes valeurs propres avec mêmes multiplicités.

c) Endomorphismes et matrices diagonalisables

Un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie est dit diagonalisable s'il existe une base dans laquelle sa matrice est diagonale.

Une matrice carrée est dite diagonalisable si elle est semblable à une matrice diagonale.

Un endomorphisme d'un espace vectoriel E de dimension finie est diagonalisable si et seulement si la somme de ses sous-espaces propres est égale à E , si et seulement si la somme des dimensions de ses sous-espaces propres est égale à la dimension de E .

Un endomorphisme est diagonalisable si et seulement si son polynôme caractéristique est scindé sur \mathbb{K} et si, pour toute valeur propre, la dimension du sous-espace propre associé est égale à sa multiplicité.

Un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension n ayant n valeurs propres distinctes est diagonalisable.

Interprétation : existence d'une base de vecteurs propres. Cas des projecteurs, des symétries.

Interprétation en termes d'endomorphisme.

Calcul des puissances d'une matrice diagonalisable.

Dans la pratique des cas numériques, on se limite à $n = 2$ ou $n = 3$.

Cas où χ_f est scindé à racines simples.

Traduction matricielle des résultats précédents relatifs aux endomorphismes.

d) Endomorphismes et matrices trigonalisables

Un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie est dit trigonalisable s'il existe une base dans laquelle sa matrice est triangulaire.

Une matrice carrée est dite trigonalisable si elle est semblable à une matrice triangulaire.

Un endomorphisme est trigonalisable si et seulement si son polynôme caractéristique est scindé.

La démonstration est hors programme.

Traduction matricielle.

Toute matrice de $\mathcal{M}_n(\mathbb{C})$ est trigonalisable.

Aucune technique de trigonalisation effective n'est au programme.

Expressions du déterminant et de la trace d'un endomorphisme trigonalisable, d'une matrice trigonalisable en fonction de ses valeurs propres.

Espaces préhilbertiens et euclidiens

A - Structure préhilbertienne

En première année, la notion de produit scalaire a été étudiée d'un point de vue géométrique en dimensions 2 et 3. L'objectif de cette section, qu'il est essentiel d'illustrer par de nombreuses figures, est de la généraliser, afin d'exploiter l'intuition acquise en petite dimension pour résoudre des problèmes posés dans un contexte plus abstrait.

a) Produit scalaire

Produit scalaire.

Notations $\langle x, y \rangle$, $(x|y)$, $x \cdot y$.

Espace préhilbertien, espace euclidien.

Produit scalaire canonique sur \mathbb{R}^n .

Expression $X^T Y$.

Produit scalaire $\langle f, g \rangle = \int_a^b f g$ sur $\mathcal{C}([a, b], \mathbb{R})$.

Exemples de produits scalaires intégraux sur $\mathbb{R}[X]$ et $\mathcal{C}([a, b], \mathbb{R})$.

b) Norme associée à un produit scalaire

Norme associée à un produit scalaire, distance.

Inégalité de Cauchy-Schwarz, cas d'égalité.

Inégalité triangulaire, cas d'égalité.

Identité remarquable $\|x + y\|^2 = \|x\|^2 + \|y\|^2 + 2\langle x, y \rangle$.

Formule de polarisation associée.

c) Orthogonalité en dimension quelconque

Vecteurs orthogonaux, sous-espaces orthogonaux.

Orthogonal d'un sous espace vectoriel.

Notation F^\perp .

Famille orthogonale, orthonormée (ou orthonormale).

Toute famille orthogonale (finie) de vecteurs non nuls est libre.

Théorème de Pythagore.

Algorithme d'orthonormalisation de Gram-Schmidt.

d) Bases orthonormées

Existence de bases orthonormées dans un espace euclidien.

Coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée.

Expressions du produit scalaire et de la norme dans une base orthonormée.

e) Projection orthogonale sur un sous-espace de dimension finie

Si F est un sous-espace vectoriel de dimension finie d'un espace préhilbertien, alors F et F^\perp sont supplémentaires. Projection orthogonale sur F . Expression du projeté orthogonal d'un vecteur x dans une base orthonormée de F .

En dimension finie : dimension de F^\perp , vecteur normal à un hyperplan.

Les étudiants doivent savoir déterminer le projeté orthogonal $p_F(x)$ en calculant son expression dans une base orthonormée de F ou en résolvant un système linéaire traduisant l'orthogonalité de $x - p_F(x)$ aux vecteurs d'une famille génératrice de F .

Distance d'un vecteur à F .
Le projeté orthogonal de x sur F est l'unique élément de F qui réalise la distance de x à F .

Notation $d(x, F)$.
Application à la recherche du minimum.

B - Isométries d'un espace euclidien

Cette section vise les objectifs suivants :

- étudier les isométries vectorielles et les matrices orthogonales, et les décrire en dimensions 2 et 3 en insistant sur les représentations géométriques;
- traiter la réduction des matrices symétriques réelles.

a) Isométries vectorielles

Un endomorphisme d'un espace euclidien E est une isométrie vectorielle s'il conserve la norme.

Exemples : symétries orthogonales, cas particulier des réflexions.

Caractérisations par la conservation du produit scalaire, par l'image d'une base orthonormée.

Groupe orthogonal d'un espace euclidien E .

Notation $O(E)$.

On vérifie les propriétés lui conférant une structure de groupe, mais la définition axiomatique des groupes est hors programme.

Stabilité de l'orthogonal d'un sous-espace stable par une isométrie vectorielle.

b) Matrices orthogonales

Une matrice A de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ est orthogonale si $A^T A = I_n$.

Interprétation en termes de colonnes et de lignes.

Caractérisation comme matrice de changement de base orthonormée.

Caractérisation d'une isométrie vectorielle à l'aide de sa matrice dans une base orthonormée.

On mentionne la terminologie « automorphisme orthogonal », tout en lui préférant « isométrie vectorielle ».

Groupe orthogonal.

Notations $O_n(\mathbb{R})$, $O(n)$.

Déterminant d'une matrice orthogonale, d'une isométrie vectorielle.

Isométrie vectorielle directe, isométrie vectorielle indirecte.

Groupe spécial orthogonal.

Notations $SO_n(\mathbb{R})$, $SO(n)$ et $SO(E)$.

c) Isométries vectorielles en dimension 2

Orientation d'un plan euclidien de dimension 2. Base directe, base indirecte.

Description des matrices de $\mathcal{O}_2(\mathbb{R})$, de $SO_2(\mathbb{R})$.

Rotation vectorielle d'un plan euclidien orienté.

On introduit à cette occasion, sans soulever de difficulté, la notion de mesure d'un angle orienté de vecteurs.

Classification des isométries vectorielles d'un plan euclidien.

d) Isométries vectorielles en dimension 3

Orientation d'un espace euclidien de dimension 3. Base directe, base indirecte.

Orientation d'une droite, d'un plan d'un espace orienté.

Rotation vectorielle d'axe orienté et d'angle donnés. Réflexion vectorielle. Matrices dans une base adaptée.

Réduction en base orthonormée d'une isométrie vectorielle directe d'un espace euclidien de dimension 3.

Les étudiants doivent savoir déterminer l'axe et l'angle de la rotation.

e) Matrices symétriques réelles

Matrice symétrique réelle.

Notation $\mathcal{S}_n(\mathbb{R})$. La notion d'endomorphisme symétrique est hors programme.

Les sous-espaces propres d'une matrice symétrique réelle sont deux à deux orthogonaux.

Théorème spectral : pour toute matrice symétrique réelle A , il existe une matrice orthogonale P et une matrice diagonale réelle D telles que $A = PDP^{-1}$.

A est dite orthogonalement diagonalisable.

La démonstration est hors programme.

Fonctions vectorielles d'une variable réelle et courbes paramétrées

La section sur les fonctions vectorielles trouve une illustration naturelle dans l'étude des courbes paramétrées. Il convient de formaliser des notions géométriques (courbe paramétrée, tangente) et cinématiques (vitesse, accélération) rencontrées dans d'autres disciplines scientifiques.

Sur des exemples, l'étude d'une courbe paramétrée peut être amenée par la détermination d'un lieu géométrique.

La longueur d'une courbe paramétrée est définie par la formule intégrale et tout développement théorique est hors programme. On peut cependant présenter la définition géométrique à l'aide de figures.

Dans l'étude des propriétés métriques d'une courbe paramétrée, les problèmes de régularité que l'on peut rencontrer dans les calculs n'ont pas à être soulevés et ils n'ont pas l'importance de l'interprétation géométrique que l'on peut obtenir.

L'étude des propriétés métriques d'une courbe paramétrée et celle de l'enveloppe d'une famille de droites privilégient la vision géométrique plutôt que le recours à l'application de formules.

L'étude des courbes définies par une équation polaire est hors programme.

a) Fonctions vectorielles à valeurs dans \mathbb{R}^n ($n = 2$ ou 3)

Limite en un point. Continuité en un point. Continuité globale.

Caractérisation par les fonctions coordonnées.

Vecteur dérivé en un point.

Caractérisation par les fonctions coordonnées.
Interprétation cinématique.

Fonction dérivée.

Dérivée d'une combinaison linéaire, d'une composée, d'un produit.

La dérivée du produit s'applique au produit d'une fonction numérique par une fonction vectorielle, au produit scalaire de deux fonctions vectorielles et au produit vectoriel de deux fonctions à valeurs dans \mathbb{R}^3 .

Fonction de classe \mathcal{C}^k .

Dérivées successives d'une combinaison linéaire, d'un produit (formule de Leibniz).

La formule du produit s'applique au produit d'une fonction numérique par une fonction vectorielle.

Formule de Taylor-Young.

La démonstration est hors programme.

Développement limité d'une fonction de classe \mathcal{C}^k au voisinage d'un point.

Les calculs sont faits à l'aide des fonctions coordonnées.

b) Courbes paramétrées du plan et de l'espace

Courbe paramétrée par une fonction de classe \mathcal{C}^1 à valeurs dans \mathbb{R}^2 ou \mathbb{R}^3 .

Notation $t \mapsto M(t)$.

Tangente en un point $M(t_0)$.

Sous réserve d'existence, la tangente est dirigée par $\lim_{t \rightarrow t_0} \vec{v}(t)$ avec $\vec{v}(t)$ un vecteur unitaire dirigeant la corde $[M(t_0)M(t)]$.

Point régulier, courbe régulière.

Vecteur tangent en un point régulier.

Détermination d'une équation ou d'un paramétrage de la tangente.

Orientation d'une courbe.

L'orientation d'une courbe régulière peut se faire par le choix d'un vecteur unitaire dirigeant la tangente ou par celui d'un sens de parcours de la courbe.

c) Étude des courbes paramétrées du plan

Étude locale en un point régulier ou stationnaire, tangente et position relative. Définition géométrique des points d'inflexion et de rebroussement.
Branches infinies.

Les étudiants doivent savoir utiliser des développements limités pour les études locales.

Asymptotes, branches paraboliques.

Les étudiants doivent savoir utiliser des développements asymptotiques pour étudier les branches infinies.

Construction à partir de tableaux de variations.

Support d'une courbe paramétrée.

d) Propriétés métriques d'une courbe plane

Longueur d'une courbe paramétrée régulière.
Abscisse curviligne, paramétrage par une abscisse curviligne pour une courbe régulière.
Repère de Frenet (M, \vec{T}, \vec{N}) , normale.

Définition par la formule intégrale.

Courbure en un point régulier, formules de Frenet.

La courbure est définie par $\frac{d\vec{T}}{ds} = \gamma \vec{N}$.

Interprétation géométrique du signe de la courbure.

La formule donnant la courbure à partir du déterminant de la vitesse et de l'accélération est hors programme.

Les problèmes liés à la régularité de α ne sont pas un attendu du programme.

Expression $\vec{T}(t) = \cos(\alpha(t))\vec{i} + \sin(\alpha(t))\vec{j}$.

Expression de la courbure $\gamma = \frac{d\alpha}{ds}$.

On interprète géométriquement la valeur de $|\gamma|$ sans démonstration formelle.

Point birégulier d'une courbe de classe \mathcal{C}^2 .

Rayon de courbure en un point birégulier. Centre de courbure. Cercle de courbure.

On interprète géométriquement le rayon et le cercle de courbure sans démonstration formelle.

Développée d'une courbe birégulière : ensemble des centres de courbure.

e) Enveloppe d'une famille de droites

Enveloppe d'une famille de droites données par une représentation paramétrique $t \mapsto A(t) + \lambda \vec{u}(t)$ où A et \vec{u} sont de classe \mathcal{C}^1 : on cherche une fonction λ de classe \mathcal{C}^1 telle que $t \mapsto A(t) + \lambda(t) \vec{u}(t)$ paramètre une courbe dont la tangente au point courant est dirigée par $\vec{u}(t)$.

L'objectif est de privilégier une vision géométrique de la notion d'enveloppe et du procédé permettant de l'obtenir.

Caractérisation de la développée comme enveloppe des normales.

Séries numériques

Cette partie étend l'étude des séries à termes positifs vue en première année à celle des séries à termes réels et complexes. L'étude de séries semi-convergentes est limitée aux exemples fournis par le théorème des séries alternées.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Compléments sur les séries à termes réels

Technique de comparaison série-intégrale.

Les étudiants doivent savoir utiliser la comparaison série-intégrale pour établir des convergences et des divergences de séries, estimer des sommes partielles de séries divergentes dans le cas d'une fonction monotone.

Théorème des séries alternées : si la suite réelle $(u_n)_{n \geq 0}$ converge en décroissant vers 0, $\sum (-1)^n u_n$ converge.

Encadrement de la somme.

b) Séries absolument convergentes à termes réels ou complexes

Convergence absolue de la série numérique $\sum u_n$.

Le critère de Cauchy est hors programme.

Une série numérique absolument convergente est convergente.

Somme d'une série absolument convergente.

Pour (u_n) et (v_n) deux suites complexes :

- si $|u_n| \leq |v_n|$ à partir d'un certain rang, la convergence absolue de $\sum v_n$ implique celle de $\sum u_n$;
- si $u_n = O(v_n)$, la convergence absolue de $\sum v_n$ implique celle de $\sum u_n$;
- si $u_n \sim v_n$, la convergence absolue de $\sum v_n$ équivaut à celle de $\sum u_n$.

Le résultat s'applique en particulier lorsque $u_n = o(v_n)$.

Règle de d'Alembert.

Produit de Cauchy de deux séries absolument convergentes.

La démonstration n'est pas exigible.

Séries entières

Les objectifs de cette section sont les suivants :

- étudier la convergence d'une série entière et mettre en évidence la notion de rayon de convergence ;
- étudier la régularité de la somme dans le cas d'une variable réelle ;
- établir les développements en série entière des fonctions usuelles.

Les séries entières trouveront un cadre d'application dans la notion de fonction génératrice en probabilités et au détour d'exemples de résolutions d'équations différentielles linéaires.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Généralités

Série entière de variable réelle, de variable complexe.

Lemme d'Abel : si la suite $(a_n z_0^n)$ est bornée alors, pour tout nombre complexe z tel que $|z| < |z_0|$, la série $\sum a_n z^n$ est absolument convergente.

Rayon de convergence R défini comme la borne supérieure dans $\mathbb{R} \cup \{+\infty\}$ de l'ensemble des réels positifs r tels que la suite $(a_n r^n)$ est bornée.

Disque ouvert de convergence.

Intervalle ouvert de convergence.

La série $\sum a_n z^n$ converge absolument si $|z| < R$, et elle diverge grossièrement si $|z| > R$.

Avec R_a (resp. R_b) le rayon de convergence de $\sum a_n z^n$, (resp. $\sum b_n z^n$) :

- si $|a_n| \leq |b_n|$ à partir d'un certain rang, alors $R_a \geq R_b$;
- si $a_n = O(b_n)$, alors $R_a \geq R_b$;
- si $a_n \sim b_n$, alors $R_a = R_b$.

Pour $\alpha \in \mathbb{R}$, $R(\sum n^\alpha x^n) = 1$.

Le résultat s'applique en particulier lorsque $a_n = o(b_n)$.

Application de la règle de d'Alembert pour les séries numériques au calcul du rayon.

Somme et produit de Cauchy de deux séries entières.

La limite du rapport $\frac{|a_{n+1}|}{|a_n|}$ peut être directement utilisée.

b) Régularité de la somme d'une série entière d'une variable réelle

Fonction somme d'une série entière.

Théorème de continuité : la fonction somme est continue sur son intervalle de définition.

Primitivation d'une série entière sur l'intervalle ouvert de convergence.

La somme d'une série entière est de classe \mathcal{C}^∞ sur l'intervalle ouvert de convergence et ses dérivées s'obtiennent par dérivation terme à terme.

Expression des coefficients d'une série entière de rayon de convergence strictement positif à l'aide des dérivées en 0 de sa somme.

La démonstration est hors programme.

Cet énoncé contient le théorème d'Abel radial, qu'il est inutile de formaliser auprès des étudiants. En dehors de ce cadre, les études au bord de l'intervalle ouvert de convergence ne sont pas un attendu du programme.

La démonstration est hors programme.

Relation $R(\sum a_n x^n) = R(\sum n a_n x^n)$.

La démonstration est hors programme.

c) Développement en série entière au voisinage de 0 d'une fonction d'une variable réelle

Fonction développable en série entière sur un intervalle $] -r, r[$.

Série de Taylor d'une fonction de classe \mathcal{C}^∞ .

Unicité du développement en série entière.

Développements des fonctions usuelles.

Formule de Taylor avec reste intégral.

Les étudiants doivent connaître les développements en série entière des fonctions : exponentielle, cosinus, sinus, cosinus et sinus hyperboliques, Arctan, $x \mapsto \frac{1}{1-x}$, $x \mapsto \ln(1+x)$ et $x \mapsto (1+x)^\alpha$.

Les étudiants doivent savoir développer une fonction en série entière à l'aide d'une équation différentielle linéaire.

d) Séries géométrique et exponentielle d'une variable complexe

Fonction développable en série entière sur le disque ouvert de centre 0.

Développement de $\frac{1}{1-z}$ sur le disque unité ouvert.

Développement de $\exp(z)$ sur \mathbb{C} .

Intégration sur un intervalle quelconque

L'objectif de cette section est triple :

- définir, dans le cadre restreint des fonctions continues, les notions d'intégrale convergente et d'intégrabilité sur un intervalle qui n'est pas un segment;
- énoncer dans un cadre plus général que celui des séries entières, un théorème d'intégration terme à terme;
- étudier les fonctions définies par des intégrales dépendant d'un paramètre.

On évite tout excès de rigueur dans la rédaction. Ainsi, dans les calculs concrets mettant en jeu l'intégration par parties ou le changement de variable, on n'impose pas de rappeler les hypothèses de régularité des énoncés. De même, dans l'application des théorèmes de régularité des intégrales à paramètre, on se limite à la vérification des hypothèses cruciales, sans insister sur la continuité en la variable d'intégration.

Les fonctions considérées sont définies sur un intervalle I de \mathbb{R} et à valeurs dans \mathbb{K} , ensemble des nombres réels ou des nombres complexes.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Intégrale généralisée sur un intervalle de la forme $[a, +\infty[$

Pour f continue de $[a, +\infty[$ dans \mathbb{K} , l'intégrale $\int_a^{+\infty} f$ est dite convergente si $\int_a^x f$ a une limite finie lorsque x tend vers $+\infty$.

Si f est positive sur $[a, +\infty[$, alors $\int_a^{+\infty} f(t) dt$ converge si et seulement si $x \mapsto \int_a^x f(t) dt$ est majorée.

Si f et g sont deux fonctions continues sur $[a, +\infty[$ telles que $0 \leq f \leq g$, la convergence de $\int_a^{+\infty} g$ implique celle de $\int_a^{+\infty} f$.

Notations $\int_a^{+\infty} f, \int_a^{+\infty} f(t) dt$.

Intégrale convergente (resp. divergente) en $+\infty$.

b) Intégrales généralisées sur un intervalle quelconque

Adaptation du paragraphe précédent aux fonctions continues définies sur un intervalle semi-ouvert ou ouvert de \mathbb{R} .

Propriétés des intégrales généralisées : linéarité, positivité, croissance, relation de Chasles.

Intégration par parties sur un intervalle quelconque :

$$\int_a^b f(t)g'(t) dt = [fg]_a^b - \int_a^b f'(t)g(t) dt.$$

Changement de variable : étant données une fonction f continue sur $]a, b[$ et une fonction $\varphi:]\alpha, \beta[\rightarrow]a, b[$ bijective, strictement croissante et de classe \mathcal{C}^1 , les intégrales $\int_a^b f(t)dt$ et $\int_\alpha^\beta f(\varphi(u))\varphi'(u)du$ sont de même nature et égales en cas de convergence.

Notations $\int_a^b f, \int_a^b f(t) dt$.

Intégrale convergente (resp. divergente) en b , en a .

La démonstration n'est pas exigible.

L'existence des limites finies du produit fg aux bornes de l'intervalle assure que les intégrales de fg' et $f'g$ sont de même nature.

Pour les applications pratiques, on ne demande pas de rappeler les hypothèses de régularité.

La démonstration n'est pas exigible.

Adaptation au cas où φ est strictement décroissante.

On applique ce résultat sans vérifier les hypothèses dans les cas de changements de variable usuels.

c) Intégrales absolument convergentes et fonctions intégrables

Intégrale absolument convergente.

Une fonction f est dite intégrable sur I si elle est continue sur I et son intégrale sur I est absolument convergente.

Notations $\int_I f, \int_I f(t)dt$.

On utilise indifféremment les expressions « f est intégrable sur I » et « l'intégrale $\int_I f$ converge absolument ».

Fonction intégrable en b (resp. en a) si $I = [a, b[$ (resp. $I =]a, b]$).

La convergence absolue implique la convergence.

Inégalité triangulaire.

Espace vectoriel $L^1(I, \mathbb{K})$ des fonctions intégrables sur I à valeurs dans \mathbb{K} .

Si f est continue, positive et intégrable sur I , et si $\int_I f = 0$, alors f est identiquement nulle.

Pour f et g fonctions continues sur $[a, +\infty[$:

- si $|f| \leq |g|$, alors l'intégrabilité de g implique celle de f en $+\infty$.
- si $f(t) \underset{t \rightarrow +\infty}{=} O(g(t))$, alors l'intégrabilité de g implique celle de f en $+\infty$.
- si $f(t) \underset{t \rightarrow +\infty}{\sim} g(t)$, alors l'intégrabilité de f est équivalente à celle de g en $+\infty$.

Fonctions de référence : pour $\alpha \in \mathbb{R}$,

- intégrales de Riemann : étude de l'intégrabilité de $t \mapsto \frac{1}{t^\alpha}$ en $+\infty$, en 0^+ ;
- étude de l'intégrabilité de $t \mapsto e^{-\alpha t}$ en $+\infty$;

L'étude des intégrales semi-convergentes n'est pas un objectif du programme.

La démonstration n'est pas exigible pour des fonctions à valeurs dans \mathbb{C} .

Adaptation au cas d'un intervalle quelconque.

Le résultat s'applique en particulier si $f(t) \underset{t \rightarrow +\infty}{=} o(g(t))$.

L'intégrabilité de $t \mapsto \ln t$ en 0^+ peut être directement utilisée.

Les résultats relatifs à l'intégrabilité de $x \mapsto \frac{1}{|x-a|^\alpha}$ en a peuvent être directement utilisés.

Plus généralement, les étudiants doivent savoir que la fonction $x \mapsto f(x)$ est intégrable en a^+ (resp. en b^-) si $t \mapsto f(a+t)$ (resp. $t \mapsto f(b-t)$) l'est en 0^+ .

d) Intégration terme à terme

Soit $S: I \rightarrow \mathbb{R}$ une fonction continue. On suppose qu'il existe des fonctions $f_n: I \rightarrow \mathbb{R}$ intégrables telles que :

$\forall t \in I, S(t) = \sum_{n=0}^{+\infty} f_n(t)$. Si la série $\sum \int_I |f_n(t)| dt$ est convergente, alors S est intégrable sur I et :

$$\int_I S(t) dt = \int_I \sum_{n=0}^{+\infty} f_n(t) dt = \sum_{n=0}^{+\infty} \int_I f_n(t) dt.$$

La démonstration est hors programme.

e) Régularité d'une fonction définie par une intégrale à paramètre

Pour l'application pratique des énoncés de ce paragraphe, on vérifie les hypothèses de régularité par rapport à x et de domination, sans expliciter celles relatives à la continuité par rapport à t .

Théorème de continuité : si A et I sont deux intervalles de \mathbb{R} et f une fonction définie sur $A \times I$, telle que :

- pour tout $t \in I, x \mapsto f(x, t)$ est continue sur A ;
- pour tout $x \in A, t \mapsto f(x, t)$ est continue sur I ;
- il existe une fonction φ intégrable sur I , telle que pour tout $(x, t) \in A \times I$, on ait $|f(x, t)| \leq \varphi(t)$;

alors la fonction $x \mapsto \int_I f(x, t) dt$ est définie et continue sur A .

La démonstration est hors programme.

Le passage éventuel par une domination locale doit faire l'objet d'une question intermédiaire.

Théorème de dérivation : si A et I sont deux intervalles de \mathbb{R} et f une fonction définie sur $A \times I$, telle que :

- pour tout $t \in I$, $x \mapsto f(x, t)$ est de classe \mathcal{C}^1 sur A ;
- pour tout $x \in A$, $t \mapsto f(x, t)$ est intégrable sur I ;
- pour tout $x \in A$, $t \mapsto \frac{\partial f}{\partial x}(x, t)$ est continue sur A ;
- il existe une fonction φ intégrable sur I , telle que pour tout $(x, t) \in A \times I$, on ait $\left| \frac{\partial f}{\partial x}(x, t) \right| \leq \varphi(t)$;

alors la fonction $g : x \mapsto \int_I f(x, t) dt$ est de classe \mathcal{C}^1 sur A et vérifie :

$$\forall x \in A, \quad g'(x) = \int_I \frac{\partial f}{\partial x}(x, t) dt.$$

La démonstration est hors programme.

Le passage éventuel par une domination locale doit faire l'objet d'une question intermédiaire.

Variables aléatoires discrètes

On généralise l'étude des variables aléatoires à valeurs dans un ensemble fini menée en première année aux variables aléatoires discrètes. Cette généralisation nécessite d'introduire des notions générales de théorie des probabilités, lesquelles font l'objet d'un exposé à minima. En particulier :

- la notion de tribu n'appelle aucun autre développement que sa définition;
- l'étude de la dénombrabilité d'un ensemble et la construction d'espaces probabilisés sont hors programme;
- les diverses notions de convergence (presque sûre, en probabilités, en loi, etc.) sont hors programme.

Toutes les variables aléatoires mentionnées dans le programme sont implicitement supposées discrètes, la notion de variable à densité est hors programme.

En première année, les étudiants se sont familiarisés avec les sommes finies, en particulier les sommes doubles. Dans le cadre du programme, la définition de l'espérance et le théorème de transfert font appel à la convergence absolue de familles décrites en extension.

Dans la pratique, lorsque $X(\Omega)$ n'est pas présenté sous la forme $\{x_n | n \in \mathbb{N}\}$, on utilise les résultats suivants démontrés dans le cas fini :

- on admet que la valeur de la somme d'une série absolument convergente est indépendante de l'ordre de sommation et d'un choix de regroupement de termes par paquets;
- on étend les définitions et propositions du programme dans le cas où les sommes mises en jeu sont indexées sur un produit, sans soulever de difficulté. Le théorème de Fubini est admis.

L'usage de ces résultats est strictement réservé au contexte probabiliste et la notion de famille sommable est hors programme.

A - Probabilités, variables aléatoires discrètes et lois usuelles

a) Ensembles dénombrables

Un ensemble est dit dénombrable s'il est en bijection avec \mathbb{N} . Un ensemble fini ou dénombrable est dit au plus dénombrable.

Dénombrabilité de \mathbb{Z} , d'un produit cartésien de deux ensembles dénombrables.

Les parties de \mathbb{N} sont au plus dénombrables.

Un ensemble est au plus dénombrable s'il peut être décrit en extension sous la forme $\{x_i, i \in I\}$ où $I \subset \mathbb{N}$ et les x_i distincts.

Toute autre connaissance sur la dénombrabilité est hors programme.

b) Univers, événements, variables aléatoires discrètes

Univers Ω , tribu \mathcal{A} .

On se limite à la définition et à la stabilité par les opérations ensemblistes finies ou dénombrables.

Traduction de la réalisation des événements $\bigcup_{n=0}^{+\infty} A_n$ et

$\bigcap_{n=0}^{+\infty} A_n$ à l'aide des quantificateurs \exists et \forall .

Événements.

Généralisation du vocabulaire relatif aux événements introduit en première année.

Une variable aléatoire discrète X est une application définie sur Ω , telle que $X(\Omega)$ est au plus dénombrable et, pour tout $x \in X(\Omega)$, $X^{-1}(\{x\})$ est un événement.

L'univers Ω n'est en général pas explicité.

Notations $(X = x)$, $\{X = x\}$, $(X \in A)$.

Notation $(X \geq x)$ (et analogues) lorsque X est à valeurs réelles.

c) Probabilité

Probabilité sur (Ω, \mathcal{A}) , σ -additivité.

Espace probabilisé (Ω, \mathcal{A}, P) .

Probabilité de la réunion ou de la différence de deux événements, de l'événement contraire.

Croissance de la probabilité.

Continuité croissante, continuité décroissante.

Application : pour une suite $(A_n)_{n \in \mathbb{N}}$ d'événements (non nécessairement monotone), limites quand n tend vers l'infini de

$$P\left(\bigcup_{k=0}^n A_k\right) \quad \text{et} \quad P\left(\bigcap_{k=0}^n A_k\right).$$

Sous-additivité : $P\left(\bigcup_{n=0}^{+\infty} A_n\right) \leq \sum_{n=0}^{+\infty} P(A_n)$.

Événement presque sûr, événement négligeable.

Système quasi-complet d'événements.

d) Probabilités conditionnelles

Si $P(B) > 0$, la probabilité conditionnelle de A sachant B

est définie par la relation $P(A|B) = P_B(A) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$.

L'application P_B définit une probabilité.

Formule des probabilités composées.

Formule des probabilités totales.

Si $(A_n)_n$ est un système complet ou quasi-complet d'événements, alors $P(B) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(B \cap A_n) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(B|A_n)P(A_n)$.

On rappelle la convention $P(B|A_n)P(A_n) = 0$ lorsque $P(A_n) = 0$.

Formule de Bayes.

e) Loi d'une variable aléatoire discrète

Loi P_X d'une variable aléatoire discrète X .

La probabilité P_X est déterminée par la distribution de probabilités $(P(X = x))_{x \in X(\Omega)}$.

On note $X \sim Y$ lorsque les variables X et Y suivent la même loi.

Variable aléatoire $f(X)$.

Si $X \sim Y$ alors $f(X) \sim f(Y)$.

Variable géométrique de paramètre $p \in]0, 1[$:

$$\forall k \in \mathbb{N}^*, P(X = k) = p(1-p)^{k-1}.$$

On ne soulève aucune difficulté sur le fait que $f(X)$ est une variable aléatoire.

Notation $X \sim \mathcal{G}(p)$.

Interprétation comme rang du premier succès dans une suite illimitée d'épreuves de Bernoulli indépendantes et de même paramètre p .

Variable de Poisson de paramètre $\lambda > 0$:

$$\forall k \in \mathbb{N}, P(X = k) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!}.$$

Couple de variables aléatoires discrètes.

Loi conjointe, lois marginales.

Loi conditionnelle d'une variable aléatoire X sachant un événement A .

Notation $X \sim \mathcal{P}(\lambda)$.

Interprétation de la loi de Poisson comme la loi des événements rares.

Un couple de variables aléatoires est une variable aléatoire à valeurs dans un produit.

Notation $P(X = x, Y = y)$.

Extension aux n -uplets de variables aléatoires.

f) Événements indépendants

Indépendance de deux événements.

Si $P(B) > 0$, l'indépendance de A et B équivaut à $P(A|B) = P(A)$.

Indépendance d'une famille finie d'événements.

L'indépendance deux à deux n'entraîne pas l'indépendance.

Si A et B sont indépendants, A et \bar{B} le sont aussi.

Extension au cas de n événements.

g) Variables aléatoires indépendantes

Deux variables aléatoires discrètes X et Y définies sur Ω sont indépendantes si, pour tout $A \subset X(\Omega)$ et $B \subset Y(\Omega)$, les événements $(X \in A)$ et $(Y \in B)$ sont indépendants.

Notation $X \perp\!\!\!\perp Y$.

De façon équivalente, la distribution de probabilités de (X, Y) est donnée par :

$$P(X = x, Y = y) = P(X = x)P(Y = y).$$

Extension au cas de n variables aléatoires.

Suites de variables aléatoires indépendantes, suites i.i.d.

On ne soulève aucune difficulté quant à l'existence d'un espace probabilisé portant une telle suite.

Modélisation du jeu de pile ou face infini : suite i.i.d. de variables de Bernoulli.

Fonctions de variables indépendantes : si $X \perp\!\!\!\perp Y$, alors $f(X) \perp\!\!\!\perp g(Y)$.

Extension au cas de plus de deux variables aléatoires.

Lemme des coalitions :

si les variables aléatoires X_1, \dots, X_n sont indépendantes, les variables aléatoires $f(X_1, \dots, X_m)$ et $g(X_{m+1}, \dots, X_n)$ le sont aussi.

Extension au cas de plus de deux coalitions.

B - Espérance et variance

a) Espérance d'une variable aléatoire discrète réelle

Variable aléatoire X à valeurs réelles d'espérance finie, espérance de X .

La variable aléatoire X à valeurs dans $\{x_n | n \in \mathbb{N}\}$ est d'espérance finie si la série $\sum x_n P(X = x_n)$ est absolument convergente. Dans ce cas, la somme de cette série est l'espérance de X .

Variable aléatoire centrée.

Pour X variable aléatoire à valeurs dans \mathbb{N} , égalité :

$$E(X) = \sum_{n=1}^{+\infty} P(X \geq n).$$

Espérance d'une variable géométrique, de Poisson.

Formule de transfert : si X est une variable aléatoire à valeurs dans $\{x_n | n \in \mathbb{N}\}$ et si f est définie sur cet ensemble et à valeurs réelles, alors $f(X)$ est d'espérance finie si et seulement si $\sum f(x_n)P(X = x_n)$ est absolument convergente. Dans ce cas : $E(f(X)) = \sum_{n=0}^{+\infty} f(x_n)P(X = x_n)$.

La démonstration est hors programme.

On remarque que la formule s'applique aux couples, aux n -uplets de variables aléatoires.

Linéarité de l'espérance.

Positivité, croissance de l'espérance.

Si $|X| \leq Y$ et Y d'espérance finie, alors X est d'espérance finie.

Si X est positive et d'espérance nulle, alors $(X = 0)$ est presque sûr.

Pour X et Y deux variables aléatoires indépendantes d'espérance finie, alors XY est d'espérance finie et :

$$E(XY) = E(X)E(Y).$$

La démonstration est hors programme.

La démonstration est hors programme.

La démonstration est hors programme.

Extension au cas de n variables aléatoires.

b) Variance d'une variable aléatoire discrète réelle, écart type et covariance

Si X^2 est d'espérance finie, X est d'espérance finie.

Inégalité de Cauchy-Schwarz : si X^2 et Y^2 sont d'espérance finie, XY aussi et $E(XY)^2 \leq E(X^2)E(Y^2)$.

Variance, écart type.

$$\text{Relation } V(X) = E(X^2) - E(X)^2.$$

$$\text{Relation } V(aX + b) = a^2 V(X).$$

Variance d'une variable géométrique, de Poisson.

Covariance de deux variables aléatoires.

Relation $\text{Cov}(X, Y) = E(XY) - E(X)E(Y)$, cas de deux variables indépendantes.

Variance d'une somme finie, cas de variables deux à deux décorréliées.

Cas d'égalité.

Notations $V(X)$, $\sigma(X)$. Variable aléatoire réduite.

Caractérisation des variables aléatoires de variance nulle.

Si $\sigma(X) > 0$, la variable $\frac{X - E(X)}{\sigma(X)}$ est centrée réduite.

Deux variables aléatoires dont la covariance est nulle sont dites décorréliées.

c) Fonctions génératrices

Fonction génératrice de la variable aléatoire X à valeurs dans \mathbb{N} :

$$G_X(t) = E(t^X) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(X = n)t^n.$$

La loi d'une variable aléatoire X à valeurs dans \mathbb{N} est caractérisée par sa fonction génératrice G_X .

La variable aléatoire X est d'espérance finie si et seulement si G_X est dérivable en 1 ; dans ce cas $E(X) = G_X'(1)$.

Fonction génératrice d'une somme de deux variables aléatoires indépendantes à valeurs dans \mathbb{N} .

La série entière définissant G_X est de rayon ≥ 1 .

Les étudiants doivent savoir calculer rapidement la fonction génératrice d'une variable aléatoire de Bernoulli, binomiale, géométrique, de Poisson.

La démonstration de la réciproque n'est pas exigible.

Utilisation de G_X pour calculer $E(X)$ et $V(X)$.

Extension au cas d'une somme finie de variables aléatoires indépendantes.

d) Inégalités probabilistes

Inégalité de Markov.

Inégalité de Bienaymé-Tchebychev.

Loi faible des grands nombres :

si $(X_n)_{n \geq 1}$ est une suite i.i.d. de variables aléatoires de variance finie, alors, pour tout $\varepsilon > 0$,

$$P\left(\left|\frac{S_n}{n} - m\right| \geq \varepsilon\right) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0,$$

où $S_n = \sum_{k=1}^n X_k$ et $m = E(X_1)$.

Utilisation des inégalités de Markov et de Bienaymé-Tchebychev pour établir des inégalités de concentration.

Les étudiants doivent savoir retrouver, avec $\sigma = \sigma(X_1)$:

$$P\left(\left|\frac{S_n}{n} - m\right| \geq \varepsilon\right) \leq \frac{\sigma^2}{n\varepsilon^2}.$$

Équations différentielles et calcul différentiel

A - Équations différentielles scalaires d'ordre 2

L'étude des équations différentielles linéaires scalaires d'ordres 1 et 2, abordée en première année, se poursuit par celle des équations scalaires à coefficients non constants d'ordre 2. On s'attache à développer à la fois les aspects théorique et pratique :

- la forme des solutions;
- le théorème de Cauchy linéaire;
- la résolution explicite.

Cette section favorise les interactions avec les autres disciplines scientifiques.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Ensemble des solutions

Équation différentielle scalaire d'ordre 2 à coefficients continus $y'' + a(t)y' + b(t)y = c(t)$.
Théorème de Cauchy linéaire : existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy.
Espace vectoriel des solutions de l'équation homogène.
Principe de superposition des solutions.
Description de l'ensemble des solutions de l'équation à partir d'une solution particulière et des solutions de l'équation homogène associée.

Équation différentielle homogène associée.
La démonstration est hors programme.

b) Exemples de résolutions

Exemples de recherches de solutions développables en série entière.
Résolution dans le cas où on connaît une solution de l'équation homogène ne s'annulant pas.

La résolution explicite de l'équation différentielle doit comporter des indications.

B - Fonctions de deux ou trois variables

Cette section est consacrée aux fonctions de \mathbb{R}^p dans \mathbb{R} pour $p = 2$ ou 3 , sauf dans le paragraphe (g). Leur étude est axée sur la mise en place d'outils permettant de traiter des applications du calcul différentiel à l'analyse et la géométrie. La notion de différentielle est hors programme.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Topologie de \mathbb{R}^2 et \mathbb{R}^3

Norme euclidienne dans \mathbb{R}^2 et \mathbb{R}^3 .
Boule ouverte, boule fermée.
Parties ouvertes, parties fermées, parties bornées.
Point intérieur, point adhérent à une partie.

Interprétation de la norme en termes de distance.
Toutes les définitions sont illustrées par des figures.

b) Limite et continuité

Limite en un point adhérent.
Continuité en un point. Continuité sur une partie.

La notion de continuité est introduite uniquement en vue du calcul différentiel. L'étude de la continuité d'une fonction n'est pas un objectif du programme.
Si f est une fonction continue de E dans \mathbb{R} , alors l'ensemble défini par $f(x) > 0$ est un ouvert et les ensembles définis par $f(x) = 0$ ou $f(x) \geq 0$ sont des fermés.

Opérations sur les fonctions continues.

Théorème des bornes atteintes : toute fonction réelle continue sur une partie fermée bornée de \mathbb{R}^p est bornée et atteint ses bornes.

La démonstration est hors programme.

c) Dérivées partielles d'ordre 1

Dérivées partielles d'ordre 1 en un point intérieur.

Notation $\frac{\partial f}{\partial x_i}(a)$, $\partial_i f(a)$.

Fonction de classe \mathcal{C}^1 sur un ouvert.

Définition par l'existence et la continuité des dérivées partielles. La notion de fonction différentiable est hors programme.

Opérations sur les fonctions de classe \mathcal{C}^1 .

Les démonstrations sont hors programme.

Formule de Taylor-Young à l'ordre 1 pour une fonction de classe \mathcal{C}^1 .

La démonstration est hors programme.

Gradient d'une fonction de classe \mathcal{C}^1 .

Notation ∇f .

d) Dérivées partielles et composées

Dérivée selon un vecteur.

Expression à l'aide du gradient $\langle \nabla f(a), u \rangle$.

Règle de la chaîne :

dérivée de la fonction $t \mapsto f(x_1(t), \dots, x_p(t))$.

Interprétation comme dérivée le long d'une courbe γ donnée par $\gamma(t) = (x_1(t), \dots, x_p(t))$ et expression à l'aide du gradient : $(f \circ \gamma)'(t) = \langle \nabla f(\gamma(t)), \gamma'(t) \rangle$.

Sous les hypothèses appropriées, dérivées partielles de $(u, v) \mapsto f(\varphi(u, v), \psi(u, v))$.

e) Dérivées partielles d'ordre 2

Dérivées partielles d'ordre 2 en un point intérieur.

Notation $\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j}(a)$.

Fonction de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert.

Théorème de Schwarz.

La démonstration est hors programme.

Exemples simples de résolutions d'équations aux dérivées partielles du premier et du second ordres.

f) Extremums d'une fonction de \mathbb{R}^2 dans \mathbb{R}

Point critique d'une fonction de classe \mathcal{C}^1 .

Extremum local, extremum global.

Si une fonction de classe \mathcal{C}^1 sur un ouvert de \mathbb{R}^2 admet un extremum local en un point, alors celui-ci est un point critique.

Matrice hessienne en un point a d'une fonction de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert de \mathbb{R}^p à valeurs dans \mathbb{R} .

Notation $H_f(a)$.

Formule de Taylor-Young à l'ordre 2 pour une fonction de deux variables de classe \mathcal{C}^2 .

La démonstration est hors programme.

Nature d'un point critique.

Classification à l'aide du déterminant et de la trace de la matrice hessienne.

Exemples de recherche de maximums ou minimums locaux, de points cols.

Exemples de recherche d'extremums globaux sur une partie fermée bornée de \mathbb{R}^2 .

g) Fonctions de \mathbb{R}^p dans \mathbb{R}^n ($p \leq 3$, $n \leq 3$)

Limite en un point adhérent. Continuité en un point. Continuité sur une partie de \mathbb{R}^p .

Caractérisation par les fonctions coordonnées.

Dérivées partielles d'ordres 1 et 2. Fonctions de classe \mathcal{C}^1 , de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert.

Expression coordonnée par coordonnée.

Courbes et surfaces

En application directe de la section sur les fonctions de deux ou trois variables, on présente la définition des courbes de \mathbb{R}^2 et surfaces de \mathbb{R}^3 par une équation cartésienne. Le passage (dans les deux sens) d'une équation cartésienne à un paramétrage peut être étudié sur des exemples, mais le cas général est hors programme.

A - Courbes implicites du plan

Les coniques sont définies à partir de foyer, excentricité et directrice, puis ramenées à leurs équations cartésiennes réduites (le théorème spectral pour les matrices symétriques est exploité pour obtenir une équation réduite à partir d'une équation générale). D'autres définitions géométriques (bifocale, par foyer et cercle directeur, comme sections planes de cônes de révolution...) peuvent être présentées, mais aucune connaissance n'est attendue des étudiants.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Courbes du plan définies par une équation cartésienne

Courbe du plan définie par une équation $f(x, y) = 0$ où f est une fonction de classe \mathcal{C}^1 .

Point régulier. Le gradient est normal à la tangente en un point régulier.

Lignes de niveau de f .

On admet que la courbe admet un paramétrage local de classe \mathcal{C}^1 .

Détermination d'une équation de la tangente en un point régulier.

Lorsqu'il est non nul, le gradient de f est orthogonal aux lignes de niveau et orienté dans le sens des valeurs croissantes de f .

b) Coniques

Définition des coniques par foyer, directrice et excentricité.

Classification des coniques en fonction de l'excentricité, à partir d'une équation réduite.

Axes et centre de symétrie. Grand axe et petit axe d'une ellipse. Asymptotes d'une hyperbole.

Une équation du type $ax^2 + 2bxy + cy^2 + dx + ey + f = 0$, où $(a, b, c) \neq (0, 0, 0)$, définit une conique, éventuellement dégénérée.

Paramétrage des ellipses et des hyperboles à partir de leur centre, respectivement par les fonctions trigonométriques et hyperboliques.

Obtention d'une équation cartésienne réduite à partir de la définition géométrique.

Les formules de calcul des éléments géométriques ne sont pas exigibles des étudiants et doivent être fournies au besoin.

Détermination de ces éléments géométriques à partir d'une équation réduite.

Réduction de la matrice $\begin{pmatrix} a & b \\ b & c \end{pmatrix}$ pour obtenir une équation réduite dans un repère orthonormé.

Interprétation géométrique des droites propres.

L'équation $xy = k$ définit une hyperbole dont les asymptotes sont les axes du repère.

Dans le cas de l'hyperbole, les deux branches sont paramétrées séparément.

B - Surfaces

La visualisation des surfaces grâce à un outil informatique ou par l'étude de sections planes sont privilégiées. Les exemples peuvent être choisis parmi les quadriques, mais la définition et la classification de celles-ci sont hors programme. De la même façon, l'étude des surfaces réglées peut s'appuyer sur des exemples usuels (cônes, cylindres, surfaces développables engendrées par les tangentes à une courbe paramétrée de \mathbb{R}^3 ...) mais toute connaissance spécifique est hors programme. Toujours dans cet esprit, on peut fournir divers exemples de courbes tracées sur une surface (lignes de pente, contours apparents coniques ou cylindriques...). De manière générale, on attend des étudiants une certaine familiarité avec la représentation mathématique des surfaces en lien avec leurs propriétés géométriques (par exemple qu'ils sachent obtenir rapidement un paramétrage de surface réglée, une équation cartésienne de surface de révolution...) même si aucun point du programme ne précise théoriquement ces aspects.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Surfaces paramétrées

Surface paramétrée par une fonction de classe \mathcal{C}^1 de \mathbb{R}^2 dans $\mathbb{R}^3 : (u, v) \mapsto M(u, v)$.

Point régulier d'une surface paramétrée.

Courbes coordonnées d'une surface paramétrée.

Plan tangent en un point régulier.

Par définition, le plan est dirigé par les vecteurs tangents aux courbes coordonnées.

Détermination d'une équation ou d'un paramétrage du plan tangent.

Vecteur normal à une surface en un point régulier, droite normale.

b) Surfaces définies par une équation cartésienne

Surface définie par une équation $f(x, y, z) = 0$ avec f de classe \mathcal{C}^1 .

Point régulier. Le gradient est normal au plan tangent en un point régulier.

Surfaces de niveau de f .

On admet que la surface admet un paramétrage local de classe \mathcal{C}^1 .

Détermination d'une équation du plan tangent en un point régulier.

Lorsqu'il est non nul, le gradient de f est orthogonal aux surfaces de niveau et orienté dans le sens des valeurs croissantes de f .

Courbe paramétrée tracée sur une surface.

Cas d'une surface paramétrée, d'une surface définie par une équation cartésienne.

Si Γ est une courbe tracée sur la surface Σ , et si M est un point régulier à la fois de Σ et de Γ , la tangente en M à Γ est incluse dans le plan tangent en M à Σ .

c) Exemples de surfaces

Surface d'équation $z = f(x, y)$ où f est une fonction de classe \mathcal{C}^1 .

Interprétation géométrique de l'étude des points critiques de f effectuée dans la section « Fonctions de deux ou trois variables ».

Surface réglée. Génératrices.

Obtention d'un paramétrage d'une surface réglée à partir de la famille de ses génératrices.

Le plan tangent en un point régulier contient la génératrice passant par ce point.

Surface de révolution. Axe, méridiennes, parallèles.

Dans le cas où l'axe est l'un des axes du repère, obtention d'un paramétrage ou d'une équation cartésienne. On met en évidence l'intérêt de l'utilisation de matrices de rotation.

d) Courbes de l'espace définies par un système d'équations cartésiennes

Courbe définie par l'intersection de deux surfaces données par une équation cartésienne.

Un point M de la courbe définie par le système

$$\begin{cases} f(x, y, z) = 0 \\ g(x, y, z) = 0 \end{cases}$$

est régulier si les gradients de f et g en M sont linéairement indépendants.

Tangente en un point régulier.

Cas des sections planes.

Lignes de niveau d'une surface. Sur des exemples, utilisation pour visualiser l'allure d'une surface.



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Physique et technologie (PT)

Annexe 2

Programme de physique-chimie

Programme de physique-chimie de la voie PT

Préambule

Objectifs de formation

Le programme de physique-chimie de la classe de PT est conçu comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques s'appuyant sur celles déjà travaillées au lycée et en classe de PTSI. Le programme vise à préparer les étudiants à un cursus d'ingénieur, de chercheur ou d'enseignant. Il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique : observer et s'approprier, analyser et modéliser, réaliser et valider, et enfin communiquer et valoriser ses résultats.

L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour l'enseignant. Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales qui développent la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est au cœur de son enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ces derniers auront à le faire dans l'exercice de leur métier.

De même, l'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte la place nouvelle des sciences numériques dans la formation des scientifiques notamment dans le domaine de la simulation. Elles offrent aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation avancée du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires.

La démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits, et celui des modèles et des théories. L'enseignant doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative. La construction d'un modèle passe aussi par l'utilisation maîtrisée des mathématiques dont un des fondateurs de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde.

Enfin, l'autonomie et la prise d'initiative sont spécifiquement développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes » qui visent à exercer les étudiants à mobiliser de façon complémentaire connaissances et capacités pour répondre à un questionnement ou atteindre un but sans qu'aucune démarche de résolution ne soit fournie.

Organisation du programme

Le programme est organisé en deux parties.

Dans la première partie intitulée « **Formation expérimentale** », sont décrits les objectifs de formation sur le thème « Mesures et incertitudes » ainsi que les méthodes et les capacités expérimentales que les étudiants doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre doit notamment s'appuyer sur des problématiques concrètes identifiées en gras dans la colonne « capacités exigibles » de la seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». Elles doivent être programmées par l'enseignant de façon à assurer un apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.

La seconde partie intitulée « **Contenus thématiques** » est structurée autour de six thèmes : « Thermodynamique et mécanique des fluides appliquées aux machines thermiques », « Électronique », « Optique ondulatoire », « Électromagnétisme », « Transformations chimiques de la matière : aspects thermodynamiques » et « Aspects thermodynamique et cinétique de l'électrochimie ». La présentation en deux colonnes (« notions et contenus » et « capacités exigibles ») met en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise.

Certains items de cette seconde partie, identifiés **en caractères gras** dans la colonne « capacités exigibles », se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant doivent être privilégiées. La présence de capacités numériques explicitées atteste par ailleurs de la volonté de renforcer ce volet de la formation des étudiants.

Trois annexes sont consacrées, d'une part, au matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes et, d'autre part, aux outils mathématiques et aux outils numériques que les étudiants doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie à la fin de l'année de la classe de PT.

Ce programme précise les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il n'impose en aucun cas une progression ; celle-ci relève de la liberté pédagogique de l'enseignant.

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'ensemble des activités proposées en classe préparatoire aux grandes écoles – activités expérimentales, résolutions de problèmes, TIPE, etc. – permet de travailler les compétences de la démarche scientifique qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation en CPGE. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la situation étudiée. - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau, etc.). - Énoncer ou dégager une problématique scientifique. - Représenter la situation par un schéma modèle. - Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. - Relier le problème à une situation modèle connue. - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.
Analyser / Reasonner	<ul style="list-style-type: none"> - Formuler des hypothèses. - Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples. - Proposer une stratégie pour répondre à une problématique. - Choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle ou des lois physiques. - Évaluer des ordres de grandeur.

	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations. - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de documents.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle. - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une photo. - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure. - Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant des règles de sécurité. - Effectuer des représentations graphiques à partir de données. - Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques. - Conduire une analyse dimensionnelle.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes. - Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document, à ses connaissances. - Confirmer ou infirmer une hypothèse, une information. - Analyser les résultats de manière critique. - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude, etc.). - Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> - présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente. - rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation. - utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, graphes, cartes mentales, etc.). - Écouter, confronter son point de vue.

Le niveau de maîtrise de ces compétences dépend de **l'autonomie et de l'initiative** requises dans les activités proposées aux étudiants sur les notions et capacités exigibles du programme.

La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à l'histoire de l'évolution des idées, des modèles et des théories en physique-chimie, à des questions liées à la recherche scientifique actuelle et à des enjeux citoyens comme la responsabilité individuelle et collective, la **sécurité** pour soi et pour autrui, **l'environnement** et le **développement durable** ou encore le **réchauffement climatique**.

Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, l'enseignant organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- privilégier la mise en activité des étudiants en évitant tout dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences est d'autant plus efficace que les étudiants sont acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment favoriser la réflexion, le raisonnement, la participation et l'autonomie des étudiants. L'investigation expérimentale et la résolution de problèmes facilitent cette mise en activité ;

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie PT

- recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés industriels ou d'objets technologiques. Le recours à des approches documentaires est un moyen pertinent pour diversifier les supports d'accès à l'information scientifique et technologique et ainsi former l'étudiant à mieux en appréhender la complexité et à apprendre par lui-même. Lorsque le thème traité s'y prête, l'enseignant peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, avec des questions d'actualité ou des débats d'idées ;
- contribuer à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines scientifiques : mathématiques, informatique, sciences industrielles de l'ingénieur.

Concernant l'évaluation, qui vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants, l'enseignant veille soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Enfin, le professeur veille aussi à développer chez les étudiants des compétences transversales et préprofessionnelles relatives aux capacités suivantes :

- identifier les différents champs professionnels et les parcours pour y accéder ;
- valoriser ses compétences scientifiques et techniques en lien avec son projet de poursuite d'études ou professionnel.

Formation expérimentale

Cette partie est spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiants lors des séances de travaux pratiques.

Dans un premier temps, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la mesure et de l'évaluation des incertitudes. Elle présente ensuite de façon détaillée l'ensemble des capacités expérimentales qui doivent être acquises en autonomie par les étudiants à l'issue de leur seconde année de CPGE. Enfin, elle aborde la question de la prévention du risque au laboratoire de physique-chimie.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans l'annexe 1 du présent programme.

1. Mesures et incertitudes

Les notions et capacités identifiées ci-dessous couvrent les deux années de formation en classe préparatoire aux grandes écoles ; leur pleine maîtrise est donc un objectif de fin de seconde année.

L'accent est mis sur la variabilité de la mesure d'une grandeur physique et sa caractérisation à l'aide de l'incertitude-type. La comparaison entre deux valeurs mesurées d'une même grandeur physique est conduite au moyen de l'écart normalisé, l'objectif principal étant de développer l'esprit critique des étudiants en s'appuyant sur un critère quantitatif. Le même esprit prévaut dans l'analyse des résultats d'une régression linéaire qui ne saurait s'appuyer sur l'exploitation non raisonnée du coefficient de corrélation (R^2).

Le recours à la simulation vise à illustrer, sur la base de mesures expérimentales, différents effets de la variabilité de la mesure d'une grandeur physique dans les cas des incertitudes-types composées et de la régression linéaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Incertitude. Incertitude-type.	Identifier les incertitudes liées, par exemple, à l'opérateur, à l'environnement, aux instruments ou à la méthode de mesure. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B). Associer un intervalle de confiance à l'écart-type dans l'hypothèse d'une distribution suivant la loi normale.
Incertitudes-types composées.	Évaluer l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, à l'aide d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée. <u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs ; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé. Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.
Régression linéaire.	Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle. Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude ou analyse des écarts normalisés. <u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation Monte-Carlo – pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle.

2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les étudiants doivent acquérir au cours de l'année de PT durant les séances de travaux pratiques. Elle vient prolonger la partie correspondante du programme de PTSI dont les capacités doivent être complètement acquises à l'issue des deux années de préparation, et restent donc au programme de seconde année de PT.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret. À ce titre, elle vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

Les activités expérimentales sur le thème de la chimie sont aussi l'occasion de consolider les savoir-faire de la classe de PTSI en particulier dans le domaine des solutions aqueuses.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesures de longueurs	
Faibles longueurs dans le domaine de l'optique.	Mesurer le déplacement du miroir mobile d'un interféromètre de Michelson. Mesurer une longueur à l'aide d'un oculaire à vis micrométrique.
2. Mesures de temps et de fréquences	
Analyse spectrale.	Mettre en évidence le phénomène de repliement du spectre provoqué par l'échantillonnage avec un oscilloscope numérique ou une carte d'acquisition. Choisir les paramètres d'une acquisition numérique destinée à une analyse spectrale afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon, tout en optimisant la résolution spectrale.
3. Électricité	
Filtrage analogique d'un signal périodique.	Mettre en évidence l'action d'un filtre linéaire sur un signal périodique dans les domaines fréquentiel et temporel.
Montages utilisant un amplificateur linéaire intégré (ALI).	Identifier les limitations suivantes : saturation en tension, saturation en courant, vitesse de balayage, bande passante. Mettre en œuvre divers montages utilisant un ALI.
Électronique numérique.	Utiliser un convertisseur analogique-numérique et un convertisseur numérique-analogique.
Onde électromagnétique.	Mettre en œuvre un détecteur dans le domaine des ondes centimétriques.

4. Optique	
Analyse d'une lumière.	Identifier, à l'aide d'un polariseur, une onde polarisée rectilignement et déterminer sa direction de polarisation. Mesurer une longueur d'onde à l'aide d'un goniomètre équipé d'un réseau.
Analyse d'une figure d'interférence.	Mettre en œuvre un photodétecteur en sortie d'un interféromètre.
Cohérence temporelle d'une source.	Régler un interféromètre de Michelson compensé pour une observation en lame d'air avec une source étendue à l'aide d'un protocole fourni. Obtenir une estimation de la longueur de cohérence d'une source et de l'écart spectral d'un doublet à l'aide d'un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air.
5. Thermodynamique	
Conduction thermique.	Mettre en œuvre un dispositif de mesure de conductivité thermique.
6. Thermodynamique de la transformation chimique et électrochimie	
Bilans d'énergie.	Mettre en œuvre une technique de calorimétrie. Déterminer la valeur en eau d'un calorimètre. Estimer les fuites thermiques lors d'expériences réalisées avec un calorimètre.
Mesures de grandeurs électriques : conductance-conductivité, tension électrique, intensité du courant.	Mettre en œuvre des mesures électriques dans un environnement chimique et électrochimique.
Électrochimie.	Mettre en œuvre un dispositif à trois électrodes pour tracer des courbes courant-potentiel. Mettre en œuvre des piles et des électrolyseurs.

3. Prévention du risque au laboratoire de physique-chimie

Les étudiants doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique, optique et celles liées à la pression et à la température leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention des risques au laboratoire	Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie PT

	Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
<p>- Risque chimique Règles de sécurité au laboratoire. Classes et catégories de danger. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Mentions de danger (H) et conseils de prudence (P). Fiches de sécurité.</p>	Relever les indications sur le risque associé au prélèvement, au mélange et au stockage des produits chimiques et adopter une attitude responsable lors de leur utilisation.
<p>- Risque électrique</p>	Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
<p>- Risque optique</p>	Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.
<p>- Risques liés à la pression et à la température</p>	Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.
<p>2. Prévention de l'impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.</p>	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

Contenus thématiques

Les contenus de la formation sont organisés autour de six thèmes.

1. Thermodynamique et mécanique des fluides appliquées aux machines thermiques

- 1.1. Éléments de statique des fluides dans un référentiel galiléen
- 1.2. Expression différentielle des principes de la thermodynamique
- 1.3. Diagrammes d'état des fluides réels purs
- 1.4. Description d'un fluide en écoulement stationnaire dans une conduite
- 1.5. Énergétique des fluides en écoulement dans une conduite
- 1.6. Thermodynamique industrielle
- 1.7. Transfert d'énergie par conduction thermique à une dimension en coordonnées cartésiennes.

2. Électronique

- 2.1. Stabilité des systèmes linéaires
- 2.2. Rétroaction
- 2.3. Oscillateurs
- 2.4. Électronique numérique

3. Optique ondulatoire

- 3.1. Modèle scalaire des ondes lumineuses

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie PT

- 3.2. Superposition d'ondes lumineuses
- 3.3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young
- 3.4. Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson

4. Électromagnétisme

- 4.1. Électrostatique
- 4.2. Magnétostatique
- 4.3. Équations de Maxwell
- 4.4. Énergie du champ électromagnétique
- 4.5. Propagation

5. Transformations chimiques de la matière : aspects thermodynamiques

- 5.1. Premier principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques
- 5.2. Deuxième principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques

6. Aspects thermodynamique et cinétique de l'électrochimie

- 6.1. Étude thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction
- 6.2. Étude cinétique des réactions d'oxydo-réduction : courbe courant-potentiel
- 6.3. Stockage et conversion d'énergie chimique dans des dispositifs électrochimiques
- 6.4. Corrosion humide et électrochimique

1. Thermodynamique et mécanique des fluides appliquées aux machines thermiques

Cette partie du programme de la classe de PT s'intéresse aux phénomènes liés à l'écoulement d'un fluide et à la conduction thermique dans les machines thermiques. Elle est essentiellement abordée à travers la mise en œuvre de bilans d'énergie. Elle prolonge le programme de thermodynamique de la classe de PTSI en introduisant le formalisme de la thermodynamique différentielle.

Les principes de la thermodynamique pour un système fermé sont repris sous forme infinitésimale. Les identités thermodynamiques sont introduites dans le but d'établir et de comprendre les allures des courbes dans les diagrammes thermodynamiques ; il ne s'agit pas de les exploiter pour retrouver les expressions des fonctions d'état, ces dernières devant toujours être fournies. L'application des deux principes aux fluides en écoulement stationnaire dans les systèmes ouverts conduit ensuite à l'analyse de quelques systèmes industriels. On introduit également en classe de PT des notions de base de mécanique des fluides. L'objectif est de décrire les écoulements simples de fluides dans les machines thermiques en évoquant les phénomènes de perte de charge et le rôle de la viscosité. L'approche se fonde exclusivement sur la notion de bilan macroscopique : toute formulation locale de la mécanique des fluides, notamment à l'aide d'opérateurs vectoriels, est exclue. Enfin, on aborde la conduction thermique à l'aide de bilans infinitésimaux, la loi de Newton étant introduite pour faire le lien avec la thermodynamique industrielle.

La partie « **Éléments de statique des fluides dans un référentiel galiléen** » introduit sur le support concret de la statique des fluides le principe du découpage d'un domaine physique (volume, surface) en éléments infinitésimaux et la sommation d'une grandeur extensive (force) pour ce découpage. La poussée d'Archimède est présentée comme la résultante des forces de pression.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1. Éléments de statique des fluides dans un référentiel galiléen	
Forces surfaciques, forces volumiques. Champ de pression.	Distinguer les forces de pression des forces de pesanteur.
Statique dans le champ de pesanteur uniforme.	Établir la relation entre la dérivée de la pression, la masse volumique, et le champ de pesanteur. Établir l'évolution de la pression avec l'altitude dans le cas d'un fluide incompressible et dans le cas de l'atmosphère isotherme dans le cadre du modèle du gaz parfait. Comparer les variations de pression dans le cas de l'océan et de l'atmosphère.
Résultante de forces de pression. Poussée d'Archimède.	Exprimer la force de pression sur une surface élémentaire en fonction de la pression. Exprimer une surface élémentaire dans un système de coordonnées adapté. Utiliser les symétries pour déterminer la direction d'une résultante de forces de pression. Exprimer une résultante de forces de pression sur une paroi ou sur un objet immergé.

La partie « **Expression différentielle des principes de la thermodynamique** » présente les principes de la thermodynamique sous forme différentielle. Dans le but d'unifier la présentation en physique et en chimie, les identités thermodynamiques sont introduites dans le cas d'un système de composition variable. Toute étude générale de la notion de potentiel thermodynamique est hors-programme.

Pour une grandeur extensive A , on note a la grandeur massique associée et A_m la grandeur molaire associée.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2. Expression différentielle des principes de la thermodynamique	
Échelle mésoscopique, transformation infinitésimale.	Découper un système en sous-systèmes élémentaires. Découper une transformation finie en une succession de transformations infinitésimales.
Premier principe pour une transformation infinitésimale d'un système fermé. Deuxième principe pour une transformation infinitésimale d'un système fermé.	Appliquer les principes pour obtenir une équation différentielle relative au système considéré.
Potentiel thermodynamique. Fonction enthalpie libre G .	Justifier que G est un potentiel thermodynamique adapté à l'étude des transformations isothermes, isobares et spontanées.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie PT

Identités thermodynamiques pour un système fermé de composition variable. Potentiel chimique.	Citer les expressions des différentielles de U, H, G. Définir la température thermodynamique, la pression thermodynamique et le potentiel chimique. Distinguer les caractères intensif ou extensif des variables utilisées. Écrire les principes et les identités thermodynamiques par unité de masse du système. Exprimer l'enthalpie libre d'un système chimique en fonction des potentiels chimiques.
Système fermé de composition constante.	Exprimer les identités thermodynamiques.

L'étude des « **Diagrammes d'état des fluides réels purs** » est l'occasion de réinvestir les notions de thermodynamique différentielle. On y exploite également des diagrammes et tables de fluides réels afin d'habituer les étudiants à ne pas se limiter à des situations « idéales » (gaz parfait, etc.).

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.3. Diagrammes d'état des fluides réels purs	
Notion de phase.	Définir et dénombrer les phases d'un système physico-chimique.
Évolution et équilibre d'un corps pur lors d'un changement d'état isotherme.	Écrire et utiliser les conditions d'évolution et d'équilibre en termes de potentiel chimique. Justifier le caractère isobare d'un changement d'état isotherme.
Enthalpie et entropie de changement d'état.	Citer l'ordre de grandeur de l'enthalpie massique de vaporisation de l'eau. Calculer l'énergie récupérable par transfert thermique lors d'une liquéfaction isobare. Relier l'entropie de changement d'état à l'enthalpie de changement d'état.
Titre massique.	Utiliser la règle des moments.
Diagrammes de Clapeyron (P,v), entropique (T,s), de Mollier (h,s) et des frigoristes (log P,h).	Représenter, pour chaque diagramme, l'allure des courbes isothermes, isobares, isentropiques et isenthalpiques. Établir l'équation de ces courbes dans la limite du gaz parfait et dans celle du liquide incompressible et indilatable. Exploiter un diagramme pour déterminer la valeur d'une grandeur physique.
Tables thermodynamiques.	Exploiter les tables thermodynamiques pour calculer des grandeurs physiques dans le domaine diphasique, ou pour prévoir l'état physique d'un fluide.

La partie « **Description d'un fluide en écoulement stationnaire dans une conduite** » introduit le point de vue eulérien pour l'étude des écoulements. Il s'agit de décrire simplement un écoulement en identifiant des tubes de courant sur lesquels des bilans peuvent ensuite être effectués.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.4. Description d'un fluide en écoulement stationnaire dans une conduite	
Grandeurs eulériennes. Régime stationnaire.	Décrire localement les propriétés thermodynamiques et mécaniques d'un fluide à l'aide des grandeurs intensives pertinentes.
Lignes et tubes de courant. Débit massique.	Exprimer le débit massique. Exploiter la conservation du débit massique le long d'un tube de courant.
Débit volumique.	Justifier l'intérêt d'utiliser le débit volumique pour l'étude d'un fluide de volume massique uniforme en écoulement.
Écoulements laminaires et turbulents. Nombre de Reynolds.	Relier le régime d'écoulement au nombre de Reynolds.

Dans la partie « **Énergétique des fluides en écoulement dans une conduite** », on effectue des bilans énergétiques dans une conduite. On se place dans un premier temps dans le cadre de la dynamique des fluides parfaits. Toute utilisation de l'équation d'Euler ou de Navier-Stokes est exclue. La relation de Bernoulli est établie. Les pertes de charge dans les conduites sont ensuite prises en compte et, dans ce cadre, les étudiants sont initiés à la lecture d'abaques. Enfin, les transferts thermiques sont pris en compte afin d'exprimer les principes de la thermodynamique pour un système en écoulement.

1.5. Énergétique des fluides en écoulement dans une conduite	
Fluides parfaits. Fluides newtoniens : notion de viscosité.	Citer des ordres de grandeur de viscosité dynamique de gaz et de liquides (air, eau et lubrifiant). Relier l'expression de la force surfacique de cisaillement au profil de vitesse dans le cas d'un écoulement parallèle. Exploiter les conditions aux limites du champ de vitesse d'un fluide dans une conduite.
Relation de Bernoulli.	Définir un volume et une surface de contrôle. Établir et exploiter la relation de Bernoulli pour un écoulement parfait, incompressible en écoulement stationnaire.
Pertes de charges singulière et régulière. Bilan d'énergie.	Modifier la relation de Bernoulli afin de tenir compte de la dissipation d'énergie. Établir un bilan de puissance pour un circuit hydraulique ou pneumatique avec ou sans pompe. Mettre en évidence une perte de charge.

Travail indiqué massique d'une machine.	Relier la notion de travail indiqué massique à la présence de parties mobiles.
Premier et deuxième principes pour un écoulement stationnaire unidimensionnel d'un système à une entrée et une sortie.	Établir et utiliser les premier et deuxième principes formulés avec des grandeurs massiques. Identifier les termes à négliger en fonction du contexte étudié. Relier l'entropie massique créée aux causes d'irréversibilité.
Systèmes à plusieurs entrées et sorties.	Exprimer la conservation du débit massique. Exprimer le premier principe en utilisant les puissances indiquée et thermique.

La partie « **Thermodynamique industrielle** » permet un approfondissement du cours de première année, par l'étude de cycles industriels. On se limite à des calculs relatifs au modèle du gaz parfait ou à l'utilisation des diagrammes d'état si le fluide est réel. Aucune connaissance relative à la technologie des installations ou aux différents types de cycles n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.6. Thermodynamique industrielle	
1.6.1. Étude de quelques dispositifs d'une installation industrielle	
Compresseur et turbine calorifugés.	Établir et exploiter la variation d'enthalpie massique pour une transformation réversible. Établir et exploiter la variation d'enthalpie massique pour une transformation irréversible, le rendement isentropique étant défini et fourni.
Mélangeur et séparateur isobares calorifugés.	Établir et exploiter les relations entre enthalpies et débits massiques.
Échangeur thermique calorifugé.	Établir et exploiter la relation entre les puissances thermiques reçues par les deux écoulements.
Détendeur calorifugé (laminage).	Établir et exploiter la nature isenthalpique de la transformation.
Tuyère calorifugée.	Établir la relation entre la vitesse de sortie des gaz et la variation d'enthalpie.
1.6.2. Cycles industriels	

Moteurs, réfrigérateurs, pompes à chaleur.	<p>Repérer, pour une machine dont les éléments constitutifs sont donnés, les sources thermiques, le sens des échanges thermiques et mécaniques.</p> <p>Relier le fonctionnement d'une machine au sens de parcours du cycle dans un diagramme thermodynamique.</p> <p>Exploiter des diagrammes et des tables thermodynamiques pour déterminer les grandeurs thermodynamiques intéressantes.</p> <p>Définir et exprimer le rendement, l'efficacité ou le coefficient de performance de la machine.</p> <p>Citer des ordres de grandeur de puissances thermique et mécanique mises en jeu pour différentes tailles de dispositifs.</p> <p>Utiliser des documents ou des logiciels afin de discuter l'amélioration de cycles industriels : rôle du préchauffage, de la surchauffe, du choix du fluide.</p>
--	--

La partie « **Transfert d'énergie par conduction thermique à une dimension en coordonnées cartésiennes** » aborde l'étude de la conduction thermique dans les solides. On se limite à l'étude de problèmes à une dimension en coordonnées cartésiennes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.7 Transfert d'énergie par conduction thermique à une dimension en coordonnées cartésiennes.	
Vecteur densité de flux thermique.	Définir et algébriser le flux thermique échangé à travers une interface.
Loi de Fourier.	<p>Lier la non-uniformité de la température à l'existence d'un flux thermique et interpréter son sens.</p> <p>Utiliser la loi de Fourier.</p> <p>Citer des ordres de grandeur de conductivité thermique dans le domaine de l'habitat.</p>
Bilan d'énergie.	Établir l'équation différentielle entre la température et le vecteur densité de flux thermique.
Équation de la diffusion thermique sans terme source.	<p>Établir l'équation de la diffusion thermique.</p> <p>Interpréter qualitativement l'irréversibilité du phénomène.</p> <p>Relier le temps et la longueur caractéristiques d'un phénomène de diffusion au coefficient de diffusion thermique par une analyse dimensionnelle.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, résoudre l'équation de la diffusion thermique à une dimension par une méthode des différences finies dérivée de la</p>

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie PT

	méthode d'Euler explicite de résolution des équations différentielles ordinaires.
Analogie électrique dans le cas du régime stationnaire.	Définir la résistance thermique. Exploiter l'analogie lors d'un bilan thermique.
Loi de Newton.	Exploiter la loi de Newton fournie pour prendre en compte les échanges conducto-convectifs.

2. Électronique

Ce module renforce et complète l'étude des circuits électriques linéaires menée dans la partie « **Ondes et signaux** » du programme de première année. Ainsi, les notions de filtrage et d'analyse spectrale sont réinvesties, en particulier dans les activités expérimentales. Le programme de deuxième année ajoute la rétroaction et le bouclage des systèmes linéaires dans le but d'aborder la stabilité, les oscillateurs et la réalisation de filtres actifs.

Ces différentes thématiques sont illustrées à l'aide de l'amplificateur linéaire intégré (ALI) dont l'étude n'est pas une fin en soi mais un outil permettant des réalisations expérimentales variées. Par ailleurs, des exemples de manifestations des non-linéarités sont abordés à l'occasion de la saturation d'un amplificateur ou de la réalisation d'une fonction mémoire (comparateur à hystérésis).

Afin de compléter l'approche analogique des circuits électriques, un module à vocation expérimentale est consacré au traitement numérique des signaux à travers les sujets suivants :

- la conversion analogique numérique ;
- l'échantillonnage et le repliement de spectre ;
- le filtrage numérique.

La partie « **Stabilité des systèmes linéaires** » s'intéresse aux propriétés des systèmes linéaires déjà abordés en première année. Les capacités relatives au filtrage et à la décomposition harmonique d'un signal périodique sont reprises. L'étude est complétée par une analyse de la stabilité des systèmes du premier et du second ordre en examinant le régime transitoire associé à l'équation différentielle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1. Stabilité des systèmes linéaires	
Fonction de transfert d'un système entrée-sortie linéaire continu et invariant.	Transposer la fonction de transfert opérationnelle dans les domaines fréquentiel (fonction de transfert harmonique) ou temporel (équation différentielle).
Stabilité.	Étudier la stabilité d'un système d'ordre 1 ou 2 à partir des signes des coefficients de l'équation différentielle ou de la fonction de transfert.

La partie « **Rétroaction** » illustre quelques propriétés relatives à la rétroaction sur l'exemple de l'amplificateur linéaire intégré. L'étude des circuits est strictement limitée à des situations pouvant être facilement abordées avec les outils introduits en première année (loi des mailles, loi des nœuds, diviseur de tension). La vitesse limite de balayage de l'ALI est évoquée en travaux pratiques afin d'identifier les distorsions harmoniques traduisant un comportement non

linéaire du système étudié. Les limitations associées aux courants de polarisation et la tension de décalage ne sont pas étudiées.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2. Rétroaction	
Modèle de l'ALI défini par des courants de polarisation nuls, une résistance de sortie nulle, une fonction de transfert du premier ordre en régime linéaire, une saturation de la tension de sortie.	Citer les hypothèses du modèle et les ordres de grandeur du gain différentiel statique et du temps de réponse. Modéliser un ALI fonctionnant en régime linéaire à l'aide d'un schéma bloc.
Limites du modèle : vitesse limite de balayage, saturation de l'intensité du courant de sortie.	Détecter, dans un montage à ALI, les manifestations de la vitesse limite de balayage et de la saturation de l'intensité du courant de sortie.
Montages amplificateur non inverseur et comparateur à hystérésis.	Analyser la stabilité du régime linéaire. Établir la conservation du produit gain-bande passante du montage non inverseur.
ALI idéal de gain infini en régime linéaire.	Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de fonctionnement en régime linéaire. Établir la relation entrée-sortie des montages non inverseur, suiveur, inverseur, intégrateur. Déterminer les impédances d'entrée de ces montages. Expliquer l'intérêt, pour garantir leur fonctionnement lors de mises en cascade, de réaliser des filtres de tension, de forte impédance d'entrée et de faible impédance de sortie.
ALI idéal de gain infini en régime saturé.	Établir la relation entrée-sortie du comparateur simple. Associer, pour une entrée sinusoïdale, le caractère non-linéaire du système et la génération d'harmoniques en sortie. Établir le cycle d'un comparateur à hystérésis. Définir le phénomène d'hystérésis en relation avec la notion de mémoire.

La partie « **Oscillateurs** » s'intéresse à une étude non exhaustive des oscillateurs en électronique. Les exemples sont choisis à l'initiative du professeur et les calculs des fonctions de transfert des filtres ne constituent pas un objectif de formation. En travaux pratiques, on complète l'étude par une analyse spectrale des signaux.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.3. Oscillateurs	

Oscillateur quasi-sinusoïdal réalisé en bouclant un filtre du deuxième ordre avec un amplificateur.	<p>Exprimer les conditions théoriques (gain et fréquence) d'auto-oscillation sinusoïdale d'un système linéaire bouclé. Analyser, à partir de l'équation différentielle, l'inégalité que doit vérifier le gain de l'amplificateur afin d'assurer le démarrage des oscillations. Interpréter le rôle des non-linéarités dans la stabilisation de l'amplitude des oscillations.</p> <p>Mettre en œuvre un oscillateur quasi-sinusoïdal et analyser les spectres des signaux générés.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, simuler l'évolution temporelle d'un signal généré par un oscillateur.</p>
Oscillateur de relaxation associant un intégrateur et un comparateur à hystérésis.	<p>Décrire les différentes séquences de fonctionnement. Exprimer les conditions de basculement. Déterminer l'expression de la période.</p>
Générateur de signaux non sinusoïdaux.	<p>Mettre en œuvre un oscillateur de relaxation et analyser les spectres des signaux générés.</p>

La partie « **Électronique numérique** » est étudiée de manière expérimentale et aborde la question du traitement numérique du signal dans le prolongement du programme de première année.

Le phénomène de repliement de spectre est expliqué qualitativement par exemple à l'aide d'une analogie stroboscopique, l'objectif étant de mettre en place la condition de Nyquist-Shannon et de réaliser convenablement une acquisition numérique en vue d'une analyse spectrale.

Afin de mettre en évidence d'autres effets associés à l'échantillonnage, on réalise de manière comparative un filtre analogique passe-bas et un filtre numérique remplissant la même fonction. Ce dernier est réalisé à l'aide d'une chaîne de traitement : CAN, algorithme numérique, CNA. On étudie expérimentalement l'influence de la fréquence d'échantillonnage.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.4. Électronique numérique	
Échantillonnage.	Mettre en évidence l'influence de la fréquence d'échantillonnage.
Condition de Nyquist-Shannon.	<p>Utiliser la condition de Nyquist-Shannon.</p> <p>Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre dû à l'échantillonnage lors de l'utilisation d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.</p>

Analyse spectrale numérique.	Choisir les paramètres (durée, nombre d'échantillons, fréquence d'échantillonnage) d'une d'acquisition numérique afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon.
Filtrage numérique.	<u>Capacité numérique</u> : réaliser, à l'aide d'un langage de programmation, un filtrage numérique passe-bas d'un signal issu d'une acquisition et mettre en évidence la limitation introduite par l'échantillonnage.

3. Optique ondulatoire

Le programme d'optique ondulatoire de la classe de PT s'inscrit dans le prolongement de la partie « **Propagation d'un signal** » du thème « **Ondes et signaux** » du programme de la classe de PTSI. Il s'agit pour les étudiants d'approfondir l'étude des phénomènes d'interférences lumineuses, conséquences de la nature ondulatoire de la lumière.

Si le formalisme utilisé permet une modélisation précise des phénomènes décrits, il convient néanmoins de privilégier les aspects expérimentaux et d'utiliser tous les supports de visualisation (expériences de cours, simulations, animations, etc.) pour aider les étudiants dans la construction de leurs représentations. L'enseignant peut souligner que ces phénomènes, étudiés dans le cadre de l'optique, sont généralisables à tout comportement ondulatoire. L'approche expérimentale est centrée sur la mise en œuvre des trous d'Young, de l'interféromètre de Michelson compensé (parallélisme compensatrice/séparatrice pré réglé) et de dispositifs d'interférences à N ondes.

La partie « **Modèle scalaire des ondes lumineuses** » introduit les outils nécessaires pour décrire les phénomènes d'interférences. Le programme utilise le mot « intensité » pour décrire la grandeur détectée mais on peut utiliser indifféremment les mots « intensité » ou « éclaircissement » sans chercher à les distinguer à ce niveau. L'intensité lumineuse est introduite comme une puissance par unité de surface. Le théorème de Malus (orthogonalité des rayons de lumière et des surfaces d'ondes) est admis.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.1. Modèle scalaire des ondes lumineuses	
Modèle de propagation dans l'approximation de l'optique géométrique.	Utiliser une grandeur scalaire pour décrire un signal lumineux.
Chemin optique. Déphasage dû à la propagation. Surfaces d'ondes. Théorème de Malus (admis).	Exprimer le retard de phase en un point (par rapport à un autre) en fonction de la durée de propagation ou du chemin optique.
Onde plane, onde sphérique ; effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss.	Associer une description de la formation des images en termes de rayon de lumière et de surfaces d'onde. Utiliser la propriété énonçant que le chemin optique séparant deux points conjugués est indépendant du rayon de lumière choisi.

Modèle d'émission. Relation (admise) entre le temps de cohérence et la largeur spectrale.	Citer l'ordre de grandeur du temps de cohérence Δt de quelques sources de lumière. Utiliser la relation $\Delta f \cdot \Delta t \approx 1$ pour lier la durée des trains d'ondes et la largeur spectrale $\Delta \lambda$ de la source.
Détecteurs. Intensité lumineuse.	Relier l'intensité lumineuse à la moyenne temporelle du carré de la grandeur scalaire optique. Citer l'ordre de grandeur du temps d'intégration de quelques capteurs optiques. Mettre en œuvre une expérience utilisant un capteur photographique numérique.

Dans la partie « **Superposition d'ondes lumineuses** », la formule de Fresnel, admise en classe de première année, est démontrée. L'étude de la superposition de N ondes cohérentes ne doit pas donner lieu à des développements calculatoires.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.2. Superposition d'ondes lumineuses	
Superposition d'ondes incohérentes entre elles.	Justifier et exploiter l'additivité des intensités.
Superposition de deux ondes cohérentes entre elles : formule de Fresnel. Facteur de contraste.	Vérifier que les principales conditions pour que le phénomène d'interférences apparaisse (égalité des pulsations et déphasage constant dans le temps) sont réunies. Établir et exploiter la formule de Fresnel. Associer un bon contraste à des intensités voisines.
Superposition de N ondes cohérentes, de même amplitude et dont les phases sont en progression arithmétique. Réseau par transmission.	Établir l'expression de la différence de marche entre deux motifs consécutifs. Établir la relation fondamentale des réseaux liant la condition d'interférences constructives à la valeur de la différence de marche entre deux motifs consécutifs. Mettre en œuvre un dispositif expérimental utilisant un phénomène d'interférences à N ondes. Relier qualitativement le nombre de traits d'un réseau à la largeur des franges brillantes.

Dans la partie « **Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young** », les trous d'Young permettent de confronter théorie et expérience. Les fentes d'Young peuvent être abordées mais de manière exclusivement expérimentale. Aucune connaissance sur un autre diviseur du front d'onde n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young	
Trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif : source à distance finie et observation à grande distance finie. Ordre d'interférences.	Exprimer et utiliser l'ordre d'interférences. Mettre en œuvre une expérience d'interférences : trous d'Young ou fentes d'Young. Montrer la non-localisation des franges d'interférences.
Franges d'interférences. Interfrange.	Justifier la forme des franges observées.
Variations de l'ordre d'interférences avec la position ou la longueur d'onde de la source ; perte de contraste par élargissement spatial ou spectral de la source.	Utiliser un critère de brouillage des franges pour interpréter des observations expérimentales.

Dans la partie « **Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson** », l'étude de l'interféromètre de Michelson en lame d'air permet de confronter théorie et expérience. L'étude de l'interféromètre de Michelson en coin d'air est abordée de manière exclusivement expérimentale. Pour la modélisation d'un interféromètre de Michelson, on suppose la séparatrice infiniment mince.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.4. Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson	
Interféromètre de Michelson éclairé par une source spatialement étendue. Localisation (admise) des franges.	Citer les conditions d'éclairage et d'observation en lame d'air et en coin d'air.
Lame d'air : franges d'égale inclinaison.	Établir et utiliser l'expression de l'ordre d'interférence en fonction de la longueur d'onde, de l'épaisseur de la lame d'air équivalente et de l'angle d'inclinaison des rayons. Régler un interféromètre de Michelson compensé pour une observation en lame d'air avec une source étendue à l'aide d'un protocole fourni. Mettre en œuvre un protocole pour accéder à l'ordre de grandeur de la longueur de cohérence d'une raie et à l'écart spectral d'un doublet à l'aide d'un interféromètre de Michelson.
Coin d'air : franges d'égale épaisseur.	Utiliser l'expression admise de la différence de marche en fonction de l'épaisseur. Caractériser la géométrie d'un objet ou l'indice d'un milieu à l'aide d'un interféromètre de Michelson.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie PT

4. Électromagnétisme

Le programme d'électromagnétisme de la classe de PT s'inscrit dans le prolongement des parties « **Propagation d'un signal** » et « **Induction et forces de Laplace** » du thème « **Ondes et signaux** » du programme de PTSI. Il s'agit pour les étudiants de découvrir les lois locales et intégrales qui gouvernent les champs électrique et magnétique et des applications dans des domaines variés.

Si certaines notions ont été abordées en classe de première année de PTSI, le formalisme utilisé constitue bien souvent pour les étudiants une première découverte ; il convient pour l'enseignant d'être particulièrement attentif aux difficultés potentielles des étudiants et d'utiliser tous les outils de visualisation (expériences de cours, simulations, animations, etc.) pour aider les étudiants dans la construction de leurs représentations.

L'étude des champs électrostatique et magnétostatique est présentée en deux parties distinctes ; l'enseignant est libre, s'il le souhaite, de procéder à une présentation unifiée de la notion de champ statique. Pour les calculs de champs, l'accent est mis sur les situations à haut degré de symétrie qui permettent l'utilisation efficace des propriétés de flux ou de circulation. Les équations locales des champs statiques sont introduites comme cas particuliers des équations de Maxwell.

La loi de Biot et Savart et la notion de potentiel vecteur ne relèvent pas du programme. Les relations de passage relatives au champ électromagnétique peuvent être exploitées, mais doivent être systématiquement fournies en cas de besoin.

Après une présentation des équations de Maxwell et des aspects énergétiques, le programme analyse le phénomène de propagation d'une onde électromagnétique dans le vide, la structure des champs associés et la réflexion des ondes sur un conducteur parfait. La propagation dans les milieux est abordée en se limitant à l'étude d'une onde électromagnétique dans un milieu ohmique et dans un guide d'onde modélisé par deux plans infinis.

Les notions abordées la partie « **Électrostatique** » sont centrées sur les distributions de charges, le champ et le potentiel. Pour le champ électrique et le potentiel, on se limite aux expressions explicites dans le cas de charges ponctuelles et sous forme intégrale dans le cas de distributions continues.

L'accent est mis sur les propriétés intégrales du champ et sur le théorème de Gauss pour des situations présentant un haut degré de symétrie.

Des capacités sur la lecture des lignes de champ et des surfaces équipotentielle sont développées. Le condensateur plan est introduit mais l'étude des conducteurs en équilibre électrostatique ne relève pas du programme. Une approche énergétique est conduite dans le cas d'une charge ponctuelle placée dans un champ électrique extérieur. Les analogies avec la gravitation sont centrées sur l'application du théorème de Gauss.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.1. Électrostatique	
Loi de Coulomb. Champ électrostatique. Principe de superposition.	Exprimer le champ électrostatique créé par une distribution discrète de charges. Citer quelques ordres de grandeur de champs électrostatiques.

Distributions continues de charges volumique, surfacique, linéique.	Décomposer une distribution en des distributions plus simples dans le but de calculer un champ électrostatique par superposition. Choisir un type de distribution continue adaptée à la situation modélisée. Justifier qualitativement le choix d'une modélisation d'une distribution de charges par une distribution infinie. Évaluer la charge totale d'une distribution continue dans des situations à géométries simples.
Symétries et invariances du champ électrostatique.	Identifier les plans de symétrie et d'antisymétrie d'une distribution de charges. Identifier les invariances d'une distribution de charges. Exploiter les symétries et les invariances d'une distribution de charges pour caractériser le champ électrostatique créé.
Circulation du champ électrostatique. Potentiel électrostatique.	Relier le champ électrostatique au potentiel. Exprimer le potentiel créé par une distribution discrète de charges. Calculer un champ électrostatique à partir du potentiel, l'expression de l'opérateur gradient étant fournie dans le cas des coordonnées sphériques et cylindriques. Exprimer une différence de potentiel comme une circulation du champ électrostatique.
Flux du champ électrostatique. Théorème de Gauss.	Utiliser le théorème de Gauss pour déterminer le champ électrostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie.
Systèmes modélisés par une sphère, un cylindre infini et du plan infini.	Établir les expressions des champs électrostatiques créés en tout point de l'espace par une sphère uniformément chargée en volume, par un cylindre infini uniformément chargé en volume et par un plan infini uniformément chargé en surface. Établir et exploiter qu'à l'extérieur d'une distribution à symétrie sphérique, le champ électrostatique créé est le même que celui d'une charge ponctuelle concentrant la charge totale et placée au centre de la distribution.
Condensateur plan modélisé par la superposition de deux distributions surfaciques infinies de charges opposées.	Établir l'expression de la capacité d'un condensateur plan dans le vide.

Lignes de champ, tubes de champ, surfaces équipotentielles.	<p>Orienter les lignes de champ du champ électrostatique créé par une distribution de charges.</p> <p>Représenter les surfaces équipotentielles connaissant les lignes de champ et inversement.</p> <p>Associer, en dehors des sources, les variations de l'intensité du champ électrostatique à la position relative des lignes de champ.</p> <p>Vérifier qu'une carte de lignes de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, tracer quelques lignes de champ et lignes équipotentielles pour une distribution donnée.</p>
Énergie potentielle électrostatique d'une charge ponctuelle placée dans un champ électrostatique extérieur.	Établir et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'une charge ponctuelle placée dans un champ électrostatique extérieur.
Champ de gravitation.	Utiliser le théorème de Gauss dans le cas de la gravitation.

L'étude de la magnétostatique menée dans la partie « **Magnétostatique** » s'appuie le plus possible sur les différents aspects qualitatifs et quantitatifs vus en première année de PTSI ; les étudiants sont donc déjà familiarisés avec le concept de champ magnétostatique. La loi de Biot et Savart n'est pas introduite ; l'utilisation de celle-ci pour calculer un champ magnétostatique est donc exclue.

Les distributions de courants surfaciques ne sont pas introduites à ce niveau du programme, elles le sont uniquement à l'occasion de la réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait.

On aborde les propriétés intégrales du champ et on utilise le théorème d'Ampère pour des calculs dans des cas présentant un haut degré de symétrie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.2. Magnétostatique	
Vecteur densité de courant volumique. Intensité du courant. Distributions de courant volumique et linéique.	Relier l'intensité du courant et le flux du vecteur densité de courant volumique.
Symétries et invariances des distributions de courant.	Exploiter les propriétés de symétrie et d'invariance des sources pour prévoir des propriétés du champ créé.

Propriétés de flux et de circulation. Théorème d'Ampère.	Identifier les situations pour lesquelles le champ magnétostatique peut être calculé à l'aide du théorème d'Ampère. Choisir un contour, une surface et les orienter pour appliquer le théorème d'Ampère en vue de déterminer l'expression d'un champ magnétique. Utiliser une méthode de superposition. Citer quelques ordres de grandeur de valeurs de champs magnétostatiques.
Modèles du fil rectiligne infini de section non nulle et du solénoïde infini.	Établir les expressions des champs magnétostatiques créés en tout point de l'espace par un fil rectiligne infini de section non nulle, parcouru par des courants uniformément répartis en volume, par un solénoïde infini en admettant que le champ est nul à l'extérieur.
Lignes de champ, tubes de champ.	Orienter les lignes de champ du champ magnétostatique créé par une distribution de courants. Associer les variations de l'intensité du champ magnétostatique à l'évolution de la position relative des lignes de champ. Vérifier qu'une carte de lignes de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution.

Dans la partie « **Équations de Maxwell** », une vision cohérente des lois de l'électromagnétisme est présentée. Elle constitue une première approche quantitative du phénomène de propagation et permet également de revenir qualitativement sur l'induction étudiée en classe de première année de PTSI.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.3. Équations de Maxwell	
Principe de la conservation de la charge : formulation locale.	Établir l'équation locale de la conservation de la charge dans le cas à une dimension. Citer l'équation locale de la conservation de la charge à l'aide de l'opérateur divergence.
Équations de Maxwell : formulations locale et intégrale.	Associer l'équation de Maxwell-Faraday à la loi de Faraday. Citer, utiliser et interpréter les équations de Maxwell sous forme intégrale. Relier qualitativement le couplage spatiotemporel entre champ électrique et champ magnétique au phénomène de propagation. Dédire l'équation locale de la conservation de la charge.

Équations de propagation des champs dans une région vide de charges et de courants.	Établir les équations de propagation à partir des équations de Maxwell.
Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS) magnétique.	Simplifier les équations de Maxwell et l'équation de conservation de la charge dans le cadre de l'ARQS en admettant que les courants de déplacement sont négligeables.
Cas des champs statiques : équations locales.	Établir les lois locales des champs statiques à partir des équations de Maxwell.
Équation de Poisson et équation de Laplace de l'électrostatique.	Établir les équations de Poisson et de Laplace de l'électrostatique.

Dans la partie « **Énergie du champ électromagnétique** », on s'intéresse à l'aspect énergétique de l'électromagnétisme. Aucun modèle relatif à la loi d'Ohm locale n'est exigible ; l'accent est mis sur les échanges d'énergie entre la matière et le champ électromagnétique, sur l'utilisation du flux du vecteur de Poynting pour évaluer une puissance rayonnée à travers une surface et sur les bilans d'énergie et de puissance.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.4. Énergie du champ électromagnétique	
Densité volumique de force électromagnétique. Puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.	Établir et utiliser l'expression de la puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.
Loi d'Ohm locale ; effet Joule.	Analyser les aspects énergétiques dans le cas particulier d'un milieu ohmique.
Densité volumique d'énergie électromagnétique et vecteur de Poynting : bilan d'énergie.	Utiliser le flux du vecteur de Poynting à travers une surface orientée pour évaluer la puissance rayonnée. Effectuer un bilan d'énergie sous forme locale et intégrale. Interpréter chaque terme de l'équation locale de Poynting, celle-ci étant donnée.

La partie « **Propagation** », articulée autour des ondes électromagnétiques, est l'occasion d'illustrer l'efficacité du formalisme local des équations de Maxwell en insistant sur les aspects qualitatifs et sur la variété des applications qui en découlent.

Si le modèle de l'onde plane est présenté dans le cadre de l'espace vide de courant et de charge, l'étude des ondes électromagnétiques dans un milieu ohmique permet d'enrichir les compétences des étudiants sur les phénomènes de propagation en abordant l'effet de peau. La réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait et son confinement dans une cavité permettent aux étudiants d'aborder la notion d'onde stationnaire et de découvrir des savoir-faire spécifiques permettant leur étude efficace. La notion de densité de courant surfacique est introduite, mais le calcul de l'intensité à travers un segment ne relève pas du programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.5. Propagation	
Onde plane dans l'espace vide de charge et de courant ; onde plane progressive et aspects énergétiques.	Citer les solutions de l'équation de d'Alembert à une dimension. Décrire la structure d'une onde plane et d'une onde plane progressive dans l'espace vide de charge et de courant.
Onde plane progressive monochromatique.	Expliquer le caractère idéal du modèle de l'onde plane monochromatique. Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications. Exprimer le vecteur de Poynting et l'énergie électromagnétique volumique associés à une onde plane progressive monochromatique. Effectuer une étude énergétique dans le cas d'une onde plane progressive
États de polarisation d'une onde plane progressive et monochromatique : polarisation rectiligne. Polariseurs.	Reconnaître une onde plane polarisée rectilignement. Mettre en évidence une polarisation rectiligne.
Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu ohmique dans le cadre de l'ARQS magnétique. Effet de peau.	Établir et interpréter l'expression de la grandeur caractéristique d'atténuation de l'onde électromagnétique dans un milieu ohmique.
Réflexion sous incidence normale d'une onde plane, progressive et monochromatique polarisée rectilignement sur un plan conducteur parfait. Onde stationnaire.	Exploiter la nullité (admise) des champs dans un métal parfait. Établir l'expression de l'onde réfléchie en exploitant les relations de passage fournies. Interpréter qualitativement la présence de courants localisés en surface. Caractériser une onde stationnaire.
Applications aux cavités à une dimension. Modes d'onde stationnaire.	Établir la condition de quantification des solutions. Mettre en œuvre un dispositif permettant d'étudier une onde électromagnétique dans le domaine des ondes centimétriques.

5. Transformations chimiques de la matière : aspects thermodynamiques

Les transformations chimiques de la matière ont été abordées en classe de PTSI ; le critère d'évolution spontanée d'un système chimique en transformation y a été présenté sans être démontré. Ce dernier a été remobilisé lors de l'étude des transformations chimiques en solution aqueuse.

Le but de cette partie est d'une part d'aborder les transferts thermiques et d'autre part d'établir puis exploiter le critère d'évolution spontanée d'un système engagé dans une transformation physico-chimique.

Dans la partie « **Premier principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques** », l'étude des transferts thermiques, abordée en première année dans le cadre du cours de physique relatif aux transformations physiques du corps pur, est ici généralisée aux transformations physico-chimiques. Les enthalpies standard de réaction sont considérées comme indépendantes de la température.

Les notions et contenus sont illustrés à travers des applications liées à la vie quotidienne (contenu calorique des aliments, pouvoirs calorifiques des carburants, etc.), à la recherche (apports des techniques calorimétriques modernes, etc.) ou au domaine industriel.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.1. Premier principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques	
État standard. Enthalpie standard de réaction. Loi de Hess. Enthalpie standard de formation, état standard de référence d'un élément.	Déterminer l'enthalpie standard de réaction à l'aide de tables de données thermodynamiques. Associer le signe de l'enthalpie standard de réaction au caractère endothermique ou exothermique de la réaction.
Effets thermiques pour une transformation monobare : <ul style="list-style-type: none"> - transfert thermique associé à la transformation chimique en réacteur monobare, isotherme ; - variation de température en réacteur adiabatique, monobare. 	Prévoir, à partir de données thermodynamiques, le sens et une estimation de la valeur du transfert thermique entre un système, siège d'une transformation physico-chimique, et le milieu extérieur. Évaluer la température atteinte par un système siège d'une transformation chimique supposée monobare et réalisée dans un réacteur adiabatique. <u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation, l'évolution temporelle de la température pour un système siège d'une transformation adiabatique modélisée par une seule réaction chimique dont les caractéristiques cinétiques et l'enthalpie standard de réaction sont données. Déterminer une enthalpie standard de réaction.

La fonction enthalpie libre G et la notion de potentiel chimique ont été introduites dans la partie « **Expression différentielle des principes de la thermodynamique** ». Dans la partie « **Deuxième principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques** », on adopte pour les potentiels chimiques une expression générale :

$\mu_i = \mu_{i,\text{réf}} + RT \ln(a_i)$ qui fait référence aux activités a_i introduites en première année.

L'établissement de cette expression est hors programme. L'influence de la pression sur le potentiel chimique d'un constituant en phase condensée pure n'est pas abordée. On se limite aux cas d'une espèce chimique pure, d'une espèce en solution aqueuse très diluée et d'une espèce en mélange de gaz parfaits avec référence à l'état standard.

Pour le calcul des grandeurs standard de réaction, les enthalpies et entropies standard de réaction sont supposées indépendantes de la température en dehors des changements d'états. Les grandeurs standard de réaction permettent la détermination, à une température donnée, de la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre K° caractéristique d'une réaction, valeur qui était systématiquement donnée en première année. C'est ainsi l'occasion de revenir sur la détermination de la composition d'un système physico-chimique en fin d'évolution.

La notion d'affinité chimique n'est pas utilisée, le sens d'évolution spontanée d'un système hors d'équilibre, à température et pression fixées, est déterminé par le signe de l'enthalpie libre de réaction $\Delta_r G$.

Enfin, l'étude de l'influence de la modification d'un paramètre (pression, température ou composition) sur un système chimique permet d'aborder la problématique de l'optimisation des conditions opératoires d'un procédé chimique.

Les illustrations et applications sont choisies dans le domaine industriel, dans la vie courante et au niveau du laboratoire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.2. Deuxième principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques	
<p>Enthalpie standard de réaction, entropie standard de réaction et grandeurs standard associées.</p> <p>Relation entre enthalpie libre de réaction et quotient de réaction ; évolution d'un système chimique.</p>	<p>Justifier qualitativement ou prévoir le signe de l'entropie standard de réaction.</p> <p>Relier création d'entropie et enthalpie libre de réaction lors d'une transformation d'un système physico-chimique à pression et température fixées.</p> <p>Prévoir le sens d'évolution à pression et température fixées d'un système physico-chimique dans un état donné à l'aide de l'enthalpie libre de réaction.</p> <p>Déterminer les grandeurs standard de réaction à partir des tables de données thermodynamiques et de la loi de Hess.</p> <p>Déterminer les grandeurs standard de réaction d'une réaction dont l'équation est combinaison linéaire d'autres équations de réaction.</p>

Constante thermodynamique d'équilibre ; relation de Van 't Hoff.	Citer et exploiter la relation de Van 't Hoff. Déterminer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre à une température quelconque. Déterminer l'évolution de la valeur d'une constante thermodynamique d'équilibre en fonction de la température.
État final d'un système : équilibre chimique ou transformation totale.	Déterminer la composition chimique d'un système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.
Optimisation thermodynamique d'un procédé chimique : - par modification de la valeur de K° ; - par modification de la valeur du quotient de réaction.	Identifier les paramètres d'influence et leur contrôle pour optimiser une synthèse ou minimiser la formation d'un produit secondaire indésirable.

6. Aspects thermodynamique et cinétique de l'électrochimie

Les aspects thermodynamiques et cinétiques des réactions d'oxydo-réduction sont appliqués notamment à la corrosion d'une part et aux dispositifs électrochimiques que sont les piles et les accumulateurs d'autre part. L'illustration des notions gagne à s'appuyer sur des applications concrètes comme par exemple la mise en œuvre de capteurs électrochimiques dans l'analyse de l'eau, de l'air ou d'effluents.

L'approche de l'électrochimie proposée privilégie les raisonnements qualitatifs et les aspects expérimentaux, plutôt que les développements théoriques et formels.

La partie « **Étude thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction** » se fonde sur les acquis de première année relatifs à l'étude des réactions d'oxydo-réduction et des piles, ainsi que sur la partie de thermodynamique chimique de seconde année pour relier les grandeurs thermodynamiques aux potentiels et potentiels standard.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6.1. Étude thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction	
Relation entre enthalpie libre de réaction et potentiels des couples mis en jeu dans une réaction d'oxydo-réduction.	Citer et exploiter la relation entre l'enthalpie libre de réaction et les potentiels des couples mis en jeu dans une réaction d'oxydo-réduction.
Relation entre enthalpie libre standard de réaction et potentiels standard des couples impliqués.	Déterminer l'enthalpie libre standard d'une réaction d'oxydo-réduction à partir des potentiels standard des couples. Déterminer la valeur du potentiel standard d'un couple d'oxydo-réduction à partir de données thermodynamiques.

La partie « **Étude cinétique des réactions d'oxydo-réduction : courbe courant-potentiel** » se fonde sur les acquis de cinétique chimique de première année et les prolongent par le tracé et l'exploitation de courbes courant-potentiel.

Les courbes courant-potentiel, dont le tracé est proposé en capacité expérimentale, sont un outil essentiel dans la compréhension et la modélisation des systèmes électrochimiques.

L'écart entre le potentiel d'une électrode et son potentiel d'équilibre est appelé surpotentiel plutôt que surtension pour des raisons pédagogiques, en cohérence avec le vocabulaire anglo-saxon correspondant.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6.2. Étude cinétique des réactions d'oxydo-réduction : courbe courant-potentiel	
<p>Courbes courant-potentiel sur une électrode en régime stationnaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - surpotentiel ; - systèmes rapides et systèmes lents ; - nature de l'électrode ; - courant de diffusion limite ; - vagues successives ; - domaine d'inertie électrochimique du solvant. 	<p>Décrire le montage à trois électrodes permettant de tracer des courbes courant-potentiel.</p> <p>Relier vitesse de réaction électrochimique et intensité du courant.</p> <p>Identifier le caractère lent ou rapide d'un système à partir des courbes courant-potentiel.</p> <p>Identifier les espèces électroactives pouvant donner lieu à une limitation en courant par diffusion.</p> <p>Relier qualitativement ou quantitativement, à partir de relevés expérimentaux, l'intensité du courant de diffusion limite à la concentration du réactif et à la surface immergée de l'électrode.</p> <p>Tracer l'allure de courbes courant-potentiel de branches d'oxydation ou de réduction à partir de données fournies, de potentiels standard, concentrations et surpotentiels.</p> <p>Tracer et exploiter des courbes courant-potentiel.</p>

La partie « **Stockage et conversion d'énergie dans des dispositifs électrochimiques** » s'appuie sur les courbes courant-potentiel pour étudier le fonctionnement des piles et leur recharge, ainsi que les électrolyseurs. Ces courbes permettent de déterminer différentes caractéristiques : réactions aux électrodes, tension à vide, tension à imposer pour une recharge, etc.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6.3. Stockage et conversion d'énergie chimique dans des dispositifs électrochimiques	
<p>Conversion d'énergie chimique en énergie électrique : fonctionnement des piles.</p> <p>Transformations spontanées et réaction modélisant le fonctionnement d'une pile électrochimique.</p>	<p>Établir l'inégalité reliant la variation d'enthalpie libre et le travail électrique.</p>

	Relier la tension à vide d'une pile et l'enthalpie libre de la réaction modélisant son fonctionnement. Déterminer la capacité électrique d'une pile.
Courbes courant-potentiel et fonctionnement d'une pile électrochimique.	Exploiter les courbes courant-potentiel pour rendre compte du fonctionnement d'une pile électrochimique et tracer sa caractéristique. Citer les paramètres influençant la résistance interne d'une pile électrochimique.
Conversion d'énergie électrique en énergie chimique. Transformations forcées lors d'une électrolyse et de la recharge d'un accumulateur.	Exploiter les courbes courant-potentiel pour rendre compte du fonctionnement d'un électrolyseur et prévoir la valeur de la tension minimale à imposer. Exploiter les courbes courant-potentiel pour justifier les contraintes (purification de la solution électrolytique, choix des électrodes) dans la recharge d'un accumulateur. Déterminer la masse de produit formé pour une durée et des conditions données d'électrolyse. Déterminer un rendement faradique à partir d'informations fournies concernant le dispositif étudié.
Stockage et conversion d'énergie chimique.	Étudier le fonctionnement d'une pile ou d'un électrolyseur pour effectuer des bilans de matière et des bilans électriques.

La lutte contre la corrosion est un enjeu économique actuel et la compréhension des phénomènes de corrosion et des facteurs influençant cette corrosion est essentielle pour effectuer des choix de méthodes de protection. La partie « **Corrosion humide ou électrochimique** » exploite les courbes courant-potentiel pour interpréter les phénomènes de corrosion, de protection et de passivation. On se limite à la corrosion uniforme et à la corrosion galvanique de deux métaux en contact. Les tracés de diagrammes de Tafel ou d'Evans sont hors-programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6.4. Corrosion humide ou électrochimique	
Corrosion uniforme en milieu acide ou en milieu neutre oxygéné : potentiel de corrosion, courant de corrosion. Corrosion d'un système de deux métaux en contact.	Positionner un potentiel de corrosion sur un tracé de courbes courant-potentiel. Interpréter le phénomène de corrosion uniforme d'un métal ou de deux métaux en contact en utilisant des courbes courant-potentiel ou d'autres données

	expérimentales, thermodynamiques et cinétiques. Citer des facteurs favorisant la corrosion.
Protection contre la corrosion : - revêtement ; - anode sacrificielle ; - protection électrochimique par courant imposé.	Exploiter des tracés de courbes courant-potentiel pour expliquer qualitativement : - la qualité de la protection par un revêtement métallique ; - le fonctionnement d'une anode sacrificielle.
Passivation.	Interpréter le phénomène de passivation sur une courbe courant-potentiel. Mettre en évidence le phénomène de corrosion et de protection et les facteurs l'influençant.

Annexe 1 : matériel

Cette liste complète celle donnée en annexe 1 du programme de physique-chimie de PTSI. À elles deux, ces listes regroupent le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée. Une utilisation de matériel hors de ces listes lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une aide.

1. Domaine optique

- Polariseur.
- Interféromètre de Michelson motorisé.
- Capteur photographique numérique.
- Spectromètre à fibre optique.

2. Domaine électrique

- Oscilloscope numérique avec analyseur de spectre.
- Carte d'acquisition dont l'API est publiée.
- Microcontrôleur.
- Émetteur et récepteur dans le domaine des ondes centimétriques.

3. Domaine de la chimie

- Calorimètre.
- Électrode de référence.
- Électrolyseur et électrodes.

Annexe 2 : outils mathématiques

Les outils mathématiques dont la maîtrise est nécessaire à la mise en œuvre du programme de physique de la classe de PT sont d'une part ceux qui figurent dans l'annexe 2 du programme de la classe de PTSI et d'autre part ceux qui figurent dans la liste ci-dessous.

Le thème « analyse vectorielle » prolonge l'outil « gradient » abordé en première année, en introduisant de nouveaux opérateurs : seules les expressions des opérateurs en coordonnées cartésiennes sont exigibles. Les expressions des opérateurs en coordonnées cylindriques et

sphériques et les formules d'analyse vectorielle ne sont pas exigibles ; elles doivent donc être systématiquement rappelées.

Le thème « analyse de Fourier » prolonge l'étude de l'outil « séries de Fourier » abordée en PTSI et réutilisée en classe de PT. On étend la décomposition d'un signal périodique comme somme de ses harmoniques à l'expression d'un signal non périodique sous forme d'une intégrale (synthèse spectrale) ; aucun résultat n'est exigible. On souligne en revanche la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale Δf et la durée caractéristique Δt d'un signal non périodique.

Dans le thème « équations aux dérivées partielles », aucune méthode générale d'étude n'est exigible : on se limite à chercher des solutions d'une forme donnée par substitution, menant ainsi soit à des équations différentielles classiques, soit à une relation de dispersion. L'accent est mis sur le rôle des conditions aux limites.

Les capacités relatives à la notion de différentielle d'une fonction de plusieurs variables sont limitées à l'essentiel, elles sont mobilisées principalement dans le cours de thermodynamique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Analyse vectorielle	
Gradient.	Citer le lien entre le gradient et la différentielle. Exprimer les composantes du gradient en coordonnées cartésiennes. Utiliser le fait que le gradient d'une fonction f est perpendiculaire aux surfaces iso- f et orienté dans le sens des valeurs de f croissantes.
Divergence.	Citer et utiliser le théorème d'Ostrogradski. Exprimer la divergence en coordonnées cartésiennes.
Rotationnel.	Citer et utiliser le théorème de Stokes. Exprimer le rotationnel en coordonnées cartésiennes.
Laplacien d'un champ scalaire.	Définir le laplacien à l'aide de la divergence et du gradient. Exprimer le laplacien en coordonnées cartésiennes.
Laplacien d'un champ de vecteurs.	Exprimer le laplacien d'un champ de vecteurs en coordonnées cartésiennes. Utiliser la formule d'analyse vectorielle : $\text{rot}(\text{rot}\mathbf{A}) = \text{grad}(\text{div}\mathbf{A}) - \Delta\mathbf{A}$.
Cas des champs proportionnels à $\exp(i\omega t - \mathbf{k}\cdot\mathbf{r})$ ou à $\exp(\mathbf{k}\cdot\mathbf{r} - i\omega t)$.	Exprimer l'action des opérateurs d'analyse vectorielle sur un tel champ à l'aide du vecteur \mathbf{k} .
2. Analyse de Fourier	

Décomposition d'une fonction périodique en série de Fourier.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni. Utiliser un raisonnement par superposition.
Synthèse spectrale d'un signal non périodique.	Utiliser un raisonnement par superposition. Citer et utiliser la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale Δf et la durée caractéristique Δt d'un signal non périodique.
3. Équations aux dérivées partielles	
Exemples d'équations aux dérivées partielles : équation de Laplace, équation de diffusion, équation de d'Alembert.	Identifier une équation aux dérivées partielles connue. Transposer une solution connue dans un domaine de la physique à un autre domaine. Obtenir des solutions de forme donnée par substitution. Utiliser des conditions initiales et des conditions aux limites.
4. Calcul différentiel	
Différentielle d'une fonction de plusieurs variables. Dérivée partielle. Théorème de Schwarz.	Connaître l'expression de la différentielle en fonction des dérivées partielles. Identifier la valeur d'une dérivée partielle, l'expression de la différentielle étant donnée. Utiliser le théorème de Schwarz (admis).

Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python dans la formation des étudiants inclut l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques. Elle vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est par ailleurs toujours recommandée. Elle a aussi pour objectif de mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique et celui de la chimie. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités utiles à la physique-chimie comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples.

Le tableau ci-dessous complète les outils numériques identifiés dans le programme de physique-chimie de première année de la classe de PTSI.

Outils numériques	Capacités exigibles
Représentation graphique d'un champ scalaire ou vectoriel.	Utiliser les fonctions de base (contour et streamplot) de la bibliothèque matplotlib (leurs spécifications étant fournies) pour représenter des lignes de niveau ou des lignes de champ.
Équation de diffusion à une dimension.	Mettre en œuvre une méthode des différences finies explicite pour résoudre l'équation de diffusion à une dimension en régime variable.

Enseignements secondaire et supérieur

Classes préparatoires scientifiques

Objectifs de formation et programme des classes préparatoires de seconde année de physique et sciences de l'ingénieur (PSI) et de physique et sciences de l'ingénieur* (PSI*) : modification

NOR : ESRS2111748A

arrêté du 13-7-2021 - JO du 5-8-2021

MESRI - DGESIP A1-2 - MENJS - DGESCO - MOM

Vu Code de l'éducation, notamment articles D. 612-19 à D. 612-29 ; arrêtés du 10-2-1995 modifiés ; arrêté du 20-6-1996 modifié ; avis du Cneser du 8-6-2021 ; avis du CSE du 17-6-2021 ; avis de la ministre des Armées des 1er, 2, 5 et 6-7-2021

Article 1 - Les programmes de mathématiques, de physique et de chimie de seconde année de la classe préparatoire scientifique physique et sciences de l'ingénieur (PSI), annexés à l'arrêté du 20 juin 1996 susvisé, sont remplacés par les programmes de mathématiques et de physique-chimie figurant respectivement aux annexes 1 et 2 du présent arrêté.

Article 2 - Les dispositions du présent arrêté prennent effet à compter de la rentrée de l'année scolaire 2022-2023.

Article 3 - Les dispositions du présent arrêté s'appliquent dans les îles Wallis et Futuna et en Nouvelle-Calédonie.

Article 4 - Le présent arrêté sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 13 juillet 2021

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Édouard Geffray

Pour le ministre des Outre-mer, et par délégation,
La directrice générale des outre-mer,
Sophie Brocas

Pour la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et par délégation,
Pour la directrice générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle, et par délégation,
La cheffe du service de la stratégie des formations et de la vie étudiante, adjointe à la directrice générale,
Isabelle Prat

Annexes

➔ Programmes des classes préparatoires de seconde année de physique et sciences de l'ingénieur (PSI) et de physique et sciences de l'ingénieur* (PSI*)



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Physique et sciences de l'ingénieur (PSI)

Annexe 1

Programme de mathématiques

Classe préparatoire PSI

Programme de mathématiques

Table des matières

Préambule	2
Objectifs de formation	2
Description et prise en compte des compétences	2
Unité de la formation scientifique	3
Architecture et contenu du programme	4
Organisation du texte	5
Programme	6
Algèbre linéaire	6
A - Compléments sur les espaces vectoriels, les endomorphismes et les matrices	6
B - Réduction des endomorphismes et des matrices carrées	7
Espaces préhilbertiens réels, espaces euclidiens	8
A - Espaces préhilbertiens réels	8
B - Endomorphismes d'un espace euclidien	9
Espaces vectoriels normés	11
Suites et séries de fonctions	12
A - Compléments sur les séries numériques	12
B - Suites et séries de fonctions	13
C - Séries entières	14
Intégration sur un intervalle quelconque	16
Variables aléatoires discrètes	19
A - Ensembles dénombrables, familles sommables	19
B - Probabilités, variables aléatoires discrètes et lois usuelles	19
C - Espérance et variance	21
Calcul différentiel	23
A - Équations différentielles linéaires scalaires	23
B - Dérivabilité des fonctions vectorielles	23
C - Fonctions de plusieurs variables	24

Préambule

Les programmes de mathématiques des classes préparatoires scientifiques MPSI, PCSI, PTSI, MP2I, MP, PC, PSI, PT, MPI sont conçus comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités, avec l'objectif de préparer les étudiantes et étudiants à poursuivre avec succès dans les écoles et les universités un cursus de formation aux métiers de l'ingénierie, de l'enseignement, de la recherche.

Ce programme permet de conjuguer deux aspects de l'activité mathématique : d'une part la construction d'objets souvent introduits de manière intrinsèque et l'importance de la démonstration; d'autre part la technique qui permet de rendre ces objets opérationnels.

Objectifs de formation

La formation est conçue en fonction de quatre objectifs essentiels :

- fournir un solide bagage de connaissances, de concepts et de méthodes;
- exploiter toute la richesse de la démarche mathématique : analyser un problème, expérimenter sur des exemples, formuler une conjecture, élaborer et mettre en œuvre des concepts et des résultats théoriques, rédiger une solution rigoureuse, contrôler les résultats obtenus et évaluer la pertinence des concepts et des résultats au regard du problème posé;
- développer l'intuition, l'imagination, le raisonnement et la rigueur;
- promouvoir la réflexion personnelle des étudiantes et étudiants sur les problèmes et les phénomènes mathématiques, sur la portée des concepts, des hypothèses, des résultats et des méthodes, au moyen d'exemples et de contre-exemples; développer ainsi une attitude de questionnement et de recherche.

En continuité avec les programmes de mathématiques du lycée, les programmes des classes préparatoires scientifiques définissent un corpus de connaissances et de capacités et explicitent six grandes compétences mathématiques :

- **chercher, mettre en œuvre des stratégies** : découvrir une problématique, l'analyser, la transformer ou la simplifier, expérimenter sur des exemples, formuler des hypothèses, identifier des particularités ou des analogies;
- **modéliser** : extraire un problème de son contexte pour le traduire en langage mathématique, comparer un modèle à la réalité, le valider, le critiquer;
- **représenter** : choisir le cadre (numérique, algébrique, géométrique...) le mieux adapté pour traiter un problème ou représenter un objet mathématique, passer d'un mode de représentation à un autre, changer de registre;
- **raisonner, argumenter** : effectuer des inférences inductives et déductives, conduire une démonstration, confirmer ou infirmer une conjecture;
- **calculer, utiliser le langage symbolique** : manipuler des expressions contenant des symboles, organiser les différentes étapes d'un calcul complexe, effectuer un calcul automatisable à la main où à l'aide d'un instrument (calculatrice, logiciel...), contrôler les résultats;
- **communiquer** à l'écrit et à l'oral : comprendre les énoncés mathématiques écrits par d'autres, rédiger une solution rigoureuse, présenter et défendre un travail mathématique.

Description et prise en compte des compétences

Chercher

Cette compétence vise à développer les attitudes de questionnement et de recherche, au travers de réelles activités mathématiques, prenant place au sein ou en dehors de la classe. Les différents temps d'enseignement (cours, travaux dirigés, heures d'interrogation, TIPE) doivent privilégier la découverte et l'exploitation de problématiques, la réflexion sur les démarches suivies, les hypothèses formulées et les méthodes de résolution. Le professeur ne saurait limiter son enseignement à un cours dogmatique : afin de développer les capacités d'autonomie des étudiants, il doit les amener à se poser eux-mêmes des questions, à prendre en compte une problématique mathématique, à utiliser des outils logiciels, et à s'appuyer sur la recherche et l'exploitation, individuelle ou en équipe, de documents.

Les travaux proposés aux étudiants en dehors des temps d'enseignement doivent combiner la résolution d'exercices d'entraînement relevant de techniques bien répertoriées et l'étude de questions plus complexes. Posées sous forme de problèmes ouverts, elles alimentent un travail de recherche individuel ou collectif, nécessitant la mobilisation d'un large éventail de connaissances et de capacités.

Modéliser

Le programme présente des notions, méthodes et outils mathématiques permettant de modéliser l'état et l'évolution de systèmes déterministes ou aléatoires issus de la rencontre du réel et du contexte, et éventuellement du traitement qui en a été fait par la mécanique, la physique, la chimie, les sciences industrielles. Ces interprétations viennent en retour éclairer les concepts fondamentaux de l'analyse, de l'algèbre linéaire, de la géométrie ou des probabilités. La modélisation contribue ainsi de façon essentielle à l'unité de la formation scientifique et valide les approches interdisciplinaires. À cet effet, il importe de promouvoir l'étude de questions mettant en œuvre des interactions

entre les différents champs de connaissance scientifique (mathématiques et physique, mathématiques et chimie, mathématiques et sciences industrielles, mathématiques et informatique).

Représenter

Un objet mathématique se prête en général à des représentations issues de différents cadres ou registres : algébrique, géométrique, graphique, numérique. Élaborer une représentation, changer de cadre, traduire des informations dans plusieurs registres sont des composantes de cette compétence. Ainsi, en analyse, le concept de fonction s'appréhende à travers diverses représentations (graphique, numérique, formelle) ; en algèbre, un problème linéaire se prête à des représentations de nature géométrique, matricielle ou algébrique ; un problème de probabilités peut recourir à un arbre, un tableau, des ensembles. Le recours régulier à des figures ou à des croquis permet de développer une vision géométrique des objets abstraits et favorise de fructueux transferts d'intuition.

Raisonner, argumenter

La pratique du raisonnement est au cœur de l'activité mathématique. Basé sur l'élaboration de liens déductifs ou inductifs entre différents éléments, le raisonnement mathématique permet de produire une démonstration, qui en est la forme aboutie et communicable. La présentation d'une démonstration par le professeur (ou dans un document) permet aux étudiants de suivre et d'évaluer l'enchaînement des arguments qui la composent ; la pratique de la démonstration leur apprend à créer et à exprimer eux-mêmes de tels arguments. L'intérêt de la construction d'un objet mathématique ou de la démonstration d'un théorème repose sur ce qu'elles apportent à la compréhension même de l'objet ou du théorème : préciser une perception intuitive, analyser la portée des hypothèses, éclairer une situation, exploiter et réinvestir des concepts et des résultats théoriques.

Calculer, manipuler des symboles, maîtriser le formalisme mathématique

Le calcul et la manipulation des symboles sont omniprésents dans les pratiques mathématiques. Ils en sont des composantes essentielles, inséparables des raisonnements qui les guident ou qu'en sens inverse ils outillent.

Mener efficacement un calcul simple fait partie des compétences attendues des étudiants. En revanche, les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils de calcul formel ou numérique. La maîtrise des méthodes de calcul figurant au programme nécessite aussi la connaissance de leur cadre d'application, l'anticipation et le contrôle des résultats qu'elles permettent d'obtenir.

Communiquer à l'écrit et à l'oral

La phase de mise au point d'un raisonnement et de rédaction d'une solution permet de développer les capacités d'expression. La qualité de la rédaction et de la présentation, la clarté et la précision des raisonnements, constituent des objectifs très importants. La qualité de structuration des échanges entre le professeur et sa classe, entre le professeur et chacun de ses étudiants, entre les étudiants eux-mêmes, doit également contribuer à développer des capacités de communication (écoute et expression orale) à travers la formulation d'une question, d'une réponse, d'une idée, d'hypothèses, l'argumentation de solutions ou l'exposé de démonstrations. Les travaux individuels ou en petits groupes proposés aux étudiants en dehors du temps d'enseignement, au lycée ou à la maison, (interrogations orales, devoirs libres, comptes rendus de travaux dirigés ou d'interrogations orales) contribuent fortement à développer cette compétence. La communication utilise des moyens diversifiés : les étudiants doivent être capables de présenter un travail clair et soigné, à l'écrit ou à l'oral, au tableau ou à l'aide d'un dispositif de projection.

L'intégration des compétences à la formation des étudiants permet à chacun d'eux de gérer ses propres apprentissages de manière responsable en repérant ses points forts et ses points faibles, et en suivant leur évolution. Les compétences se recouvrent largement et il importe de les considérer globalement : leur acquisition doit se faire dans le cadre de situations suffisamment riches pour nécessiter la mobilisation de plusieurs d'entre elles.

Unité de la formation scientifique

Il est important de mettre en valeur l'interaction entre les différentes parties du programme, tant au niveau du cours que des thèmes des travaux proposés aux étudiants. À titre d'exemples, la théorie des équations différentielles utilise des concepts et des résultats développés en algèbre linéaire ; le calcul différentiel et l'optimisation exploitent en outre les endomorphismes autoadjoints ; les probabilités utilisent le vocabulaire ensembliste et les familles sommables, et illustrent certains résultats d'analyse.

La coopération des enseignants d'une même classe ou d'une même discipline et, plus largement, celle de l'ensemble des enseignants d'un cursus donné, doit contribuer de façon efficace et cohérente à la qualité de ces interactions.

Il importe aussi que le contenu culturel et historique des mathématiques ne soit pas sacrifié au profit de la seule technicité. En particulier, il peut s'avérer pertinent d'analyser l'interaction entre un contexte historique et social donné, une problématique spécifique et la construction, pour la résoudre, d'outils mathématiques.

Architecture et contenu du programme

L'étude de chaque domaine du programme (analyse, algèbre, probabilités) permet de développer des aptitudes au raisonnement et à la modélisation, et d'établir des liens avec les autres disciplines.

Afin de contribuer au développement des compétences de modélisation et de représentation, le programme préconise le recours à des figures géométriques pour aborder l'algèbre linéaire, les espaces préhilbertiens, les fonctions de variable réelle ou vectorielle.

Le programme d'algèbre comprend deux sections. La première prolonge l'étude de l'algèbre linéaire abordée en première année et combine les points de vue géométrique (éléments propres), algébrique (polynômes d'endomorphisme) et matriciel pour aboutir à une solide étude de la réduction : diagonalisation, trigonalisation. La deuxième, après quelques généralités sur les espaces préhilbertiens et le théorème de projection orthogonale sur un sous-espace de dimension finie, étudie, dans le cadre euclidien, les isométries vectorielles et les endomorphismes autoadjoints (théorème spectral), et introduit les endomorphismes autoadjoints positifs en vue de l'optimisation.

La topologie est étudiée dans le cadre général des espaces vectoriels normés. Son étude permet d'étendre les notions de suite, limite, continuité étudiées en première année dans le cadre de la droite réelle, et de mettre en évidence quelques aspects de la dimension finie : équivalence des normes, théorème des bornes atteintes pour les fonctions continues sur les fermés bornés, continuité des applications linéaires et polynomiales.

Après quelques compléments sur les séries numériques, la section sur les suites et séries de fonctions étudie divers modes de convergence et établit des résultats de régularité pour les limites de suites ou les sommes de séries de fonctions à valeurs réelles ou complexes.

Les séries entières permettent de construire des fonctions de variable complexe et de fournir un outil pour la résolution d'équations différentielles linéaires et pour les probabilités au travers des fonctions génératrices.

La section sur l'intégration introduit, pour les fonctions continues par morceaux sur un intervalle quelconque, la notion d'intégrale généralisée et celle de fonction intégrable.

Les théorèmes sur l'intégration des suites et séries de fonctions (convergence dominée, intégration terme à terme) et sur les intégrales à paramètre concluent cette section.

La section sur les variables aléatoires discrètes propose une introduction à minima de la dénombrabilité et des familles sommables en appui des notions générales de la théorie des probabilités, afin d'étendre l'étude menée en première année des variables aléatoires finies, ce qui permet d'élargir le champ des situations se prêtant à une modélisation probabiliste.

La loi faible des grands nombres permet de justifier a posteriori l'approche fréquentiste d'une probabilité pour un schéma de Bernoulli, déjà évoquée dans le cursus antérieur des étudiants.

Cette section a vocation à interagir avec le reste du programme, notamment en exploitant les séries génératrices.

L'étude des équations différentielles est limitée au cas des équations linéaires d'ordre 2, dont les interventions sont fréquentes tant en mathématiques que dans les autres disciplines scientifiques. L'utilisation dans ce cadre du théorème de Cauchy permet d'établir la structure de l'ensemble des solutions, illustrant la pertinence des outils de l'algèbre linéaire pour résoudre des problèmes d'analyse. Le programme permet aussi, en liaison avec la réduction, de traiter des exemples d'équations ou de systèmes différentiels linéaires à coefficients constants.

On donne quelques éléments sur la dérivabilité des fonctions vectorielles, les courbes paramétrées en fournissant une interprétation.

La section sur les fonctions de plusieurs variables est axée sur la mise en place d'outils permettant de traiter des applications du calcul différentiel à l'analyse et à la géométrie. Elle s'achève par une étude au second ordre des extremums qui s'appuie sur les matrices symétriques.

Organisation du texte

Les programmes définissent les objectifs de l'enseignement et décrivent les connaissances et les capacités exigibles des étudiants ; ils précisent aussi certains points de terminologie et certaines notations. Ils fixent clairement les limites à respecter tant au niveau de l'enseignement qu'à celui des épreuves d'évaluation, y compris par les opérateurs de concours.

Le programme est décliné en sections. Chaque section comporte un bandeau définissant les objectifs essentiels et délimitant le cadre d'étude des notions qui lui sont relatives et un texte présenté en deux colonnes : à gauche figurent les contenus du programme (connaissances et méthodes) ; à droite un commentaire indique les capacités exigibles des étudiants, précise quelques notations ainsi que le sens ou les limites à donner à certaines questions. Dans le cadre de sa liberté pédagogique et dans le respect de la cohérence de la formation globale, le professeur décide de l'organisation de son enseignement et du choix de ses méthodes.

En particulier, l'ordre de présentation des différentes sections ne doit pas être interprété comme un modèle de progression. Parmi les connaissances (définitions, notations, énoncés, démonstrations, méthodes, algorithmes...) et les capacités de mobilisation de ces connaissances, le texte du programme délimite trois catégories :

- celles qui sont exigibles des étudiants : il s'agit de l'ensemble des points figurant dans la colonne de gauche des différentes sections ;
- celles qui sont indiquées dans les bandeaux et la colonne de droite comme étant « hors programme ». Elles ne doivent pas être traitées et ne peuvent faire l'objet d'aucune épreuve d'évaluation ;
- celles qui relèvent d'activités possibles ou souhaitables, mais qui ne sont pas exigibles des étudiants. Il s'agit des activités proposées pour illustrer les différentes notions du programme (visualisations à l'aide de l'outil informatique, activités en lien avec les autres disciplines).

Pour les démonstrations des théorèmes dont l'énoncé figure au programme et qui sont repérées dans la colonne de droite par la locution « démonstration non exigible », le professeur est libre d'apprécier, selon le cas, s'il est souhaitable de démontrer en détail le résultat considéré, d'indiquer seulement l'idée de sa démonstration, ou de l'admettre.

Programme

Algèbre linéaire

Dans toute cette partie, \mathbb{K} désigne \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

A - Compléments sur les espaces vectoriels, les endomorphismes et les matrices

Le programme est organisé autour de trois objectifs :

- consolider les acquis de la classe de première année;
- introduire de nouveaux concepts préliminaires à la réduction des endomorphismes : somme de plusieurs sous-espaces vectoriels, somme directe, sous-espaces stables, matrices par blocs, trace, polynômes d'endomorphismes et de matrices carrées, polynômes interpolateurs de Lagrange;
- passer du point de vue vectoriel au point de vue matriciel et inversement.

Le programme valorise les interprétations géométriques et préconise l'illustration des notions et résultats par de nombreuses figures.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Produit d'espaces vectoriels, somme de sous-espaces vectoriels

Produit d'un nombre fini d'espaces vectoriels ; dimension dans le cas où ces espaces sont de dimension finie.

Somme, somme directe d'une famille finie de sous-espaces vectoriels.

En dimension finie, base adaptée à un sous-espace vectoriel, à une décomposition $E = \bigoplus E_i$.

Si F_1, \dots, F_p sont des sous-espaces de dimension finie,

$$\dim\left(\sum_{i=1}^p F_i\right) \leq \sum_{i=1}^p \dim(F_i)$$

avec égalité si et seulement si la somme est directe.

Décomposition en somme directe obtenue par partition d'une base.

b) Matrices par blocs et sous-espaces stables

Matrices définies par blocs, opérations par blocs de tailles compatibles (combinaison linéaire, produit, transposition).

Déterminant d'une matrice triangulaire par blocs.

Sous-espace vectoriel stable par un endomorphisme, endomorphisme induit.

Si u et v commutent alors le noyau de u est stable par v .

Traduction matricielle de la stabilité d'un sous-espace vectoriel par un endomorphisme et interprétation en termes d'endomorphismes d'une matrice triangulaire ou diagonale par blocs.

c) Trace

Trace d'une matrice carrée.

Linéarité, trace d'une transposée.

Relation $\text{tr}(AB) = \text{tr}(BA)$.

Invariance de la trace par similitude. Trace d'un endomorphisme d'un espace de dimension finie.

Notation $\text{tr}(A)$.

d) Polynômes d'endomorphismes et de matrices carrées

Polynôme d'un endomorphisme, d'une matrice carrée.

Polynôme annulateur.

Deux polynômes de l'endomorphisme u commutent.

Adaptation de ces résultats aux matrices carrées.

Relation $(PQ)(u) = P(u) \circ Q(u)$.

Application au calcul de l'inverse et des puissances.

Le noyau de $P(u)$ est stable par u .

e) Interpolation de Lagrange

Base de $\mathbb{K}_n[X]$ constituée des polynômes interpolateurs de Lagrange en $n + 1$ points distincts de \mathbb{K} .

Déterminant de Vandermonde.

Expression d'un polynôme $P \in \mathbb{K}_n[X]$ dans cette base.

La somme des polynômes interpolateurs de Lagrange en $n + 1$ points est le polynôme constant égal à 1.

Lien avec le problème d'interpolation de Lagrange.

B - Réduction des endomorphismes et des matrices carrées

La réduction des endomorphismes et des matrices carrées permet d'approfondir les notions étudiées en première année. Il est attendu des étudiants qu'ils maîtrisent les deux points de vue suivants :

- l'aspect géométrique (sous-espaces stables, éléments propres);
- l'aspect algébrique (utilisation de polynômes annulateurs).

L'étude des classes de similitude est hors programme ainsi que la notion de polynôme minimal.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Éléments propres

Droite stable par un endomorphisme.

Valeur propre, vecteur propre (non nul), sous-espace propre d'un endomorphisme.

Spectre d'un endomorphisme en dimension finie.

La somme d'une famille finie de sous-espaces propres d'un endomorphisme est directe.

Si un polynôme P annule u , toute valeur propre de u est racine de P .

Valeur propre, vecteur propre, sous-espace propre et spectre d'une matrice carrée.

Équation aux éléments propres $u(x) = \lambda x$.

Si u et v commutent, les sous-espaces propres de u sont stables par v .

Notation $\text{Sp}(u)$.

La notion de valeur spectrale est hors programme.

Toute famille finie de vecteurs propres associés à des valeurs propres distinctes est libre.

Si $u(x) = \lambda x$, alors $P(u)(x) = P(\lambda)x$.

Équation aux éléments propres $AX = \lambda X$.

b) Polynôme caractéristique

Polynôme caractéristique d'une matrice carrée, d'un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie.

Les valeurs propres d'un endomorphisme sont les racines de son polynôme caractéristique.

Multiplicité d'une valeur propre. Majoration de la dimension d'un sous-espace propre par la multiplicité.

Théorème de Cayley-Hamilton.

Par convention le polynôme caractéristique est unitaire.

Notations χ_A, χ_u .

Coefficients de degrés 0 et $n - 1$.

Spectre complexe d'une matrice carrée réelle.

Deux matrices semblables ont le même polynôme caractéristique, donc les mêmes valeurs propres avec mêmes multiplicités.

La démonstration n'est pas exigible.

c) Diagonalisation en dimension finie

Un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie est dit diagonalisable s'il existe une base dans laquelle sa matrice est diagonale.

Une matrice carrée est dite diagonalisable si elle est semblable à une matrice diagonale.

Un endomorphisme d'un espace vectoriel E est diagonalisable si et seulement si la somme de ses sous-espaces propres est égale à E .

Un endomorphisme est diagonalisable si et seulement si la somme des dimensions de ses sous-espaces propres est égale à la dimension de l'espace.

Un endomorphisme est diagonalisable si et seulement si son polynôme caractéristique est scindé sur \mathbb{K} et si, pour toute valeur propre, la dimension du sous-espace propre associé est égale à sa multiplicité.

Un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension n admettant n valeurs propres distinctes est diagonalisable.

Une telle base est constituée de vecteurs propres.

Interprétation en termes d'endomorphisme.

Application au calcul des puissances d'une matrice diagonalisable, à des exemples de systèmes différentiels à coefficients constants.

Dans la pratique des cas numériques, on se limite à $n = 2$ ou $n = 3$.

Exemple des projecteurs et des symétries.

Traduction matricielle.

Traduction matricielle.

Polynôme caractéristique scindé à racines simples.

Traduction matricielle.

d) Diagonalisabilité et polynômes annulateurs

Un endomorphisme est diagonalisable si et seulement s'il admet un polynôme annulateur scindé à racines simples.

L'endomorphisme induit par un endomorphisme diagonalisable sur un sous-espace vectoriel stable est diagonalisable.

Un endomorphisme u est diagonalisable si et seulement s'il admet $\prod_{\lambda \in \text{Sp}(u)} (X - \lambda)$ pour polynôme annulateur.

La démonstration n'est pas exigible.

Traduction matricielle.

Le lemme de décomposition des noyaux est hors programme.

e) Trigonalisation en dimension finie

Un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie est dit trigonalisable s'il existe une base dans laquelle sa matrice est triangulaire.

Une matrice carrée est dite trigonalisable si elle est semblable à une matrice triangulaire.

Un endomorphisme est trigonalisable si et seulement si son polynôme caractéristique est scindé sur \mathbb{K} .

Toute matrice de $\mathcal{M}_n(\mathbb{C})$ est trigonalisable.

Expression de la trace et du déterminant d'un endomorphisme trigonalisable, d'une matrice trigonalisable à l'aide des valeurs propres.

Interprétation en termes d'endomorphisme.

La démonstration n'est pas exigible.

Traduction matricielle.

La technique générale de trigonalisation est hors programme. On se limite dans la pratique à des exemples simples en petite dimension et tout exercice de trigonalisation effective doit comporter une indication.

Espaces préhilbertiens réels, espaces euclidiens**A - Espaces préhilbertiens réels**

L'objectif majeur est le théorème de projection orthogonale et l'existence de la meilleure approximation quadratique. On s'appuie sur des exemples de géométrie du plan et de l'espace pour illustrer les différentes notions.

a) Produit scalaire et norme associée

Produit scalaire.

Espace préhilbertien réel, espace euclidien.

Exemples de référence :

produit scalaire euclidien canonique sur \mathbb{R}^n , produit scalaire canonique sur $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$, produit scalaire défini par une intégrale sur $\mathcal{C}^0([a, b], \mathbb{R})$.

Inégalité de Cauchy-Schwarz, cas d'égalité.

Norme associée au produit scalaire.

Notations $\langle x, y \rangle$, $(x|y)$, $x \cdot y$.

Expression $X^T Y$.

Expression $\text{tr}(A^T B)$.

Cas d'égalité dans l'inégalité triangulaire.

Les étudiants doivent savoir manipuler les identités remarquables sur les normes (développement de $\|u \pm v\|^2$, identité de polarisation).

b) Orthogonalité

Vecteurs orthogonaux, sous-espaces orthogonaux, orthogonal d'un sous-espace vectoriel F , d'une partie X .

Famille orthogonale, orthonormée (ou orthonormale).

Toute famille orthogonale de vecteurs non nuls est libre.

Théorème de Pythagore.

Algorithme d'orthonormalisation de Gram-Schmidt.

Notation F^\perp .

L'orthogonal d'une partie est un sous-espace vectoriel.

c) Bases orthonormées d'un espace euclidien

Existence de bases orthonormées dans un espace euclidien. Théorème de la base orthonormée incomplète.
Expression des coordonnées, du produit scalaire et de la norme dans une base orthonormée.

d) Projection orthogonale sur un sous-espace de dimension finie

Supplémentaire orthogonal d'un sous-espace de dimension finie.

Projection orthogonale p_F sur un sous-espace vectoriel F de dimension finie.

Distance d'un vecteur à un sous-espace. Le projeté orthogonal de x sur F est l'unique élément de F qui réalise la distance de x à F .

Projeté orthogonal d'un vecteur sur l'hyperplan $\text{Vect}(u)^\perp$; distance entre x et $\text{Vect}(u)^\perp$.

Dimension de F^\perp en dimension finie.

Les étudiants doivent savoir déterminer $p_F(x)$ en calculant son expression dans une base orthonormée de F ou en résolvant un système linéaire traduisant l'orthogonalité de $x - p_F(x)$ aux vecteurs d'une famille génératrice de F .

Notation $d(x, F)$.

Application géométrique à des calculs de distances.

e) Formes linéaires sur un espace euclidien

Représentation d'une forme linéaire à l'aide d'un produit scalaire.

Vecteur normal à un hyperplan.

B - Endomorphismes d'un espace euclidien

Cette section vise les objectifs suivants :

- étudier les isométries vectorielles et matrices orthogonales, et les décrire en dimension deux et trois en insistant sur les représentations géométriques;
- approfondir la thématique de réduction des endomorphismes dans le cadre euclidien en énonçant les formes géométrique et matricielle du théorème spectral;
- introduire la notion d'endomorphisme autoadjoint positif, qui trouvera notamment son application au calcul différentiel d'ordre 2.

La notion d'adjoint est hors programme.

a) Isométries vectorielles d'un espace euclidien

Un endomorphisme d'un espace euclidien est une isométrie vectorielle s'il conserve la norme.

Caractérisations par la conservation du produit scalaire, par l'image d'une base orthonormée.

Groupe orthogonal.

Exemple : symétries orthogonales, cas particulier des réflexions.

Notation $O(E)$.

On vérifie les propriétés lui conférant une structure de groupe, mais la définition axiomatique des groupes est hors programme.

Stabilité de l'orthogonal d'un sous-espace stable.

b) Matrices orthogonales

Une matrice A de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ est orthogonale si $A^T A = I_n$.

Caractérisation d'une isométrie vectorielle à l'aide de sa matrice dans une base orthonormée.

Groupe orthogonal.

Déterminant d'une matrice orthogonale. Groupe spécial orthogonal.

Orientation. Bases orthonormées directes.

Interprétation en termes de colonnes et de lignes.

Caractérisation comme matrice de changement de base orthonormée.

On mentionne la terminologie « automorphisme orthogonal », tout en lui préférant celle d'« isométrie vectorielle ».

Notations $O_n(\mathbb{R})$, $O(n)$.

Notations $SO_n(\mathbb{R})$, $SO(n)$.

c) Espace euclidien orienté de dimension 2 ou 3

Déterminant d'une famille de vecteurs dans une base orthonormée directe : produit mixte.

Produit vectoriel. Calcul dans une base orthonormée directe.

Orientation d'un plan ou d'une droite dans un espace euclidien orienté de dimension 3.

Notations $[u, v]$, $[u, v, w]$.

Interprétation géométrique comme aire ou volume.

d) Isométries vectorielles d'un plan euclidien

Description des matrices de $O_2(\mathbb{R})$, de $SO_2(\mathbb{R})$.

Rotation vectorielle d'un plan euclidien orienté.

Classification des isométries vectorielles d'un plan euclidien.

Commutativité de $SO_2(\mathbb{R})$.

On introduit à cette occasion, sans soulever de difficulté, la notion de mesure d'un angle orienté de vecteurs non nuls.

e) Isométries d'un espace euclidien de dimension 3

Description des matrices de $SO_3(\mathbb{R})$.

Rotation vectorielle d'un espace euclidien orienté de dimension 3.

Axe et mesure de l'angle d'une rotation.

f) Réduction des endomorphismes autoadjoints et des matrices symétriques réelles

Endomorphisme autoadjoint d'un espace euclidien.

Caractérisation d'un endomorphisme autoadjoint à l'aide de sa matrice dans une base orthonormée.

Théorème spectral :

tout endomorphisme autoadjoint d'un espace euclidien admet une base orthonormée de vecteurs propres.

Endomorphisme autoadjoint positif, défini positif.

Matrice symétrique positive, définie positive.

Notation $\mathcal{S}(E)$.

Caractérisation des projecteurs orthogonaux.

On mentionne la terminologie « endomorphisme symétrique », tout en lui préférant celle d'« endomorphisme autoadjoint ».

La démonstration n'est pas exigible.

Forme matricielle du théorème spectral.

Caractérisation spectrale. Notations $\mathcal{S}^+(E)$, $\mathcal{S}^{++}(E)$.

Caractérisation spectrale. Notations $\mathcal{S}_n^+(\mathbb{R})$, $\mathcal{S}_n^{++}(\mathbb{R})$.

Espaces vectoriels normés

Cette section vise les objectifs suivants :

- généraliser au cas des espaces vectoriels sur $\mathbb{K} = \mathbb{R}$ ou \mathbb{C} certaines notions (convergence de suites, limite et continuité de fonctions) étudiées en première année dans le cadre de l'analyse réelle, indispensables pour aborder l'étude des suites de matrices, des fonctions à valeurs vectorielles et du calcul différentiel;
- fournir un cadre topologique à la convergence des suites et séries de fonctions.

Les notions seront illustrées par des exemples concrets et variés.

Il convient de souligner l'aspect géométrique des concepts topologiques à l'aide de nombreuses figures.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Normes

Norme sur un espace vectoriel réel ou complexe.
Espace vectoriel normé.
Norme associée à un produit scalaire sur un espace pré-hilbertien réel.

Normes usuelles $\| \cdot \|_1$, $\| \cdot \|_2$ et $\| \cdot \|_\infty$ sur \mathbb{K}^n .
Norme $\| \cdot \|_\infty$ sur un espace de fonctions bornées à valeurs dans \mathbb{K} .
L'égalité $\sup(kA) = k \sup(A)$ pour A partie non vide de \mathbb{R} et $k \in \mathbb{R}^+$ peut être directement utilisée.

Distance associée à une norme.
Boule ouverte, boule fermée, sphère.
Partie convexe.
Partie bornée, suite bornée, fonction bornée.

Convexité des boules.

b) Suites d'éléments d'un espace vectoriel normé

Convergence et divergence d'une suite.
Unicité de la limite. Opérations sur les limites.
Une suite convergente est bornée.
Toute suite extraite d'une suite convergente est convergente.

Exemples dans des espaces de matrices, dans des espaces de fonctions.

c) Comparaison des normes

Normes équivalentes.

Invariance du caractère borné, de la convergence d'une suite.
Utilisation de suites pour montrer que deux normes ne sont pas équivalentes.
La comparaison effective de deux normes n'est pas un objectif du programme. On se limite en pratique à des exemples élémentaires.

d) Topologie d'un espace vectoriel normé

Point intérieur à une partie.
Ouvert d'un espace normé.
Stabilité par réunion quelconque, par intersection finie.
Fermé d'un espace normé.

Une boule ouverte est un ouvert.

Caractérisation séquentielle.
Une boule fermée, une sphère, sont des fermés.

Stabilité par réunion finie, par intersection quelconque.
Point adhérent à une partie, adhérence.

L'adhérence est l'ensemble des points adhérents.
Caractérisation séquentielle. Toute autre propriété de l'adhérence est hors programme.

Partie dense.
Invariance des notions topologiques par passage à une norme équivalente.

e) Limite et continuité en un point

Limite d'une fonction en un point adhérent à son domaine de définition.	Caractérisation séquentielle.
Opérations algébriques sur les limites, composition.	
Continuité en un point.	Caractérisation séquentielle.

f) Continuité sur une partie

Opérations algébriques, composition.	
Image réciproque d'un ouvert, d'un fermé par une application continue.	Si f est une application continue de E dans \mathbb{R} alors l'ensemble défini par $f(x) > 0$ est un ouvert et les ensembles définis par $f(x) = 0$ ou $f(x) \geq 0$ sont des fermés.
Fonction lipschitzienne. Toute fonction lipschitzienne est continue.	

g) Espaces vectoriels normés de dimension finie

Équivalence des normes en dimension finie.	La démonstration est hors programme. La convergence d'une suite (ou l'existence de la limite d'une fonction) à valeurs dans un espace vectoriel normé de dimension finie équivaut à celle de chacune de ses coordonnées dans une base.
Théorème des bornes atteintes : toute fonction réelle continue sur une partie non vide fermée bornée d'un espace vectoriel normé de dimension finie est bornée et atteint ses bornes.	La démonstration est hors programme.
Continuité des applications linéaires, multilinéaires et polynomiales.	La notion de norme subordonnée est hors programme. Exemples du déterminant, du produit matriciel.

Suites et séries de fonctions**A - Compléments sur les séries numériques**

*Cette section a pour objectif de consolider et d'élargir les acquis de première année sur les séries, notamment la convergence absolue, en vue de l'étude des probabilités discrètes et des séries de fonctions.
L'étude de la semi-convergence n'est pas un objectif du programme.*

a) Compléments sur les séries numériques

Technique de comparaison série-intégrale.	Les étudiants doivent savoir utiliser la comparaison série-intégrale pour établir des convergences et des divergences de séries, estimer des sommes partielles de séries divergentes ou des restes de séries convergentes dans le cas d'une fonction monotone.
Formule de Stirling : équivalent de $n!$.	La démonstration n'est pas exigible.
Règle de d'Alembert.	
Théorème spécial des séries alternées, majoration et signe du reste.	La transformation d'Abel est hors programme.
Produit de Cauchy de deux séries absolument convergentes.	La démonstration n'est pas exigible.

B - Suites et séries de fonctions

Cette section a pour objectif de définir différents modes de convergence d'une suite, d'une série de fonctions et d'étudier le transfert à la limite, à la somme des propriétés des fonctions.

Les fonctions sont définies sur un intervalle I de \mathbb{R} et à valeurs dans \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

a) Modes de convergence d'une suite ou d'une série de fonctions

Convergence simple d'une suite de fonctions. Convergence uniforme. La convergence uniforme entraîne la convergence simple.

Norme de la convergence uniforme sur l'espace des fonctions bornées à valeurs dans \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

Convergence simple, convergence uniforme, convergence normale d'une série de fonctions.

La convergence normale entraîne la convergence uniforme.

Utilisation d'une majoration uniforme de $|f_n(x)|$ pour établir la convergence normale de $\sum f_n$.

La convergence normale entraîne la convergence absolue en tout point.

b) Régularité de la limite d'une suite de fonctions

Continuité de la limite d'une suite de fonctions :

si une suite (f_n) de fonctions continues sur I converge uniformément vers f sur I , alors f est continue sur I .

En pratique, on vérifie la convergence uniforme sur tout segment, ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.

Intégration sur un segment de la limite d'une suite de fonctions :

si une suite (f_n) de fonctions continues converge uniformément vers f sur $[a, b]$ alors :

$$\int_a^b f_n(t) dt \xrightarrow{n \rightarrow +\infty} \int_a^b f(t) dt.$$

Dérivabilité de la limite d'une suite de fonctions :

si une suite (f_n) de fonctions de classe \mathcal{C}^1 sur un intervalle I converge simplement sur I vers une fonction f , et si la suite (f'_n) converge uniformément sur I vers une fonction g , alors f est de classe \mathcal{C}^1 sur I et $f' = g$.

En pratique, on vérifie la convergence uniforme sur tout segment, ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.

Extension aux suites de fonctions de classe \mathcal{C}^k , sous l'hypothèse de convergence uniforme de $(f_n^{(k)})$ et de convergence simple de $(f_n^{(j)})$ pour $0 \leq j < k$.

c) Régularité de la somme d'une série de fonctions

Continuité de la somme d'une série de fonctions :

si une série $\sum f_n$ de fonctions continues sur I converge uniformément sur I , alors sa somme est continue sur I .

En pratique, on vérifie la convergence uniforme sur tout segment, ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.

Théorème de la double limite :

si une série $\sum f_n$ de fonctions définies sur I converge uniformément sur I et si, pour tout n , f_n admet une limite ℓ_n en a borne de I (éventuellement infinie), alors la série $\sum \ell_n$ converge, la somme de la série admet une limite en a et :

La démonstration est hors programme.

$$\sum_{n=0}^{+\infty} f_n(x) \xrightarrow{x \rightarrow a} \sum_{n=0}^{+\infty} \ell_n.$$

Intégration de la somme d'une série de fonctions sur un segment :

si une série $\sum f_n$ de fonctions continues converge uniformément sur $[a, b]$ alors la série des intégrales est convergente et :

$$\int_a^b \sum_{n=0}^{+\infty} f_n(t) dt = \sum_{n=0}^{+\infty} \int_a^b f_n(t) dt.$$

Dérivation de la somme d'une série de fonctions :

si une série $\sum f_n$ de classe \mathcal{C}^1 converge simplement sur un intervalle I et si la série $\sum f'_n$ converge uniformément

sur I , alors la somme $\sum_{n=0}^{+\infty} f_n$ est de classe \mathcal{C}^1 sur I et sa

dérivée est $\sum_{n=0}^{+\infty} f'_n$.

En pratique, on vérifie la convergence uniforme sur tout segment ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.

Extension à la classe \mathcal{C}^k sous hypothèse similaire à celle décrite dans le cas des suites de fonctions.

C - Séries entières

Les objectifs de cette section sont les suivants :

- étudier la convergence d'une série entière et mettre en évidence la notion de rayon de convergence;
- étudier les propriétés de sa somme en se limitant à la continuité dans le cas d'une variable complexe;
- établir les développements en série entière des fonctions usuelles.

Les séries entières trouveront un cadre d'application dans la notion de fonction génératrice en probabilités et au détour d'exemples de résolution d'équations différentielles linéaires.

a) Rayon de convergence

Série entière de la variable réelle, de la variable complexe.

Lemme d'Abel :

si la suite $(a_n z_0^n)$ est bornée alors, pour tout nombre complexe z tel que $|z| < |z_0|$, la série $\sum a_n z^n$ est absolument convergente.

Rayon de convergence R défini comme borne supérieure dans $[0, +\infty)$ de l'ensemble des réels positifs r tels que la suite $(a_n r^n)$ est bornée.

Intervalle ouvert de convergence.

Disque ouvert de convergence.

Avec R_a (resp. R_b) le rayon de convergence de $\sum a_n z^n$, (resp. $\sum b_n z^n$) :

- si $a_n = O(b_n)$, alors $R_a \geq R_b$;
- si $a_n \sim b_n$, alors $R_a = R_b$.

La série $\sum a_n z^n$ converge absolument si $|z| < R$, et elle diverge grossièrement si $|z| > R$.

Pour $\alpha \in \mathbb{R}$, $R(\sum n^\alpha x^n) = 1$.

Le résultat s'applique en particulier lorsque $a_n = o(b_n)$.

Application de la règle de d'Alembert pour les séries numériques au calcul du rayon.

Rayon de convergence de la somme et du produit de Cauchy de deux séries entières.

La limite du rapport $\frac{|a_{n+1}|}{|a_n|}$ peut être directement utilisée.

b) Régularité de la somme d'une série entière de la variable réelle

Convergence normale d'une série entière d'une variable réelle sur tout segment inclus dans l'intervalle ouvert de convergence.

Continuité de la somme sur l'intervalle ouvert de convergence.

Primitivation d'une série entière d'une variable réelle sur l'intervalle ouvert de convergence.

Caractère \mathcal{C}^∞ de la somme d'une série entière d'une variable réelle sur l'intervalle ouvert de convergence et obtention des dérivées par dérivation terme à terme.

Expression des coefficients d'une série entière de rayon de convergence strictement positif au moyen des dérivées successives en 0 de sa somme.

L'étude des propriétés de la somme au bord de l'intervalle ouvert de convergence n'est pas un objectif du programme.

Relation $R(\sum a_n x^n) = R(\sum n a_n x^n)$.

c) Développement en série entière au voisinage de 0 d'une fonction d'une variable réelle

Fonction développable en série entière sur un intervalle $] -r, r[$.

Série de Taylor d'une fonction de classe \mathcal{C}^∞ .

Unicité du développement en série entière.

Développements des fonctions usuelles.

Formule de Taylor avec reste intégral.

Les étudiants doivent connaître les développements en série entière des fonctions : exponentielle, cosinus, sinus, cosinus et sinus hyperboliques, Arctan, $x \mapsto \ln(1+x)$ et $x \mapsto (1+x)^\alpha$.

Les étudiants doivent savoir développer une fonction en série entière à l'aide d'une équation différentielle linéaire.

d) Séries géométrique et exponentielle d'une variable complexe

Continuité de la somme d'une série entière de la variable complexe sur le disque ouvert de convergence.

Développement de $\frac{1}{1-z}$ sur le disque unité ouvert.

Développement de $\exp(z)$ sur \mathbb{C} .

La démonstration est hors programme.

Intégration sur un intervalle quelconque

Cette section vise les objectifs suivants :

- étendre la notion d'intégrale étudiée en première année à des fonctions continues par morceaux sur un intervalle quelconque par le biais des intégrales généralisées ;
- définir, dans le cadre des fonctions continues par morceaux, la notion de fonction intégrable ;
- compléter la section dédiée aux suites et aux séries de fonctions par les théorèmes de convergence dominée et d'intégration terme à terme ;
- étudier les fonctions définies par des intégrales dépendant d'un paramètre.

On évite tout excès de rigueur dans la rédaction. Ainsi, dans les calculs concrets mettant en jeu l'intégration par parties ou le changement de variable, on n'impose pas de rappeler les hypothèses de régularité des résultats utilisés. De même, dans l'application des théorèmes de passage à la limite sous l'intégrale ou de régularité des intégrales à paramètre, on se limite à la vérification des hypothèses cruciales, sans insister sur la continuité par morceaux en la variable d'intégration.

Les fonctions considérées sont définies sur un intervalle de \mathbb{R} et à valeurs dans \mathbb{K} , ensemble des nombres réels ou des nombres complexes.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Fonctions continues par morceaux

Fonctions continues par morceaux sur un segment, sur un intervalle de \mathbb{R} .

Intégrale sur un segment d'une fonction continue par morceaux.

Brève extension des propriétés de l'intégrale d'une fonction continue sur un segment étudiées en première année. Aucune construction n'est exigible.

b) Intégrales généralisées sur un intervalle de la forme $[a, +\infty[$

Pour f continue par morceaux sur $[a, +\infty[$, l'intégrale $\int_a^{+\infty} f(t) dt$ est dite convergente si $\int_a^x f(t) dt$ a une limite finie lorsque x tend vers $+\infty$.

Notations $\int_a^{+\infty} f$, $\int_a^{+\infty} f(t) dt$.
Intégrale convergente (resp. divergente) en $+\infty$.

Si f est continue par morceaux sur $[a, +\infty[$ et à valeurs positives, alors $\int_a^{+\infty} f(t) dt$ converge si et seulement si $x \mapsto \int_a^x f(t) dt$ est majorée.

Si f et g sont deux fonctions continues par morceaux sur $[a, +\infty[$ telles que $0 \leq f \leq g$, la convergence de $\int_a^{+\infty} g$ implique celle de $\int_a^{+\infty} f$.

c) Intégrales généralisées sur un intervalle quelconque

Adaptation du paragraphe précédent aux fonctions continues par morceaux définies sur un intervalle semi-ouvert ou ouvert de \mathbb{R} .

Propriétés des intégrales généralisées :
linéarité, positivité, croissance, relation de Chasles.

Notations $\int_a^b f$, $\int_a^b f(t) dt$.
Intégrale convergente (resp. divergente) en b , en a .

Intégration par parties sur un intervalle quelconque :

$$\int_a^b f(t) g'(t) dt = [fg]_a^b - \int_a^b f'(t) g(t) dt.$$

La démonstration n'est pas exigible.
L'existence des limites finies du produit fg aux bornes de l'intervalle assure que les intégrales de fg' et $f'g$ sont de même nature.
Pour les applications pratiques, on ne demande pas de rappeler les hypothèses de régularité.

Changement de variable :

si $\varphi :]\alpha, \beta[\rightarrow]a, b[$ est une bijection strictement croissante de classe \mathcal{C}^1 , et si f est continue sur $]a, b[$, alors $\int_a^b f(t) dt$ et $\int_\alpha^\beta (f \circ \varphi)(u) \varphi'(u) du$ sont de même nature, et égales en cas de convergence.

La démonstration n'est pas exigible.

Adaptation au cas où φ est strictement décroissante.

On applique ce résultat sans justification dans les cas de changements de variable usuels.

d) Intégrales absolument convergentes et fonctions intégrables

Intégrale absolument convergente.

La convergence absolue implique la convergence.

Inégalité triangulaire.

Une fonction est dite intégrable sur un intervalle I si elle est continue par morceaux sur I et son intégrale sur I est absolument convergente.

Espace vectoriel $L^1(I, \mathbb{K})$ des fonctions intégrables sur I à valeurs dans \mathbb{K} .

Si f est continue, intégrable et positive sur I , et si $\int_I f(t) dt = 0$, alors f est identiquement nulle.

Théorème de comparaison :

pour f et g deux fonctions continues par morceaux sur $[a, +\infty[$:

- si $f(t) \underset{t \rightarrow +\infty}{=} O(g(t))$, alors l'intégrabilité de g en $+\infty$ implique celle de f .
- si $f(t) \underset{t \rightarrow +\infty}{\sim} g(t)$, alors l'intégrabilité de f en $+\infty$ est équivalente à celle de g .

L'étude des intégrales semi-convergentes n'est pas un objectif du programme.

Notations $\int_I f, \int_I f(t) dt$.

Pour $I = [a, b[$ (respectivement $]a, b]$), fonction intégrable en b (resp. en a).

Adaptation au cas d'un intervalle quelconque.

Le résultat s'applique en particulier si $f(t) \underset{t \rightarrow +\infty}{=} o(g(t))$.

Fonctions de référence :

pour $\alpha \in \mathbb{R}$,

- intégrales de Riemann : étude de l'intégrabilité de $t \mapsto \frac{1}{t^\alpha}$ en $+\infty$, en 0^+ ;
- étude de l'intégrabilité de $t \mapsto e^{-\alpha t}$ en $+\infty$.

L'intégrabilité de $t \mapsto \ln t$ en 0 peut être directement utilisée.

Les résultats relatifs à l'intégrabilité de $x \mapsto \frac{1}{|x-a|^\alpha}$ en a peuvent être directement utilisés.

Plus généralement, les étudiants doivent savoir que la fonction $x \mapsto f(x)$ est intégrable en a^+ (resp. en b^-) si $t \mapsto f(a+t)$ (resp. $t \mapsto f(b-t)$) l'est en 0^+ .

e) Suites et séries de fonctions intégrables

Pour l'application pratique des énoncés de ce paragraphe, on vérifie les hypothèses de convergence simple et de domination (resp. convergence de la série des intégrales), sans expliciter celles relatives à la continuité par morceaux.

Théorème de convergence dominée :

si une suite (f_n) de fonctions continues par morceaux sur I converge simplement vers une fonction f continue par morceaux sur I et s'il existe une fonction φ intégrable sur I vérifiant $|f_n| \leq \varphi$ pour tout n , alors les fonctions f_n et f sont intégrables sur I et :

$$\int_I f_n(t) dt \xrightarrow{n \rightarrow +\infty} \int_I f(t) dt.$$

La démonstration est hors programme.

Théorème d'intégration terme à terme :

si une série $\sum f_n$ de fonctions intégrables sur I converge simplement, si sa somme est continue par morceaux sur I , et si la série $\sum \int_I |f_n(t)| dt$ converge, alors $\sum_{n=0}^{+\infty} f_n$ est intégrable sur I et :

$$\int_I \sum_{n=0}^{+\infty} f_n(t) dt = \sum_{n=0}^{+\infty} \int_I f_n(t) dt.$$

La démonstration est hors programme.

On présente des exemples sur lesquels cet énoncé ne s'applique pas, mais dans lesquels l'intégration terme à terme peut être justifiée par le théorème de convergence dominée pour les sommes partielles.

f) Régularité d'une fonction définie par une intégrale à paramètre

Pour l'application pratique des énoncés de ce paragraphe, on vérifie les hypothèses de régularité par rapport à x et de domination, sans expliciter celles relatives à la continuité par morceaux par rapport à t .

Théorème de continuité :

si A et I sont deux intervalles de \mathbb{R} et f une fonction définie sur $A \times I$, telle que :

- pour tout $t \in I$, $x \mapsto f(x, t)$ est continue sur A ;
- pour tout $x \in A$, $t \mapsto f(x, t)$ est continue par morceaux sur I ;
- il existe une fonction φ intégrable sur I , telle que pour tout $(x, t) \in A \times I$, on ait $|f(x, t)| \leq \varphi(t)$;

alors la fonction $x \mapsto \int_I f(x, t) dt$ est définie et continue sur A .

Théorème de convergence dominée à paramètre continu : si A et I sont deux intervalles de \mathbb{R} , a une borne de A et f une fonction définie sur $A \times I$ telle que :

- pour tout $t \in I$, $f(x, t) \xrightarrow{x \rightarrow a} \ell(t)$;
- pour tout $x \in A$, $t \mapsto f(x, t)$ et $t \mapsto \ell(t)$ sont continues par morceaux sur I ;
- il existe une fonction φ intégrable sur I , telle que pour tout $(x, t) \in A \times I$, on ait $|f(x, t)| \leq \varphi(t)$;

alors ℓ est intégrable sur I et :

$$\int_I f(x, t) dt \xrightarrow{x \rightarrow a} \int_I \ell(t) dt.$$

Théorème de dérivation :

si A et I sont deux intervalles de \mathbb{R} et f une fonction définie sur $A \times I$, telle que :

- pour tout $t \in I$, $x \mapsto f(x, t)$ est de classe \mathcal{C}^1 sur A ;
- pour tout $x \in A$, $t \mapsto f(x, t)$ est intégrable sur I ;
- pour tout $x \in A$, $t \mapsto \frac{\partial f}{\partial x}(x, t)$ est continue par morceaux sur I ;
- il existe une fonction φ intégrable sur I , telle que pour tout $(x, t) \in A \times I$, on ait $\left| \frac{\partial f}{\partial x}(x, t) \right| \leq \varphi(t)$;

alors la fonction $g : x \mapsto \int_I f(x, t) dt$ est de classe \mathcal{C}^1 sur A et vérifie :

$$\forall x \in A, \quad g'(x) = \int_I \frac{\partial f}{\partial x}(x, t) dt.$$

Extension à la classe \mathcal{C}^k d'une intégrale à paramètre, sous

hypothèse de domination de $t \mapsto \frac{\partial^k f}{\partial x^k}(x, t)$ et d'intégrabi-

lité des $t \mapsto \frac{\partial^j f}{\partial x^j}(x, t)$ pour $0 \leq j < k$.

En pratique, on vérifie l'hypothèse de domination sur tout segment de A , ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.

On remarque qu'il s'agit d'une simple extension du théorème relatif aux suites de fonctions.

La démonstration n'est pas exigible.

En pratique, on vérifie l'hypothèse de domination sur tout segment de A , ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.

Exemples d'études de fonctions définies comme intégrales à paramètre : régularité, étude asymptotique, exploitation d'une équation différentielle élémentaire.

Variables aléatoires discrètes

On généralise l'étude des variables aléatoires à valeurs dans un ensemble fini menée en première année aux variables aléatoires discrètes. Ces outils permettent d'aborder, sur des exemples simples, l'étude de procédés stochastiques à temps discret. La mise en place du cadre de cette étude se veut à la fois minimale, pratique et rigoureuse :

- la notion de tribu n'appelle aucun autre développement que sa définition;
- l'étude de la dénombrabilité d'un ensemble et la construction d'espaces probabilisés sont hors programme;
- les diverses notions de convergences (presque sûre, en probabilité, en loi, etc.) sont hors programme.

Toutes les variables aléatoires mentionnées dans le programme sont implicitement supposées discrètes.

La notion de variable à densité est hors programme.

La notion d'espérance conditionnelle est hors programme.

A - Ensembles dénombrables, familles sommables

Ce préambule propose une introduction a minima de la dénombrabilité et des familles sommables, afin de poser les bases de vocabulaire, méthodes et résultats qui seront admis, et directement utilisés. Chaque professeur est libre d'en adapter le contenu au niveau de formalisme qu'il juge préférable pour ses étudiants.

Ces notions ne feront l'objet d'aucune évaluation spécifique, et leur usage est strictement réservé au contexte probabiliste.

- Un ensemble est dit (au plus) dénombrable s'il est en bijection avec (une partie de) \mathbb{N} , c'est-à-dire s'il peut être décrit en extension sous la forme $\{x_i, i \in I\}$ où $I = \mathbb{N}$ ($I \subset \mathbb{N}$) avec des x_i distincts.

Sont dénombrables : \mathbb{Z} , un produit cartésien d'un nombre fini d'ensembles dénombrables, une union au plus dénombrable d'ensembles dénombrables. Une partie d'un ensemble dénombrable est au plus dénombrable.

- En vue de généraliser les sommes finies et les sommes de séries de réels positifs, on admet sans soulever de difficulté qu'on sait associer à toute famille au plus dénombrable $(x_i)_{i \in I}$ d'éléments de $[0, +\infty]$ sa somme

$$\sum_{i \in I} x_i \in [0, +\infty], \text{ et que pour tout découpage en paquets } I = \bigcup_{n \in \mathbb{N}} I_n \text{ de } I, \sum_{i \in I} x_i = \sum_{n=0}^{+\infty} \left(\sum_{i \in I_n} x_i \right).$$

La famille $(x_i)_{i \in I}$ d'éléments de $[0, +\infty]$ est dite sommable si $\sum_{i \in I} x_i < \infty$. En pratique, dans le cas positif, les étudiants peuvent découper, calculer et majorer leurs sommes directement, la finitude de la somme valant preuve de sommabilité.

- Une famille $(x_i)_{i \in I}$ au plus dénombrable de nombres complexes est dite sommable si $(|x_i|)_{i \in I}$ l'est. Pour $I = \mathbb{N}$, la sommabilité d'une suite équivaut à la convergence absolue de la série associée. Si $|x_i| \leq y_i$ pour tout $i \in I$, la sommabilité de $(y_i)_{i \in I}$ implique celle de $(x_i)_{i \in I}$.

En cas de sommabilité, les sommes se manipulent naturellement grâce aux propriétés suivantes : croissance, linéarité, sommation par paquets, théorème de Fubini, produit de deux sommes.

B - Probabilités, variables aléatoires discrètes et lois usuelles

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Univers, événements, variables aléatoires discrètes

Univers Ω , tribu \mathcal{A} . Espace probabilisable (Ω, \mathcal{A}) .

On se limite à la définition et à la stabilité par les opérations ensemblistes finies ou dénombrables.

Traduction de la réalisation des événements

$\bigcap_{n=0}^{+\infty} A_n$ à l'aide des quantificateurs \exists et \forall .

Événements.

Généralisation du vocabulaire relatif aux événements introduit en première année.

Une variable aléatoire discrète X est une application définie sur Ω , telle que $X(\Omega)$ est au plus dénombrable et, pour tout $x \in X(\Omega)$, $X^{-1}(\{x\})$ est un événement.

L'univers Ω n'est en général pas explicite.

Notations $(X = x)$, $\{X = x\}$, $(X \in A)$.

Notation $(X \geq x)$ (et analogues) lorsque X est à valeurs réelles.

b) Probabilité

Probabilité sur (Ω, \mathcal{A}) , σ -additivité.
 Espace probabilisé (Ω, \mathcal{A}, P) .
 Probabilité de la réunion ou de la différence de deux événements, de l'événement contraire.
 Croissance de la probabilité.
 Continuité croissante, continuité décroissante.

Notation $P(A)$.

Application : pour une suite $(A_n)_{n \in \mathbb{N}}$ d'événements (non nécessairement monotone), limites quand n tend vers l'infini de

$$P\left(\bigcup_{k=0}^n A_k\right) \quad \text{et} \quad P\left(\bigcap_{k=0}^n A_k\right).$$

Sous-additivité : $P\left(\bigcup_{n=0}^{+\infty} A_n\right) \leq \sum_{n=0}^{+\infty} P(A_n)$.

En cas de divergence de la série à termes positifs $\sum P(A_n)$, on rappelle que

$$\sum_{n=0}^{+\infty} P(A_n) = +\infty.$$

Événement presque sûr, événement négligeable.

Système quasi-complet d'événements.

c) Probabilités conditionnelles

Si $P(B) > 0$, la probabilité conditionnelle de A sachant B est définie par la relation $P(A|B) = P_B(A) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$.

L'application P_B définit une probabilité.
 Formule des probabilités composées.
 Formule des probabilités totales.

Si $(A_n)_{n \geq 0}$ est un système complet ou quasi-complet d'événements, alors

$$P(B) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(B \cap A_n) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(B|A_n)P(A_n)$$

On rappelle la convention $P(B|A_n)P(A_n) = 0$ lorsque $P(A_n) = 0$.

Formule de Bayes.

d) Loi d'une variable aléatoire discrète

Loi P_X d'une variable aléatoire discrète.

La probabilité P_X est déterminée par la distribution de probabilités $(P(X = x))_{x \in X(\Omega)}$.

Variable aléatoire $f(X)$.
 Si $X \sim Y$ alors $f(X) \sim f(Y)$.

On note $X \sim Y$ lorsque les variables X et Y suivent la même loi, sans soulever de difficulté sur cette notation.
 On ne soulève aucune difficulté sur le fait que $f(X)$ est une variable aléatoire.

Variable géométrique de paramètre $p \in]0, 1[$:
 $\forall k \in \mathbb{N}^*, P(X = k) = p(1 - p)^{k-1}$.

Notation $X \sim \mathcal{G}(p)$.
 Relation $P(X > k) = (1 - p)^k$.

Interprétation comme rang du premier succès dans une suite illimitée d'épreuves de Bernoulli indépendantes et de même paramètre p .

Variable de Poisson de paramètre $\lambda > 0$:
 $\forall k \in \mathbb{N}, P(X = k) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!}$.

Notation $X \sim \mathcal{P}(\lambda)$.
 Interprétation en termes d'événements rares.

Couple de variables aléatoires discrètes.

Un couple de variables aléatoires est une variable aléatoire à valeurs dans un produit.

Notation $P(X = x, Y = y)$.

Extension aux n -uplets de variables aléatoires.

Loi conjointe, lois marginales.
 Loi conditionnelle de Y sachant un événement A .

e) Événements indépendants

Indépendance de deux événements.

Si $P(B) > 0$, l'indépendance de A et B équivaut à $P(A|B) = P(A)$.

Indépendance d'une famille finie d'événements.

L'indépendance deux à deux n'entraîne pas l'indépendance.

Si A et B sont indépendants, A et \bar{B} le sont aussi.Extension au cas de n événements.**f) Variables aléatoires indépendantes**Deux variables aléatoires discrètes X et Y définies sur Ω sont indépendantes si, pour tout $A \subset X(\Omega)$ et $B \subset Y(\Omega)$, les événements $(X \in A)$ et $(Y \in B)$ sont indépendants.Notation $X \perp\!\!\!\perp Y$.De façon équivalente, la distribution de probabilités de (X, Y) est donnée par

$$P(X = x, Y = y) = P(X = x)P(Y = y).$$

Extension au cas de n variables aléatoires.

Suites de variables aléatoires indépendantes, suites i.i.d.

On ne soulève aucune difficulté quant à l'existence d'un espace probabilisé portant une suite i.i.d.

Modélisation du jeu de pile ou face infini : suite i.i.d. de variables de Bernoulli.

Fonctions de variables indépendantes :

si $X \perp\!\!\!\perp Y$, alors $f(X) \perp\!\!\!\perp g(Y)$.

Lemme des coalitions :

si les variables aléatoires X_1, \dots, X_n sont indépendantes, alors $f(X_1, \dots, X_m)$ et $g(X_{m+1}, \dots, X_n)$ le sont aussi.

Extension au cas de plus de deux variables aléatoires.

Extension au cas de plus de deux coalitions.

C - Espérance et variance**a) Espérance d'une variable aléatoire discrète réelle ou complexe**Espérance d'une variable aléatoire à valeurs dans $[0, +\infty]$, définie par

$$E(X) = \sum_{x \in X(\Omega)} xP(X = x).$$

On adopte la convention $xP(X = x) = 0$ lorsque $x = +\infty$ et $P(X = +\infty) = 0$.Variable aléatoire X à valeurs réelles ou complexes d'espérance finie, espérance de X . X est d'espérance finie si la famille $(xP(X = x))_{x \in X(\Omega)}$ est sommable. Dans ce cas, la somme de cette famille est l'espérance de X .

Variable centrée.

Pour X variable aléatoire à valeurs dans $\mathbb{N} \cup \{+\infty\}$, relation :

$$E(X) = \sum_{n=1}^{+\infty} P(X \geq n).$$

Espérance d'une variable géométrique, de Poisson.

Formule de transfert :

 $f(X)$ est d'espérance finie si et seulement si la famille $(f(x)P(X = x))_{x \in X(\Omega)}$ est sommable. Dans ce cas :

$$E(f(X)) = \sum_{x \in X(\Omega)} f(x)P(X = x).$$

On remarque que la formule s'applique aux couples, aux n -uplets de variables aléatoires.

Linéarité de l'espérance.

Si $|X| \leq Y$ et $E(Y) < +\infty$, alors X est d'espérance finie.

Positivité, croissance de l'espérance.

Si X est positive et d'espérance nulle, alors $(X = 0)$ est presque sûr.

Pour X et Y deux variables aléatoires indépendantes d'espérance finie, alors XY est d'espérance finie et :

$$E(XY) = E(X)E(Y).$$

Extension au cas de n variables aléatoires.

b) Variance d'une variable aléatoire discrète réelle, écart type et covariance

Si X^2 est d'espérance finie, X est d'espérance finie.

Inégalité de Cauchy-Schwarz :

si X^2 et Y^2 sont d'espérance finie, alors XY l'est aussi et :

$$E(XY)^2 \leq E(X^2)E(Y^2)$$

Cas d'égalité.

Variance, écart type.

Notations $V(X)$, $\sigma(X)$.

Variable réduite.

Relation $V(X) = E(X^2) - E(X)^2$.

Relation $V(aX + b) = a^2V(X)$.

Si $\sigma(X) > 0$, la variable $\frac{X - E(X)}{\sigma(X)}$ est centrée réduite.

Variance d'une variable géométrique, de Poisson.

Covariance de deux variables aléatoires.

Relation $\text{Cov}(X, Y) = E(XY) - E(X)E(Y)$, cas de deux variables indépendantes.

Variance d'une somme finie, cas de variables deux à deux indépendantes.

c) Fonctions génératrices

Fonction génératrice de la variable aléatoire X à valeurs dans \mathbb{N} :

$$G_X(t) = E(t^X) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(X = n)t^n.$$

La série entière définissant G_X est de rayon ≥ 1 et converge normalement sur $[-1, 1]$. Continuité de G_X .

Les étudiants doivent savoir calculer rapidement la fonction génératrice d'une variable aléatoire de Bernoulli, binomiale, géométrique, de Poisson.

La loi d'une variable aléatoire X à valeurs dans \mathbb{N} est caractérisée par sa fonction génératrice G_X .

La variable aléatoire X est d'espérance finie si et seulement si G_X est dérivable en 1 ; dans ce cas $E(X) = G_X'(1)$.

Fonction génératrice d'une somme de deux variables aléatoires indépendantes à valeurs dans \mathbb{N} .

La démonstration de la réciproque n'est pas exigible.

Utilisation de G_X pour calculer $E(X)$ et $V(X)$.

Extension au cas d'une somme finie de variables aléatoires indépendantes.

d) Inégalités probabilistes

Inégalité de Markov.

Inégalité de Bienaymé-Tchebychev.

Loi faible des grands nombres :

si $(X_n)_{n \geq 1}$ est une suite i.i.d. de variables aléatoires de variance finie, alors en notant $S_n = \sum_{k=1}^n X_k$ et $m = E(X_1)$,

pour tout $\varepsilon > 0$:

$$P\left(\left|\frac{S_n}{n} - m\right| \geq \varepsilon\right) \xrightarrow{n \rightarrow +\infty} 0.$$

Loi faible des grands nombres :

si $(X_n)_{n \geq 1}$ est une suite i.i.d. de variables aléatoires de variance finie, alors, pour tout $\varepsilon > 0$,

$$P\left(\left|\frac{S_n}{n} - m\right| \geq \varepsilon\right) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0,$$

où $S_n = \sum_{k=1}^n X_k$ et $m = E(X_1)$.

Les étudiants doivent savoir retrouver, avec $\sigma = \sigma(X_1)$:

$$P\left(\left|\frac{S_n}{n} - m\right| \geq \varepsilon\right) \leq \frac{\sigma^2}{n\varepsilon^2}.$$

Calcul différentiel

A - Équations différentielles linéaires scalaires

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

Équation différentielle scalaire d'ordre 2 à coefficients continus $y'' + a(t)y' + b(t)y = c(t)$.

Forme des solutions : somme d'une solution particulière et de la solution générale de l'équation homogène.

Théorème de Cauchy linéaire : existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy.

Espace vectoriel des solutions de l'équation homogène, dimension.

La résolution explicite de l'équation différentielle doit comporter des indications.

Exemples d'utilisation de développements en série entière pour la recherche de solutions.

B - Dérivabilité des fonctions vectorielles

L'objectif de cette section est de généraliser aux fonctions à valeurs dans \mathbb{R}^n la notion de dérivée d'une fonction numérique. Toutes les fonctions sont définies sur un intervalle I de \mathbb{R} et à valeurs dans \mathbb{R}^n .

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

Interprétation d'une fonction à valeurs dans \mathbb{R}^n comme courbe paramétrée.

Dérivabilité en un point.

Dérivabilité sur un intervalle.

L'étude et le tracé d'arcs paramétrés sont hors programme.

Définition par le taux d'accroissement, caractérisation par le développement limité d'ordre un.

Traduction par les coordonnées dans la base canonique. Interprétation cinématique.

Combinaison linéaire de fonctions dérivables.

Dérivée de $L(f)$, où L est linéaire et f à valeurs dans \mathbb{R}^n .

Dérivée de $B(f, g)$, où B est bilinéaire, de $M(f_1, \dots, f_p)$, où M est p -linéaire, et f, g, f_1, \dots, f_p à valeurs vectorielles.

Dérivée de $f \circ \varphi$ où φ est à valeurs réelles et f à valeurs vectorielles.

Fonction de classe \mathcal{C}^k , de classe \mathcal{C}^∞ sur un intervalle.

La démonstration n'est pas exigible.

Application au produit scalaire et au déterminant.

C - Fonctions de plusieurs variables

Les dérivées partielles d'une fonction numérique définie sur un ouvert de \mathbb{R}^2 ont été introduites en première année. L'objectif de cette section est d'approfondir et de généraliser cette étude aux fonctions de $p \geq 2$ variables.

L'étude d'une fonction de \mathbb{R}^p dans \mathbb{R}^n se ramenant à celle de ses coordonnées, cette section se consacre à l'étude des fonctions de \mathbb{R}^p dans \mathbb{R} . Elle est axée sur la mise en place d'outils permettant de traiter des applications du calcul différentiel à l'analyse et la géométrie. On se limite en pratique au cas $p = 2$ ou $p = 3$.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Fonctions de classe \mathcal{C}^1

Dérivée en un point selon un vecteur.

Notation $D_v f(a)$.

Dérivées partielles d'ordre 1 en un point d'une fonction définie sur un ouvert Ω de \mathbb{R}^p à valeurs dans \mathbb{R} .

Notation $\frac{\partial f}{\partial x_i}(a)$. On peut aussi utiliser $\partial_i f(a)$.

Une fonction est dite de classe \mathcal{C}^1 sur Ω si ses dérivées partielles d'ordre 1 existent et sont continues sur Ω .

Opérations sur les fonctions de classe \mathcal{C}^1 .

Une fonction de classe \mathcal{C}^1 sur Ω admet en tout point a de Ω un développement limité d'ordre 1.

La démonstration n'est pas exigible.

Différentielle de f en a .

Une fonction de classe \mathcal{C}^1 sur Ω est continue sur Ω .

Elle est définie comme la forme linéaire sur \mathbb{R}^p :

$$df(a) : (h_1, \dots, h_p) \mapsto \sum_{i=1}^p \frac{\partial f}{\partial x_i}(a) h_i.$$

Notation $df(a) \cdot h$.

b) Règle de la chaîne

Dérivée de $t \mapsto f(x_1(t), \dots, x_p(t))$.

Interprétation géométrique.

Application au calcul des dérivées partielles de :

$$(u_1, \dots, u_n) \mapsto f(x_1(u_1, \dots, u_n), \dots, x_p(u_1, \dots, u_n)).$$

En pratique, on se limite à $n \leq 3$ et $p \leq 3$.

Les étudiants doivent connaître le cas particulier des coordonnées polaires.

Caractérisation des fonctions constantes sur un ouvert convexe.

c) Gradient

Dans \mathbb{R}^p muni de sa structure euclidienne canonique, gradient d'une fonction de classe \mathcal{C}^1 .

Le gradient est défini par la relation $df(a) \cdot h = \langle \nabla f(a), h \rangle$ pour $h \in \mathbb{R}^p$.

Coordonnées du gradient.

Notation $\nabla f(a)$.

d) Applications géométriques

Courbe du plan définie par une équation $f(x, y) = 0$ où f est de classe \mathcal{C}^1 .

Lignes de niveau de f .

Point régulier. Le gradient est normal à la tangente en un point régulier.

On admet que la courbe admet un paramétrage local de classe \mathcal{C}^1 .

Détermination d'une équation de la tangente en un point régulier.

Lorsqu'il est non nul, le gradient de f est orthogonal aux lignes de niveau et orienté dans le sens des valeurs croissantes de f .

Surface définie par une équation $f(x, y, z) = 0$ où f est de classe \mathcal{C}^1 .

Point régulier. Le plan tangent en un point régulier est défini comme orthogonal au gradient.

Courbe tracée sur une surface.

Dans le cas d'une courbe régulière, la tangente à la courbe est incluse dans le plan tangent à la surface.

e) Fonctions de classe \mathcal{C}^2

Dérivées partielles d'ordre 2 d'une fonction définie sur un ouvert de \mathbb{R}^p à valeurs dans \mathbb{R} .

Fonction de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert de \mathbb{R}^p .

Théorème de Schwarz.

Matrice hessienne en un point a d'une fonction de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert de \mathbb{R}^p à valeurs dans \mathbb{R} .

Formule de Taylor-Young à l'ordre 2 :

$$f(a+h) \underset{h \rightarrow 0}{=} f(a) + \nabla f(a)^\top h + \frac{1}{2} h^\top H_f(a) h + o(\|h\|^2).$$

Notations $\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j}$.

La démonstration est hors programme.

Notation $H_f(a)$.

La démonstration est hors programme.

Expression en termes de produit scalaire.

f) Extremums d'une fonction de \mathbb{R}^p dans \mathbb{R}

Extremum local, global.

Point critique d'une application de classe \mathcal{C}^1 .

Si une fonction de classe \mathcal{C}^1 sur un ouvert de \mathbb{R}^p admet un extremum local en un point a , alors a est un point critique.

Si f est une fonction de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert de \mathbb{R}^p et a un point critique de f :

- si $H_f(a) \in \mathcal{S}_p^{++}(\mathbb{R})$, alors f atteint un minimum local strict en a ;
- si $H_f(a) \notin \mathcal{S}_p^+(\mathbb{R})$, alors f n'a pas de minimum en a .

Adaptation à l'étude d'un maximum local.

Explicitation pour $p = 2$ (trace et déterminant).

Exemples de recherche d'extremums globaux sur une partie de \mathbb{R}^p .



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Physique et sciences de l'ingénieur (PSI)

Annexe 2

Programme de physique-chimie

Programme de physique - chimie de la voie PSI

Préambule

Objectifs de formation

Le programme de physique-chimie de la classe de PSI est conçu comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques s'appuyant sur celles déjà travaillées au lycée et en classe de PCSI. Concernant la chimie, le programme de référence est celui de la classe de PCSI du semestre 1 à l'exception de la partie 2.3. intitulée « **Réactivité des espèces organiques et premières applications en synthèse** » ; il est complété par celui de la classe de PCSI option PSI du semestre 2. Le programme vise à préparer les étudiants à un cursus d'ingénieur, de chercheur ou d'enseignant. Il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique : observer et s'approprier, analyser et modéliser, réaliser et valider, et enfin communiquer et valoriser ses résultats.

L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour l'enseignant. Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales qui développent la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est au cœur de son enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ces derniers auront à le faire dans l'exercice de leur métier.

De même, l'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte la place nouvelle des sciences numériques dans la formation des scientifiques notamment dans le domaine de la simulation. Elles offrent aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation avancée du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires.

La démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits, et celui des modèles et des théories. L'enseignant doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative. La construction d'un modèle passe aussi par l'utilisation maîtrisée des mathématiques dont un des fondateurs de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde.

Enfin, l'autonomie et la prise d'initiative sont spécifiquement développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes » qui visent à exercer les étudiants à mobiliser de façon complémentaire connaissances et capacités pour répondre à un questionnement ou atteindre un but sans qu'aucune démarche de résolution ne soit fournie.

Organisation du programme

Le programme est organisé en deux parties.

Dans la première partie, intitulée « **Formation expérimentale** », sont décrits les objectifs de formation sur le thème « Mesures et incertitudes » ainsi que les méthodes et les capacités expérimentales que les étudiants doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre doit notamment s'appuyer sur des problématiques concrètes identifiées en gras dans la colonne « capacités exigibles » de la

seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». Elles doivent être programmées par l'enseignant de façon à assurer un apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.

La seconde partie, intitulée « Contenus thématiques » est structurée autour de huit thèmes : « Électronique », « Phénomènes de transport », « Bilans macroscopiques », « Électromagnétisme », « Conversion de puissance », « Physique des ondes », « Transformations de la matière : aspects thermodynamiques et cinétiques » et « Aspects thermodynamiques et cinétiques de l'électrochimie ». La présentation en deux colonnes (« notions et contenus » et « capacités exigibles ») met en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise.

Certains items de cette seconde partie, **identifiés en caractères gras** dans la colonne capacités exigibles, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant doivent être privilégiées. La présence de capacités numériques explicitées atteste par ailleurs de la volonté de renforcer ce volet de la formation des étudiants.

Trois annexes sont consacrées d'une part au matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes, d'autre part aux outils mathématiques et aux outils numériques que les étudiants doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie à la fin de l'année de PSI.

Ce programme précise les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il n'impose en aucun cas une progression ; celle-ci relève de la liberté pédagogique de l'enseignant.

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'ensemble des activités proposées en classe préparatoire aux grandes écoles – activités expérimentales, résolutions de problèmes, TIPE, etc. – permet de travailler les compétences de la démarche scientifique qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation en CPGE. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la situation étudiée. - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau, etc.). - Énoncer ou dégager une problématique scientifique. - Représenter la situation par un schéma modèle. - Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. - Relier le problème à une situation modèle connue. - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.
Analyser / Raisonner	<ul style="list-style-type: none"> - Formuler des hypothèses. - Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples. - Proposer une stratégie pour répondre à une problématique.

	<ul style="list-style-type: none"> - Choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle ou des lois physiques. - Évaluer des ordres de grandeur. - Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations. - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de documents.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle. - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une photo. - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure. - Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant des règles de sécurité. - Effectuer des représentations graphiques à partir de données. - Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques. - Conduire une analyse dimensionnelle.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes. - Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document, à ses connaissances. - Confirmer ou infirmer une hypothèse, une information. - Analyser les résultats de manière critique. - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude, etc.). - Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> ○ présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente. ○ rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation. ○ utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, graphes, cartes mentales, etc.). - Écouter, confronter son point de vue.

Le niveau de maîtrise de ces compétences dépend de l'**autonomie** et de l'**initiative** requises dans les activités proposées aux étudiants sur les notions et capacités exigibles du programme.

La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à l'histoire de l'évolution des idées, des modèles et des théories en physique-chimie, à des questions liées à la recherche scientifique actuelle et à des enjeux citoyens comme la responsabilité individuelle et collective, la **sécurité** pour soi et pour autrui, l'**environnement** et le **développement durable** ou encore le **réchauffement climatique**.

Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, l'enseignant organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- privilégier la mise en activité des étudiants en évitant tout dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences est d'autant plus efficace que les étudiants

sont acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment favoriser la réflexion, le raisonnement, la participation et l'autonomie des étudiants. L'investigation expérimentale et la résolution de problèmes facilitent cette mise en activité ;

- recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés industriels ou d'objets technologiques. Le recours à des approches documentaires est un moyen pertinent pour diversifier les supports d'accès à l'information scientifique et technologique et ainsi former l'étudiant à mieux en appréhender la complexité et à apprendre par lui-même. Lorsque le thème traité s'y prête, l'enseignant peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, avec des questions d'actualité ou des débats d'idées ;
- contribuer à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines scientifiques : mathématiques, informatique, sciences industrielles de l'ingénieur.

Concernant l'évaluation, qui vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants, l'enseignant veille soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Enfin, le professeur veille aussi à développer chez les étudiants des compétences transversales et préprofessionnelles relatives aux capacités suivantes :

- identifier les différents champs professionnels et les parcours pour y accéder ;
- valoriser ses compétences scientifiques et techniques en lien avec son projet de poursuite d'études ou professionnel.

Formation expérimentale

Cette partie est spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiants lors des séances de travaux pratiques.

Dans un premier temps, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la mesure et de l'évaluation des incertitudes. Elle présente ensuite de façon détaillée l'ensemble des capacités expérimentales qui doivent être acquises en autonomie par les étudiants à l'issue de leur seconde année de CPGE. Enfin, elle aborde la question de la prévention du risque au laboratoire de physique-chimie.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans l'annexe 1 du présent programme.

1. Mesures et incertitudes

Les notions et capacités identifiées ci-dessous couvrent les deux années de formation en classe préparatoire aux grandes écoles ; leur pleine maîtrise est donc un objectif de fin de seconde année. L'accent est mis sur la variabilité de la mesure d'une grandeur physique et sa caractérisation à l'aide de l'incertitude-type. La comparaison entre deux valeurs mesurées d'une même grandeur physique est conduite au moyen de l'écart normalisé, l'objectif principal étant de développer l'esprit critique des étudiants en s'appuyant sur un critère quantitatif. Le même esprit prévaut dans l'analyse des résultats d'une régression linéaire qui ne saurait s'appuyer sur l'exploitation non raisonnée du coefficient de corrélation (R^2).

Le recours à la simulation vise à illustrer, sur la base de mesures expérimentales, différents effets de la variabilité de la mesure d'une grandeur physique dans les cas des incertitudes-types composées et de la régression linéaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Incertitude. Incertitude-type.	Identifier les incertitudes liées, par exemple, à l'opérateur, à l'environnement, aux instruments ou à la méthode de mesure. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B). Associer un intervalle de confiance à l'écart-type dans l'hypothèse d'une distribution suivant la loi normale.
Incertitudes-types composées.	Évaluer l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, à l'aide d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée. <u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs ; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé. Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.
Régression linéaire.	Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle. Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude ou analyse des écarts normalisés. <u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation Monte-Carlo – pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle.

2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les étudiants doivent acquérir au cours de l'année de PSI durant les séances de travaux pratiques. Elle vient prolonger la partie correspondante du programme de PCSI dont les capacités doivent être complètement acquises à l'issue des deux années de préparation, et restent donc au programme de seconde année de PSI.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret. À ce titre, elle vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

Les activités expérimentales sur le thème de la chimie sont aussi l'occasion de consolider les savoir-faire de la classe de PCSI en particulier dans le domaine des solutions aqueuses.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesures de temps et de fréquences	
Détection synchrone.	Mesurer une fréquence par une détection synchrone à l'aide d'un multiplieur et d'un filtre passe-bas adapté à la mesure.
Analyse spectrale.	Mettre en évidence le phénomène de repliement du spectre provoqué par l'échantillonnage avec un oscilloscope numérique ou une carte d'acquisition. Choisir les paramètres d'une acquisition numérique destinée à une analyse spectrale afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon, tout en optimisant la résolution spectrale.
2. Électricité et électronique	
Filtrage analogique d'un signal périodique.	Mettre en évidence l'action d'un filtre linéaire sur un signal périodique dans les domaines fréquentiel et temporel.
Montages utilisant un amplificateur linéaire intégré (ALI).	Identifier les limitations suivantes : saturation en tension, saturation en courant, vitesse de balayage, bande passante. Mettre en œuvre divers montages utilisant un ALI.
Modulation et démodulation.	Élaborer un signal modulé en amplitude à l'aide d'un circuit multiplieur. Réaliser une démodulation synchrone.
Électronique numérique.	Utiliser un convertisseur analogique-numérique et un convertisseur numérique-analogique.
3. Conversion de puissance	
Puissance électrique.	Mesurer une puissance moyenne à l'aide d'un wattmètre numérique.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie PSI

Conversion électromagnétique statique de puissance.	Mettre en œuvre un transformateur.
Conversion électromécanique de puissance.	Mettre en œuvre une machine à courant continu.
Conversion électronique statique de puissance.	Mettre en œuvre un convertisseur électronique statique.
4. Ondes	
Mesure d'une célérité.	Mesurer la célérité d'une onde par diverses méthodes : étude d'ondes progressives en propagation libre, étude d'ondes stationnaires.
Polarisation.	Mettre en œuvre un photorécepteur et plusieurs polariseurs.
5. Thermodynamique de la transformation chimique et électrochimie	
Bilans d'énergie.	Mettre en œuvre une technique de calorimétrie. Déterminer la valeur en eau d'un calorimètre. Estimer les fuites thermiques lors d'expériences réalisées avec un calorimètre.
Mesures de grandeurs électriques : conductance-conductivité, tension électrique, intensité du courant.	Mettre en œuvre des mesures électriques dans un environnement chimique et électrochimique.
Électrochimie.	Mettre en œuvre un dispositif à trois électrodes pour tracer des courbes courant-potentiel Mettre en œuvre des piles et des électrolyseurs.

3. Prévention du risque au laboratoire de physique-chimie

Les étudiants doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique, optique et celles liées à la pression et à la température leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention des risques au laboratoire	Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
- Risque chimique Règles de sécurité au laboratoire. Classes et catégories de danger. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Mentions de danger (H) et conseils de prudence (P). Fiches de sécurité.	Relever les indications sur le risque associé au prélèvement, au mélange et au stockage des produits chimiques et adopter une attitude responsable lors de leurs utilisations.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie PSI

- Risque électrique	Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
- Risque optique	Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.
- Risques liés à la pression et à la température	Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.
2. Prévention de l'impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

Contenus thématiques

Les contenus de la formation sont organisés autour de huit thèmes.

1. Électronique

- 1.1. Stabilité des systèmes linéaires
- 1.2. Rétroaction
- 1.3. Oscillateurs
- 1.4. Électronique numérique
- 1.5. Modulation-démodulation

2. Phénomènes de transport

- 2.1. Transport de charge
- 2.2. Transfert thermique par conduction
- 2.3. Diffusion de particules
- 2.4. Fluides en écoulement

3. Bilans macroscopiques

- 3.1. Définition d'un système fermé pour les bilans macroscopiques
- 3.2. Bilans d'énergie
- 3.3. Bilans de quantité de mouvement et de moment cinétique

4. Électromagnétisme

- 4.1. Symétries des champs électrique et magnétique
- 4.2. Champ électrique en régime stationnaire
- 4.3. Condensateur
- 4.4. Champ magnétique en régime stationnaire
- 4.5. Électromagnétisme dans l'ARQS
- 4.6. Milieux ferromagnétiques

5. Conversion de puissance

- 5.1. Puissance électrique en régime sinusoïdal
- 5.2. Transformateur
- 5.3. Conversion électro-magnéto-mécanique
- 5.4. Conversion électronique statique

6. Physique des ondes

- 6.1. Phénomènes de propagation non dispersifs : équation de d'Alembert
- 6.2. Phénomènes de propagation linéaires : absorption et dispersion
- 6.3. Interfaces entre deux milieux

7. Transformations chimiques de la matière : aspects thermodynamiques et cinétiques

- 7.1. Premier principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques
- 7.2. Deuxième principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques
- 7.3. Procédés industriels continus : aspects cinétiques et thermodynamiques

8. Aspects thermodynamiques et cinétiques de l'électrochimie

- 8.1. Étude thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction
- 8.2. Étude cinétique des réactions d'oxydo-réduction : courbe courant-potentiel
- 8.3. Stockage et conversion d'énergie dans des dispositifs électrochimiques.
- 8.4. Corrosion humide et électrochimique

1. Électronique

Cette partie renforce et complète l'étude des circuits électriques linéaires conduite dans le thème « **Ondes et signaux** » du programme de première année de la classe de PCSI. Ainsi, les notions de filtrage et d'analyse spectrale sont réinvesties, en particulier dans les activités expérimentales. Le programme de deuxième année ajoute la rétroaction et le bouclage des systèmes linéaires dans le but d'aborder la stabilité, les oscillateurs et la réalisation de filtres actifs à forte impédance d'entrée pour une association en cascade.

Ces différentes thématiques sont illustrées à l'aide de l'amplificateur linéaire intégré ALI (également appelé amplificateur opérationnel) dont l'étude n'est pas une fin en soi mais un outil permettant des réalisations expérimentales variées.

Par ailleurs, des exemples de manifestations des non linéarités sont abordés à l'occasion de la saturation d'un amplificateur ou de la réalisation d'une fonction mémoire (comparateur à hystérésis).

Afin de compléter l'approche analogique des circuits électriques, un module à vocation expérimentale est consacré au traitement numérique des signaux à travers les sujets suivants :

- l'échantillonnage et le repliement de spectre ;
- le filtrage numérique ;
- les conversions analogique/numérique et numérique/analogique.

Enfin, la problématique de la transmission d'un signal temporel codant une information est abordée dans l'étude et la réalisation d'une modulation, en relation avec la partie du programme consacrée à la propagation des ondes électromagnétiques.

La partie « **Stabilité des systèmes linéaires** » s'intéresse aux propriétés des systèmes linéaires déjà abordés en première année. Les capacités relatives au filtrage et à la décomposition harmonique d'un signal périodique sont révisées sans ajout de nouvelles capacités. Dans le but de faciliter le lien avec le cours de sciences industrielles pour l'ingénieur, la notation symbolique de la fonction de transfert $H(p)$ est utilisée sans faire référence à la transformée de Laplace. L'étude est complétée par une analyse de

la stabilité des systèmes du premier et du second ordre en examinant le régime transitoire associé à l'équation différentielle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1. Stabilité des systèmes linéaires	
Fonction de transfert d'un système entrée-sortie linéaire continu et invariant.	Transposer la fonction de transfert opérationnelle dans les domaines fréquentiel (fonction de transfert harmonique) ou temporel (équation différentielle).
Stabilité.	Étudier la stabilité d'un système d'ordre 1 ou 2 à partir des signes des coefficients de l'équation différentielle ou de la fonction de transfert.

La partie « **Rétroaction** » illustre quelques propriétés sur l'exemple de l'amplificateur linéaire intégré. L'étude des circuits est strictement limitée à des situations pouvant être facilement abordées avec les outils introduits en première année (loi des mailles, loi des nœuds, diviseur de tension). La vitesse limite de balayage de l'ALI est évoquée en travaux pratiques afin d'identifier les distorsions harmoniques traduisant un comportement non linéaire. Les limitations associées aux courants de polarisation et la tension de décalage ne sont pas étudiées.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2. Rétroaction	
Modèle de l'ALI défini par une résistance d'entrée infinie, une résistance de sortie nulle, une fonction de transfert du premier ordre en régime linéaire, une saturation de la tension de sortie. Limites du modèle : vitesse limite de balayage, saturation de l'intensité du courant de sortie.	Citer les hypothèses du modèle et les ordres de grandeur du gain différentiel statique et du temps de réponse. Détecter, dans un montage à ALI, les manifestations de la vitesse limite de balayage et de la saturation de l'intensité du courant de sortie.
Montages amplificateur non inverseur et comparateur à hystérésis.	Analyser la stabilité du régime linéaire. Établir la conservation du produit gain-bande passante du montage non inverseur.
ALI idéal de gain infini en régime linéaire.	Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de probable stabilité du régime linéaire. Établir la relation entrée-sortie des montages non inverseur, suiveur, inverseur et intégrateur. Déterminer les impédances d'entrée de ces montages. Expliquer l'intérêt, pour garantir leur fonctionnement lors de mises en cascade, de réaliser des filtres de tension de forte impédance d'entrée et de faible impédance de sortie.

ALI idéal de gain infini en régime saturé.	<p>Identifier l'absence de rétroaction ou la présence d'une unique rétroaction sur la borne non inverseuse comme l'indice d'un probable comportement en saturation.</p> <p>Établir la relation entrée-sortie d'un comparateur simple.</p> <p>Associer, pour un signal d'entrée sinusoïdal, le caractère non-linéaire du système et la génération d'harmoniques en sortie.</p> <p>Établir le cycle d'un comparateur à hystérésis.</p> <p>Décrire le phénomène d'hystérésis en relation avec la notion de fonction mémoire.</p>
--	---

La partie « **Oscillateurs** » s'intéresse à une étude non exhaustive des oscillateurs en électronique. Les exemples sont choisis à l'initiative du professeur et les calculs des fonctions de transfert des filtres ne constituent pas un objectif de formation. En travaux pratiques, on complète l'étude par une analyse spectrale des signaux.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.3. Oscillateurs	
Oscillateur quasi-sinusoïdal réalisé en bouclant un filtre passe-bande du deuxième ordre avec un amplificateur.	<p>Exprimer les conditions théoriques (gain et fréquence) d'auto-oscillation sinusoïdale d'un système linéaire bouclé.</p> <p>Analyser sur l'équation différentielle l'inégalité que doit vérifier le gain de l'amplificateur afin d'assurer le démarrage des oscillations.</p> <p>Interpréter le rôle des non-linéarités dans la stabilisation de l'amplitude des oscillations.</p> <p>Mettre en œuvre un oscillateur quasi-sinusoïdal et analyser les spectres des signaux générés.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, simuler l'évolution temporelle d'un signal généré par un oscillateur.</p>
Oscillateur de relaxation associant un intégrateur et un comparateur à hystérésis. Générateur de signaux non sinusoïdaux.	<p>Décrire les différentes séquences de fonctionnement.</p> <p>Exprimer les conditions de basculement.</p> <p>Déterminer l'expression de la période d'oscillation.</p> <p>Mettre en œuvre un oscillateur de relaxation et analyser les spectres des signaux générés.</p>

La partie « **Électronique numérique** » est étudiée de manière expérimentale et aborde la question du traitement numérique du signal dans le prolongement du programme de première année.

Le phénomène de repliement de spectre est expliqué qualitativement à l'aide par exemple d'une analogie stroboscopique, l'objectif étant de mettre en place la condition de Nyquist-Shannon et de réaliser convenablement une acquisition numérique en vue d'une analyse spectrale.

Afin de mettre en évidence d'autres effets associés à l'échantillonnage, on réalise de manière comparative un filtre analogique passe-bas et un filtre numérique remplissant la même fonction. Ce dernier est réalisé à l'aide d'une chaîne de traitement : CAN, algorithme numérique, CNA. On étudie expérimentalement l'influence de la fréquence d'échantillonnage.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.4. Électronique numérique	
Échantillonnage.	Expliquer l'influence de la fréquence d'échantillonnage.
Condition de Nyquist-Shannon.	Utiliser la condition de Nyquist-Shannon. Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre au moyen d'un oscilloscope numérique ou d'un logiciel de calcul numérique.
Analyse spectrale numérique.	Choisir les paramètres (durée, nombre d'échantillons, fréquence d'échantillonnage) d'une acquisition numérique afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon. <u>Capacité numérique</u> : calculer, à l'aide d'un langage de programmation, la transformée de Fourier discrète d'un signal numérique.
Filtrage numérique.	Mettre en œuvre une chaîne d'acquisition et de conversion. <u>Capacité numérique</u> : réaliser, à l'aide d'un langage de programmation, un filtrage numérique d'un signal issu d'une acquisition, et mettre en évidence la limitation introduite par l'échantillonnage.

La partie « **Modulation-démodulation** » est l'occasion de faire le lien entre la propagation des ondes électromagnétiques et le traitement du signal afin d'expliquer la problématique de la transmission d'une information. Cette étude est illustrée en travaux pratiques à l'aide d'un multiplieur analogique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.5. Modulation-démodulation	
Transmission d'un signal codant une information variant dans le temps.	Définir un signal modulé en amplitude, en fréquence, en phase. Citer les ordres de grandeur des fréquences utilisées pour les signaux radio AM, FM, la téléphonie mobile.
Modulation d'amplitude.	Interpréter le signal modulé comme le produit d'une porteuse par une modulante. Décrire le spectre d'un signal modulé.

Démodulation d'amplitude.	<p>À partir de l'analyse fréquentielle, justifier la nécessité d'utiliser une opération non linéaire. Expliquer le principe de la démodulation synchrone.</p> <p>Réaliser une modulation d'amplitude et une démodulation synchrone avec un multiplieur analogique.</p>
---------------------------	---

2. Phénomènes de transport

Cette partie présente le formalisme nécessaire à l'étude générale des phénomènes de transport abordés au programme de la classe de PSI (conduction électrique, conduction thermique, diffusion de particules, fluides en écoulement). Ce formalisme, commun à différents domaines de la physique, repose essentiellement sur la notion de bilan, global ou local. Il permet d'exprimer des lois de conservation (charge, énergie, masse) et d'établir des équations d'évolution en relation avec des propriétés phénoménologiques.

Le professeur peut aborder les différentes notions dans l'ordre qu'il souhaite, en relation avec les autres parties du programme. Il est cependant essentiel de faire apparaître les analogies et les différences entre les différents domaines d'étude.

Dans la partie « **Transport de charge** », le transport de charge et les milieux conducteurs sont étudiés en présentant un modèle microscopique. Pour sensibiliser les étudiants à l'aspect complexe de la matière, le professeur est invité à conduire une critique du modèle historique de Drude en comparant le libre parcours moyen d'un électron libre avec la distance interatomique du réseau. La conductivité électrique est réutilisée lors de l'étude des ondes électromagnétiques dans les conducteurs (effet de peau et réflexion sur un métal).

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1. Transport de charge	
2.1.1. Conservation de la charge	
Densité volumique de charge électrique ρ , vecteur densité de courant électrique \mathbf{j} .	Passer d'une description microscopique (porteurs de charges, vitesse des porteurs) aux grandeurs mésoscopiques ρ et \mathbf{j} .
Intensité du courant électrique.	Écrire l'intensité comme le flux du vecteur densité de courant électrique à travers une surface orientée.
Bilan de charge. Équation locale de la conservation de la charge.	Établir, en coordonnées cartésiennes, l'équation locale traduisant la conservation de la charge électrique. Énoncer l'équation locale et en interpréter chacun des termes.
Régime stationnaire.	Définir une ligne de courant et un tube de courant. Exploiter le caractère conservatif du vecteur densité de courant électrique en régime stationnaire et relier cette propriété à la loi des nœuds usuelle de l'électrocinétique.
2.1.2. Conducteur ohmique	

Loi d'Ohm locale.	Relier le vecteur densité de courant au champ électrique dans un conducteur ohmique. Citer des ordres de grandeur de la conductivité.
Modèle de Drude.	Établir, en régime stationnaire, une expression de la conductivité électrique à l'aide d'un modèle microscopique.
Résistance d'un conducteur cylindrique.	Établir l'expression de la résistance d'un câble cylindrique parcouru uniformément par un courant parallèle à son axe.
Puissance électrique. Effet Joule.	Établir l'expression de la puissance volumique reçue par un conducteur ohmique. Interpréter l'effet Joule.

La partie « **Transfert thermique par conduction** » est consacrée à la conduction thermique en relation avec le cours de thermodynamique de première année. Après avoir écrit les premier et deuxième principes sous forme infinitésimale, on s'attache à l'étude de la diffusion thermique avec une visée applicative et résolument concrète.

L'établissement de l'équation de diffusion thermique est limité au cas des systèmes de volume constant et les mises en équation locale sont faites exclusivement en géométries unidimensionnelles. On admet ensuite les formes générales des équations en utilisant les opérateurs d'analyse vectorielle. Cette partie contribue aussi à asseoir la maîtrise des opérateurs d'analyse vectorielle (gradient, divergence, laplacien), sans dérive calculatoire.

L'étude de l'équation de diffusion thermique sans terme source, en régime stationnaire ou dans le cadre de l'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS), est menée par analogie avec l'électrocinétique. La notion de résistance thermique, dont la connaissance des conditions d'application est aussi importante que son utilisation, doit être illustrée par des exemples pratiques.

Aucune connaissance sur les termes sources n'est exigible sauf pour l'effet Joule. On néglige le rayonnement thermique. Dans le cadre de l'interface solide-fluide, la loi de Newton peut être utilisée, mais ni sa mémorisation, ni aucune connaissance sur son établissement ne peuvent être exigées.

Aucune méthode générale de résolution ne peut être demandée aux étudiants, mais les solutions de l'équation de diffusion en géométrie unidimensionnelle cartésienne, sans terme source, en régime stationnaire ou en régime d'ondes harmoniques doivent être connues.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2. Transfert thermique par conduction	
2.2.1. Formulation infinitésimale des principes de la thermodynamique	
Premier principe. Deuxième principe : $dS = \delta S_e + \delta S_c$ avec $\delta S_e = \delta Q/T_0$ pour une évolution monotherme.	Énoncer et exploiter les principes de la thermodynamique pour une transformation élémentaire. Utiliser avec rigueur les notations d et δ en leur attachant une signification.
2.2.2. Équation de la diffusion thermique	
Les différents modes de transfert thermique : diffusion, convection et rayonnement.	Décrire les trois modes de transfert thermique.
Flux thermique. Vecteur densité de courant thermique j_Q .	Exprimer le flux thermique comme le flux du vecteur j_Q à travers une surface orientée.

Équilibre thermodynamique local.	Énoncer l'hypothèse de l'équilibre thermodynamique local. Utiliser les champs scalaires intensifs (volumiques ou massiques) associés à des grandeurs extensives de la thermodynamique.
Loi de Fourier.	Énoncer et utiliser la loi de Fourier. Citer quelques ordres de grandeur de conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, béton, acier.
Bilan d'énergie.	Établir, pour un milieu évoluant à volume constant, l'équation locale traduisant le premier principe dans le cas d'un problème ne dépendant que d'une seule coordonnée d'espace en coordonnées cartésiennes, cylindriques ou sphériques. Utiliser une généralisation admise en géométrie quelconque à l'aide de l'opérateur divergence et son expression fournie.
Équation de la diffusion thermique.	Établir l'équation de diffusion thermique avec ou sans terme source. Analyser une équation de diffusion en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle. Relier l'équation de diffusion à l'irréversibilité temporelle du phénomène. <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, résoudre l'équation de la diffusion thermique à une dimension par une méthode des différences finies dérivée de la méthode d'Euler explicite de résolution des équations différentielles ordinaires.
Conditions aux limites.	Exploiter la continuité du flux thermique. Exploiter la continuité de la température pour un contact thermique parfait. Utiliser la relation de Newton (fournie) à l'interface solide-fluide.
2.2.3. Régime stationnaire, ARQS	
Résistance ou conductance thermique.	Définir la notion de résistance thermique par analogie avec l'électrocinétique et énoncer les conditions d'application de l'analogie. Établir l'expression de la résistance thermique d'un cylindre calorifugé latéralement. Exploiter des associations de résistances thermiques en série ou en parallèle.

ARQS, analogie électrocinétique avec un circuit RC.	Mettre en évidence un temps caractéristique d'évolution de la température. Justifier l'ARQS. Établir l'analogie avec un circuit électrique RC.
2.2.4. Ondes thermiques	
Relation de dispersion.	Établir la relation de dispersion des ondes thermiques en géométrie unidirectionnelle.
Effet de peau thermique.	Mettre en évidence le déphasage lié à la propagation. Établir une distance caractéristique d'atténuation.

La partie « **Diffusion de particules** » est traitée par analogie avec les autres phénomènes de transport évoqués (transport de charge, conduction thermique). On peut également utiliser la loi de Fick pour interpréter les paliers de diffusion en électrochimie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.3. Diffusion de particules	
Les différents modes de transfert de particules : diffusion et convection.	Citer les deux modes de transfert de particules.
Vecteur densité de courant de particules \mathbf{j}_N .	Exprimer le débit de particules comme le flux du vecteur \mathbf{j}_N à travers une surface orientée.
Loi de Fick.	Énoncer et utiliser la loi de Fick.
Bilan de particules.	Établir l'équation locale de bilan de particules avec ou sans terme source.
Équation de diffusion.	Établir l'équation de diffusion. Relier l'équation de diffusion à l'irréversibilité temporelle du phénomène.

L'objectif de la partie « **Fluides en écoulement** » est d'introduire les grandeurs pertinentes caractérisant un écoulement, en cohérence avec les autres phénomènes de transport. L'expression de l'accélération comme la dérivée particulaire de la vitesse est abordée mais les équations d'Euler ou de Navier-Stokes ne sont pas au programme.

La notion de viscosité est introduite sur un exemple d'écoulement de cisaillement simple. Le nombre de Reynolds est présenté comme le rapport de deux temps caractéristiques construits par analyse dimensionnelle. Il est exploité afin d'évoquer les propriétés de similitude entre des systèmes réalisés à des échelles différentes et caractérisés par les mêmes nombres sans dimension.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.4. Fluides en écoulement	
2.4.1. Débits et lois de conservation	
Particule de fluide.	Définir la particule de fluide comme un système mésoscopique de masse constante.
Champ eulérien des vitesses.	Distinguer vitesse microscopique et vitesse mésoscopique. Définir une ligne de courant, un tube de courant.

Dérivée particulière du vecteur vitesse : terme local ; terme convectif.	Associer la dérivée particulière du vecteur vitesse à l'accélération de la particule de fluide qui passe en un point. Citer et utiliser l'expression de l'accélération avec le terme convectif sous la forme $(\mathbf{v} \cdot \text{grad}) \mathbf{v}$.
Masse volumique μ .	Citer des ordres de grandeur des masses volumiques de l'eau et de l'air dans les conditions usuelles.
Débit massique.	Définir le débit massique et l'écrire comme le flux du vecteur $\mu \mathbf{v}$ à travers une surface orientée.
Conservation de la masse.	Énoncer l'équation locale traduisant la conservation de la masse.
Écoulement stationnaire.	Exploiter la conservation du débit massique le long d'un tube de courant.
Débit volumique.	Définir le débit volumique et l'écrire comme le flux de \mathbf{v} à travers une surface orientée.
Écoulement incompressible et homogène.	Définir un écoulement incompressible et homogène par un champ de masse volumique constant et uniforme et relier cette propriété à la conservation du volume pour un système fermé. Exploiter la conservation du débit volumique le long d'un tube de courant indéformable.
2.4.2. Actions de contact sur un fluide	
Pression.	Identifier la force de pression comme étant une action normale à la surface. Utiliser l'équivalent volumique des actions de pression - $\text{grad } P$.
Éléments de statique des fluides.	Exprimer l'évolution de la pression avec l'altitude dans les cas d'un fluide incompressible et de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait.
Viscosité dynamique.	Relier l'expression de la force surfacique de viscosité au profil de vitesse dans le cas d'un écoulement parallèle. Citer l'ordre de grandeur de la viscosité de l'eau. Exploiter la condition d'adhérence à l'interface fluide-solide.
2.4.3. Écoulement interne incompressible et homogène dans une conduite cylindrique	
Écoulements laminaire, turbulent. Vitesse débitante.	Décrire les différents régimes d'écoulement (laminaire et turbulent). Relier le débit volumique à la vitesse débitante.

Nombre de Reynolds.	Décrire qualitativement les deux modes de transfert de quantité de mouvement : convection et diffusion. Interpréter le nombre de Reynolds comme le rapport d'un temps caractéristique de diffusion de quantité de mouvement sur un temps caractéristique de convection. Évaluer le nombre de Reynolds et l'utiliser pour caractériser le régime d'écoulement.
Chute de pression dans une conduite horizontale. Résistance hydraulique.	Dans le cas d'un écoulement à bas nombre de Reynolds, établir la loi de Hagen-Poiseuille et en déduire la résistance hydraulique. Exploiter le graphe de la chute de pression en fonction du nombre de Reynolds, pour un régime d'écoulement quelconque. Exploiter un paramétrage adimensionné permettant de transposer des résultats expérimentaux ou numériques sur des systèmes similaires réalisés à des échelles différentes.
2.4.4. Écoulement externe incompressible et homogène autour d'un obstacle	
Force de traînée subie par une sphère solide en mouvement rectiligne uniforme. Coefficient de traînée C_x ; graphe de C_x en fonction du nombre de Reynolds.	Associer une gamme de nombre de Reynolds à un modèle de traînée linéaire ou un modèle quadratique.
Notion de couche limite.	Pour les écoulements à grand nombre de Reynolds décrire qualitativement la notion de couche limite.
Forces de traînée et de portance d'une aile d'avion à haut Reynolds.	Définir et orienter les forces de portance et de traînée. Exploiter les graphes de C_x et C_z en fonction de l'angle d'incidence.

3. Bilans macroscopiques

Cette partie prolonge l'étude des machines thermiques réalisée en première année. Elle a pour objectif d'effectuer des bilans de grandeurs extensives thermodynamiques et mécaniques. Ces bilans sont illustrés sur des situations d'intérêt industriel (réacteur, éolienne, turbine, machines thermiques...). On définit également le modèle de l'écoulement parfait qui permet d'introduire la relation de Bernoulli. Si un bilan mécanique nécessite un changement de référentiel, on peut utiliser la loi de composition des vitesses fournie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.1. Définition d'un système fermé pour les bilans macroscopiques	
Système ouvert, système fermé.	Définir un système fermé approprié pour réaliser un bilan de grandeur extensive.
3.2. Bilans d'énergie	

Bilans thermodynamiques.	Exprimer les principes de la thermodynamique pour un écoulement stationnaire sous la forme : $\Delta h + \Delta e_c + \Delta(gz) = w_u + q$; $\Delta s = s_e + s_c$ Étudier des propriétés des machines thermodynamiques réelles à l'aide de diagrammes (P,h).
Modèle de l'écoulement parfait : adiabatique, réversible, non visqueux.	Utiliser le modèle de l'écoulement parfait pour un écoulement à haut Reynolds en dehors de la couche limite.
Relation de Bernoulli.	Citer et appliquer la relation de Bernoulli à un écoulement parfait, stationnaire, incompressible et homogène.
Effet Venturi.	Décrire l'effet Venturi.
Bilan macroscopique d'énergie mécanique.	Effectuer un bilan d'énergie sur une installation industrielle. Utiliser le fait admis que la puissance des actions intérieures est nulle pour un écoulement parfait et incompressible.
3.3. Bilans de quantité de mouvement et de moment cinétique	
Loi de la quantité de mouvement pour un système fermé.	Effectuer l'inventaire des forces extérieures. Effectuer un bilan de quantité de mouvement.
Loi du moment cinétique pour un système fermé.	Effectuer un bilan de moment cinétique.

4. Électromagnétisme

En première année, les champs électrique et magnétique ont été présentés *via* les effets de la force de Lorentz et une étude du champ magnétique a été effectuée pour introduire les phénomènes d'induction. Le cours de deuxième année aborde les équations locales. Les équations de Maxwell sont présentées comme des postulats de l'électromagnétisme, le but étant de rendre les étudiants rapidement opérationnels dans leur utilisation. L'étude de la conversion de puissance et celle des ondes électromagnétiques en sont une exploitation.

Les équations de Maxwell peuvent être formulées dès le début sous leur forme la plus générale, ou bien elles peuvent être introduites de manière progressive en commençant par une forme simplifiée en régime stationnaire.

La partie « **Symétries des champs électrique et magnétique** » présente les relations de symétrie entre les champs électrique et magnétique et les sources, sans recourir à des expressions reliant les champs aux sources, mais en s'appuyant sur des exemples de cartes de champs.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.1. Symétries des champs électrique et magnétique	
Symétries pour le champ électrique, caractère polaire du champ électrique. Symétries pour le champ magnétique, caractère axial du champ magnétique.	Exploiter les symétries et invariances d'une distribution de charges et de courants pour en déduire des propriétés des champs électrique et magnétique.

La partie « **Champ électrique en régime stationnaire** » introduit les équations de Maxwell-Gauss et Maxwell-Faraday, prises comme des postulats de l'électromagnétisme. Les seuls calculs de champs électriques exigibles doivent pouvoir être faits par application du théorème de Gauss.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.2. Champ électrique en régime stationnaire	
Équations de Maxwell-Gauss et de Maxwell-Faraday.	Citer les équations de Maxwell-Gauss et Maxwell-Faraday en régime variable et en régime stationnaire.
Potentiel scalaire électrique.	Relier l'existence du potentiel scalaire électrique au caractère irrotationnel du champ électrique. Exprimer une différence de potentiel comme une circulation du champ électrique.
Propriétés topographiques.	Associer l'évasement des tubes de champ à l'évolution de la norme du champ électrique en dehors des sources. Représenter les lignes de champ connaissant les surfaces équipotentielles et inversement. Évaluer la valeur d'un champ électrique à partir d'un réseau de surfaces équipotentielles.
Équation de Poisson.	Établir l'équation de Poisson reliant le potentiel à la densité volumique de charge.
Théorème de Gauss.	Énoncer et appliquer le théorème de Gauss. Établir le champ électrique et le potentiel créés par une charge ponctuelle, une distribution de charge à symétrie sphérique, une distribution de charge à symétrie cylindrique. Exploiter le théorème de superposition.
Distribution surfacique de charge.	Utiliser le modèle de la distribution surfacique de charge. Établir le champ électrique créé par un plan infini uniformément chargé en surface.
Énergie potentielle électrique d'une charge ponctuelle dans un champ électrique extérieur.	Établir la relation entre l'énergie potentielle d'une charge ponctuelle et le potentiel. Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à une particule chargée dans un champ électrique.
Champ gravitationnel.	Établir les analogies entre les champs électrique et gravitationnel.

La partie « **Condensateur** » aborde le condensateur dans la géométrie plane. Cette étude permet d'introduire l'expression de l'énergie volumique du champ électrique sur ce cas particulier, la généralité de cette expression est admise. Aucune notion sur les conducteurs en équilibre électrostatique n'est exigible. La modification de la permittivité introduite par la présence d'un isolant est affirmée sans relation avec une description microscopique de la polarisation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.3. Condensateur	
Phénomène d'influence électrostatique.	Décrire qualitativement le phénomène d'influence électrostatique.
Capacité d'un condensateur plan.	Déterminer l'expression du champ d'un condensateur plan en négligeant les effets de bord. Déterminer l'expression de la capacité.
Rôle des isolants.	Prendre en compte la permittivité du milieu dans l'expression de la capacité.
Densité volumique d'énergie électrique.	Déterminer l'expression de la densité volumique d'énergie électrique dans le cas du condensateur plan à partir de celle de l'énergie du condensateur. Citer l'expression de la densité volumique d'énergie électrique.

La partie « **Champ magnétique en régime stationnaire** » introduit les équations de Maxwell-Ampère et Maxwell-Thomson comme des postulats de l'électromagnétisme. La conservation du flux du champ magnétique, traduction intégrale de l'équation de Maxwell-Thomson, est l'occasion de revenir sur les connaissances de première année. La loi de Biot et Savart et le potentiel vecteur sont hors programme. L'expression de la densité volumique d'énergie magnétique est établie sur le cas particulier d'une bobine longue, sa généralisation est admise. L'usage des distributions surfaciques de courant sont strictement limité à l'étude de la réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.4. Champ magnétique en régime stationnaire	
Équations de Maxwell-Ampère et Maxwell-Thomson.	Énoncer les équations de Maxwell-Ampère et Maxwell-Thomson en régime variable et en régime stationnaire
Conservation du flux magnétique.	Exploiter la conservation du flux magnétique et ses conséquences sur les lignes de champ magnétique.
Théorème d'Ampère.	Énoncer et appliquer le théorème d'Ampère. Établir l'expression du champ magnétique créé par un fil épais et infini, par un solénoïde infini en admettant que le champ extérieur est nul, et par une bobine torique.
Forces de Laplace.	Exprimer les forces de Laplace s'exerçant sur un conducteur filiforme et sur une distribution volumique de courant.

La partie « **Électromagnétisme dans l'ARQS** » étudie l'électromagnétisme en régime variable, principalement dans le cadre de l'ARQS magnétique, afin d'établir le lien avec le cours sur l'induction de première année. La notion de champ électromoteur est hors programme, la force électromotrice induite est calculée à l'aide de la loi de Faraday. Cette partie prépare également le cours sur la conversion de puissance en abordant les courants de Foucault et l'énergie magnétique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.5. Électromagnétisme dans l'ARQS	
Courants de déplacement.	Établir la compatibilité des équations de Maxwell avec la conservation de la charge.
ARQS magnétique.	Simplifier les équations de Maxwell et l'équation de conservation de la charge dans l'ARQS en admettant que les courants de déplacement sont négligeables. Étendre le domaine de validité des expressions des champs magnétiques obtenues en régime stationnaire.
Induction.	Relier la circulation du champ électrique à la dérivée temporelle du flux magnétique.
Courants de Foucault.	Décrire la géométrie des courants de Foucault dans le cas d'un conducteur cylindrique soumis à un champ magnétique parallèle à son axe, uniforme et oscillant. Exprimer la puissance dissipée par effet Joule en négligeant le champ propre et expliquer le rôle du feuilletage.
Énergie magnétique. Densité volumique d'énergie magnétique.	Exprimer l'énergie magnétique d'une bobine seule ou de deux bobines couplées en fonction des coefficients d'inductance et des intensités. Déterminer, à partir de l'expression de l'énergie magnétique, l'expression de la densité volumique d'énergie magnétique dans le cas d'une bobine modélisée par un solénoïde long. Citer l'expression de la densité volumique d'énergie magnétique.
Couplage partiel, couplage parfait.	Établir, dans le cas de deux bobines couplées, l'inégalité $M^2 \leq L_1 L_2$.

La partie « **Milieux ferromagnétiques** » introduit les notions d'aimantation, d'excitation magnétique, et de perméabilité magnétique. Elle conduit à une réécriture de l'équation de Maxwell-Ampère, plus adaptée à l'étude des milieux magnétiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.6. Milieux ferromagnétiques	
Aimant permanent, champ magnétique créé dans son environnement.	Décrire, à partir d'une formule fournie exprimant le champ d'un dipôle magnétique, le champ créé par un aimant à grande distance et représenter qualitativement les lignes de champ magnétique.

Actions subies par un dipôle magnétique dans un champ magnétique extérieur.	Utiliser les expressions fournies de l'énergie potentielle, de la résultante et du moment. Décrire qualitativement l'évolution d'un dipôle magnétique dans un champ magnétique extérieur.
Magnéton de Bohr.	Établir l'expression du magnéton de Bohr dans le cadre du modèle de Bohr.
Aimantation d'un milieu magnétique.	Définir le champ d'aimantation d'un milieu magnétique.
Courants d'aimantation.	Associer à une distribution d'aimantation une densité volumique de courants liés équivalente, l'expression étant admise.
Vecteurs champ magnétique, excitation magnétique et aimantation. Équation de Maxwell-Ampère écrite avec le vecteur excitation magnétique.	Définir le vecteur excitation magnétique. Écrire l'équation de Maxwell-Ampère dans un milieu magnétique. Interpréter qualitativement que les sources de l'excitation magnétique sont les courants électriques libres, et que celles de champ magnétique sont les courants électriques libres et l'aimantation.
Milieu ferromagnétique.	Représenter l'allure des cycles d'hystérésis (excitation magnétique, aimantation) et (excitation magnétique, champ magnétique) d'un milieu ferromagnétique. Distinguer milieu dur et milieu doux ; citer des exemples de matériaux. Tracer le cycle d'hystérésis d'un milieu ferromagnétique.
Milieu ferromagnétique doux.	Modéliser un milieu doux par une relation constitutive linéaire. Définir la perméabilité relative et donner un ordre de grandeur.
Circuit magnétique avec ou sans entrefer.	Décrire l'allure des lignes de champ dans un circuit magnétique en admettant que les lignes de champ sortent orthogonalement à l'interface dans un entrefer.
Électroaimant.	Exprimer le champ magnétique produit dans l'entrefer d'un électroaimant.
Inductance propre d'une bobine à noyau de fer doux modélisé linéairement.	Établir l'expression de l'inductance propre de la bobine à noyau. Vérifier l'expression de l'énergie magnétique : $E_{mag} = \iiint \frac{B^2}{2\mu_0\mu_r} d\tau.$

Pertes d'une bobine réelle à noyau.	Exprimer le lien entre l'aire du cycle hystérésis et la puissance moyenne absorbée. Décrire les différents termes de pertes d'une bobine à noyau : pertes fer par courants de Foucault et par hystérésis, pertes cuivre.
-------------------------------------	---

5. Conversion de puissance

En première année, la conversion de puissance est abordée à l'occasion des études du transformateur de tension et du moteur à courant continu dans la partie « **Induction et forces de Laplace** ». Il s'agit ici d'approfondir en donnant le moyen d'aborder tous les éléments d'une chaîne énergétique faisant intervenir des éléments électriques, magnétiques et mécaniques.

Afin de pouvoir aborder des problématiques industrielles de forte puissance, le rôle essentiel du fer est considéré. Ainsi, les forces électromagnétiques ne se réduisent pas aux seules forces de Laplace s'exerçant sur les conducteurs traversés par des courants, l'aimantation du milieu participe de manière prépondérante au calcul des actions. De même, la prise en compte de la forte perméabilité du noyau d'un transformateur est indispensable afin d'établir une relation entre les intensités indépendante de la charge. Par ailleurs, on étudie la conversion électronique de puissance permettant d'adapter les différentes sources d'énergie à leur utilisation.

Cet enseignement est une initiation dont l'objectif est d'expliquer les principes physiques mis en œuvre dans des réalisations concrètes, il ne s'agit pas de multiplier les exemples de solutions techniques. En particulier, les dispositifs en triphasé ne sont pas étudiés.

La partie « **Puissance électrique en régime sinusoïdal** » présente quelques résultats généraux relatifs à la puissance électrique en régime sinusoïdal. La représentation de Fresnel est introduite pour illustrer le facteur de puissance. La notion de puissance réactive est hors programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.1. Puissance électrique en régime sinusoïdal	
Puissance moyenne, facteur de puissance. Représentation de Fresnel.	Définir le facteur de puissance, faire le lien avec la représentation des tensions et des courants sur un diagramme de Fresnel. Citer et exploiter la relation $P = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos\varphi$.
Puissance moyenne absorbée par une impédance.	Citer et exploiter les relations : $P = \Re_e(\underline{Z}) I_{\text{eff}}^2$ et $P = \Re_e(\underline{Y}) U_{\text{eff}}^2$. Justifier qu'un dipôle purement réactif n'absorbe aucune puissance en moyenne.

La partie « **Transformateur** » complète le modèle du transformateur de tension vu en première année. On ajoute ici le rôle d'un noyau de fer doux de forte perméabilité permettant d'obtenir un transformateur de courant. Les pertes et les défauts sont évoqués mais ne sont pas modélisés. En particulier, l'inductance magnétisante est hors programme. On explique l'intérêt du transformateur pour l'isolement et le transport de l'énergie électrique sur de longues distances.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.2. Transformateur	

Modèle du transformateur idéal.	Citer les hypothèses du transformateur idéal. Établir les lois de transformation des tensions et des courants du transformateur idéal, en respectant l'algébrisation associée aux bornes homologues. Relier le transfert instantané et parfait de puissance à une absence de pertes et de stockage de l'énergie électromagnétique.
Pertes.	Citer les pertes cuivre, les pertes fer par courant de Foucault et par hystérésis. Décrire des solutions permettant de réduire ces pertes.
Applications du transformateur.	Expliquer le rôle du transformateur pour l'isolement. Établir le transfert d'impédance entre le primaire et le secondaire. Expliquer l'intérêt du transport de l'énergie électrique à haute tension afin de réduire les pertes en ligne. Expliquer l'avantage d'un facteur de puissance élevé. Mettre en œuvre un transformateur et étudier son rendement sur charge résistive.

Dans la partie « **Conversion électro-magnéto-mécanique** », on privilégie un calcul des actions électromagnétiques en dérivant l'énergie magnétique stockée dans le système par rapport à un paramètre de position notamment afin de prendre en compte le rôle du fer. Les milieux magnétiques sont modélisés par des milieux linéaires. La notion de coénergie est hors programme.

Dans une première partie, la méthode de calcul de la force s'exerçant sur une partie mobile de fer est illustrée sur un contacteur en translation faisant partie d'un circuit magnétique dont l'entrefer est variable. À l'aide d'un bilan énergétique, le professeur pourra justifier la relation $F = (\partial E / \partial x)_i$; mais cette démonstration ne doit pas être considérée comme une capacité exigible.

On aborde ensuite le moteur synchrone en dérivant l'énergie magnétique localisée dans l'entrefer afin de déterminer le moment du couple électromagnétique. Les champs glissants statorique et rotorique sont radiaux dans l'entrefer et présentent des formes d'onde sinusoïdales. On montre que le moment moyen est non nul si les champs glissants sont synchrones. Le modèle électrique des phases de l'induit est abordé afin de décrire la conversion électromécanique de puissance, mais on n'étudiera pas l'utilisation d'une machine à vide comme compensateur synchrone.

Dans un troisième temps, le fonctionnement du moteur à courant continu est traité par analogie avec le moteur synchrone, en montrant que le collecteur réalise le synchronisme entre un champ statorique stationnaire et un champ rotorique qui lui est orthogonal quelle que soit la position angulaire du rotor, produisant ainsi un moment maximal.

On évoque enfin la réversibilité énergétique des machines électriques, en distinguant avec rigueur force électromotrice (f_{em}) et force contre-électromotrice (f_{cem}). La puissance mécanique des machines est reliée à la puissance électrique des forces électromotrices induites à l'aide de bilans énergétiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.3. Conversion électro-magnéto-mécanique	
5.3.1. Contacteur électromagnétique en translation	

Énergie et force électromagnétique.	Exprimer l'énergie magnétique d'un enroulement enlaçant un circuit magnétique présentant un entrefer variable. Calculer la force électromagnétique s'exerçant sur une partie mobile en translation en appliquant l'expression fournie $F = (\partial E / \partial x)_i$.
Contacteur électromagnétique.	Sur l'exemple du relais, expliquer le fonctionnement d'un contacteur électromagnétique.
5.3.2. Machine synchrone	
Structure d'un moteur synchrone à pôles lisses et à excitation séparée.	Décrire la structure d'un moteur synchrone diphasé et bipolaire : rotor, stator, induit, inducteur.
Champ magnétique dans l'entrefer.	Exprimer, pour une machine de perméabilité infinie à entrefer constant, le champ magnétique dans l'entrefer généré par une spire passant dans deux encoches opposées. Expliquer qualitativement comment obtenir un champ dont la dépendance angulaire est sinusoidale dans l'entrefer en associant plusieurs spires décalées.
Champ glissant statorique.	Justifier l'existence d'un champ glissant statorique lorsque les deux phases sont alimentées en quadrature.
Champ glissant rotorique.	Justifier l'existence d'un champ glissant rotorique associé à la rotation de l'inducteur.
Énergie et couple.	Exprimer l'énergie magnétique totale stockée dans l'entrefer en fonction de la position angulaire du rotor. Calculer le moment électromagnétique s'exerçant sur le rotor en exploitant l'expression fournie $\Gamma = \partial E / \partial \theta$.
Condition de synchronisme.	Justifier la condition de synchronisme entre le champ statorique et le champ rotorique afin d'obtenir un moment moyen non nul. Discuter qualitativement la stabilité du système en fonction du déphasage entre les deux champs glissants. Expliquer la difficulté du démarrage et du contrôle de la vitesse d'un moteur synchrone.
Modèle électrique de l'induit.	Établir les équations électriques vérifiées par les phases de l'induit en admettant les expressions des coefficients d'inductance ; donner les représentations de Fresnel associées. Justifier, à l'aide d'un bilan énergétique où seules les pertes cuivre sont envisagées, l'égalité entre la puissance électrique absorbée par les f_{cem} et la puissance mécanique fournie.

Fonctionnement réversible.	Décrire les conditions d'utilisation de la machine synchrone en alternateur.
Machine synchrone.	Citer des exemples d'application de la machine synchrone.
5.3.3. Machine à courant continu	
Structure d'un moteur à courant continu à pôles lisses.	Décrire la structure d'un moteur à courant continu bipolaire à excitation séparée : rotor, stator, induit, inducteur.
Collecteur.	Expliquer, par analogie avec le moteur synchrone, que le collecteur établit le synchronisme entre le champ statorique stationnaire et le champ rotorique quelle que soit la position angulaire du rotor.
Couple et f_{cem} .	Citer l'expression du moment du couple $\Gamma = \Phi i$ et établir l'expression de la f_{cem} induite $e = \Phi \Omega$ par un argument de conservation énergétique. Décrire qualitativement les pertes existant dans une machine réelle : pertes cuivre, pertes fer, pertes mécaniques. Établir les équations électrique et mécanique. Tracer la caractéristique (Ω, Γ) à tension d'induit constante. Analyser le démarrage d'un moteur entraînant une charge mécanique exerçant un moment $- f \cdot \Omega$. Mettre en œuvre un moteur à courant continu.
Fonctionnement réversible.	Décrire les conditions d'utilisation de la machine à courant continu en génératrice. Choisir des conventions d'orientation adaptées.
Machine à courant continu.	Citer des exemples d'application de la machine à courant continu.

La partie « **Conversion électronique statique** » aborde la conversion électronique statique de puissance principalement sur l'exemple du hacheur série. Il ne s'agit pas de traiter un cours exhaustif sur les convertisseurs en multipliant les exemples de circuits, l'état d'esprit de cet enseignement doit permettre de réinvestir les capacités pour étudier modestement d'autres montages (redresseur, onduleur). On ne décrit pas le circuit de commande d'un transistor.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.4. Conversion électronique statique	
Formes continue et alternative de la puissance électrique.	Citer des exemples illustrant la nécessité d'une conversion de puissance électrique.

Structure d'un convertisseur.	Décrire l'architecture générale d'un convertisseur électronique de puissance : générateur, récepteur, processeur de puissance utilisant des interrupteurs électroniques, commande des fonctions de commutation.
Fonction de commutation spontanée.	Décrire la caractéristique idéale courant-tension de la diode.
Fonction de commutation commandée.	Décrire la caractéristique idéale courant-tension du transistor.
Sources.	Définir les notions de sources de courant et de tension. Expliquer le rôle des condensateurs et des bobines comme éléments de stockage d'énergie assurant le lissage de la tension ou de l'intensité à haute fréquence.
Réversibilité.	Caractériser les sources par leur réversibilité en tension, en intensité, en puissance et citer des exemples.
Interconnexion.	Citer les règles d'interconnexions entre les sources.
Cellule de commutation élémentaire.	Expliquer le fonctionnement d'une cellule élémentaire à deux interrupteurs assurant le transfert d'énergie entre une source de courant et une source de tension.
Hacheur.	Tracer des chronogrammes. Exploiter le fait que la moyenne d'une dérivée est nulle en régime périodique établi. Calculer des moyennes de fonctions affines par morceaux. Utiliser un bilan de puissance moyenne pour établir des relations entre les tensions et les intensités. Justifier le choix des fonctions de commutation pour un hacheur série assurant l'alimentation d'un moteur à courant continu à partir d'un générateur idéal de tension continue. Exprimer les valeurs moyennes des signaux. Calculer l'ondulation en intensité dans l'approximation d'un hachage haute fréquence réalisant une intensité affine par morceaux.
Onduleur.	Décrire la structure en pont à quatre interrupteurs et les séquences de commutation permises. Étudier, pour un générateur de tension continue et une charge (R,L), la réalisation d'une intensité quasi-sinusoidale par modulation de largeur d'impulsion.
Convertisseur statique.	Mettre en œuvre un convertisseur statique.

6. Physique des ondes

Le programme de physique des ondes s'inscrit dans le prolongement de la partie « **Propagation d'un signal** » du thème « **Ondes et signaux** » du programme de PCSI, où des propriétés unificatrices (interférences, battements, ondes stationnaires...) ont été abordées en s'appuyant sur une approche expérimentale et sans référence à une équation d'onde. Il s'agit désormais de mettre en place l'équation d'onde de d'Alembert, à une ou trois dimensions, sur des systèmes mécaniques ou électromagnétiques. On aborde ensuite l'étude de la dispersion et de l'absorption associées à des phénomènes de propagation régis par des équations aux dérivées partielles linéaires à coefficients constants. Enfin, la propagation d'ondes dans des milieux différents conduit naturellement à étudier la réflexion et la transmission d'ondes à une interface.

La partie « **Phénomènes de propagation non dispersifs : équation de d'Alembert** » est consacrée à l'étude de phénomènes ondulatoires non dispersifs. L'équation de d'Alembert unidimensionnelle est d'abord établie en étudiant une partie infinitésimale de corde ou de câble coaxial. On se contente de vérifier que les superpositions de fonctions du type $f(x - ct)$ et $g(x + ct)$ sont solutions de l'équation de d'Alembert à une dimension.

Dans un deuxième temps, on étudie les ondes sonores puis les ondes électromagnétiques qui se propagent dans l'espace physique de dimension trois.

L'équation de propagation des ondes sonores est établie dans le cadre de l'approximation acoustique avec une approche locale.

Le choix a été fait ici de privilégier les solutions harmoniques dans la résolution de l'équation de d'Alembert, pour leur universalité comme solutions adaptées aux équations d'ondes linéaires.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6.1. Phénomènes de propagation non dispersifs : équation de d'Alembert	
6.1.1. Propagation unidimensionnelle	
Ondes transversales sur une corde vibrante.	Établir l'équation d'onde dans le cas d'une corde infiniment souple dans l'approximation des petits mouvements transverses.
Équation de d'Alembert. Onde progressive. Onde stationnaire.	Identifier une équation de d'Alembert. Exprimer la célérité en fonction des paramètres du milieu. Citer des exemples de solutions de l'équation de d'Alembert unidimensionnelle.
Ondes progressives harmoniques.	Établir la relation de dispersion à partir de l'équation de d'Alembert. Utiliser la notation complexe. Définir le vecteur d'onde, la vitesse de phase.
Ondes stationnaires harmoniques.	Décomposer une onde stationnaire en ondes progressives, une onde progressive en ondes stationnaires.
Conditions aux limites.	Justifier et exploiter des conditions aux limites.

Régime libre : modes propres d'une corde vibrante fixée à ses deux extrémités.	Définir et décrire les modes propres. Construire une solution quelconque par superposition de modes propres.
Régime forcé : corde de Melde.	Associer mode propre et résonance en régime forcé.
Ondes de tension et de courant dans un câble coaxial.	Décrire un câble coaxial par un modèle à constantes réparties sans perte. Établir les équations de propagation dans un câble coaxial sans pertes modélisé comme un milieu continu caractérisé par une inductance linéique et une capacité linéique.
Impédance caractéristique.	Établir l'expression de l'impédance caractéristique d'un câble coaxial.
Réflexion en amplitude sur une impédance terminale.	Étudier la réflexion en amplitude de tension pour une impédance terminale nulle, infinie ou résistive.
6.1.2. Ondes sonores dans les fluides	
Approximation acoustique.	Classer les ondes sonores par domaines fréquentiels. Justifier les hypothèses de l'approximation acoustique par des ordres de grandeur. Écrire les équations locales linéarisées : conservation de la masse, équation thermodynamique, équation de la dynamique.
Équation de d'Alembert pour la surpression.	Établir l'équation de propagation de la surpression formulée avec l'opérateur laplacien.
Célérité.	Exprimer la célérité en fonction de la température pour un gaz parfait. Citer les ordres de grandeur de la célérité pour l'air et pour l'eau.
Densité volumique d'énergie sonore, vecteur densité de courant énergétique.	Utiliser les expressions admises du vecteur densité de courant énergétique et de la densité volumique d'énergie associés à la propagation de l'onde.
Intensité sonore, niveau d'intensité sonore.	Définir l'intensité sonore et le niveau d'intensité sonore. Citer quelques ordres de grandeur de niveaux d'intensité sonore.
Ondes planes progressives harmoniques. Onde longitudinale.	Décrire le caractère longitudinal de l'onde sonore. Discuter de la validité du modèle de l'onde plane en relation avec le phénomène de diffraction. Utiliser le principe de superposition des ondes planes progressives harmoniques.

Impédance acoustique.	Établir et utiliser l'impédance acoustique définie comme le rapport de la surpression sur le débit volumique ou comme le rapport de la surpression sur la vitesse.
Onde sonore sphérique harmonique divergente.	Commenter l'expression fournie de la surpression générée par une sphère pulsante : atténuation géométrique, structure locale.
Effet Doppler.	Mettre en œuvre une détection synchrone pour mesurer une vitesse par décalage Doppler.
6.1.3. Bilan de Poynting de l'énergie électromagnétique dans un milieu quelconque	
Densité volumique d'énergie électromagnétique et vecteur de Poynting. Équation locale de Poynting.	Identifier les différents termes de l'équation locale de Poynting. Exprimer la puissance rayonnée à travers une surface à l'aide du vecteur de Poynting.
6.1.4. Ondes électromagnétiques dans le vide	
Propagation des vecteurs champs électrique et magnétique dans une région sans charge ni courant.	Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications. Établir les équations de propagation.
Structure d'une onde plane progressive harmonique.	Utiliser la notation complexe. Établir la relation entre le vecteur champ électrique, le vecteur champ magnétique et le vecteur d'onde. Associer la direction du vecteur de Poynting et la direction de propagation de l'onde. Associer le flux du vecteur de Poynting à un flux de photons en utilisant la relation d'Einstein-Planck. Citer quelques ordres de grandeur de flux énergétiques surfaciques moyens (laser hélium-néon, flux solaire). Utiliser le principe de superposition d'ondes planes progressives harmoniques.
Polarisation rectiligne.	Identifier l'expression d'une onde électromagnétique plane progressive polarisée rectilignement. Utiliser des polariseurs et étudier quantitativement la loi de Malus.

La partie « **Phénomènes de propagation linéaires : absorption et dispersion** » est consacrée aux phénomènes de propagation régis par des équations aux dérivées partielles linéaires à coefficients constants. L'étude est menée sur des ondes harmoniques unidimensionnelles lorsque l'équation de propagation est linéaire mais n'est pas une équation de d'Alembert. On évoque ensuite la théorie de Fourier pour justifier qu'une onde quelconque limitée dans le temps est la superposition d'ondes harmoniques : on définit ainsi la notion de paquet d'onde. Pour finir, on applique les notions nouvellement introduites sur la dispersion à la propagation des ondes dans les milieux conducteurs et les plasmas. L'étude de la propagation des ondes dans un plasma dilué est exclusivement limitée aux ondes

transverses électriques ; le professeur est invité à signaler, sans soucis d'exhaustivité, quelques limites du modèle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6.2. Phénomènes de propagation linéaires : absorption et dispersion	
6.2.1. Relation de dispersion	
Propagation unidimensionnelle d'une onde harmonique dans un milieu linéaire.	Identifier le caractère linéaire d'une équation aux dérivées partielles. Établir la relation de dispersion. Relier, pour un signal proportionnel à $\exp(j(\omega t - \underline{k}x))$, la partie réelle de \underline{k} à la vitesse de phase et la partie imaginaire de \underline{k} à une dépendance spatiale de l'amplitude.
6.2.2. Paquet d'ondes	
Superposition de deux ondes de fréquences proches dans un milieu non absorbant et dispersif.	Déterminer la vitesse de groupe. Associer la vitesse de groupe à la propagation de l'enveloppe du paquet d'ondes. <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, simuler la propagation d'un paquet d'ondes dans un milieu dispersif et visualiser le phénomène d'étalement.
Domaine spectral d'un paquet d'onde de durée finie.	Énoncer et exploiter la relation entre les ordres de grandeur de la durée temporelle d'un paquet d'onde et la largeur fréquentielle de son spectre.
6.2.3. Ondes électromagnétiques planes dans des milieux conducteurs	
Conducteur ohmique de conductivité réelle : effet de peau.	Identifier une analogie formelle avec les phénomènes de diffusion. Établir l'expression de l'épaisseur de peau. Citer l'ordre de grandeur de l'épaisseur de peau du cuivre à 50 Hz. Associer l'atténuation de l'onde à une dissipation d'énergie.
Modèle du conducteur parfait en présence d'un champ électromagnétique variable.	Justifier que les champs électrique et magnétique sont nuls dans le conducteur.
Onde plane transverse électrique harmonique dans un plasma dilué. Conductivité complexe du milieu. Fréquence de coupure. Vitesse de phase, vitesse de groupe. Ondes évanescentes.	Exprimer la conductivité complexe du milieu et établir la relation de dispersion. Relier la fréquence de coupure aux caractéristiques du plasma et citer son ordre de grandeur dans le cas de l'ionosphère. Associer le caractère imaginaire pur de la conductivité complexe à l'absence de puissance moyenne échangée entre le champ et les porteurs. Distinguer qualitativement les ondes évanescentes et les ondes progressives du point de vue du transport de l'énergie.

La partie « **Interfaces entre deux milieux** » est consacrée à la réflexion et à la transmission d'ondes à une interface plane sous incidence normale en acoustique et en électromagnétisme. Les relations de passage pour le champ électromagnétique sont affirmées, leurs démonstrations ne relèvent pas du programme. La détermination de l'intensité d'un courant à partir du vecteur densité de courant surfacique n'est pas un objectif de formation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6.3. Interfaces entre deux milieux	
6.3.1. Cas des ondes sonores	
Réflexion, transmission d'une onde sonore sur une interface plane entre deux fluides : coefficients de réflexion et de transmission en amplitude des vitesses, des surpressions et des puissances sonores.	Expliciter des conditions aux limites à une interface. Établir les expressions des coefficients de transmission et de réflexion en amplitude de surpression, en amplitude de vitesse ou en puissance dans le cas d'une onde plane progressive sous incidence normale. Relier l'adaptation des impédances au transfert maximal de puissance.
6.3.2. Cas des ondes électromagnétiques	
Relations de passage du champ électromagnétique en présence d'une distribution surfacique de charge ou de courant.	Interpréter le vecteur densité de courant surfacique comme un modèle pour décrire un déplacement de charges à travers un domaine d'épaisseur faible devant l'échelle de description. Utiliser les relations de passage fournies.
Réflexion d'une onde électromagnétique polarisée rectilignement sur un conducteur parfait, en incidence normale. Pression de radiation.	Exploiter la continuité de la composante tangentielle du champ électrique pour justifier l'existence d'une onde réfléchie et calculer celle-ci. Établir l'expression du champ électromagnétique de l'onde réfléchie et du vecteur densité de courant surfacique. Calculer le coefficient de réflexion en puissance. Déterminer la pression de radiation à l'aide de l'expression fournie de la force de Laplace.

7. Transformations de la matière : aspects thermodynamiques et cinétiques

Les transformations de la matière ont été abordées au premier semestre de la classe de PCSI ; le critère d'évolution spontanée d'un système chimique en transformation y a été présenté et utilisé sans être démontré. Ce critère a été remobilisé au second semestre lors de l'étude des transformations chimiques en solution aqueuse.

Le but de cette partie est double : aborder les transferts thermiques et établir, puis exploiter le critère d'évolution spontanée d'un système engagé dans une transformation physico-chimique, ce qui nécessite l'introduction de la fonction enthalpie libre et du potentiel chimique.

Dans la partie « **Premier principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques** », l'étude des transferts thermiques, abordée en première année dans le cadre du cours de physique relatif aux transformations physiques du corps pur, est ici généralisée aux transformations physico-chimiques. Les enthalpies standard de réaction sont considérées comme indépendantes de la température.

Les notions et contenus sont illustrés à travers des applications liées à la vie quotidienne (contenu calorique des aliments, pouvoirs calorifiques des carburants, etc.), à la recherche (apports des techniques calorimétriques modernes, etc.) ou au domaine industriel. Un prolongement est proposé dans le cadre de l'étude thermique au sein des réacteurs continus dans la partie portant sur les procédés industriels continus.

Notions et contenus	Capacités exigibles
7.1. Premier principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques	
État standard. Enthalpie standard de réaction. Loi de Hess. Enthalpie standard de formation, état standard de référence d'un élément.	Déterminer l'enthalpie standard de réaction à l'aide de tables de données thermodynamiques. Associer le signe de l'enthalpie standard de réaction au caractère endothermique ou exothermique de la réaction.
Effets thermiques en réacteur monobare : <ul style="list-style-type: none"> - transfert thermique associé à la transformation chimique en réacteur monobare, isotherme ; - variation de température en réacteur monobare, adiabatique. 	Prévoir, à partir de données thermodynamiques, le sens et estimer la valeur du transfert thermique entre un système, siège d'une transformation physico-chimique et le milieu extérieur. Évaluer la température atteinte par un système siège d'une transformation chimique supposée monobare et réalisée dans un réacteur adiabatique. Mettre en œuvre une transformation physico-chimique en réacteur adiabatique monobare pour déterminer une enthalpie standard de réaction.

Dans la partie « **Deuxième principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques** », on adopte pour les potentiels chimiques une expression générale : $\mu_i = \mu_{i, \text{réf}} + RT \ln(a_i)$ qui fait référence aux activités a_i introduites en première année. L'établissement de cette expression est hors programme. L'influence de la pression sur le potentiel chimique d'un constituant en phase condensée pure n'est pas abordée. On se limite aux cas d'une espèce chimique pure, d'une espèce en solution aqueuse très diluée et d'une espèce en mélange de gaz parfaits avec référence à l'état standard. Pour le calcul des grandeurs standard de réaction, les enthalpies et entropies standard de réaction sont supposées indépendantes de la température. Les grandeurs standard de réaction permettent la détermination de la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre K° d'une réaction, valeur qui était simplement donnée en première année. C'est ainsi l'occasion de revenir sur la détermination de la composition du système physico-chimique en fin d'évolution.

La notion d'affinité chimique n'est pas utilisée, le sens d'évolution spontanée d'un système hors d'équilibre, à température et pression fixées, est déterminé par le signe de l'enthalpie libre de réaction $\Delta_r G$.

Enfin, l'étude de l'influence de la modification d'un paramètre (pression, température ou composition) sur un système chimique permet d'aborder la problématique de l'optimisation des conditions opératoires d'un procédé chimique.

Les illustrations et applications sont choisies dans le domaine industriel, dans la vie courante et au niveau du laboratoire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
7.2. Deuxième principe de la thermodynamique appliqué aux transformations physico-chimiques	
Enthalpie libre.	Justifier que l'enthalpie libre est le potentiel thermodynamique adapté à l'étude des transformations isothermes, isobares et spontanées. Exprimer l'entropie créée en fonction de la variation d'enthalpie libre.
Identités thermodynamiques. Potentiel chimique.	Citer les expressions des différentielles de U, H, G. Distinguer les caractères intensif ou extensif des variables utilisées.
Potentiel chimique du corps pur.	Identifier le potentiel chimique d'un corps pur à son enthalpie libre molaire.
Conditions d'équilibre d'un corps pur sous plusieurs phases.	Établir l'égalité des potentiels chimiques pour un corps pur en équilibre sous plusieurs phases. En déduire l'existence d'une courbe d'équilibre sur un diagramme (P,T).
Paramètres intensifs.	Identifier un jeu de paramètres intensifs indépendants permettant la description d'un système physico-chimique en équilibre.
Évolution d'un système sous plusieurs phases.	Utiliser le potentiel chimique pour prévoir l'évolution d'un système contenant une espèce chimique dans plusieurs phases.
Potentiel chimique d'une espèce chimique dans un mélange ; enthalpie libre d'un système chimique. Activité.	Donner l'expression (admise) du potentiel chimique d'un constituant en fonction de son activité. Exprimer l'enthalpie libre d'un système chimique en fonction des potentiels chimiques.
Enthalpie de réaction, entropie de réaction, enthalpie libre de réaction et grandeurs standard associées. Relation entre enthalpie libre de réaction et quotient de réaction ; équilibre physico-chimique ; évolution d'un système chimique.	Justifier qualitativement ou prévoir le signe de l'entropie standard de réaction. Relier création d'entropie et enthalpie libre de réaction lors d'une transformation d'un système physico-chimique à pression et température fixées. Prévoir le sens d'évolution à pression et température fixées d'un système physico-chimique dans un état donné à l'aide de l'enthalpie libre de réaction. Déterminer les grandeurs standard de réaction à partir des tables de données thermodynamiques et de la loi de Hess.

Constante thermodynamique d'équilibre ; relation de Van 't Hoff.	Citer et exploiter la relation de Van 't Hoff. Déterminer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre à une température quelconque. Déterminer l'évolution de la valeur d'une constante thermodynamique d'équilibre en fonction de la température.
État final d'un système : équilibre chimique ou transformation totale.	Déterminer la composition chimique d'un système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.
Optimisation thermodynamique d'un procédé chimique : - par modification de la valeur de K° ; - par modification de la valeur du quotient réactionnel.	Identifier les paramètres d'influence et leur contrôle pour optimiser une synthèse ou minimiser la formation d'un produit secondaire indésirable.

Les transformations chimiques de la matière réalisées au laboratoire mettent en jeu de faibles quantités de matière et sont conduites en réacteur fermé. À l'échelle industrielle, les transformations mettent en jeu des quantités de matière beaucoup plus élevées et sont souvent conduites en réacteur ouvert pour assurer un fonctionnement continu. L'objectif de cette partie « **Procédés industriels continus : aspects cinétiques et thermodynamiques** » est une initiation aux bilans de matière et d'énergie effectués sur des réacteurs ouverts continus.

L'étude des opérations unitaires s'inscrit dans le prolongement des connaissances acquises en physique, notamment en mécanique des fluides, et en chimie, en particulier en cinétique en réacteur fermé et en thermodynamique, domaines qui sont à la base du génie des procédés et de la technologie chimique.

Sensibiliser les étudiants aux enjeux spécifiques du secteur industriel est un élément constitutif de leur formation. Des procédés chimiques innovants s'imposent pour développer des techniques et des appareils adaptés permettant d'obtenir des rendements supérieurs à ceux des procédés conventionnels, tout en limitant leurs impacts environnementaux, en mettant au point des procédés plus sûrs, moins consommateurs d'énergie, de matières premières et de solvants et également moins polluants.

Notions et contenus	Capacités exigibles
7.3. Procédés industriels continus : aspects cinétiques et thermodynamiques	
D'un protocole de laboratoire à un procédé industriel.	
Opérations unitaires d'un procédé.	Exploiter un schéma de procédé légendé pour identifier les différentes opérations unitaires.
Procédés discontinus ou continus.	Identifier un procédé discontinu ou continu.
Procédés continus en régime stationnaire : débit de matière en masse et en quantité de matière, bilan de matière.	Effectuer un bilan de matière sur une espèce chimique à partir de données sur les compositions et les débits entrants et sortants.

<p>Cinétique de transformations en réacteur ouvert.</p> <p>Modèle du réacteur parfaitement agité continu en régime stationnaire dans le cas d'un écoulement de débits volumiques égaux à l'entrée et à la sortie.</p>	<p>Effectuer un bilan de quantité de matière sur une espèce chimique.</p>
<p>Taux de conversion d'un réactif. Temps de passage.</p>	<p>Relier le taux de conversion du réactif au temps de passage pour une transformation de loi de vitesse de réaction donnée.</p>
<p>Modèle du réacteur chimique en écoulement piston isotherme en régime stationnaire dans le cas de débits volumiques égaux à l'entrée et à la sortie du réacteur ; dimensionnement d'un réacteur en écoulement piston.</p>	<p>Établir un bilan de quantité de matière sur une espèce chimique. Relier le taux de conversion en sortie d'un réacteur en écoulement piston et le temps de passage pour une transformation modélisée par une loi de vitesse donnée.</p>
<p>Étude thermique d'un réacteur ouvert.</p> <p>Bilan énergétique sur un réacteur parfaitement agité continu en régime stationnaire dans le cas de débits volumiques égaux à l'entrée et à la sortie.</p>	<p>Effectuer un bilan énergétique sur un réacteur ouvert afin d'établir une relation entre les températures d'entrée et de sortie, le taux de conversion et le flux thermique éventuellement échangé.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, déterminer le(s) point(s) de fonctionnement (température et taux de conversion) d'un réacteur ouvert siège d'une transformation modélisée par une réaction isotherme unique et en discuter la stabilité.</p>

8. Aspects thermodynamiques et cinétiques de l'électrochimie

Les aspects thermodynamiques et cinétiques des réactions d'oxydo-réduction sont appliqués notamment à la corrosion d'une part et aux dispositifs électrochimiques que sont les piles et les accumulateurs d'autre part. L'illustration des notions gagne à s'appuyer sur des applications concrètes comme par exemple la mise en œuvre de capteurs électrochimiques dans l'analyse de l'eau, de l'air ou d'effluents. L'approche de l'électrochimie proposée ici privilégie les raisonnements qualitatifs et les aspects expérimentaux, plutôt que les développements théoriques et formels.

La partie « **Étude thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction** » se fonde sur les acquis de première année relatifs à l'étude des réactions d'oxydo-réduction et des piles, ainsi que sur la partie de thermodynamique chimique de seconde année pour relier les grandeurs thermodynamiques aux potentiels.

Notions et contenus	Capacités exigibles
8.1. Étude thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction	
Relation entre enthalpie libre de réaction et potentiels des couples mis en jeu dans une réaction d'oxydo-réduction.	Citer et exploiter la relation entre l'enthalpie libre de réaction et les potentiels des couples mis en jeu dans une réaction d'oxydo-réduction.
Relation entre enthalpie libre standard de réaction et potentiels standard des couples impliqués.	Déterminer l'enthalpie libre standard d'une réaction d'oxydo-réduction à partir des potentiels standard des couples. Déterminer la valeur du potentiel standard d'un couple d'oxydo-réduction à partir de données thermodynamiques.

La partie « **Étude cinétique des réactions d'oxydo-réduction : courbe courant-potentiel** » se fonde sur les acquis de cinétique chimique de première année et les prolongent par le tracé et l'exploitation de courbes courant-potentiel.

Les courbes courant-potentiel, dont le tracé est proposé en capacité expérimentale, sont un outil essentiel dans la compréhension et la modélisation des systèmes électrochimiques.

L'écart entre le potentiel d'une électrode et son potentiel d'équilibre est appelé surpotentiel plutôt que surtension pour des raisons pédagogiques, en cohérence avec le vocabulaire anglo-saxon correspondant.

Notions et contenus	Capacités exigibles
8.2. Étude cinétique des réactions d'oxydo-réduction : courbe courant-potentiel	
<p>Courbes courant-potentiel sur une électrode en régime stationnaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - surpotentiel ; - systèmes rapides et systèmes lents ; - nature de l'électrode ; - courant de diffusion limite ; - vagues successives ; - domaine d'inertie électrochimique du solvant. 	<p>Décrire le montage à trois électrodes permettant de tracer des courbes courant-potentiel. Relier vitesse de réaction électrochimique et intensité du courant. Identifier le caractère lent ou rapide d'un système à partir des courbes courant-potentiel. Identifier les espèces électroactives pouvant donner lieu à une limitation en courant par diffusion. Identifier des paliers de diffusion limite sur des relevés expérimentaux. Relier, à l'aide de la loi de Fick, l'intensité du courant de diffusion limite à la concentration du réactif et à la surface immergée de l'électrode. Tracer l'allure de courbes courant-potentiel de branches d'oxydation ou de réduction à partir de données fournies, de potentiels standard, concentrations et surpotentiels.</p> <p>Tracer et exploiter des courbes courant-potentiel.</p>

La partie « **Stockage et conversion d'énergie dans des dispositifs électrochimiques** » s'appuie sur les courbes courant-potentiel pour étudier le fonctionnement des piles et leur recharge, ainsi que les électrolyseurs. Ces courbes permettent en effet de déterminer différentes caractéristiques : réactions aux électrodes, tension à vide, tension à imposer pour une recharge, etc.

Notions et contenus	Capacités exigibles
8.3. Stockage et conversion d'énergie dans des dispositifs électrochimiques	
<p>Conversion d'énergie chimique en énergie électrique : fonctionnement des piles.</p> <p>Transformations spontanées et réaction modélisant le fonctionnement d'une pile électrochimique.</p>	<p>Établir l'inégalité reliant la variation d'enthalpie libre et le travail électrique. Relier la tension à vide d'une pile et l'enthalpie libre de la réaction modélisant son fonctionnement. Déterminer la capacité électrique d'une pile.</p>
<p>Courbes courant-potentiel et fonctionnement d'une pile électrochimique.</p>	<p>Exploiter les courbes courant-potentiel pour rendre compte du fonctionnement d'une pile électrochimique et tracer sa caractéristique. Citer les paramètres influençant la résistance interne d'une pile électrochimique.</p>
<p>Conversion d'énergie électrique en énergie chimique.</p> <p>Transformations forcées lors d'une électrolyse et de la recharge d'un accumulateur.</p>	<p>Exploiter les courbes courant-potentiel pour rendre compte du fonctionnement d'un électrolyseur et prévoir la valeur de la tension minimale à imposer. Exploiter les courbes courant-potentiel pour justifier les contraintes (purification de la solution électrolytique, choix des électrodes) dans la recharge d'un accumulateur. Déterminer la masse de produit formé pour une durée et des conditions données d'électrolyse. Déterminer un rendement faradique à partir d'informations fournies concernant le dispositif étudié.</p>
<p>Stockage et conversion d'énergie chimique.</p>	<p>Étudier le fonctionnement d'une pile ou d'un électrolyseur pour effectuer des bilans de matière et des bilans électriques.</p>

La lutte contre la corrosion est un enjeu économique actuel et la compréhension des phénomènes de corrosion et des facteurs influençant cette corrosion est essentielle pour effectuer des choix de méthodes de protection. La partie « **Corrosion humide ou électrochimique** » exploite les courbes courant-potentiel pour interpréter les phénomènes de corrosion, de protection et de passivation. On se limite à la corrosion uniforme et à la corrosion galvanique de deux métaux en contact. Les tracés de diagrammes de Tafel ou d'Evans sont hors-programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
8.4. Corrosion humide ou électrochimique	
Corrosion uniforme en milieu acide ou en milieu neutre oxygéné : potentiel de corrosion, courant de corrosion. Corrosion d'un système de deux métaux en contact.	Positionner un potentiel de corrosion sur un tracé de courbes courant-potentiel. Interpréter le phénomène de corrosion uniforme d'un métal ou de deux métaux en contact en utilisant des courbes courant-potentiel ou d'autres données expérimentales, thermodynamiques et cinétiques. Déterminer une vitesse de corrosion. Citer des facteurs favorisant la corrosion.
Protection contre la corrosion : <ul style="list-style-type: none"> - revêtement ; - anode sacrificielle ; - protection électrochimique par courant imposé. 	Exploiter des tracés de courbes courant-potentiel pour expliquer qualitativement : <ul style="list-style-type: none"> - la qualité de la protection par un revêtement métallique ; - le fonctionnement d'une anode sacrificielle.
Passivation.	Interpréter le phénomène de passivation sur une courbe courant-potentiel. Mettre en évidence le phénomène de corrosion et les facteurs l'influençant.

Annexe 1 : matériel

Cette liste complète celle donnée en annexe 1 du programme de physique de PCSI. À elles deux, ces listes regroupent le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée. Une utilisation de matériel hors de ces listes lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une aide.

1. Domaine conversion de puissance

- Wattmètre numérique.
- Transformateur à noyau ferromagnétique.
- Machine à courant continu.
- Alimentation stabilisée.

2. Domaine électrique

- Oscilloscope numérique avec analyseur de spectre.
- Microcontrôleur.
- CAN et CNA.
- ALI.
- Multiplieur analogique.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie PSI

3. Domaine ondes

- Câble coaxial, bouchons adaptés.
- Émetteurs et récepteurs à ultrasons.
- Haut-parleur, microphone.
- Polariseurs.

4. Domaine chimie

- Verrerie classique de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, béchers, etc.
- Spectrophotomètre UV-visible.
- pH-mètre et électrodes de mesure.
- Voltmètre et électrodes.
- Conductimètre et cellule de mesure.
- Thermomètre.
- Balance de précision.
- Électrodes de référence.
- Électrolyseur.

Annexe 2 : outils mathématiques

Les outils mathématiques dont la maîtrise est nécessaire à la mise en œuvre du programme de physique de la classe de PSI sont d'une part ceux qui figurent dans l'annexe 2 du programme de PCSI et d'autre part ceux qui figurent dans la liste ci-dessous.

Le thème « analyse vectorielle » prolonge l'étude de l'outil « gradient » abordée en PCSI en introduisant de nouveaux opérateurs : seules leurs expressions en coordonnées cartésiennes sont exigibles. Toutes les autres formules utiles (expressions en coordonnées cylindriques ou sphériques, actions sur des produits, combinaisons d'opérateurs, etc.) doivent être fournies.

Le thème « analyse de Fourier » prolonge l'étude de l'outil « séries de Fourier » abordée en PCSI en admettant la décomposition d'une fonction non périodique du temps en une somme continue de fonctions sinusoïdales ; la transformée de Fourier n'est pas au programme. On insiste sur la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale Δf et la durée caractéristique Δt d'un signal non périodique.

Dans le thème « équations aux dérivées partielles », aucune méthode générale d'étude n'est exigible : on se limite à chercher des solutions d'une forme donnée par substitution, menant ainsi soit à des équations différentielles classiques, soit à une relation de dispersion.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Analyse vectorielle	
Gradient.	Relier le gradient à la différentielle d'un champ scalaire à t fixé. Exprimer les composantes du gradient en coordonnées cartésiennes. Utiliser le fait que le gradient d'une fonction f est perpendiculaire aux surfaces iso- f et orienté dans le sens des valeurs de f croissantes.

Divergence.	Citer et utiliser le théorème d'Ostrogradski. Exprimer la divergence en coordonnées cartésiennes.
Rotationnel.	Citer et utiliser le théorème de Stokes. Exprimer le rotationnel en coordonnées cartésiennes.
Laplacien d'un champ scalaire.	Définir le laplacien à l'aide de la divergence et du gradient. Exprimer le laplacien en coordonnées cartésiennes.
Laplacien d'un champ de vecteurs.	Exprimer le laplacien d'un champ de vecteurs en coordonnées cartésiennes. Utiliser la formule d'analyse vectorielle : rot(rotA) = grad(divA) - ΔA .
Champs proportionnels à $\exp(i\omega t - i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r})$ ou $\exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - i\omega t)$.	Exprimer l'action des opérateurs d'analyse vectorielle sur un tel champ à l'aide du vecteur $i\mathbf{k}$.
2. Analyse de Fourier	
Synthèse spectrale d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni. Utiliser un raisonnement par superposition.
Synthèse spectrale d'une fonction non périodique.	Utiliser un raisonnement par superposition. Citer et utiliser la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale Δf et la durée caractéristique Δt d'un signal non périodique.
3. Équations aux dérivées partielles	
Exemples d'équations aux dérivées partielles : équation de Laplace, équation de diffusion, équation de d'Alembert.	Identifier une équation aux dérivées partielles connue. Transposer une solution familière dans un domaine de la physique à un autre domaine. Obtenir des solutions de forme donnée par substitution. Utiliser des conditions initiales et des conditions aux limites.
4. Calcul différentiel	
Différentielle d'une fonction de plusieurs variables. Dérivée partielle. Théorème de Schwarz.	Connaître l'expression de la différentielle en fonction des dérivées partielles. Identifier la valeur d'une dérivée partielle, l'expression de la différentielle étant donnée. Utiliser le théorème de Schwarz (admis).

Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python dans la formation des étudiants inclut l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques. Elle vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est par ailleurs toujours recommandée. Elle a aussi pour objectif de mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique. Cette formation par le codage permet également de développer des

capacités utiles à la physique comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples.

Le tableau ci-dessous complète les outils numériques identifiés dans le programme de première année de la classe de PCSI.

Outils numériques	Capacités exigibles
Transformée de Fourier discrète.	Calculer la transformée de Fourier discrète d'un signal à valeurs réelles en utilisant la fonction rfft de la bibliothèque numpy.fft (sa spécification étant donnée).
Équation de diffusion à une dimension.	Mettre en œuvre une méthode des différences finies explicite pour résoudre l'équation de diffusion à une dimension en régime variable.

Enseignements secondaire et supérieur

Classes préparatoires scientifiques

Programmes de mathématiques et de physique-chimie des classes préparatoires de seconde année de mathématiques, physique et informatique (MPI) et de mathématiques, physique et informatique* (MPI*)

NOR : ESRS2111756A

arrêté du 13-7-2021 - JO du 5-8-2021

MESRI - DGESIP A1-2 - MENJS - DGESCO - MOM

Vu Code de l'éducation, notamment articles D. 612-19 à D. 612-29 ; arrêtés du 10-2-1995 modifiés ; avis du Cneser du 8-6-2021 ; avis du CSE du 17-6-2021 ; avis de la ministre des Armées en date des 1er, 2, 5 et 6-7-2021

Article 1 - Les programmes de mathématiques et de physique-chimie de seconde année des classes préparatoires mathématiques, physique et informatique (MPI) et mathématiques, physique et informatique* (MPI*) figurent respectivement aux annexes 1 et 2 du présent arrêté.

Article 2 - Les dispositions du présent arrêté prennent effet à compter de la rentrée de l'année scolaire 2022-2023.

Article 3 - Les dispositions du présent arrêté s'appliquent dans les îles Wallis et Futuna et en Nouvelle-Calédonie.

Article 4 - Le présent arrêté sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 13 juillet 2021

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Édouard Geffray

Pour le ministre des Outre-mer, et par délégation,
La directrice générale des outre-mer,
Sophie Brocas

Pour la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et par délégation,
Pour la directrice générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle, et par délégation,
La cheffe du service de la stratégie des formations et de la vie étudiante, adjointe à la directrice générale,
Isabelle Prat

Annexes

➔ Programmes de mathématiques et de physique-chimie des classes préparatoires de seconde année de mathématiques, physique et informatique (MPI) et de mathématiques, physique et informatique* (MPI*)



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Mathématiques, physique, informatique (MPI)

Annexe 1

Programme de mathématiques

Classes préparatoires MP et MPI

Programme de mathématiques

Table des matières

Préambule	2
Objectifs de formation	2
Description et prise en compte des compétences	2
Unité de la formation scientifique	3
Architecture et contenu du programme	4
Organisation du texte	5
Programme	6
Structures algébriques usuelles	6
Réduction des endomorphismes et des matrices carrées	7
Endomorphismes d'un espace euclidien	10
Topologie des espaces vectoriels normés	11
Séries numériques et vectorielles	14
Suites et séries de fonctions, séries entières	15
A - Suites et séries de fonctions	15
B - Séries entières	16
Fonctions vectorielles	17
Intégration sur un intervalle quelconque	18
Variables aléatoires discrètes	22
Équations différentielles linéaires	25
Calcul différentiel et optimisation	26

Préambule

Les programmes de mathématiques des classes préparatoires scientifiques MPSI, PCSI, PTSI, MP2I, MP, PC, PSI, PT, MPI sont conçus comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités, avec l'objectif de préparer les étudiantes et étudiants à poursuivre avec succès dans les écoles et les universités un cursus de formation aux métiers de l'ingénierie, de l'enseignement, de la recherche.

Ce programme permet de conjuguer deux aspects de l'activité mathématique : d'une part la construction d'objets souvent introduits de manière intrinsèque et l'importance de la démonstration; d'autre part la technique qui permet de rendre ces objets opérationnels.

Objectifs de formation

La formation est conçue en fonction de quatre objectifs essentiels :

- fournir un solide bagage de connaissances, de concepts et de méthodes;
- exploiter toute la richesse de la démarche mathématique : analyser un problème, expérimenter sur des exemples, formuler une conjecture, élaborer et mettre en œuvre des concepts et des résultats théoriques, rédiger une solution rigoureuse, contrôler les résultats obtenus et évaluer la pertinence des concepts et des résultats au regard du problème posé;
- développer l'intuition, l'imagination, le raisonnement et la rigueur;
- promouvoir la réflexion personnelle des étudiantes et étudiants sur les problèmes et les phénomènes mathématiques, sur la portée des concepts, des hypothèses, des résultats et des méthodes, au moyen d'exemples et de contre-exemples; développer ainsi une attitude de questionnement et de recherche.

En continuité avec les programmes de mathématiques du lycée, les programmes des classes préparatoires scientifiques définissent un corpus de connaissances et de capacités et explicitent six grandes compétences mathématiques :

- **chercher, mettre en œuvre des stratégies** : découvrir une problématique, l'analyser, la transformer ou la simplifier, expérimenter sur des exemples, formuler des hypothèses, identifier des particularités ou des analogies;
- **modéliser** : extraire un problème de son contexte pour le traduire en langage mathématique, comparer un modèle à la réalité, le valider, le critiquer;
- **représenter** : choisir le cadre (numérique, algébrique, géométrique...) le mieux adapté pour traiter un problème ou représenter un objet mathématique, passer d'un mode de représentation à un autre, changer de registre;
- **raisonner, argumenter** : effectuer des inférences inductives et déductives, conduire une démonstration, confirmer ou infirmer une conjecture;
- **calculer, utiliser le langage symbolique** : manipuler des expressions contenant des symboles, organiser les différentes étapes d'un calcul complexe, effectuer un calcul automatisable à la main où à l'aide d'un instrument (calculatrice, logiciel...), contrôler les résultats;
- **communiquer** à l'écrit et à l'oral : comprendre les énoncés mathématiques écrits par d'autres, rédiger une solution rigoureuse, présenter et défendre un travail mathématique.

Description et prise en compte des compétences

Chercher

Cette compétence vise à développer les attitudes de questionnement et de recherche, au travers de réelles activités mathématiques, prenant place au sein ou en dehors de la classe. Les différents temps d'enseignement (cours, travaux dirigés, heures d'interrogation, TIPE) doivent privilégier la découverte et l'exploitation de problématiques, la réflexion sur les démarches suivies, les hypothèses formulées et les méthodes de résolution. Le professeur ne saurait limiter son enseignement à un cours dogmatique : afin de développer les capacités d'autonomie des étudiants, il doit les amener à se poser eux-mêmes des questions, à prendre en compte une problématique mathématique, à utiliser des outils logiciels, et à s'appuyer sur la recherche et l'exploitation, individuelle ou en équipe, de documents.

Les travaux proposés aux étudiants en dehors des temps d'enseignement doivent combiner la résolution d'exercices d'entraînement relevant de techniques bien répertoriées et l'étude de questions plus complexes. Posées sous forme de problèmes ouverts, elles alimentent un travail de recherche individuel ou collectif, nécessitant la mobilisation d'un large éventail de connaissances et de capacités.

Modéliser

Le programme présente des notions, méthodes et outils mathématiques permettant de modéliser l'état et l'évolution de systèmes déterministes ou aléatoires issus de la rencontre du réel et du contexte, et éventuellement du traitement qui en a été fait par la mécanique, la physique, la chimie, les sciences industrielles. Ces interprétations viennent en retour éclairer les concepts fondamentaux de l'analyse, de l'algèbre linéaire, de la géométrie ou des probabilités. La modélisation contribue ainsi de façon essentielle à l'unité de la formation scientifique et valide les approches interdisciplinaires. À cet effet, il importe de promouvoir l'étude de questions mettant en œuvre des interactions

entre les différents champs de connaissance scientifique (mathématiques et physique, mathématiques et chimie, mathématiques et sciences industrielles, mathématiques et informatique).

Représenter

Un objet mathématique se prête en général à des représentations issues de différents cadres ou registres : algébrique, géométrique, graphique, numérique. Élaborer une représentation, changer de cadre, traduire des informations dans plusieurs registres sont des composantes de cette compétence. Ainsi, en analyse, le concept de fonction s'appréhende à travers diverses représentations (graphique, numérique, formelle) ; en algèbre, un problème linéaire se prête à des représentations de nature géométrique, matricielle ou algébrique ; un problème de probabilités peut recourir à un arbre, un tableau, des ensembles. Le recours régulier à des figures ou à des croquis permet de développer une vision géométrique des objets abstraits et favorise de fructueux transferts d'intuition.

Raisonner, argumenter

La pratique du raisonnement est au cœur de l'activité mathématique. Basé sur l'élaboration de liens déductifs ou inductifs entre différents éléments, le raisonnement mathématique permet de produire une démonstration, qui en est la forme aboutie et communicable. La présentation d'une démonstration par le professeur (ou dans un document) permet aux étudiants de suivre et d'évaluer l'enchaînement des arguments qui la composent ; la pratique de la démonstration leur apprend à créer et à exprimer eux-mêmes de tels arguments. L'intérêt de la construction d'un objet mathématique ou de la démonstration d'un théorème repose sur ce qu'elles apportent à la compréhension même de l'objet ou du théorème : préciser une perception intuitive, analyser la portée des hypothèses, éclairer une situation, exploiter et réinvestir des concepts et des résultats théoriques.

Calculer, manipuler des symboles, maîtriser le formalisme mathématique

Le calcul et la manipulation des symboles sont omniprésents dans les pratiques mathématiques. Ils en sont des composantes essentielles, inséparables des raisonnements qui les guident ou qu'en sens inverse ils outillent. Mener efficacement un calcul simple fait partie des compétences attendues des étudiants. En revanche, les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils de calcul formel ou numérique. La maîtrise des méthodes de calcul figurant au programme nécessite aussi la connaissance de leur cadre d'application, l'anticipation et le contrôle des résultats qu'elles permettent d'obtenir.

Communiquer à l'écrit et à l'oral

La phase de mise au point d'un raisonnement et de rédaction d'une solution permet de développer les capacités d'expression. La qualité de la rédaction et de la présentation, la clarté et la précision des raisonnements, constituent des objectifs très importants. La qualité de structuration des échanges entre le professeur et sa classe, entre le professeur et chacun de ses étudiants, entre les étudiants eux-mêmes, doit également contribuer à développer des capacités de communication (écoute et expression orale) à travers la formulation d'une question, d'une réponse, d'une idée, d'hypothèses, l'argumentation de solutions ou l'exposé de démonstrations. Les travaux individuels ou en petits groupes proposés aux étudiants en dehors du temps d'enseignement, au lycée ou à la maison, (interrogations orales, devoirs libres, comptes rendus de travaux dirigés ou d'interrogations orales) contribuent fortement à développer cette compétence. La communication utilise des moyens diversifiés : les étudiants doivent être capables de présenter un travail clair et soigné, à l'écrit ou à l'oral, au tableau ou à l'aide d'un dispositif de projection.

L'intégration des compétences à la formation des étudiants permet à chacun d'eux de gérer ses propres apprentissages de manière responsable en repérant ses points forts et ses points faibles, et en suivant leur évolution. Les compétences se recouvrent largement et il importe de les considérer globalement : leur acquisition doit se faire dans le cadre de situations suffisamment riches pour nécessiter la mobilisation de plusieurs d'entre elles.

Unité de la formation scientifique

Il est important de mettre en valeur l'interaction entre les différentes parties du programme, tant au niveau du cours que des thèmes des travaux proposés aux étudiants. À titre d'exemples, la théorie des équations différentielles utilise des concepts et des résultats développés en algèbre linéaire ; le calcul différentiel et l'optimisation exploitent en outre les endomorphismes autoadjoints ; les probabilités utilisent le vocabulaire ensembliste et les familles sommables, et illustrent certains résultats d'analyse.

La coopération des enseignants d'une même classe ou d'une même discipline et, plus largement, celle de l'ensemble des enseignants d'un cursus donné, doit contribuer de façon efficace et cohérente à la qualité de ces interactions.

Il importe aussi que le contenu culturel et historique des mathématiques ne soit pas sacrifié au profit de la seule technicité. En particulier, il peut s'avérer pertinent d'analyser l'interaction entre un contexte historique et social donné, une problématique spécifique et la construction, pour la résoudre, d'outils mathématiques.

Architecture et contenu du programme

L'étude de chaque domaine du programme (analyse, algèbre, probabilités) permet de développer des aptitudes au raisonnement et à la modélisation, et d'établir des liens avec les autres disciplines.

Afin de contribuer au développement des compétences de modélisation et de représentation, le programme préconise le recours à des figures géométriques pour aborder l'algèbre linéaire, les espaces préhilbertiens, les fonctions de variable réelle ou vectorielle.

Le programme d'algèbre comprend trois sections. La première formalise les différentes structures algébriques rencontrées dans le programme, introduit l'anneau $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$ comme exemple de structure quotient et étudie l'anneau $\mathbb{K}[X]$. La deuxième prolonge l'étude de l'algèbre linéaire abordée en première année et combine les points de vue géométrique (éléments propres), algébrique (polynômes d'endomorphisme) et matriciel pour aboutir à une théorie de la réduction substantielle : diagonalisation, trigonalisation, sous-espaces caractéristiques. La troisième, située dans le cadre euclidien, étudie la notion d'adjoint, les isométries vectorielles et les endomorphismes autoadjoints (théorème spectral), et introduit les endomorphismes autoadjoints positifs en vue de l'optimisation.

La topologie est étudiée dans le cadre général des espaces vectoriels normés. Son étude permet d'étendre les notions de suite, limite, continuité étudiées en première année dans le cadre de la droite réelle, d'étudier la continuité des applications linéaires (normes subordonnées), d'introduire les concepts de compacité et de connexité par arcs et de mettre en évidence quelques aspects de la dimension finie : équivalence des normes, caractérisation des compacts, continuité des applications linéaires et polynomiales.

La section sur les séries complète l'étude des séries numériques abordée en première année et la prolonge par celles des séries à valeurs dans un espace vectoriel normé de dimension finie.

La définition des différents modes de convergence d'une suite de fonctions bénéficie du cadre topologique introduit dans la section « Espaces vectoriels normés ». L'étude des suites et séries de fonctions conduit aux théorèmes de régularité de leur limite ou somme et aboutit à l'énoncé de deux théorèmes d'approximation.

Les séries entières permettent de construire des fonctions de variable complexe et de fournir un outil pour la résolution d'équations différentielles linéaires.

La section sur les fonctions vectorielles étend rapidement aux fonctions à valeurs dans un espace vectoriel normé de dimension finie les résultats d'analyse réelle étudiés en première année et fournit des outils pour les équations différentielles et le calcul différentiel.

La section sur l'intégration introduit, pour les fonctions continues par morceaux sur un intervalle quelconque, la notion d'intégrale généralisée et celle de fonction intégrable. L'intégration des relations de comparaison dans le cas des fonctions positives permet de faire le lien avec les théorèmes similaires étudiés sur les séries.

Les théorèmes sur l'intégration des suites et séries de fonctions (convergence dominée, intégration terme à terme) et sur les intégrales à paramètre concluent cette section.

La section sur les variables aléatoires discrètes introduit rapidement les notions générales de la théorie des probabilités afin d'étendre l'étude menée en première année des variables aléatoires finies, ce qui permet d'élargir le champ des situations se prêtant à une modélisation probabiliste.

La loi faible des grands nombres permet de justifier a posteriori l'approche fréquentiste d'une probabilité pour un schéma de Bernoulli, déjà évoquée dans le cursus antérieur des étudiants.

Cette section a vocation à interagir avec le reste du programme, notamment en exploitant les séries génératrices.

L'étude des équations et des systèmes différentiels est limitée au cas linéaire, dont les interventions sont fréquentes tant en mathématiques que dans les autres disciplines scientifiques. L'utilisation dans ce cadre du théorème de Cauchy permet d'établir la structure de l'ensemble des solutions, illustrant la pertinence des outils de l'algèbre linéaire pour résoudre des problèmes d'analyse. Le cas particulier où les coefficients sont constants permet d'utiliser l'exponentielle d'endomorphisme et de mettre en œuvre des techniques de réduction matricielle.

La section sur le calcul différentiel et l'optimisation a pour objectif d'étendre l'étude menée en première année au cadre des espaces vectoriels normés de dimension finie et de donner une introduction à l'optimisation au premier et au second ordre. La différentielle en un point est définie de manière intrinsèque afin d'établir un lien avec l'algèbre linéaire. Les notions de dérivée selon un vecteur ou le long d'un arc, de gradient, de vecteurs tangents à une partie constituent une première approche de la géométrie différentielle. Enfin, l'optimisation au second ordre s'appuie sur les endomorphismes autoadjoints.

Organisation du texte

Les programmes définissent les objectifs de l'enseignement et décrivent les connaissances et les capacités exigibles des étudiants ; ils précisent aussi certains points de terminologie et certaines notations. Ils fixent clairement les limites à respecter tant au niveau de l'enseignement qu'à celui des épreuves d'évaluation, y compris par les opérateurs de concours.

Le programme est décliné en sections. Chaque section comporte un bandeau définissant les objectifs essentiels et délimitant le cadre d'étude des notions qui lui sont relatives et un texte présenté en deux colonnes : à gauche figurent les contenus du programme (connaissances et méthodes) ; à droite un commentaire indique les capacités exigibles des étudiants, précise quelques notations ainsi que le sens ou les limites à donner à certaines questions. Dans le cadre de sa liberté pédagogique et dans le respect de la cohérence de la formation globale, le professeur décide de l'organisation de son enseignement et du choix de ses méthodes.

En particulier, l'ordre de présentation des différentes sections ne doit pas être interprété comme un modèle de progression. Parmi les connaissances (définitions, notations, énoncés, démonstrations, méthodes, algorithmes...) et les capacités de mobilisation de ces connaissances, le texte du programme délimite trois catégories :

- celles qui sont exigibles des étudiants : il s'agit de l'ensemble des points figurant dans la colonne de gauche des différentes sections ;
- celles qui sont indiquées dans les bandeaux et la colonne de droite comme étant « hors programme ». Elles ne doivent pas être traitées et ne peuvent faire l'objet d'aucune épreuve d'évaluation ;
- celles qui relèvent d'activités possibles ou souhaitables, mais qui ne sont pas exigibles des étudiants. Il s'agit des activités proposées pour illustrer les différentes notions du programme (visualisations à l'aide de l'outil informatique, activités en lien avec les autres disciplines).

Pour les démonstrations des théorèmes dont l'énoncé figure au programme et qui sont repérées dans la colonne de droite par la locution « démonstration non exigible », le professeur est libre d'apprécier, selon le cas, s'il est souhaitable de démontrer en détail le résultat considéré, d'indiquer seulement l'idée de sa démonstration, ou de l'admettre.

Programme

Structures algébriques usuelles

L'étude des structures algébriques offre l'occasion d'approfondir plusieurs points abordés en première année : arithmétique de \mathbb{Z} et de $\mathbb{K}[X]$, congruences, algèbre linéaire, groupe symétrique, groupes issus de l'algèbre linéaire, ou, ultérieurement, de la géométrie des espaces euclidiens.

Le paragraphe relatif aux polynômes permet de revenir sur l'étude menée en première année, dans un cadre étendu et dans un esprit plus algébrique mettant l'accent sur la notion d'idéal.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Compléments sur les groupes

Intersection de sous-groupes.

Sous-groupe engendré par une partie. Partie génératrice d'un groupe.

Sous-groupes du groupe $(\mathbb{Z}, +)$.

Groupe $(\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}, +)$. Générateurs de $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$.

Groupe monogène, groupe cyclique.

Groupe des racines n -ièmes de l'unité.

Tout groupe monogène infini est isomorphe à $(\mathbb{Z}, +)$. Tout groupe monogène fini de cardinal n est isomorphe à $(\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}, +)$.

Ordre d'un élément d'un groupe.

L'ordre de x est le cardinal du sous-groupe de G engendré par x .

Si x est d'ordre fini d et si e désigne le neutre de G , alors, pour tout $n \in \mathbb{Z}$, $x^n = e \iff d|n$.

L'ordre d'un élément d'un groupe fini divise le cardinal du groupe.

La démonstration n'est exigible que pour G commutatif.

b) Compléments sur les anneaux

Produit fini d'anneaux.

Idéal d'un anneau commutatif.

Noyau d'un morphisme d'anneaux commutatifs.

Idéal engendré par un élément.

Notation xA .

Divisibilité dans un anneau commutatif intègre.

Interprétation en termes d'idéaux.

c) Idéaux de \mathbb{Z}

Idéaux de \mathbb{Z} .

Définition du PGCD de $n \geq 2$ entiers relatifs en termes d'idéaux, relation de Bézout.

Lien avec le programme de première année.

d) Anneaux $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$

Anneau $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$.

Inversibles de $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$. Condition nécessaire et suffisante pour que $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$ soit un corps.

Notation \mathbb{F}_p lorsque p est premier.

Théorème chinois : isomorphisme naturel de $\mathbb{Z}/mn\mathbb{Z}$ sur $\mathbb{Z}/m\mathbb{Z} \times \mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$ si $m \wedge n = 1$; extension à plus de deux facteurs.

Application aux systèmes de congruences et à la résolution de systèmes d'équations dans $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$.

Indicatrice d'Euler φ . Calcul à l'aide de la décomposition en produits de facteurs premiers.

Relation $\varphi(mn) = \varphi(m)\varphi(n)$ si m et n sont premiers entre eux; expression de $\varphi(p^k)$ pour p premier.

Théorème d'Euler.

Lien avec le petit théorème de Fermat.

e) Anneaux $\mathbb{K}[X]$

Dans ce paragraphe, \mathbb{K} est un sous-corps de \mathbb{C} .

Idéaux de $\mathbb{K}[X]$.

Définition du PGCD de $n \geq 2$ polynômes en termes d'idéaux, relation de Bézout.

Par convention, le PGCD est unitaire.

Irréductibles de $\mathbb{K}[X]$. Existence et unicité de la décomposition en facteurs irréductibles unitaires.

Irréductibles de $\mathbb{C}[X]$ et $\mathbb{R}[X]$.

La démonstration du théorème de d'Alembert-Gauss est hors programme.

L'étude des irréductibles de $\mathbb{K}[X]$ pour un corps autre que \mathbb{R} ou \mathbb{C} n'est pas un objectif du programme.**f) Algèbres**

Algèbre.

Les algèbres sont unitaires.

Exemples : $\mathbb{K}[X]$, $\mathcal{L}(E)$, $\mathcal{M}_n(\mathbb{K})$, $\mathcal{F}(X, \mathbb{K})$.

Sous-algèbre.

Morphisme d'algèbres.

Réduction des endomorphismes et des matrices carrées

La réduction des endomorphismes et des matrices carrées prolonge les notions d'algèbre linéaire vues en première année. Elle trouve des applications et des illustrations dans d'autres domaines du programme (topologie, équations différentielles, systèmes dynamiques discrets, chaînes de Markov). Elle permet également de tisser des liens entre l'algèbre linéaire et l'algèbre générale, notamment polynomiale.

Le but de cette section est de donner une introduction substantielle au problème de la réduction. Les approches sont de deux types, qu'il convient d'identifier : la première, de nature géométrique, repose sur les notions de sous-espace stable et d'éléments propres ; la seconde, plus algébrique, fait appel aux polynômes annulateurs.

Sans soulever de difficulté, on signale que les notions d'algèbre linéaire étudiées en première année s'étendent au cas d'un corps de base quelconque. Pour éviter les difficultés liées aux polynômes en caractéristique non nulle, la section est traitée sous l'hypothèse que \mathbb{K} est un sous-corps de \mathbb{C} .

a) Compléments d'algèbre linéaire

Somme, somme directe d'une famille finie de sous-espaces vectoriels.

Projecteurs associés à une décomposition de E en somme directe.Si F_1, \dots, F_p sont des sous-espaces de dimension finie,

Base adaptée à une décomposition en somme directe.

$$\dim\left(\sum_{i=1}^p F_i\right) \leq \sum_{i=1}^p \dim(F_i)$$

avec égalité si et seulement si la somme est directe.

Si E_1, \dots, E_p sont des sous-espaces de E tels que $E = \bigoplus E_i$ et si $u_i \in \mathcal{L}(E_i, F)$ pour tout i , alors il existe une et une seule $u \in \mathcal{L}(E, F)$ telle que $u|_{E_i} = u_i$ pour tout i .

Matrices définies par blocs.

Interprétation géométrique des blocs.

Opérations par blocs de tailles compatibles (combinaison linéaire, produit, transposition).

La démonstration concernant le produit par blocs n'est pas exigible.

Transvections par blocs. Invariance du déterminant.

Déterminant d'une matrice triangulaire par blocs.

b) Éléments propres d'un endomorphisme, d'une matrice carrée

Sous-espace stable par un endomorphisme. Endomorphisme induit.

En dimension finie, traduction matricielle.

Droite stable par un endomorphisme. Valeur propre, vecteur propre (non nul), sous-espace propre.

Équation aux éléments propres $u(x) = \lambda x$.

Spectre d'un endomorphisme en dimension finie.

La notion de valeur spectrale est hors programme.

La somme d'une famille finie de sous-espaces propres d'un endomorphisme est directe.

Toute famille de vecteurs propres associés à des valeurs propres distinctes est libre.

Le spectre d'un endomorphisme d'un espace de dimension finie n est fini, et de cardinal au plus n .

Si deux endomorphismes u et v commutent, tout sous-espace propre de u est stable par v .
Valeur propre, vecteur propre, sous-espace propre et spectre d'une matrice carrée.

Le noyau et l'image de u sont stables par v .

Équation aux éléments propres $MX = \lambda X$.
Deux matrices semblables ont même spectre.
Si \mathbb{K} est un sous-corps de \mathbb{K}' et si $M \in \mathcal{M}_n(\mathbb{K})$, le spectre de M dans \mathbb{K} est contenu dans le spectre de M dans \mathbb{K}' .

c) Polynôme caractéristique

Polynôme caractéristique d'une matrice carrée, d'un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie.

Par convention le polynôme caractéristique est unitaire. Notations χ_A, χ_u . Coefficients du polynôme caractéristique de degrés 0 et $n - 1$.

Les valeurs propres d'un endomorphisme d'un espace vectoriel de dimension finie sont les racines de son polynôme caractéristique.

Deux matrices semblables ont même polynôme caractéristique.

Polynôme caractéristique d'une matrice triangulaire.

Polynôme caractéristique d'un endomorphisme induit.

Multiplicité d'une valeur propre.

La dimension du sous-espace propre associé à λ est majorée par la multiplicité de λ .

d) Endomorphismes et matrices carrées diagonalisables

Un endomorphisme d'un espace vectoriel E de dimension finie est dit diagonalisable s'il existe une base de E dans laquelle sa matrice est diagonale.

Une telle base est constituée de vecteurs propres. Cas des projecteurs, des symétries.

Pour qu'un endomorphisme soit diagonalisable, il faut et il suffit que la somme de ses sous-espaces propres soit égale à E .

Caractérisation par la somme des dimensions des sous-espaces propres.

Une matrice carrée est dite diagonalisable si elle est semblable à une matrice diagonale.

Interprétation en termes d'endomorphisme.

Cas d'un endomorphisme d'un espace de dimension n admettant n valeurs propres distinctes.

Dans les exercices pratiques, on se limite à $n = 2$ ou $n = 3$. Traduction matricielle.

Pour qu'un endomorphisme u soit diagonalisable, il faut et il suffit que χ_u soit scindé et que, pour toute valeur propre de u , la dimension de l'espace propre associé soit égale à sa multiplicité.

Traduction matricielle.

Cas où χ_u est scindé à racines simples.

e) Endomorphismes et matrices carrées trigonalisables

Un endomorphisme d'un espace vectoriel E de dimension finie est dit trigonalisable s'il existe une base de E dans laquelle sa matrice est triangulaire.

Interprétation géométrique.

Une matrice carrée est dite trigonalisable si elle est semblable à une matrice triangulaire.

Interprétation en termes d'endomorphisme.

Un endomorphisme est trigonalisable si et seulement si son polynôme caractéristique est scindé.

La pratique de la trigonalisation n'est pas un objectif du programme.

Traduction matricielle.

Expression à l'aide des valeurs propres de la trace et du déterminant d'un endomorphisme trigonalisable, d'une matrice trigonalisable.

f) Endomorphismes nilpotents, matrices nilpotentes

Endomorphisme nilpotent d'un espace vectoriel E de dimension finie, matrice nilpotente.

Caractérisation des endomorphismes nilpotents et des matrices nilpotentes par le polynôme caractéristique.

Un endomorphisme est nilpotent si et seulement s'il est trigonalisable avec pour seule valeur propre 0.

L'indice de nilpotence est majoré par la dimension de E .

g) Polynômes d'un endomorphisme, d'une matrice carrée

Pour u dans $\mathcal{L}(E)$, morphisme d'algèbres $P \mapsto P(u)$ de $\mathbb{K}[X]$ dans $\mathcal{L}(E)$. Le noyau de ce morphisme est l'idéal annulateur de u . Son image est la sous-algèbre commutative $\mathbb{K}[u]$ de $\mathcal{L}(E)$.

Polynôme minimal d'un endomorphisme d'un espace de dimension finie, d'une matrice carrée.

Si d est le degré du polynôme minimal de u , alors la famille $(u^k)_{0 \leq k \leq d-1}$ est une base de $\mathbb{K}[u]$.

Si P annule u , toute valeur propre de u est racine de P . Les racines de π_u dans \mathbb{K} sont les valeurs propres de u .

Traduction matricielle.

Le polynôme minimal est unitaire.

Notations $\pi_u, \mu_u, \pi_M, \mu_M$.

Si $u(x) = \lambda x$, alors $P(u)(x) = P(\lambda)x$.

h) Lemme de décomposition des noyaux

Si P_1, \dots, P_r sont des éléments de $\mathbb{K}[X]$ deux à deux premiers entre eux de produit égal à P , alors :

$$\text{Ker}(P(u)) = \bigoplus_{i=1}^r \text{Ker}(P_i(u)).$$

i) Polynômes annulateurs et réduction

Un endomorphisme est diagonalisable si et seulement s'il annule un polynôme simplement scindé, ou encore si et seulement si son polynôme minimal est simplement scindé.

Polynôme minimal d'un endomorphisme induit. Diagonalisabilité d'un endomorphisme induit par un endomorphisme diagonalisable.

Un endomorphisme est trigonalisable si et seulement s'il annule un polynôme scindé, ou encore si et seulement si son polynôme minimal est scindé.

Traduction matricielle.

Traduction matricielle.

j) Théorème de Cayley-Hamilton et sous-espaces caractéristiques

Théorème de Cayley-Hamilton.

Sous-espaces caractéristiques d'un endomorphisme à polynôme caractéristique scindé; E est somme directe des sous-espaces caractéristiques de u .

Traduction matricielle de cette décomposition : similitude à une matrice diagonale par blocs, chaque bloc diagonal étant triangulaire et à termes diagonaux égaux.

La démonstration n'est pas exigible.

Dimension d'un sous-espace caractéristique.

Endomorphismes d'un espace euclidien

L'objectif de cette section est double :

- approfondir dans le cadre euclidien la thématique de la réduction des endomorphismes, à travers l'étude des endomorphismes autoadjoints et des isométries;
- introduire la notion d'endomorphisme symétrique positif, notamment en vue du calcul différentiel d'ordre 2.

La notion de produit scalaire hermitien est hors programme.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Adjoint d'un endomorphisme

Représentation des formes linéaires sur un espace euclidien.

Adjoint d'un endomorphisme d'un espace euclidien.

Notation u^* .

Linéarité de $u \mapsto u^*$, adjoint d'une composée, involutivité du passage à l'adjoint.

Matrice de l'adjoint en base orthonormée.

Si le sous-espace F est stable par u , alors F^\perp est stable par u^* .

b) Matrices orthogonales

Matrice orthogonale : définition par $A^\top A = I_n$, caractérisation par le caractère orthonormal de la famille des colonnes, des lignes.

Interprétation comme matrice de changement de base orthonormée. Matrices orthogonalement semblables.

Groupe orthogonal.

Notations $O_n(\mathbb{R})$, $O(n)$.

Matrice orthogonale positive ou directe, négative ou indirecte.

Notations $SO_n(\mathbb{R})$, $SO(n)$.

Orientation d'un espace vectoriel réel de dimension finie.

Pour E euclidien orienté et e et e' bases orthonormées directes de E , égalité des applications \det_e et $\det_{e'}$.

c) Isométries vectorielles d'un espace euclidien

Isométrie vectorielle : définition par la conservation des normes.

Par définition, une isométrie vectorielle est linéaire. On mentionne la terminologie « automorphisme orthogonal » tout en lui préférant « isométrie vectorielle ».

Exemples : symétrie orthogonale, réflexion.

Caractérisations des isométries de E parmi les endomorphismes de E : par la conservation du produit scalaire, par l'image d'une base orthonormée, par la relation $u^* = u^{-1}$.

Groupe orthogonal.

Notation $O(E)$.

Déterminant d'une isométrie. Isométrie directe, indirecte.

Groupe spécial orthogonal.

Notation $SO(E)$.

d) Isométries vectorielles en dimension 2

Description des matrices orthogonales directes et indirectes de taille 2.

Rotation vectorielle d'un plan euclidien orienté.

On introduit à cette occasion, sans soulever de difficulté sur la notion d'angle, la notion de mesure d'un angle orienté de vecteurs.

Morphisme $t \mapsto \begin{pmatrix} \cos(t) & -\sin(t) \\ \sin(t) & \cos(t) \end{pmatrix}$ de \mathbb{R} dans $SO_2(\mathbb{R})$; surjectivité et noyau.

Isomorphisme de \mathbb{U} sur $SO_2(\mathbb{R})$. Le groupe $SO_2(\mathbb{R})$ est commutatif.

Classification des isométries d'un plan euclidien.

e) Réduction des isométries

Stabilité de l'orthogonal d'un sous-espace stable.

Réduction d'une isométrie en base orthonormée.

Interprétation matricielle.

Cas particulier : réduction d'une isométrie vectorielle directe d'un espace euclidien de dimension 3.

La forme réduite justifie la terminologie « rotation ». La pratique du calcul des éléments géométriques d'un élément de $SO_3(\mathbb{R})$ n'est pas un attendu du programme.

f) Endomorphismes autoadjoints d'un espace euclidien

Endomorphisme autoadjoint : définition par $u^* = u$.
Stabilité de l'orthogonal d'un sous-espace stable.
Caractérisation du caractère autoadjoint par la matrice en base orthonormée.

On mentionne la terminologie « endomorphisme symétrique », tout en lui préférant « endomorphisme autoadjoint ». Notation $\mathcal{S}(E)$.

Les projecteurs orthogonaux sont les projecteurs autoadjoints.

Théorème spectral : si u est un endomorphisme d'un espace euclidien E , alors u est autoadjoint si et seulement si E est somme orthogonale des sous-espaces propres de u ou, de manière équivalente, s'il existe une base orthonormée diagonalisant u .

Interprétation matricielle : une matrice de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ appartient à $\mathcal{S}_n(\mathbb{R})$ si et seulement si elle est orthogonalement diagonalisable.

g) Endomorphismes autoadjoints positifs, définis positifs

Endomorphisme autoadjoint positif, défini positif.
Matrice symétrique positive, définie positive.

Caractérisation spectrale. Notations $\mathcal{S}^+(E), \mathcal{S}^{++}(E)$.
Caractérisation spectrale. Notations $\mathcal{S}_n^+(\mathbb{R}), \mathcal{S}_n^{++}(\mathbb{R})$.

Topologie des espaces vectoriels normés

Les objectifs de cette section sont les suivants :

- introduire, dans le cadre des espaces vectoriels normés, le vocabulaire de la topologie;
- donner, à travers l'étude des espaces vectoriels normés de dimension finie, un cadre commode pour traiter diverses applications à l'analyse (fonctions vectorielles, équations différentielles linéaires);
- introduire la notion de partie compacte dans un espace vectoriel normé, en soulignant le rôle qu'elle joue dans les résultats d'existence, notamment en matière d'optimisation;
- introduire la notion de composante connexe par arcs d'un espace vectoriel normé, qui permet de généraliser le théorème des valeurs intermédiaires et intervient en calcul différentiel;
- dégager l'idée fondamentale d'inégalité linéaire, qui apparaît lors de l'étude de la comparaison des normes et de la continuité des applications linéaires, et qui est quantifiée par la notion de norme d'opérateur.

Les notions seront illustrées par des exemples variés. On pourra ainsi travailler dans les espaces \mathbb{K}^n , les espaces de polynômes, d'applications linéaires ou de matrices, ainsi que dans divers espaces fonctionnels.

Il convient de souligner le contenu géométrique des notions abordées, notamment à l'aide de nombreuses figures. Lors de l'étude de la connexité par arcs, un dessin pertinent peut valoir preuve.

Les notions d'espace métrique et, a fortiori, d'espace topologique, sont hors programme. Il en est de même des notions de suite de Cauchy et d'espace de Banach.

Dans toute cette section, \mathbb{K} désigne \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

a) Normes et espaces vectoriels normés

Norme sur un \mathbb{K} -espace vectoriel. Structure d'espace vectoriel normé.

Vecteurs unitaires.

Distance associée à une norme.

Inégalité triangulaire.

Boules fermées, boules ouvertes, sphères. Convexité des boules.

On introduit à cette occasion la notion de partie convexe d'un espace vectoriel réel.

Parties, suites, fonctions bornées.

Norme associée à un produit scalaire sur un espace préhilbertien réel.

Normes $\|\cdot\|_1, \|\cdot\|_2, \|\cdot\|_\infty$ sur \mathbb{K}^n .

Norme de la convergence uniforme sur l'espace des fonctions bornées à valeurs dans \mathbb{K} .

Notation $\|\cdot\|_\infty$.

Pour les applications pratiques, on peut utiliser sans justification l'égalité $\sup(kA) = k \sup(A)$ pour A partie non vide de \mathbb{R} et $k \in \mathbb{R}^+$.

Notations $\|\cdot\|_1$ et $\|\cdot\|_2$.

Normes de la convergence en moyenne et de la convergence en moyenne quadratique sur l'espace des fonctions continues sur un segment à valeurs réelles ou complexes. Produit fini d'espaces vectoriels normés.

b) Suites d'éléments d'un espace vectoriel normé

Suite convergente, divergente. Unicité de la limite. Caractère borné d'une suite convergente. Opérations algébriques sur les suites convergentes. Convergence d'une suite à valeurs dans un produit fini d'espaces vectoriels normés.

Suites extraites, valeurs d'adhérence.

Une suite ayant au moins deux valeurs d'adhérence diverge.

c) Comparaison des normes

Normes équivalentes. Invariance du caractère borné, de la convergence d'une suite.

Utilisation de suites pour établir que deux normes ne sont pas équivalentes.

d) Topologie d'un espace normé

Ouvert d'un espace normé. Stabilité de l'ensemble des ouverts par réunion quelconque, par intersection finie. Voisinage d'un point.

Une boule ouverte est un ouvert. Un produit (fini) d'ouverts est un ouvert.

Fermé d'un espace normé. Stabilité de l'ensemble des fermés par intersection quelconque, par réunion finie.

Une boule fermée, une sphère, sont fermées. Un produit (fini) de fermés est fermé.

Point intérieur, point adhérent.

Intérieur, adhérence, frontière d'une partie.

Caractérisation séquentielle des points adhérents, des fermés. Partie dense.

Invariance des notions topologiques par passage à une norme équivalente.

Si A est une partie d'un espace normé, ouvert et fermé relatifs de A . Voisinage relatif.

Par définition, une partie U de A est un ouvert relatif si U est voisinage relatif de chacun de ses points.

Caractérisation comme intersection avec A d'un ouvert de E .

Les fermés relatifs sont par définition les complémentaires dans A des ouverts relatifs. Caractérisation séquentielle. Caractérisation comme intersection avec A d'un fermé de E .

e) Étude locale d'une application, continuité

Limite en un point adhérent à une partie A .

Caractérisation séquentielle.

Extensions : limite de $f(x)$ lorsque $\|x\|$ tend vers $+\infty$, limite de $f(x)$ quand x tend vers $+\infty$ ou $-\infty$ lorsque A est une partie de \mathbb{R} , limite infinie en a adhérent à A pour une fonction réelle.

Cas d'une application à valeurs dans un produit fini d'espaces vectoriels normés.

Opérations algébriques sur les limites. Limite d'une composée.

Continuité en un point. Caractérisation séquentielle.

Opérations algébriques sur les applications continues. Composition de deux applications continues.

Deux applications continues qui coïncident sur une partie dense sont égales.

Image réciproque d'un ouvert, d'un fermé par une application continue.

Applications uniformément continues, applications lipschitziennes.

Caractère 1-lipschitzien de l'application $x \mapsto d(x, A)$ où A est une partie non vide de E .

f) Applications linéaires et multilinéaires continues

Critère de continuité d'une application linéaire entre deux espaces normés : $u \in \mathcal{L}(E, F)$ est continue si et seulement s'il existe $C \in \mathbb{R}^+$ tel que

$$\forall x \in E, \|u(x)\| \leq C\|x\|.$$

Notation $\mathcal{L}_c(E, F)$.

Norme subordonnée (ou norme d'opérateur) d'une application linéaire continue.

Notations $\|u\|$, $\|u\|_{\text{op}}$. La norme d'opérateur est une norme sur $\mathcal{L}_c(E, F)$. Sous-multiplicativité de la norme d'opérateur.

Critère de continuité des applications multilinéaires.

Adaptation aux matrices.

La démonstration n'est pas exigible.

g) Parties compactes d'un espace normé

Définition d'une partie compacte par la propriété de Bolzano-Weierstrass.

La propriété de Borel-Lebesgue est hors programme.

Une partie compacte est fermée et bornée.

Un fermé relatif d'une partie compacte est compact.

Une suite d'éléments d'une partie compacte converge si et seulement si elle admet une unique valeur d'adhérence.

Produit d'une famille finie de compacts.

h) Applications continues sur une partie compacte

Image continue d'une partie compacte.

Théorème de Heine.

Théorème des bornes atteintes pour une application numérique définie et continue sur un compact non vide.

On souligne l'importance de la compacité dans les problèmes d'optimisation, notamment en mettant en évidence des situations où l'on prouve l'existence d'un extremum à l'aide d'une restriction à un compact.

i) Connexité par arcs

Dans un espace vectoriel normé, chemin (ou arc) joignant deux points; partie connexe par arcs.

Relation d'équivalence associée sur une partie A de E . Les classes sont les composantes connexes par arcs.

Cas des parties convexes, des parties étoilées.

Les parties connexes par arcs de \mathbb{R} sont les intervalles.

Image continue d'une partie connexe par arcs.

Cas particulier des applications à valeurs réelles : théorème des valeurs intermédiaires.

j) Espaces vectoriels normés de dimension finie

Équivalence des normes en dimension finie.

La démonstration n'est pas exigible.

Invariance des différentes notions topologiques par rapport au choix d'une norme en dimension finie. Topologie naturelle d'un espace normé de dimension finie.

La convergence d'une suite (ou l'existence de la limite d'une fonction) à valeurs dans un espace vectoriel normé de dimension finie équivaut à celle de chacune de ses coordonnées dans une base.

Une partie d'un espace normé de dimension finie est compacte si et seulement si elle est fermée et bornée.

Une suite bornée d'un espace normé de dimension finie converge si et seulement si elle a une unique valeur d'adhérence.

Un sous-espace de dimension finie d'un espace normé est fermé.

Si E est de dimension finie, $\mathcal{L}(E, F) = \mathcal{L}_c(E, F)$.

Continuité des applications polynomiales définies sur un espace normé de dimension finie, des applications multilinéaires définies sur un produit d'espaces vectoriels normés de dimensions finies.

Exemples : déterminant, produit matriciel, composition d'applications linéaires.

Séries numériques et vectorielles

L'objectif de cette section est double :

- consolider les acquis de première année relatifs aux séries numériques, en particulier à travers l'étude de questions de calcul asymptotique;
- étendre la notion de série convergente au cadre des espaces vectoriels normés de dimension finie.

Les séries sont avant tout un outil. L'étude des séries semi-convergentes n'est pas un objectif du programme.

a) Séries à valeurs dans un espace normé de dimension finie

Sommes partielles. Convergence, divergence.

La série de terme général u_n est notée $\sum u_n$.

Somme et restes d'une série convergente.

En cas de convergence, notation $\sum_{n=0}^{+\infty} u_n$.

Linéarité de la somme.

Le terme général d'une série convergente tend vers 0.

Divergence grossière.

Lien suite-série, séries télescopiques.

Série absolument convergente.

Une série absolument convergente d'éléments d'un espace vectoriel normé de dimension finie est convergente.

Le critère de Cauchy est hors programme.

b) Compléments sur les séries numériques

Technique de comparaison série-intégrale.

Les étudiants doivent savoir utiliser la comparaison série-intégrale pour établir des convergences et des divergences de séries, estimer des sommes partielles de séries divergentes ou des restes de séries convergentes, notamment dans le cas d'une fonction monotone.

Règle de d'Alembert.

Sommation des relations de comparaison : domination, négligeabilité, équivalence, dans les cas convergent et divergent.

La suite de référence est de signe constant à partir d'un certain rang. Cas particulier : théorème de Cesàro (pour une limite finie ou infinie).

Suites et séries de fonctions, séries entières

A - Suites et séries de fonctions

Les objectifs de cette section sont les suivants :

- définir différents modes usuels de convergence des suites et séries de fonctions;
- étudier la stabilité des propriétés des fonctions par passage à la limite;
- introduire la thématique de l'approximation, reliée à la notion topologique de densité, à travers deux théorèmes d'approximation uniforme susceptibles de nombreuses applications.

La technique n'est pas un but en soi. On privilégie les exemples significatifs : construction de fonctions solutions de problèmes (équations fonctionnelles ou différentielles, par exemple), mise en évidence de fonctions aux propriétés remarquables...

En vue des applications aux équations différentielles linéaires, les fonctions considérées sont à valeurs dans un espace normé de dimension finie. Dans la pratique, on se limite pour l'essentiel au cas de fonctions à valeurs dans \mathbb{R} ou \mathbb{C} . On peut commencer par traiter le programme dans ce cadre et expliquer brièvement l'extension au cas général.

Les fonctions sont définies sur une partie A d'un espace vectoriel E de dimension finie et à valeurs dans un espace vectoriel normé F de dimension finie.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Convergence simple, convergence uniforme

Convergence simple d'une suite de fonctions. Convergence uniforme. La convergence uniforme entraîne la convergence simple.

Pour des fonctions bornées, interprétation en termes de norme.

b) Continuité, double limite

Si les u_n sont continues en a et si (u_n) converge uniformément vers u sur A , alors u est continue en a . En particulier, toute limite uniforme de fonctions continues sur A est continue sur A .

Théorème de la double limite : soit (u_n) une suite de fonctions de A dans F convergeant uniformément vers u sur A , et soit a un point adhérent à A ; si, pour tout n , u_n admet une limite ℓ_n en a , alors (ℓ_n) admet une limite ℓ et $u(x) \xrightarrow{x \rightarrow a} \ell$.

Le théorème s'applique dans le cas où l'hypothèse de convergence uniforme est satisfaite de façon locale, en particulier sur tout segment. En pratique, on vérifie la convergence uniforme sur des intervalles adaptés à la situation.

La démonstration est hors programme.
Adaptation, si $A \subset \mathbb{R}$, aux cas où $a = +\infty$ et $a = -\infty$.

c) Intégration d'une limite uniforme sur un segment

Soit (u_n) une suite de fonctions continues définies sur un intervalle I de \mathbb{R} et à valeurs dans F , a un point de I . On suppose que (u_n) converge uniformément sur tout segment de I vers une fonction u . Pour $n \in \mathbb{N}$ et $x \in I$ soit

$$U_n(x) = \int_a^x u_n, \quad U(x) = \int_a^x u.$$

Alors (U_n) converge uniformément vers U sur tout segment de I .

En particulier, si (u_n) converge uniformément vers u sur le segment $[a, b]$, alors : $\int_a^b u_n \rightarrow \int_a^b u$.

d) Dérivation d'une suite de fonctions

Soit (u_n) une suite de fonctions de classe \mathcal{C}^1 sur un intervalle I de \mathbb{R} , à valeurs dans F . Si (u_n) converge simplement sur I vers une fonction u , et si (u'_n) converge uniformément sur tout segment de I vers une fonction v , alors (u_n) converge uniformément vers u sur tout segment de I , u est de classe \mathcal{C}^1 sur I et $u' = v$.

En pratique, on vérifie la convergence uniforme de (u'_n) sur des intervalles adaptés à la situation.

Extension aux suites de fonctions de classe \mathcal{C}^k , sous l'hypothèse de convergence simple de $(u_n^{(j)})$ pour $0 \leq j \leq k-1$ et de convergence uniforme sur tout segment de $(u_n^{(k)})$.

En pratique, on vérifie la convergence uniforme de $(u_n^{(k)})$ sur des intervalles adaptés à la situation.

e) Séries de fonctions

Convergence simple, convergence uniforme.

Une série de fonctions converge uniformément si et seulement si elle converge simplement et si la suite de ses restes converge uniformément vers 0.

Adaptation des résultats des paragraphes précédents au cas des séries de fonctions.

Convergence normale d'une série de fonctions. La convergence normale implique la convergence uniforme.

La convergence normale implique la convergence absolue en tout point.

Exemples d'études de fonctions définies comme sommes de séries : régularité, étude asymptotique, utilisation de la comparaison série-intégrale.

f) Approximation uniforme

Approximation uniforme d'une fonction continue par morceaux sur un segment par des fonctions en escalier.

Théorème de Weierstrass : toute fonction continue sur un segment S et à valeurs dans \mathbb{K} est limite uniforme sur S de fonctions polynomiales à coefficients dans \mathbb{K} .

La démonstration n'est pas exigible.

B - Séries entières

Les objectifs de cette section sont les suivants :

- étudier la convergence d'une série entière et les propriétés de sa somme;
- introduire la notion de fonction développable en série entière;
- établir les développements en série entière des fonctions usuelles.

Les séries entières donnent un outil puissant pour aborder certains calculs : résolution d'équations différentielles linéaires, fonctions génératrices en probabilités... Elles permettent également de revenir sur la thématique de la régularité des fonctions, introduite en première année, et donnent l'occasion d'introduire la « variable complexe ».

Les coefficients des séries entières considérées sont réels ou complexes.

a) Généralités

Série entière de la variable réelle, de la variable complexe.

Lemme d'Abel : si la suite $(a_n z_0^n)$ est bornée alors, pour tout nombre complexe z tel que $|z| < |z_0|$, la série $\sum a_n z^n$ est absolument convergente.

Rayon de convergence d'une série entière, défini comme borne supérieure dans $[0, +\infty]$, de l'ensemble des réels positifs r tels que la suite $(a_n r^n)$ est bornée.

Disque ouvert de convergence.

Intervalle ouvert de convergence.

Si $a_n = O(b_n)$ et donc en particulier si $a_n = o(b_n)$, $R_a \geq R_b$.

Si $a_n \sim b_n$, $R_a = R_b$.

Application de la règle de d'Alembert pour les séries numériques au calcul du rayon.

Somme et produit de Cauchy de deux séries entières.

La série $\sum a_n z^n$ converge absolument si $|z| < R$, et elle diverge grossièrement si $|z| > R$.

Rayon de convergence de $\sum n^\alpha x^n$.

La limite du rapport $\frac{|a_{n+1}|}{|a_n|}$ peut être utilisée directement.

b) Continuité de la somme d'une série entière de la variable complexe

Convergence normale d'une série entière sur tout disque fermé de centre 0 contenu dans le disque ouvert de convergence.

Continuité de la somme d'une série entière sur le disque ouvert de convergence.

c) Régularité de la somme d'une série entière de la variable réelle

Théorème d'Abel radial :

si $\sum a_n x^n$ a pour rayon de convergence $R \in \mathbb{R}_+^*$ et si

$$\sum a_n R^n \text{ converge, alors } \sum_{n=0}^{+\infty} a_n x^n \xrightarrow{x \rightarrow R^-} \sum_{n=0}^{+\infty} a_n R^n.$$

La somme d'une série entière est de classe \mathcal{C}^∞ sur l'intervalle ouvert de convergence et ses dérivées s'obtiennent par dérivation terme à terme.

Expression des coefficients d'une série entière de rayon de convergence strictement positif à l'aide des dérivées en 0 de sa somme.

La démonstration est hors programme.

$$\text{Relation } R(\sum a_n x^n) = R(\sum n a_n x^n).$$

Si les fonctions $x \mapsto \sum_{n=0}^{+\infty} a_n x^n$ et $x \mapsto \sum_{n=0}^{+\infty} b_n x^n$ coïncident sur un intervalle $]0, \alpha]$ avec $\alpha > 0$, alors, pour tout $n \in \mathbb{N}$, $a_n = b_n$.

d) Fonctions développables en série entière, développements usuels

Fonction développable en série entière sur le disque ouvert de centre 0 et de rayon R , sur l'intervalle $] -R, R[$.

Développement de $\exp(z)$ sur \mathbb{C} .

Développement de $\frac{1}{1-z}$ sur $\{z \in \mathbb{C}, |z| < 1\}$.

Développements usuels dans le domaine réel.

Dans le cas réel, lien avec la série de Taylor.

Les étudiants doivent connaître les développements en série entière des fonctions exponentielle, hyperboliques, circulaires, Arctan, $x \mapsto \ln(1+x)$ et $x \mapsto (1+x)^\alpha$.

Les étudiants doivent savoir développer une fonction en série entière à l'aide d'une équation différentielle linéaire.

Fonctions vectorielles

Cette section a deux objectifs :

- étendre rapidement le programme d'analyse réelle de première année au cadre des fonctions vectorielles;
- fournir des outils pour l'étude des équations différentielles linéaires et du calcul différentiel.

Les fonctions sont définies sur un intervalle I de \mathbb{R} , à valeurs dans un espace normé de dimension finie E .

a) Dérivabilité en un point

Dérivabilité en un point.

Définition par le taux d'accroissement, caractérisation par le développement limité à l'ordre 1.

Interprétation cinématique.

Traduction en termes de coordonnées dans une base.

Dérivabilité à droite et à gauche.

b) Opérations sur les fonctions dérivables

Combinaison linéaire de fonctions dérivables.

Dérivabilité et dérivée de $L(f)$, où L est linéaire.

Dérivabilité et dérivée de $B(f, g)$, où B est bilinéaire, de $M(f_1, \dots, f_p)$, où M est multilinéaire.

Cas du produit scalaire, du déterminant.

Dérivabilité et dérivée de $f \circ \varphi$ où φ est une fonction réelle de variable réelle et f une fonction vectorielle.
Applications de classe \mathcal{C}^k . Opérations sur les applications de classe \mathcal{C}^k .

c) Intégration sur un segment

Intégrale d'une fonction vectorielle continue par morceaux sur un segment de \mathbb{R} .

$$\text{Notations } \int_{[a,b]} f, \int_a^b f, \int_a^b f(t) dt.$$

Linéarité de l'intégrale. Relation de Chasles.

Pour L linéaire, intégrale de $L(f)$.

Inégalité triangulaire $\left\| \int_a^b f \right\| \leq \int_a^b \|f\|$.

Sommes de Riemann associées à une subdivision régulière.

d) Intégrale fonction de sa borne supérieure

Dérivation de $x \mapsto \int_a^x f(t) dt$ pour f continue.

Inégalité des accroissements finis pour une fonction de classe \mathcal{C}^1 .

e) Formules de Taylor

Formule de Taylor avec reste intégral.

Inégalité de Taylor-Lagrange à l'ordre n pour une fonction de classe \mathcal{C}^n .

Formule de Taylor-Young à l'ordre n pour une fonction de classe \mathcal{C}^n .

Intégration sur un intervalle quelconque

L'objectif de cette section est triple :

- définir, dans le cadre restreint des fonctions continues par morceaux, les notions d'intégrale convergente et d'intégrabilité sur un intervalle non compact;
- donner des outils efficaces de passage à la limite sous l'intégrale, en particulier le théorème de convergence dominée;
- compléter l'étude des séries de fonctions par celle des intégrales à paramètre.

La technique n'est pas un but en soi. On privilégie donc les exemples significatifs : transformées intégrales (Fourier, Laplace), intégrales eulériennes...

On évite tout excès de rigueur dans la rédaction. Ainsi, dans les calculs concrets mettant en jeu l'intégration par parties ou le changement de variable, on n'impose pas de rappeler les hypothèses de régularité des énoncés. De même, dans l'application des théorèmes de passage à la limite sous l'intégrale ou de régularité des intégrales à paramètre, on se limite à la vérification des hypothèses cruciales, sans insister sur la continuité par morceaux en la variable d'intégration.

Les fonctions sont à valeurs dans \mathbb{K} , corps des nombres réels ou des nombres complexes.

a) Intégrales généralisées sur un intervalle de la forme $[a, +\infty[$

Pour f continue par morceaux de $[a, +\infty[$ dans \mathbb{K} , l'intégrale $\int_a^{+\infty} f$ est dite convergente si la fonction $x \mapsto \int_a^x f$ a une limite finie en $+\infty$.

$$\text{Notations } \int_a^{+\infty} f, \int_a^{+\infty} f(t) dt.$$

Intégrale convergente en $+\infty$.

Dérivation de $x \mapsto \int_x^{+\infty} f$ si f est continue.

Si f est continue par morceaux sur $[a, +\infty[$ et à valeurs positives, l'intégrale $\int_a^{+\infty} f$ converge si et seulement si $x \mapsto \int_a^x f$ est majorée.

Si f et g sont deux fonctions continues par morceaux sur $[a, +\infty[$ telles que $0 \leq f \leq g$, la convergence de $\int_a^{+\infty} g$ implique celle de $\int_a^{+\infty} f$.

Pour $a \in \mathbb{R}$, nature de l'intégrale de Riemann $\int_1^{+\infty} \frac{1}{t^\alpha} dt$.

Pour $a \in \mathbb{R}$, nature de l'intégrale $\int_0^{+\infty} e^{-at} dt$.

b) Intégrabilité sur un intervalle de la forme $[a, +\infty[$

Une fonction f est dite intégrable sur $[a, +\infty[$ si elle est continue par morceaux sur $[a, +\infty[$ et si $\int_a^{+\infty} |f|$ converge.

Si f est intégrable sur $[a, +\infty[$, alors $\int_a^{+\infty} f$ converge.

Théorème de comparaison : pour f et g deux fonctions continues par morceaux sur $[a, +\infty[$, à valeurs dans \mathbb{K} :

- si $f(x) \underset{x \rightarrow +\infty}{=} O(g(x))$, alors l'intégrabilité de g sur $[a, +\infty[$ implique celle de f ;
- si $f(x) \underset{x \rightarrow +\infty}{\sim} g(x)$, alors l'intégrabilité de g sur $[a, +\infty[$ équivaut à celle de f .

Écriture $\int_a^{+\infty} f = +\infty$ en cas de divergence.

On utilise indifféremment les expressions « f est intégrable sur $[a, +\infty[$ » et « l'intégrale $\int_a^{+\infty} f$ converge absolument ».

Pour f de signe constant, $\int_a^{+\infty} f$ converge si et seulement si f est intégrable sur $[a, +\infty[$.

Un calcul montrant que $\int_I |f| < +\infty$ vaut preuve d'intégrabilité.

Fonction intégrable en $+\infty$. L'étude des intégrales semi-convergentes n'est pas un objectif du programme.

Le résultat s'applique en particulier si $f(x) \underset{x \rightarrow +\infty}{=} o(g(x))$.

c) Intégrales généralisées sur un intervalle quelconque

Intégrale généralisée d'une fonction continue par morceaux sur un intervalle semi-ouvert ou ouvert de \mathbb{R} .

Notations $\int_a^b f, \int_a^b f(t) dt$.

Intégrale convergente en b , en a .

Écriture $\int_a^b f = +\infty$ si f est à valeurs dans \mathbb{R}^+ et d'intégrale divergente.

Pour une fonction à valeurs dans \mathbb{R}^+ , un calcul aboutissant à un résultat fini vaut preuve de convergence.

Propriétés des intégrales généralisées : linéarité, positivité, croissance, relation de Chasles.

Intégration par parties sur un intervalle quelconque :

$$\int_a^b f(t)g'(t) dt = [fg]_a^b - \int_a^b f'(t)g(t) dt.$$

L'existence des limites du produit fg aux bornes de l'intervalle assure que les intégrales de fg' et de $f'g$ sont de même nature.

Pour les applications pratiques, on ne demande pas de rappeler les hypothèses de régularité.

Adaptation au cas où φ est strictement décroissante.

On applique ce résultat sans justification dans des cas de changements de variable usuels.

Changement de variable : étant données une fonction f continue sur $]a, b[$ et une fonction $\varphi :]\alpha, \beta[\rightarrow]a, b[$ bijective, strictement croissante et de classe \mathcal{C}^1 , les intégrales

$\int_a^b f(t) dt$ et $\int_\alpha^\beta f(\varphi(u))\varphi'(u) du$ sont de même nature et égales en cas de convergence.

d) Intégrales absolument convergentes et fonctions intégrables

Intégrale absolument convergente.

La convergence absolue implique la convergence.

Une fonction est dite intégrable sur l'intervalle I si elle y est continue par morceaux et si son intégrale sur I est absolument convergente.

On utilise indifféremment les expressions « f est intégrable sur $[a, b[$ » et « l'intégrale $\int_a^b f$ converge absolument ».

Fonction intégrable en b , en a .

Pour f intégrable de I dans \mathbb{K} , notation $\int_I f$.

Espace $L^1(I, \mathbb{K})$ des fonctions intégrables de I dans \mathbb{K} .

Inégalité triangulaire.

Si f est continue et intégrable sur I , à valeurs dans \mathbb{R}^+ et si $\int_I f = 0$, alors f est identiquement nulle.

Adaptation du théorème de comparaison en une borne quelconque.

Si $\alpha \in \mathbb{R}$, nature de l'intégrale de Riemann $\int_a^b \frac{1}{|x-a|^\alpha} dx$.

La fonction f est intégrable en a (resp. b) si et seulement si $t \mapsto f(a+t)$ (resp. $t \mapsto f(b-t)$) est intégrable en 0.

e) Intégration des relations de comparaison

Intégration des relations de comparaison, pour les intégrales partielles ou les restes : domination, négligeabilité, équivalence.

La fonction de référence est réelle de signe constant.

f) Convergence dominée

Pour l'application pratique des énoncés de ce paragraphe, on vérifie les hypothèses de convergence simple et de domination, sans expliciter celles relatives à la continuité par morceaux par rapport à t .

Théorème de convergence dominée : soit (f_n) une suite de fonctions continues par morceaux de I dans \mathbb{K} convergeant simplement sur I vers une fonction f continue par morceaux et telle qu'il existe une fonction φ positive intégrable sur I vérifiant $|f_n| \leq \varphi$ pour tout n . Alors :

La démonstration est hors programme.

$$\int_I f_n \longrightarrow \int_I f.$$

Extension au cas d'une famille à paramètre réel $(f_\lambda)_{\lambda \in J}$ où J est un intervalle de \mathbb{R} .

g) Intégration terme à terme

Pour l'application pratique des énoncés de ce paragraphe, on vérifie les hypothèses de convergence simple et de positivité ou de sommabilité, sans expliciter celles relatives à la continuité par morceaux par rapport à t .

Si (f_n) est une suite de fonctions continues par morceaux et intégrables sur I , à valeurs dans \mathbb{R}^+ , telle que la série $\sum f_n$ converge simplement et que sa somme soit continue par morceaux sur I , alors, dans $[0, +\infty[$,

La démonstration est hors programme.

En particulier, l'intégrabilité de $\sum_{n=0}^{+\infty} f_n$ sur I équivaut à

$$\sum_{n=0}^{+\infty} \int_I f_n(t) dt < +\infty.$$

$$\int_I \left(\sum_{n=0}^{+\infty} f_n(t) \right) dt = \sum_{n=0}^{+\infty} \int_I f_n(t) dt.$$

Si (f_n) est une suite de fonctions continues par morceaux et intégrables sur I , à valeurs dans \mathbb{K} , telle que la série $\sum f_n$ converge simplement et que sa somme soit continue par morceaux sur I et telle que

$$\sum_{n=0}^{+\infty} \int_I |f_n(t)| dt < +\infty,$$

alors $\sum_{n=0}^{+\infty} f_n$ est intégrable sur I et

$$\int_I \sum_{n=0}^{+\infty} f_n(t) dt = \sum_{n=0}^{+\infty} \int_I f_n(t) dt.$$

La démonstration est hors programme. On met en évidence le parallélisme de cet énoncé et du précédent avec ceux issus de la théorie des familles sommables.

On présente des exemples sur lesquels cet énoncé ne s'applique pas, mais dans lesquels l'intégration terme à terme peut être justifiée par le théorème de convergence dominée pour les sommes partielles.

h) Régularité d'une fonction définie par une intégrale à paramètre

Pour l'application pratique des énoncés de ce paragraphe, on vérifie les hypothèses de régularité par rapport à x et de domination, sans expliciter celles relatives à la continuité par morceaux par rapport à t .

Soit A une partie d'un espace normé de dimension finie, I un intervalle de \mathbb{R} , f une fonction définie sur $A \times I$ à valeurs dans \mathbb{K} telle que :

- pour tout $t \in I$, $f(\cdot, t)$ est continue;
- pour tout $x \in A$, $f(x, \cdot)$ est continue par morceaux;
- il existe une fonction φ intégrable sur I telle que, pour tout x de A , $|f(x, \cdot)| \leq \varphi$.

Alors $x \mapsto \int_I f(x, t) dt$ est définie et continue sur A .

En pratique, on vérifie l'hypothèse de domination sur tout segment de A , ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.

Soit I et A deux intervalles de \mathbb{R} , f une fonction définie sur $A \times I$ à valeurs dans \mathbb{K} telle que :

- pour tout $t \in I$, $f(\cdot, t)$ est de classe \mathcal{C}^1 sur A ;
- pour tout $x \in A$, $f(x, \cdot)$ est intégrable sur I ;
- pour tout $x \in A$, $\frac{\partial f}{\partial x}(x, \cdot)$ est continue par morceaux sur I ;
- il existe une fonction φ positive intégrable sur I telle que, pour tout x de A , $\left| \frac{\partial f}{\partial x}(x, \cdot) \right| \leq \varphi$.

Alors $g : x \mapsto \int_I f(x, t) dt$ est de classe \mathcal{C}^1 sur A et vérifie :

$$\forall x \in A, \quad g'(x) = \int_I \frac{\partial f}{\partial x}(x, t) dt.$$

Extension à la classe \mathcal{C}^k d'une intégrale à paramètre, sous hypothèse de domination de $\frac{\partial^k f}{\partial x^k}(x, t)$ et d'intégrabilité des $\frac{\partial^j f}{\partial x^j}(x, \cdot)$ pour $0 \leq j \leq k-1$.

En pratique, on vérifie l'hypothèse de domination sur tout segment de A , ou sur d'autres intervalles adaptés à la situation.

Exemples d'études de fonctions définies comme intégrales à paramètre : régularité, étude asymptotique.

Variables aléatoires discrètes

Cette section généralise aux variables aléatoires discrètes l'étude menée en première année des variables aléatoires à valeurs dans un ensemble fini. Cette généralisation nécessite d'introduire des notions générales de théorie des probabilités, lesquelles font l'objet d'un exposé à minima. En particulier :

- la notion de tribu, introduite pour donner un cadre rigoureux, n'appelle aucun développement théorique ;
- la construction d'espaces probabilisés n'est pas un objectif du programme ;
- les diverses notions de convergence (presque sûre, en probabilité, en loi) sont hors programme.

La théorie des familles sommables permet une extension très naturelle des notions et résultats vus en première année. Cette extension est effectuée rapidement, de manière à libérer du temps pour les exemples et exercices. L'objectif de l'enseignement est en effet de renforcer la compréhension de l'aléatoire, en lien avec d'autres parties du programme. On pourra ainsi faire travailler les étudiants sur divers objets aléatoires (permutations, graphes, matrices...) les inégalités de concentration et des exemples de processus à temps discret (marches aléatoires, chaînes de Markov...).

La notion de variable à densité est hors programme.

La notion d'espérance conditionnelle est hors programme.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Ensembles dénombrables

Un ensemble est dit dénombrable s'il est en bijection avec \mathbb{N} .

Un ensemble est fini ou dénombrable si et seulement s'il est en bijection avec une partie de \mathbb{N} .

Un produit cartésien fini d'ensembles dénombrables est dénombrable. Une réunion finie ou dénombrable d'ensembles finis ou dénombrables est finie ou dénombrable.

L'ensemble \mathbb{R} n'est pas dénombrable.

Les parties infinies de \mathbb{N} sont dénombrables.

Un tel ensemble est dit au plus dénombrable.

Les démonstrations ne sont pas exigibles.
Les ensembles \mathbb{N}^p ($p \in \mathbb{N}^*$), \mathbb{Z} et \mathbb{Q} sont dénombrables. Le support d'une famille sommable de nombres complexes est dénombrable.

La démonstration n'est pas exigible.

b) Espaces probabilisés

Tribu sur un ensemble Ω . Espace probabilisable (Ω, \mathcal{A}) .

Événements.

Probabilité sur un espace probabilisable, σ -additivité.

Espace probabilisé (Ω, \mathcal{A}, P) .

Continuité croissante, continuité décroissante.

La manipulation de tribus n'est pas un objectif du programme.

Généralisation du vocabulaire relatif aux événements introduit en première année.

Application : pour une suite $(A_n)_{n \in \mathbb{N}}$ d'événements (non nécessairement monotone), limites quand n tend vers l'infini de

$$P\left(\bigcup_{k=0}^n A_k\right) \quad \text{et} \quad P\left(\bigcap_{k=0}^n A_k\right).$$

Propriété de sous-additivité de P pour une réunion dénombrable d'événements.

Événements négligeables, événements presque sûrs. Une réunion (resp. intersection) finie ou dénombrable d'événements négligeables (resp. presque sûrs) est un événement négligeable (resp. presque sûr).

Systèmes quasi-complets d'événements.

Tout développement supplémentaire sur ces notions est hors programme.

c) Probabilités conditionnelles et indépendance

Extension des résultats vus en première année : probabilité conditionnelle, formule des probabilités composées, formule des probabilités totales, formule de Bayes.

Par définition, les événements A et B sont indépendants si $P(A \cap B) = P(A)P(B)$.

Famille d'événements indépendants.

Si A et B sont indépendants, A et \bar{B} le sont aussi.

Notations $P_B(A)$, $P(A|B)$.

Lorsque $P(B) > 0$, l'indépendance de A et B s'écrit $P(A|B) = P(A)$.

L'indépendance deux à deux n'implique pas l'indépendance.

d) Espaces probabilisés discrets

Si Ω est un ensemble, une distribution de probabilités discrètes sur Ω est une famille d'éléments de \mathbb{R}^+ indexée par Ω et de somme 1.

Probabilité définie sur $\mathcal{A} = \mathcal{P}(\Omega)$ associée à une distribution de probabilités discrètes sur Ω .

Support d'une distribution de probabilités discrète ; le support est au plus dénombrable.

Si Ω est au plus dénombrable, on obtient ainsi toutes les probabilités sur $\mathcal{P}(\Omega)$.

e) Variables aléatoires discrètes

Une variable aléatoire discrète X définie sur l'espace probabilisé (Ω, \mathcal{A}, P) et à valeurs dans E est une application définie sur Ω , à valeurs dans l'ensemble E , telle que $X(\Omega)$ soit au plus dénombrable et que, pour tout $x \in X(\Omega)$, l'ensemble $X^{-1}(\{x\})$ appartienne à \mathcal{A} .

Loi P_X d'une variable aléatoire discrète X .

Dans ce qui suit, toutes les variables aléatoires sont supposées discrètes.

La probabilité P_X est déterminée par la distribution de probabilités discrète $(P(X = x))_{x \in X(\Omega)}$.

Notation $X \sim Y$.

Variable aléatoire $f(X)$.

Si $X \sim Y$ alors $f(X) \sim f(Y)$.

Loi conditionnelle d'une variable aléatoire X sachant un événement A .

Couple de variables aléatoires. Loi conjointe, lois marginales.

Détermination des lois marginales à partir de la loi conjointe.

Notations $(X = x)$, $(X \in A)$, $\{X = x\}$, $\{X \in A\}$.

Lorsque $E = \mathbb{R}$, la variable aléatoire X est dite réelle.

Notations $(X \leq x)$, $(X \geq x)$, $(X < x)$, $(X > x)$ (et analogues avec accolades) pour une variable aléatoire réelle X .

La loi de X peut au besoin être définie sur un ensemble contenant $X(\Omega)$.

La notation $X \sim Y$ ne suppose pas que X et Y sont définies sur le même espace probabilisé.

Un couple est une variable aléatoire à valeurs dans un produit.

Notation $P(X = x, Y = y)$.

Extension aux n -uplets de variables aléatoires.

f) Variables aléatoires indépendantes

Couple de variables aléatoires indépendantes, famille finie de variables aléatoires indépendantes.

Famille quelconque de variables aléatoires indépendantes.

Fonctions de variables aléatoires indépendantes : si $X \perp\!\!\!\perp Y$, alors $f(X) \perp\!\!\!\perp g(Y)$

Lemme des coalitions :

si les variables aléatoires X_1, \dots, X_n sont indépendantes, les variables aléatoires $f(X_1, \dots, X_m)$ et $g(X_{m+1}, \dots, X_n)$ le sont aussi.

Existence d'espaces probabilisés portant une suite de variables indépendantes de lois discrètes données.

Notation $X \perp\!\!\!\perp Y$.

Les variables aléatoires X et Y sont indépendantes si et seulement si la distribution de probabilités de (X, Y) est le produit des distributions de probabilités de X et Y .
Extension aux n -uplets de variables aléatoires.

Extension au cas de plus de deux variables.

Extension au cas de plus de deux coalitions.

La démonstration est hors programme.

Suites i.i.d. Modélisation du jeu de pile ou face infini : suite i.i.d. de variables de Bernoulli.

g) Lois usuelles

Pour p dans $]0, 1[$, loi géométrique de paramètre p .

Variable géométrique de paramètre p .

Pour λ dans \mathbb{R}_+^* , loi de Poisson de paramètre λ .

Variable de Poisson de paramètre λ .

Notations $\mathcal{G}(p)$, $X \sim \mathcal{G}(p)$.

Interprétation comme rang du premier succès dans le jeu de pile ou face infini.

Notations $\mathcal{P}(\lambda)$, $X \sim \mathcal{P}(\lambda)$.

Interprétation en termes d'événements rares.

h) Espérance d'une variable aléatoire réelle ou complexe

Si X est une variable aléatoire à valeurs dans $\mathbb{R}^+ \cup \{+\infty\}$, l'espérance de X est la somme, dans $[0, +\infty]$, de la famille $(x P(X = x))_{x \in X(\Omega)}$.

Pour une variable aléatoire à valeurs dans $\mathbb{N} \cup \{+\infty\}$, égalité $E(X) = \sum_{n=1}^{+\infty} P(X \geq n)$.

Une variable aléatoire complexe X est dite d'espérance finie si la famille $(x P(X = x))_{x \in X(\Omega)}$ est sommable; dans ce cas, la somme de cette famille est l'espérance de X .

Espérance d'une variable géométrique, d'une variable de Poisson.

Formule de transfert : soit X une variable aléatoire discrète, f une fonction définie sur $X(\Omega)$ à valeurs complexes; alors $f(X)$ est d'espérance finie si et seulement si la famille $(f(x) P(X = x))_{x \in X(\Omega)}$ est sommable; si tel est le cas : $E(f(X)) = \sum_{x \in X(\Omega)} f(x) P(X = x)$.

Linéarité, positivité, croissance, inégalité triangulaire.

Si $|X| \leq Y$ et si $Y \in L^1$, alors $X \in L^1$.

Si X et Y sont dans L^1 et indépendantes, alors XY est dans L^1 et :

$$E(XY) = E(X) E(Y).$$

Notation $E(X)$.

Notation $E(X)$. Variables centrées.

La notation $X \in L^1$ signifie que X est d'espérance finie. On ne soulèvera aucune difficulté quant à la définition précise de L^1 .

Caractérisation des variables aléatoires à valeurs dans \mathbb{R}^+ d'espérance nulle.

Extension au cas de n variables aléatoires.

i) Variance d'une variable aléatoire réelle, écart type et covariance

Si $E(X^2) < +\infty$, X est d'espérance finie.

Inégalité de Cauchy-Schwarz : si X et Y sont dans L^2 , XY est dans L^1 et $E(XY)^2 \leq E(X^2) E(Y^2)$.

Pour $X \in L^2$, variance et écart type de X .

Relation $V(X) = E(X^2) - E(X)^2$.

Relation $V(aX + b) = a^2 V(X)$.

Variance d'une variable géométrique, d'une variable de Poisson.

Covariance de deux variables aléatoires de L^2 .

Relation $\text{Cov}(X, Y) = E(XY) - E(X) E(Y)$. Cas de variables indépendantes.

Variance d'une somme de n variables aléatoires, cas de variables décorréliées.

La notation $X \in L^2$ signifie que X^2 est d'espérance finie. On ne soulèvera aucune difficulté quant à la définition précise de L^2 .

Cas d'égalité.

Notations $V(X), \sigma(X)$. Variables réduites.

Caractérisation des variables aléatoires de variance nulle.

Si $\sigma(X) > 0$, la variable aléatoire $\frac{X - E(X)}{\sigma(X)}$ est centrée réduite.

j) Inégalités probabilistes et loi faible des grands nombres

Inégalité de Markov.

Inégalité de Bienaymé-Tchebychev.

Loi faible des grands nombres : si $(X_n)_{n \geq 1}$ est une suite i.i.d. de variables aléatoires de variance finie, alors, pour tout $\varepsilon > 0$,

$$P\left(\left|\frac{S_n}{n} - m\right| \geq \varepsilon\right) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0,$$

où $S_n = \sum_{k=1}^n X_k$ et $m = E(X_1)$.

Utilisation des inégalités de Markov et de Bienaymé-Tchebychev pour établir des inégalités de concentration.

k) Fonctions génératrices

Fonction génératrice de la variable aléatoire X à valeurs

$$\text{dans } \mathbb{N} : G_X(t) = E(t^X) = \sum_{k=0}^{+\infty} P(X = k) t^k.$$

Détermination de la loi de X par G_X .

La variable aléatoire X est d'espérance finie si et seulement si G_X est dérivable en 1 ; dans ce cas $E(X) = G_X'(1)$.

Fonction génératrice d'une somme finie de variables aléatoires indépendantes à valeurs dans \mathbb{N} .

La série entière définissant G_X est de rayon supérieur ou égal à 1 et converge normalement sur le disque fermé de centre 0 et de rayon 1. Continuité de G_X .

La démonstration de la réciproque n'est pas exigible.

Utilisation de G_X pour le calcul de $E(X)$ et $V(X)$.

Les étudiants doivent savoir calculer rapidement la fonction génératrice d'une variable aléatoire de Bernoulli, binomiale, géométrique, de Poisson.

Équations différentielles linéaires

La notion générale d'équation différentielle linéaire est introduite à partir des exemples étudiés en première année : équation scalaire d'ordre 1, équation scalaire homogène d'ordre 2 à coefficients constants.

La pratique de la résolution explicite des systèmes linéaires à coefficients constants n'est pas un objectif du programme. On limite en conséquence la technicité des exercices sur ce point. On peut en revanche présenter aux étudiants divers exemples d'études qualitatives d'équations différentielles linéaires scalaires ou de systèmes linéaires. Concernant les systèmes à coefficients constants, on pourra souligner le rôle du signe des parties réelles des valeurs propres de la matrice ; on pourra également, en dimension 2, représenter les courbes intégrales.

Dans cette section, I est un intervalle de \mathbb{R} , E un espace normé de dimension finie.

a) Généralités

Équation différentielle linéaire :

$$x' = a(t) \cdot x + b(t)$$

où a est une application continue de I dans $\mathcal{L}(E)$ et b une application continue de I dans E .

Problème de Cauchy.

Représentation d'une équation scalaire linéaire d'ordre n par un système différentiel linéaire.

Problème de Cauchy pour une équation linéaire scalaire d'ordre n .

Forme matricielle : système différentiel linéaire

$$X' = A'(t)X + B(t).$$

Équation différentielle homogène associée à une équation différentielle linéaire. Principe de superposition.

Mise sous forme intégrale d'un problème de Cauchy.

b) Solutions d'une équation différentielle linéaire

Théorème de Cauchy linéaire : existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy.

Cas des équations scalaires d'ordre n .

Cas des équations homogènes : l'ensemble des solutions est un sous-espace vectoriel de $\mathcal{F}(I, E)$. Pour t_0 dans I , l'application $x \mapsto x(t_0)$ est un isomorphisme de cet espace sur E .

Dimension de l'espace des solutions. Cas des équations scalaires homogènes d'ordre n .

Structure de l'ensemble des solutions d'une équation avec second membre.

Exemples d'équations différentielles linéaires scalaires d'ordre 1 ou 2 non normalisées :

$$a(t)x' + b(t)x = c(t), \quad a(t)x'' + b(t)x' + c(t)x = d(t).$$

La démonstration n'est pas exigible.

Adaptation aux systèmes différentiels linéaires.

Exemples de recherche de solutions développables en série entière.

c) Exponentielle d'un endomorphisme, d'une matrice

Exponentielle d'un endomorphisme d'un espace normé de dimension finie, d'une matrice réelle ou complexe.
 Exponentielle d'une matrice diagonale. Exponentielle de matrices semblables. Spectre de $\exp(A)$.
 Continuité de l'exponentielle sur $\mathcal{L}(E)$, sur $\mathcal{M}_n(\mathbb{K})$.
 Dérivation de $t \mapsto \exp(ta)$ de $t \mapsto \exp(tA)$.
 Exponentielle de la somme de deux endomorphismes, de deux matrices carrées, qui commutent.

Notations $\exp(a)$, e^a , $\exp(A)$, e^A .

d) Systèmes différentiels linéaires homogènes à coefficients constants

Résolution du problème de Cauchy

$$x' = a(x), \quad x(t_0) = x_0$$

si a est un endomorphisme de E et x_0 un élément de E .

Traduction matricielle.

Pour les calculs explicites, on se limite aux deux cas suivants : a diagonalisable ou $\dim(E) \leq 3$.

e) Variation des constantes

Pour une équation différentielle linéaire scalaire homogène d'ordre 2, wronskien d'un couple de solutions. Caractérisation des bases de l'espace des solutions.
 Méthode de variation des constantes pour les équations différentielles linéaires d'ordre 2.

Calcul différentiel et optimisation

En première année, l'étudiant a rencontré les dérivées partielles d'une fonction numérique définie sur un ouvert de \mathbb{R}^2 . Les objectifs de cette section sont les suivants :

- généraliser et approfondir cette étude, en présentant les notions fondamentales de calcul différentiel dans le cadre des espaces vectoriels normés de dimension finie sur \mathbb{R} ;
- donner une introduction à la thématique de l'optimisation, en lien avec le théorème des bornes atteintes du cours de topologie.

On souligne le caractère géométrique des notions. En particulier, on exploite la possibilité de se ramener, pour un certain nombre de questions, à des fonctions d'une variable réelle, à travers l'utilisation de la formule donnant la dérivée d'une fonction le long d'un arc et la notion de vecteur tangent à une partie en un point.

Les fonctions considérées dans cette section sont définies sur un ouvert d'un \mathbb{R} -espace vectoriel normé E de dimension finie et à valeurs dans un \mathbb{R} -espace vectoriel normé F de dimension finie.

Le choix d'une base de l'espace d'arrivée permet de se ramener au cas des fonctions à valeurs réelles.

a) Dérivée selon un vecteur, dérivées partielles

Dérivée de l'application f au point a selon le vecteur v .

Notations $D_v f(a)$, $D_v f$.

Dérivées partielles dans une base.

Notations $\frac{\partial f}{\partial x_i}(a)$, $\partial_i f(a)$.

Lorsqu'une base de E est fixée, identification entre $f(x)$ et $f(x_1, \dots, x_n)$.

b) Différentielle

Application différentiable au point a .

Notation $o(h)$. Développement limité à l'ordre 1.

Lorsque $f = (f_1, \dots, f_p)$, f est différentiable en a si et seulement si toutes les f_i le sont.

Si f est différentiable en a , alors f est continue en a et dérivable en a selon tout vecteur.

Différentielle de f en a , encore appelée application linéaire tangente à f en a . Unicité de la différentielle et relation $df(a) \cdot v = D_v f(a)$.

Application différentiable sur un ouvert Ω . Différentielle sur Ω .

Cas particuliers : application constante, application linéaire.

Lien entre différentielle et dérivées partielles.

Cas des fonctions d'une variable : si Ω est un intervalle ouvert de \mathbb{R} , la différentiabilité de f en a équivaut à la dérivabilité de f en a ; relation $f'(a) = df(a) \cdot 1$.

Si l'espace E est euclidien, gradient en a d'une application numérique différentiable en a . Expression du gradient en base orthonormée.

Notation $df(a)$.

Notation df .

Si Ω est un ouvert de \mathbb{R}^n et si f est à valeurs dans \mathbb{R}^m , la matrice jacobienne de f en a est la matrice de $df(a)$ dans les bases canoniques.

Notation $\nabla f(a)$.

Interprétation géométrique : si $\nabla f(a) \neq 0$, $\nabla f(a)$ est positivement colinéaire au vecteur unitaire selon lequel la dérivée de f en a est maximale.

c) Opérations sur les applications différentiables

Différentielle d'une combinaison linéaire d'applications différentiables, de $M(f_1, \dots, f_p)$ où M est multilinéaire et où f_1, \dots, f_p sont des applications différentiables.

Règle de la chaîne : différentielle d'une composée d'applications différentiables.

Dérivée le long d'un arc : si γ est une application définie sur l'intervalle I de \mathbb{R} , dérivable en t , si f est différentiable en $\gamma(t)$, alors $(f \circ \gamma)'(t) = df(\gamma(t)) \cdot \gamma'(t)$.

Dérivées partielles d'une composée d'applications différentiables.

Interprétation géométrique en termes de tangentes.

Cas particulier fondamental : $\gamma(t) = x + tv$.

Dérivation de $t \mapsto f(x_1(t), \dots, x_n(t))$.

Dérivées partielles de

$$(u_1, \dots, u_m) \mapsto f(x_1(u_1, \dots, u_m), \dots, x_n(u_1, \dots, u_m)).$$

d) Applications de classe \mathcal{C}^1

Une application f est dite de classe \mathcal{C}^1 sur un ouvert Ω si elle est différentiable sur Ω et si df est continue sur Ω . L'application f est de classe \mathcal{C}^1 sur Ω si et seulement si les dérivées partielles relativement à une base de E existent en tout point de Ω et sont continues sur Ω .

Opérations algébriques sur les applications de classe \mathcal{C}^1 . Si f est une application de classe \mathcal{C}^1 de Ω dans F , si γ est une application de classe \mathcal{C}^1 de $[0, 1]$ dans Ω , si $\gamma(0) = a$ et $\gamma(1) = b$, alors :

$$f(b) - f(a) = \int_0^1 df(\gamma(t)) \cdot \gamma'(t) dt.$$

Si Ω est connexe par arcs, caractérisation des fonctions constantes sur Ω .

La démonstration n'est pas exigible.

Cas particulier $\gamma(t) = a + tv$ pour tout $t \in [0, 1]$.

Démonstration pour Ω convexe.

e) Vecteurs tangents à une partie d'un espace normé de dimension finie

Si X est une partie de E et x un point de X , un vecteur v de E est tangent à X en x s'il existe $\varepsilon > 0$ et un arc γ défini sur $] -\varepsilon, \varepsilon[$, à valeurs dans X , dérivable en 0, tel que $\gamma(0) = x, \gamma'(0) = v$.

Notation $T_x X$ pour l'ensemble des vecteurs tangents à X en x .

Exemples : sous-espace affine, sphère d'un espace euclidien, graphe d'une fonction numérique définie sur un ouvert de \mathbb{R}^2 .

Si g est une fonction numérique définie et de classe \mathcal{C}^1 sur l'ouvert Ω de E , si $x \in X$ et $dg(x) \neq 0$, alors $T_x X$ est égal au noyau de $dg(x)$.

La démonstration de cet énoncé et le théorème des fonctions implicites sont hors programme.

Traduction en termes de gradient si E est euclidien, en particulier pour $E = \mathbb{R}^n$ muni de sa structure euclidienne canonique.

Exemple : plan tangent à une surface de \mathbb{R}^3 définie par une équation.

f) Optimisation : étude au premier ordre

Point critique d'une application différentiable.

Condition nécessaire d'existence d'un extremum local en un point intérieur.

Si f est une fonction numérique définie sur l'ouvert Ω , si X est une partie de Ω , si la restriction de f à X admet un extremum local en x et si f est différentiable en x , alors $df(x)$ s'annule en tout vecteur tangent à X en x .

Théorème d'optimisation sous une contrainte : si f et g sont des fonctions numériques définies et de classe \mathcal{C}^1 sur l'ouvert Ω de E , si X est l'ensemble des zéros de g , si $x \in X$ et $dg(x) \neq 0$ et si la restriction de f à X admet un extremum local en x , alors $df(x)$ est colinéaire à $dg(x)$.

Exemples de recherches d'extremums globaux.

Si E est euclidien, traduction en termes de gradient.

Exemples de recherches d'extremums sous contrainte.

g) Applications de classe \mathcal{C}^k

Dérivées partielles d'ordre k d'une fonction définie sur un ouvert de \mathbb{R}^n .

Une application est dite de classe \mathcal{C}^k sur un ouvert Ω de \mathbb{R}^n si ses dérivées partielles d'ordre k existent et sont continues sur Ω .

Théorème de Schwarz.

Opérations algébriques sur les applications de classe \mathcal{C}^k .

Composition d'applications de classe \mathcal{C}^k .

Notations $\frac{\partial^k f}{\partial x_{j_k} \dots \partial x_{j_1}}, \partial_{j_k} \dots \partial_{j_1} f, \partial_{j_1, \dots, j_k} f$.

La notion de différentielle seconde est hors programme.

La démonstration n'est pas exigible.

Les démonstrations ne sont pas exigibles.

Exemples simples d'équations aux dérivées partielles du premier et du second ordre.

h) Optimisation : étude au second ordre

Matrice hessienne en un point d'une fonction de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert de \mathbb{R}^n , à valeurs réelles.

Formule de Taylor-Young à l'ordre 2 :

$$f(x+h) \underset{h \rightarrow 0}{=} f(x) + \langle \nabla f(x), h \rangle + \frac{1}{2} \langle H_f(x) \cdot h, h \rangle + o(\|h\|^2),$$

$$f(x+h) \underset{h \rightarrow 0}{=} f(x) + \nabla f(x)^\top h + \frac{1}{2} h^\top H_f(x) h + o(\|h\|^2).$$

Si f est une fonction de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert de \mathbb{R}^n et si f admet un minimum local en x , alors x est point critique de f et $H_f(x) \in \mathcal{S}_n^+(\mathbb{R})$.

Si f est une fonction de classe \mathcal{C}^2 sur un ouvert de \mathbb{R}^n , si x est point critique de f et si $H_f(x) \in \mathcal{S}_n^{++}(\mathbb{R})$, alors f atteint un minimum local strict en x .

Notation $H_f(x)$.

La démonstration n'est pas exigible.

Adaptation au cas d'un maximum local.

Adaptation au cas d'un maximum local.

Explicitation pour $n = 2$ (trace et déterminant).



Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Mathématiques, physique, informatique (MPI)

Annexe 2

Programme de physique-chimie

Programme de physique-chimie de la voie MPI

Préambule

Objectifs de formation

Le programme de physique-chimie de la classe de MPI est conçu comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques s'appuyant sur celles déjà travaillées au lycée et en classe de MP11, option sciences informatiques. Le programme vise à préparer les étudiants à un cursus d'ingénieur, de chercheur ou d'enseignant. Il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique : observer et s'approprier, analyser et modéliser, réaliser et valider, et enfin communiquer et valoriser ses résultats.

L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour l'enseignant. Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales qui développent la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est au cœur de son enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ces derniers auront à le faire dans l'exercice de leur métier.

De même, l'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte la place nouvelle des sciences numériques dans la formation des scientifiques notamment dans le domaine de la simulation. Elles offrent aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation avancée du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires.

La démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits, et celui des modèles et des théories. L'enseignant doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative. La construction d'un modèle passe aussi par l'utilisation maîtrisée des mathématiques dont un des fondateurs de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde.

Enfin, l'autonomie et la prise d'initiative sont spécifiquement développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes » qui visent à exercer les étudiants à mobiliser de façon complémentaire connaissances et capacités pour répondre à un questionnement ou atteindre un but sans qu'aucune démarche de résolution ne soit fournie.

Organisation du programme

Le programme est organisé en deux parties.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie MPI

Dans la première partie, intitulée « **Formation expérimentale** », sont décrits les objectifs de formation sur le thème « Mesures et incertitudes » ainsi que les méthodes et les capacités expérimentales que les étudiants doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre doit notamment s'appuyer sur des problématiques concrètes de la seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». Elles doivent être programmées par l'enseignant de façon à assurer un apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.

La seconde partie, intitulée « **Contenus thématiques** » est structurée autour de sept thèmes : « Mécanique », « Éléments de traitement du signal », « Optique », « Électromagnétisme », « Thermodynamique : transferts thermiques », « Physique quantique », « Transformation de la matière ». La présentation en deux colonnes (« notions et contenus » et « capacités exigibles ») met en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise.

Certains items de cette seconde partie, **identifiés en caractères gras** dans la colonne capacités exigibles, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant doivent être privilégiées. La présence de capacités numériques explicitées atteste par ailleurs de la volonté de renforcer ce volet de la formation des étudiants.

Trois annexes sont consacrées d'une part au matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes, d'autre part aux outils mathématiques et aux outils numériques que les étudiants doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie à la fin de l'année de la classe de MPI.

Ce programme précise les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il n'impose en aucun cas une progression ; celle-ci relève de la liberté pédagogique de l'enseignant.

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'ensemble des activités proposées en classe préparatoire aux grandes écoles – activités expérimentales, résolutions de problèmes, TIPE, etc. – permet de travailler les compétences de la démarche scientifique qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation en CPGE. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la situation étudiée. - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau, etc.). - Énoncer ou dégager une problématique scientifique. - Représenter la situation par un schéma modèle. - Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. - Relier le problème à une situation modèle connue. - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.

<p>Analyser / Raisonner</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Formuler des hypothèses. - Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples. - Proposer une stratégie pour répondre à une problématique. - Choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle ou des lois physiques. - Évaluer des ordres de grandeur. - Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations. - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de documents.
<p>Réaliser</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle. - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une photo. - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure. - Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant des règles de sécurité. - Effectuer des représentations graphiques à partir de données. - Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques. - Conduire une analyse dimensionnelle.
<p>Valider</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes. - Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document, à ses connaissances. - Confirmer ou infirmer une hypothèse, une information. - Analyser les résultats de manière critique. - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude, etc.). - Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
<p>Communiquer</p>	<ul style="list-style-type: none"> - À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente. o rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation. o utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, graphes, cartes mentales, etc.). - Écouter, confronter son point de vue.

Le niveau de maîtrise de ces compétences dépend de **l'autonomie et de l'initiative** requises dans les activités proposées aux étudiants sur les notions et capacités exigibles du programme.

La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à l'histoire de l'évolution des idées, des modèles et des théories en physique-chimie, à des questions liées à la recherche scientifique actuelle et à des enjeux citoyens comme la responsabilité individuelle et collective, la **sécurité** pour soi et pour autrui, l'**environnement** et le **développement durable** ou encore le **réchauffement climatique**.

Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, l'enseignant organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- privilégier la mise en activité des étudiants en évitant tout dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences est d'autant plus efficace que les étudiants sont acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment favoriser la réflexion, le raisonnement, la participation et l'autonomie des étudiants. L'investigation expérimentale et la résolution de problèmes facilitent cette mise en activité ;
- recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés industriels ou d'objets technologiques. Le recours à des approches documentaires est un moyen pertinent pour diversifier les supports d'accès à l'information scientifique et technologique et ainsi former l'étudiant à mieux appréhender la complexité et à apprendre par lui-même. Lorsque le thème traité s'y prête, l'enseignant peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, avec des questions d'actualité ou des débats d'idées ;
- contribuer à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines scientifiques : mathématiques, informatique, sciences industrielles de l'ingénieur.

Concernant l'évaluation, qui vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants, l'enseignant veille soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Enfin, le professeur veille aussi à développer chez les étudiants des compétences transversales et préprofessionnelles relatives aux capacités suivantes :

- identifier les différents champs professionnels et les parcours pour y accéder ;
- valoriser ses compétences scientifiques et techniques en lien avec son projet de poursuite d'études ou professionnel.

Formation expérimentale

Cette partie est spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiants lors des séances de travaux pratiques.

Dans un premier temps, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la mesure et de l'évaluation des incertitudes. Elle présente ensuite de façon détaillée l'ensemble des capacités expérimentales qui doivent être acquises en autonomie par les étudiants à l'issue de leur seconde année de CPGE. Enfin, elle aborde la question de la prévention du risque au laboratoire de physique-chimie.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans l'annexe 1 du présent programme.

1. Mesures et incertitudes

Les notions et capacités identifiées ci-dessous couvrent les deux années de formation en classe préparatoire aux grandes écoles ; leur pleine maîtrise est donc un objectif de fin de seconde année.

L'accent est mis sur la variabilité de la mesure d'une grandeur physique et sa caractérisation à l'aide de l'incertitude-type. La comparaison entre deux valeurs mesurées d'une même grandeur physique est conduite au moyen de l'écart normalisé, l'objectif principal étant de développer l'esprit critique des étudiants en s'appuyant sur un critère quantitatif. Le même esprit prévaut dans l'analyse des résultats d'une régression linéaire qui ne saurait s'appuyer sur l'exploitation non raisonnée du coefficient de corrélation (R^2).

Le recours à la simulation vise à illustrer, sur la base de mesures expérimentales, différents effets de la variabilité de la mesure d'une grandeur physique dans les cas des incertitudes-types composées et de la régression linéaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Incertitude. Incertitude-type.	Identifier les incertitudes liées, par exemple, à l'opérateur, à l'environnement, aux instruments ou à la méthode de mesure. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B). Associer un intervalle de confiance à l'écart-type dans l'hypothèse d'une distribution suivant la loi normale.
Incertitudes-types composées.	Évaluer l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, à l'aide d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée. <u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs ; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé. Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.

Régression linéaire.	<p>Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle.</p> <p>Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude ou analyse des écarts normalisés.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation Monte-Carlo – pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle.</p>
----------------------	---

2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les étudiants doivent acquérir au cours de l'année de MPI durant les séances de travaux pratiques. Elle vient prolonger la partie correspondante du programme de MPII, option sciences informatiques dont les capacités doivent être complètement acquises à l'issue des deux années de préparation, et restent donc au programme de la classe de MPI.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret. À ce titre, elle vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesures de temps et de fréquences	
Analyse spectrale.	Mettre en évidence le phénomène de repliement du spectre provoqué par l'échantillonnage avec un oscilloscope numérique ou une carte d'acquisition. Choisir les paramètres d'une acquisition numérique destinée à une analyse spectrale afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon, tout en optimisant la résolution spectrale.
2. Électricité et électronique	
Filtrage analogique d'un signal périodique.	Mettre en évidence l'action d'un filtre linéaire sur un signal périodique dans les domaines fréquentiel et temporel.
Électronique numérique.	Utiliser un convertisseur analogique-numérique et un convertisseur numérique-analogique.
Électronique logique.	Mettre en œuvre divers montages utilisant des portes logiques.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie MPI

3. Optique	
Analyse d'une lumière.	Identifier, à l'aide d'un polariseur, une onde polarisée rectilignement et déterminer sa direction de polarisation.
Analyse d'une figure d'interférence.	Mettre en œuvre un photodétecteur en sortie d'un interféromètre.
Cohérence temporelle d'une source.	Régler un interféromètre de Michelson compensé pour une observation en lame d'air avec une source étendue à l'aide d'un protocole fourni. Obtenir une estimation de la longueur de cohérence d'une source et de l'écart spectral d'un doublet à l'aide d'un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air.
4. Thermodynamique	
Conduction thermique.	Mettre en œuvre un dispositif de mesure de conductivité thermique.
5. Transformation de la matière	
Mesures de grandeurs physique en chimie : volume, masse, pH, absorbance, tension électrique et intensité du courant.	Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise. Préparer une solution de concentration en masse ou en quantité de matière donnée avec le matériel approprié. Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.
Dosage par titrage acide-base. Suivis d'un titrage par pH-métrie et par indicateurs colorés. Repérage de l'équivalence.	Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage acide-base. Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage dans le cas d'un titrage acide-base. Exploiter la réaction support de titrage et déterminer la grandeur recherchée.
Réalisation et étude de piles.	Mettre en œuvre des piles et déterminer leurs caractéristiques à vide ou en fonctionnement.

3. Prévention du risque au laboratoire de physique-chimie

Les étudiants doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique, optique et celles liées à la pression et à la température leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention des risques au laboratoire	Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
- Risque chimique Règles de sécurité au laboratoire. Classes et catégories de danger. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Mentions de danger (H) et conseils de prudence (P). Fiches de sécurité.	Relever les indications sur le risque associé au prélèvement, au mélange et au stockage des produits chimiques et adopter une attitude responsable lors de leur utilisation.
- Risque électrique	Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
- Risque optique	Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.
- Risques liés à la pression et à la température	Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.
2. Prévention de l'impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

Contenus thématiques

Les contenus de la formation sont organisés autour de sept thèmes.

1. Mécanique

- 1.1. Référentiels non galiléens
- 1.2. Lois du frottement solide

2. Éléments de traitement du signal

- 2.1. Signaux périodiques
- 2.2. Électronique numérique
- 2.3. Portes logiques
- 2.4. Logique séquentielle et stabilité

3. Optique

- 3.1. Modèle scalaire des ondes lumineuses
- 3.2. Superposition d'ondes lumineuses
- 3.3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young
- 3.4. Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson éclairé par une source spatialement étendue

4. Électromagnétisme

- 4.1. Électrostatique
- 4.2. Magnétostatique
- 4.3. Équations de Maxwell
- 4.4. Énergie du champ électromagnétique
- 4.5. Propagation et rayonnement

5. Thermodynamique : transferts thermiques

6. Physique quantique

- 6.1. Fonction d'onde et équation de Schrödinger
- 6.2. Particule libre
- 6.3. États stationnaires d'une particule dans des potentiels constants par morceaux
- 6.4. États non stationnaires d'une particule dans un puits de potentiel infini

7. Transformation de la matière

- 7.1 Transformations chimiques d'un système
- 7.2 Acides et bases, réactions acide-base
- 7.3 Oxydants et réducteurs, réactions d'oxydo-réduction

1. Mécanique

Le programme de mécanique de MPI vise à compléter les acquis de mécanique de la classe de MP11, option sciences informatiques. Il est structuré en deux sous-parties : la première est consacrée aux changements de référentiels, la seconde aux conséquences mécaniques des actions de frottements entre solides.

La partie « **Référentiels non galiléens** » est organisée autour de deux situations : la translation et la rotation uniforme autour d'un axe fixe. L'accent est mis sur la compréhension qualitative des effets observés, l'évaluation des ordres de grandeurs et les conséquences expérimentales.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1. Référentiels non galiléens	
Mouvement d'un référentiel par rapport à un autre dans les cas du mouvement de translation et du mouvement de rotation uniforme autour d'un axe fixe.	Identifier et caractériser un mouvement de translation et un mouvement de rotation uniforme autour d'un axe fixe d'un référentiel par rapport à un autre.
Vecteur rotation d'un référentiel par rapport à un autre.	Exprimer le vecteur rotation d'un référentiel par rapport à un autre.

Composition des vitesses et des accélérations dans le cas d'une translation, et dans le cas d'une rotation uniforme autour d'un axe fixe : vitesse d'entraînement, accélérations d'entraînement et de Coriolis.	Relier les dérivées d'un vecteur dans des référentiels différents par la relation de la dérivation composée. Citer et utiliser les expressions de la vitesse d'entraînement et des accélérations d'entraînement et de Coriolis.
Dynamique du point en référentiel non galiléen dans le cas où le référentiel entraîné est en translation, ou en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen. Forces d'inertie.	Exprimer les forces d'inerties, dans les seuls cas où le référentiel entraîné est en translation, ou en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen. Décrire et interpréter les effets des forces d'inertie dans des cas concrets : sens de la force d'inertie d'entraînement dans un mouvement de translation ; caractère centrifuge de la force d'inertie d'entraînement dans le cas où le référentiel est en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen. Utiliser les lois de la dynamique en référentiel non galiléen dans les seuls cas où le référentiel entraîné est en translation, ou en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen.
Caractère galiléen approché d'un référentiel. Exemple du référentiel de Copernic, du référentiel géocentrique et du référentiel terrestre.	Citer quelques manifestations du caractère non galiléen du référentiel terrestre. Estimer, en ordre de grandeur, la contribution de la force d'inertie de Coriolis dans un problème de dynamique terrestre.

La partie « **Lois du frottement solide** », est limitée au seul cas de la translation ; elle permet de mettre en œuvre un mode de raisonnement spécifique et particulièrement formateur, sans pour autant omettre les conséquences expérimentales

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2. Lois du frottement solide	
Contact entre deux solides. Aspects microscopiques. Lois de Coulomb du frottement de glissement dans le seul cas d'un solide en translation. Aspect énergétique.	Utiliser les lois de Coulomb dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage. Formuler une hypothèse (quant au glissement ou non) et la valider. Effectuer un bilan énergétique. Effectuer une mesure d'un coefficient de frottement. <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, simuler une situation mécanique dans laquelle intervient au moins un changement de mode de glissement.

2. Éléments de traitement du signal

Ce thème du programme, décomposé en quatre parties, complète l'étude des circuits électriques linéaires menée dans la partie « **Ondes et signaux** » du programme de MPII, option sciences informatiques. Les capacités exigibles ont vocation à être principalement développées au cours de séances de travaux pratiques.

Dans la première partie intitulée « **Signaux périodiques** », l'accent est mis sur l'action d'un filtre linéaire sur un signal périodique, l'objectif étant de comprendre le rôle central de la linéarité des systèmes pour interpréter la forme du signal de sortie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1. Signaux périodiques	
Signaux périodiques.	Commenter le spectre d'un signal périodique : selon leur rang, attribuer aux différents harmoniques le rôle qu'elles jouent dans la forme du signal analysé.
Action d'un filtre linéaire du premier ou du second ordre sur un signal périodique.	Prévoir l'effet d'un filtrage linéaire sur la composition spectrale d'un signal périodique. Expliciter les conditions pour obtenir un comportement intégrateur ou dérivateur. Mettre en œuvre un dispositif expérimental illustrant l'action d'un filtre sur un signal périodique.

La partie « **Électronique numérique** » est à vocation uniquement expérimentale ; elle constitue une initiation au traitement numérique des signaux à travers les points suivants : l'échantillonnage et le repliement de spectre, la conversion analogique/numérique et le filtrage numérique. Le phénomène de repliement de spectre est présenté qualitativement au moyen d'illustrations démonstratives, l'objectif étant de mettre en place la condition de Nyquist-Shannon afin de réaliser convenablement une acquisition numérique. Un filtrage numérique, du type passe-bas, est réalisé à l'aide d'un convertisseur analogique/numérique et d'un traitement numérique, un convertisseur numérique/analogique restitue ensuite un signal de sortie analogique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2. Électronique numérique	
Échantillonnage : fréquence d'échantillonnage. Conséquences expérimentales du théorème de Nyquist-Shannon.	Réaliser l'échantillonnage d'un signal. Choisir la fréquence d'échantillonnage afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon. Commenter la structure du spectre du signal obtenu après échantillonnage. Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre au moyen d'un oscilloscope numérique ou d'un logiciel de calcul numérique. <u>Capacité numérique</u> : calculer, à l'aide d'un langage de programmation, la transformée de Fourier discrète d'un signal numérique.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie MPI

Filtrage numérique.	<p>Mettre en œuvre un convertisseur analogique/numérique et un traitement numérique afin de réaliser un filtre passe-bas ; utiliser un convertisseur numérique/analogique pour restituer un signal analogique.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, simuler un filtrage numérique et visualiser son action sur un signal périodique.</p>
---------------------	---

Les deux dernières parties intitulées « **Portes logiques** » et « **Logique séquentielle et stabilité** » visent à étudier les composants fondamentaux des circuits logiques ainsi que quelques propriétés de tels circuits permettant la réalisation de dispositifs fréquemment mis en œuvre dans les matériels informatiques.

On se limite à des systèmes comportant un nombre raisonnable de composants. La connaissance des circuits électroniques constituant les portes et bascules est hors programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.3 Portes logiques	
Interrupteurs commandés par une tension. Porte logique NOT. Portes logiques AND, OR, NAND, NOR à deux ou plusieurs entrées. Porte logique XOR.	Déterminer la table de vérité d'une association d'interrupteurs commandés par une tension. Identifier par sa table de vérité la porte logique réalisée par une association d'interrupteurs commandés par une tension.

2.4 Logique séquentielle et stabilité	
États stables. Circuits astable, monostable, bistable.	Déterminer les états stables d'un circuit contenant des portes logiques, avec rétroaction. Réaliser un oscillateur à l'aide d'un circuit astable à portes logiques. Réaliser un convertisseur fréquence tension utilisant un circuit monostable à porte logique.
Bascule RS à portes NAND ou NOR.	Décrire le fonctionnement d'une bascule RS dont le schéma est fourni. Expliquer comment réaliser une mémoire à l'aide d'un circuit bistable.
Chronogramme.	Déterminer le chronogramme des grandeurs électriques pertinentes d'un circuit comportant des portes logiques.

3. Optique

Le programme d'optique de la filière MPI s'inscrit dans le prolongement du thème « **Ondes et signaux** » du programme de MP11, option sciences informatiques. Il s'agit pour les étudiants d'approfondir l'étude des phénomènes d'interférences lumineuses, dans le cadre du modèle ondulatoire de la lumière. L'approche reste centrée sur l'expérience, mais la modélisation doit permettre d'analyser de façon raisonnée les conditions optimales d'observation d'interférences lumineuses, et leur exploitation quantitative. L'enseignant ne manquera pas de rappeler que ces phénomènes, étudiés ici dans le cadre de l'optique, sont généralisables à tout comportement ondulatoire.

La partie « **Modèle scalaire des ondes lumineuses** » introduit les outils nécessaires pour décrire les phénomènes d'interférences. Le programme utilise le mot « intensité » pour décrire la grandeur détectée mais on peut utiliser indifféremment les mots « intensité » ou « éclaircissement » sans chercher à les distinguer à ce niveau. L'intensité lumineuse est introduite comme une puissance par unité de surface. Le théorème de Malus (orthogonalité des rayons de lumière et des surfaces d'ondes) est admis.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.1. Modèle scalaire des ondes lumineuses	
Modèle de propagation dans l'approximation de l'optique géométrique.	Utiliser une grandeur scalaire pour décrire un signal lumineux.
Chemin optique. Déphasage dû à la propagation. Surfaces d'ondes. Théorème de Malus (admis). Onde plane, onde sphérique ; effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss.	Exprimer le retard de phase en un point (par rapport à un autre) en fonction de la durée de propagation ou du chemin optique. Associer une description de la formation des images en termes de rayon lumineux et en termes de surfaces d'onde. Utiliser la propriété énonçant que le chemin optique séparant deux points conjugués est indépendant du rayon lumineux choisi.
Modèle d'émission. Relation (admise) entre le temps de cohérence et la largeur spectrale.	Citer l'ordre de grandeur du temps de cohérence Δt de quelques radiations visibles. Utiliser la relation $\Delta f \cdot \Delta t \sim 1$ pour relier le temps de cohérence à la largeur spectrale $\Delta \lambda$ de la radiation.
Récepteurs. Intensité de la lumière.	Relier l'intensité à la moyenne temporelle du carré de la grandeur scalaire de l'optique. Citer l'ordre de grandeur du temps de réponse de quelques récepteurs de lumière. Mettre en œuvre des expériences utilisant un capteur photographique numérique.

Dans la partie « **Superposition d'ondes lumineuses** », la formule de Fresnel, admise en classe de première année, est démontrée.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.2. Superposition d'ondes lumineuses	
Superposition de deux ondes incohérentes entre elles.	Justifier et utiliser l'additivité des intensités.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie MPI

Superposition de deux ondes monochromatiques cohérentes entre elles : formule de Fresnel. Facteur de contraste.	Citer les principales conditions pour que le phénomène d'interférences apparaisse (ondes quasi synchrones, déphasage constant dans le temps ou très lentement variable). Établir et utiliser la formule de Fresnel. Associer un bon contraste à des ondes d'intensités voisines.
---	--

Dans la partie « **Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young** », les trous d'Young permettent de confronter théorie et expérience. Les fentes d'Young peuvent être abordées mais de manière exclusivement expérimentale. Aucune connaissance sur un autre diviseur du front d'onde n'est exigible.

3.3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young	
Trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif : source ponctuelle à distance finie et observation à grande distance. Champ d'interférences. Ordre d'interférences.	Définir, exprimer et utiliser l'interfrange et l'ordre d'interférences. Justifier que les franges ne sont pas localisées.
Variations de l'ordre d'interférences avec la position du point d'observation ; franges d'interférences.	Interpréter la forme des franges observées.
Variations de l'ordre d'interférences avec la position d'un point source. Perte de contraste par élargissement angulaire de la source.	Utiliser un critère de brouillage des franges portant sur l'ordre d'interférence.
Variations de l'ordre d'interférence avec la longueur d'onde. Perte de contraste par élargissement spectral de la source.	Utiliser un critère de brouillage des franges portant sur l'ordre d'interférence.

Dans la partie « **Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson éclairé par une source spatialement étendue** », l'étude de l'interféromètre de Michelson en lame d'air permet de confronter théorie et expérience. L'étude de l'interféromètre de Michelson en coin d'air est abordée de manière exclusivement expérimentale. Pour la modélisation d'un interféromètre de Michelson, on suppose la séparatrice infiniment mince.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.4. Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson éclairé par une source spatialement étendue	
Interféromètre de Michelson éclairé par une source spatialement étendue. Localisation (admise) des franges.	Citer les conditions d'éclairage et d'observation en lame d'air et en coin d'air.

Lame d'air : franges d'égale inclinaison.	Établir et utiliser l'expression de la différence de marche en fonction de l'épaisseur de la lame d'air équivalente et de l'angle d'incidence des rayons. Régler un interféromètre de Michelson pour une observation en lame d'air avec une source étendue à l'aide d'un protocole proposé. Mettre en œuvre un protocole pour accéder au profil spectral d'une raie ou d'un doublet à l'aide d'un interféromètre de Michelson.
Coin d'air : franges d'égale épaisseur.	Utiliser l'expression admise de la différence de marche en fonction de l'épaisseur. Caractériser la géométrie d'un objet ou l'indice d'un milieu à l'aide d'un interféromètre de Michelson.

4. Électromagnétisme

Le programme d'électromagnétisme de la filière MPI s'inscrit dans le prolongement du thème « Ondes et signaux » du programme de MPII, option systèmes informatiques. Il s'agit pour les étudiants de découvrir les lois locales et intégrales qui gouvernent les champs électrique et magnétique et les phénomènes que ces lois permettent de modéliser, notamment dans le domaine des ondes électromagnétiques.

L'étude des champs électrostatique et magnétostatique est présentée en deux parties distinctes ; l'enseignant est libre, s'il le souhaite, de procéder à une présentation unifiée de la notion de champ statique. Pour les calculs de champs, l'accent est mis sur les situations à haut degré de symétrie qui permettent l'utilisation efficace des propriétés de flux ou de circulation. Les équations locales des champs statiques sont introduites comme cas particuliers des équations de Maxwell.

La loi de Biot et Savart, les notions de potentiel vecteur et d'angle solide ne relèvent pas du programme.

Les relations de passage relatives au champ électromagnétique peuvent être exploitées mais doivent être systématiquement rappelées.

La partie « **Électrostatique** » constitue un approfondissement des lois quantitatives qui régissent le champ électrostatique. Les notions abordées sont donc centrées sur l'essentiel : distributions de charges, champ et potentiel. Pour le champ électrostatique et le potentiel, on se limite aux expressions dans le cas de charges ponctuelles.

L'accent est mis sur les propriétés intégrales du champ et sur le théorème de Gauss pour des situations présentant un haut degré de symétrie ; ce dernier est admis.

Des capacités sur la lecture des lignes de champ et des surfaces équipotentielles sont développées.

Le condensateur plan est introduit mais l'étude des conducteurs en équilibre électrostatique ne relève pas du programme.

Une approche énergétique est conduite dans un cas simple : une charge ponctuelle placée dans un champ électrostatique extérieur.

Le dipôle est traité, l'accent est mis sur les effets qualitatifs.

Les analogies avec la gravitation sont centrées sur l'application du théorème de Gauss.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie MPI

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.1. Électrostatique	
Loi de Coulomb. Champ électrostatique. Champ électrostatique créé par un ensemble de charges ponctuelles. Principe de superposition.	Exprimer le champ électrostatique créé par une distribution discrète de charges. Citer quelques ordres de grandeur de champs électrostatiques.
Distributions continues de charges : volumique, surfacique, linéique.	Choisir un type de distribution continue adaptée à la situation modélisée. Relier les densités de charges de deux types de distributions modélisant une même situation. Déterminer la charge totale d'une distribution continue dans des situations simples.
Symétries et invariances du champ électrostatique.	Identifier les plans de symétrie et d'antisymétrie d'une distribution de charges. Identifier les invariances d'une distribution de charges. Exploiter les symétries et les invariances d'une distribution de charges pour caractériser le champ électrostatique créé.
Circulation du champ électrostatique. Potentiel électrostatique. Opérateur gradient.	Relier le champ électrostatique au potentiel. Exprimer le potentiel créé par une distribution discrète de charges. Citer l'expression de l'opérateur gradient en coordonnées cartésiennes. Déterminer un champ électrostatique à partir du potentiel, l'expression de l'opérateur gradient étant fournie dans le cas des coordonnées sphériques et cylindriques. Déterminer une différence de potentiel par circulation du champ électrostatique dans des cas simples.
Flux du champ électrostatique. Théorème de Gauss.	Reconnaître les situations pour lesquelles le champ électrostatique peut être calculé à l'aide du théorème de Gauss.
Systèmes modélisés par une sphère, un cylindre infini ou un plan infini.	Établir les expressions des champs électrostatiques créés en tout point de l'espace par une sphère uniformément chargée en volume, par un cylindre infini uniformément chargé en volume et par un plan infini uniformément chargé en surface. Établir et énoncer qu'à l'extérieur d'une distribution à symétrie sphérique, le champ électrostatique créé est le même que celui d'une charge ponctuelle concentrant la charge totale et placée au centre de la distribution. Utiliser le théorème de Gauss pour déterminer le champ électrostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie.

Étude du condensateur plan modélisé comme la superposition de deux distributions surfaciques, de charges opposées.	Établir et citer l'expression de la capacité d'un condensateur plan dans le vide.
Lignes de champ, tubes de champ, surfaces équipotentiellles.	Orienter les lignes de champ électrostatique créées par une distribution de charges. Représenter les surfaces équipotentiellles connaissant les lignes de champ et inversement. Associer les variations de l'intensité du champ électrostatique à la position relative des lignes de champ. Vérifier qu'une carte de lignes de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution.
Énergie potentielle électrostatique d'une charge placée dans un champ électrostatique extérieur.	Établir et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'une charge ponctuelle placée dans un champ électrostatique extérieur.
Notion de dipôle électrostatique, moment dipolaire.	Exprimer le moment dipolaire d'un doublet de charges. Évaluer des ordres de grandeur dans le domaine microscopique.
Champ et potentiel créés par un dipôle électrostatique.	Expliciter l'approximation dipolaire. Représenter l'allure des lignes de champ et des surfaces équipotentiellles d'un dipôle électrostatique. Établir et exploiter les expressions du champ et du potentiel créés par un doublet de charges dans l'approximation dipolaire.
Dipôle électrostatique placé dans un champ électrostatique extérieur : actions subies et énergie potentielle d'interaction.	Expliquer qualitativement le comportement d'un dipôle placé dans un champ électrostatique extérieur. Établir et exploiter les expressions des actions mécaniques subies par un doublet de charges dans un champ électrostatique extérieur uniforme. Exploiter l'expression fournie de la force subie par un dipôle placé dans un champ électrostatique extérieur non uniforme. Citer et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'interaction.
Analogies avec la gravitation.	Utiliser le théorème de Gauss de la gravitation.

La partie « **Magnétostatique** » s'appuie sur les différents aspects qualitatifs et quantitatifs vus en première année de la classe de MPII option sciences informatiques. Les étudiants sont déjà familiarisés avec le concept de champ magnétostatique lors de l'étude des phénomènes d'induction. Il s'agit ici de préciser les propriétés de ce champ, avec l'analyse des symétries et des invariances de la distribution, ainsi qu'avec l'utilisation du théorème d'Ampère pour la détermination d'un champ magnétique.

La loi de Biot et Savart n'est pas introduite ; l'utilisation de celle-ci pour calculer un champ magnétostatique est donc exclue.

Les distributions de courants surfaciques ne sont pas introduites à ce niveau du programme, elles le sont uniquement à l'occasion de la réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie MPI

Les propriétés des dipôles magnétiques, sont précisées, notamment en ce qui concerne le champ magnétostatique créé et les actions subies lorsque le dipôle magnétique est placé dans un champ magnétostatique extérieur. On peut, sur ce thème, souligner les analogies avec l'électrostatique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.2. Magnétostatique	
Courant électrique. Vecteur densité de courant volumique. Distributions de courant électrique filiformes.	Déterminer l'intensité du courant électrique traversent une surface orientée.
Symétries et invariances du champ magnétostatique.	Identifier les plans de symétrie et d'antisymétrie d'une distribution de courants. Identifier les invariances d'une distribution de courants. Exploiter les symétries et les invariances d'une distribution de courants pour caractériser le champ magnétostatique créé.
Propriétés de flux et de circulation. Théorème d'Ampère.	Identifier les situations pour lesquelles le champ magnétostatique peut être calculé à l'aide du théorème d'Ampère. Citer quelques ordres de grandeur de champs magnétostatiques.
Applications au fil rectiligne « infini » de section non nulle et au solénoïde « infini ».	Établir les expressions des champs magnétostatiques créés en tout point de l'espace par un fil rectiligne infini de section non nulle, parcouru par des courants uniformément répartis en volume, par un solénoïde infini en admettant que le champ est nul à l'extérieur. Utiliser le théorème d'Ampère pour déterminer le champ magnétostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie.
Lignes de champ, tubes de champ.	Orienter les lignes de champ magnétostatique créées par une distribution de courants. Associer les variations de l'intensité du champ magnétostatique à la position relative des lignes de champ. Vérifier qu'une carte de lignes de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution.
Notion de dipôle magnétique. Moment magnétique.	Exprimer le moment magnétique d'une boucle de courant plane. Évaluer des ordres de grandeur dans les domaines macroscopique et microscopique.
Champ créé par un dipôle magnétique.	Expliciter l'approximation dipolaire. Représenter l'allure des lignes de champ d'un dipôle magnétique. Exploiter l'expression fournie du champ créé par un dipôle magnétique.

<p>Dipôle magnétique placé dans un champ magnétostatique extérieur : actions subies et énergie potentielle d'interaction.</p>	<p>Expliquer qualitativement le comportement d'un dipôle passif placé dans un champ magnétostatique extérieur. Exploiter les expressions fournies des actions mécaniques subies par un dipôle magnétique dans un champ magnétostatique extérieur uniforme. Exploiter l'expression fournie de la force subie par un dipôle magnétique dans un champ magnétostatique extérieur non uniforme. Citer et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'interaction.</p>
---	--

Dans la partie « **Équations de Maxwell** » une vision unifiée des lois de l'électromagnétisme est présentée. Elle conduit à une première approche quantitative du phénomène de propagation et permet également de revenir sur les lois de l'induction étudiées en classe de MPII, option sciences informatiques.

Les lois locales de l'électrostatique relatives au potentiel constituent un support pertinent pour procéder à une approche numérique de la résolution d'une équation aux dérivées partielles.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.3. Équations de Maxwell	
Principe de la conservation de la charge : formulation locale.	Établir l'équation locale de la conservation de la charge en coordonnées cartésiennes dans le cas à une dimension.
Équations de Maxwell : formulations locale et intégrale.	Associer l'équation de Maxwell-Faraday à la loi de Faraday. Citer, utiliser et interpréter les équations de Maxwell sous forme intégrale. Associer qualitativement le couplage spatio-temporel entre champ électrique et champ magnétique au phénomène de propagation. Vérifier la cohérence des équations de Maxwell avec l'équation locale de la conservation de la charge.
Équations de propagation des champs dans une région vide de charges et de courants.	Établir les équations de propagation à partir des équations de Maxwell.
Cas des champs statiques : équations locales.	Établir les lois locales des champs statiques à partir des équations de Maxwell.
Équation de Poisson et équation de Laplace de l'électrostatique.	Établir les équations de Poisson et de Laplace de l'électrostatique. Exprimer par analogie les équations de Poisson et de Laplace dans le cas de la gravitation. <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation résoudre numériquement l'équation de Laplace à une ou deux dimensions, les conditions aux limites étant fixées.

Dans la partie « **Énergie du champ électromagnétique** », aucun modèle relatif à la loi d'Ohm locale n'est exigible ; l'accent est mis sur les échanges d'énergie entre la matière et le champ

électromagnétique, sur l'utilisation du flux du vecteur de Poynting pour évaluer une puissance rayonnée à travers une surface et sur les bilans d'énergie et de puissance.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.4. Énergie du champ électromagnétique	
Force électromagnétique volumique. Puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.	Établir et utiliser l'expression de la puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.
Loi d'Ohm locale ; puissance volumique dissipée par effet Joule.	Analyser les aspects énergétiques dans le cas particulier d'un milieu ohmique.
Énergie électromagnétique volumique. Vecteur de Poynting. Bilan d'énergie.	Citer des ordres de grandeur de flux énergétiques moyens (flux solaire, laser...). Utiliser le flux du vecteur de Poynting à travers une surface orientée pour évaluer la puissance rayonnée. Effectuer un bilan d'énergie sous forme locale et intégrale. Interpréter chaque terme de l'équation locale de Poynting, celle-ci étant fournie.

La partie « **Propagation et rayonnement** » est l'occasion d'illustrer l'efficacité du formalisme local des équations de Maxwell en insistant sur les aspects qualitatifs et sur la variété des applications qui en découlent.

Si le modèle de l'onde plane est présenté dans le cadre de l'espace vide, les études des ondes électromagnétiques dans un plasma ainsi que dans un milieu ohmique permettent d'illustrer l'importance des couplages entre les champs, les charges et les courants. Elles sont également l'occasion d'enrichir les compétences des étudiants sur les phénomènes de propagation en abordant, par exemple, l'effet de peau, le phénomène de dispersion, les notions de vitesse de groupe et de phase, de fréquence de coupure ou encore d'onde évanescente.

La réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait permet d'aborder la notion d'onde stationnaire. L'importance des conditions aux limites imposées sur la quantification des solutions est soulignée. La notion de densité de courant surfacique est introduite mais le calcul de l'intensité à travers un segment ne relève pas du programme.

L'étude du rayonnement dipolaire repose sur l'analyse et l'exploitation des expressions des champs, qui sont admises.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.5. Propagation et rayonnement	
Onde plane dans l'espace vide de charge et de courant ; onde plane progressive et aspects énergétiques.	Citer les solutions de l'équation de d'Alembert à une dimension. Décrire la structure d'une onde plane et d'une onde plane progressive dans l'espace vide de charge et de courant.

Onde plane progressive monochromatique. Relation de dispersion.	Expliquer le caractère idéal du modèle de l'onde plane monochromatique. Déterminer la relation de dispersion. Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications. Exprimer le vecteur de Poynting et l'énergie électromagnétique volumique associés à une onde plane progressive monochromatique. Effectuer une étude énergétique dans le cas d'une onde plane progressive monochromatique.
Onde plane progressive monochromatique polarisée rectilignement ou circulairement.	Reconnaître une onde polarisée rectilignement ou circulairement. Utiliser des polariseurs et étudier quantitativement la loi de Malus.
Onde plane transverse électrique monochromatique dans un plasma dilué. Conductivité complexe du milieu. Pulsation de coupure. Ondes évanescentes.	Exprimer la conductivité complexe du milieu et établir la relation de dispersion. Décrire le phénomène de dispersion. Relier la fréquence de coupure aux caractéristiques du plasma et citer son ordre de grandeur dans le cas de l'ionosphère. Distinguer qualitativement les ondes évanescentes et les ondes progressives du point de vue du transport de l'énergie.
Vitesse de phase, vitesse de groupe.	Calculer la vitesse de groupe à partir de la relation de dispersion. Citer une interprétation de la vitesse de groupe en s'appuyant sur l'analyse qualitative d'un exemple.
Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu ohmique en régime lentement variable. Effet de peau.	Établir et interpréter l'expression de la longueur caractéristique d'atténuation de l'onde électromagnétique dans un milieu ohmique.
Réflexion sous incidence normale d'une onde plane, progressive et monochromatique polarisée rectilignement sur un plan conducteur parfait. Onde stationnaire.	Établir l'expression de l'onde réfléchie en exploitant les relations de passage fournies. Interpréter qualitativement la présence de courants localisés en surface. Reconnaître et caractériser une onde stationnaire.
Applications aux cavités à une dimension. Mode d'onde stationnaire.	Établir la condition de quantification des solutions. Mettre en œuvre un dispositif permettant d'étudier une onde électromagnétique, dans le domaine des ondes centimétriques.
Champ électromagnétique rayonné par un dipôle oscillant dans la zone de rayonnement. Puissance rayonnée.	Justifier l'intérêt du modèle du dipôle oscillant et citer des exemples dans différents domaines. Formuler et commenter les approximations reliant les trois échelles de longueur pertinentes. Analyser la structure du champ électromagnétique rayonné, les expressions des champs étant fournies, en utilisant des arguments généraux : symétrie, conservation de l'énergie et

	<p>analyse dimensionnelle. Effectuer un bilan énergétique, les expressions des champs étant fournies. Représenter l'indicatrice de rayonnement.</p> <p>Détecter une onde électromagnétique rayonnée.</p>
--	---

5. Thermodynamique : transferts thermiques

Le programme de thermodynamique de la classe de MPI est consacré à l'étude des transferts thermiques.

Dans le cas de la diffusion thermique, la mise en équation est limitée au cas des solides ; on peut utiliser les résultats ainsi établis dans d'autres situations, notamment dans des fluides, en affirmant la généralisation des équations obtenues dans les solides. Les mises en équations locales sont faites exclusivement sur des géométries où une seule variable d'espace intervient. On admet ensuite les formes générales des équations en utilisant les opérateurs d'analyse vectorielle. Enfin, aucune connaissance spécifique sur les solutions d'une équation de diffusion ne figure au programme.

La loi de Newton à l'interface entre un solide et un fluide est introduite.

Les transferts thermiques par rayonnement sont abordés sans formalisme excessif, la loi de Planck n'étant pas exigible. L'effet de serre est étudié quantitativement dans un modèle simple à une couche, dont les limites peuvent être soulignées quand il est appliqué à l'atmosphère terrestre.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Conduction, convection et rayonnement.	Reconnaître un mode de transfert thermique. Mettre en œuvre un dispositif expérimental utilisant une caméra thermique ou un capteur dans le domaine des infrarouges.
Flux thermique. Vecteur densité de flux thermique.	Calculer un flux thermique à travers une surface orientée et interpréter son signe.
Premier principe de la thermodynamique.	Effectuer un bilan local d'énergie interne pour un solide dans le cas d'une situation à une variable d'espace en géométrie cartésienne, cylindrique ou sphérique.
Loi de Fourier.	Interpréter et utiliser la loi de Fourier. Citer quelques ordres de grandeur de conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, verre, acier. Mesurer la conductivité thermique d'un matériau.

Équation de la diffusion thermique.	<p>Établir l'équation de la diffusion thermique sans terme de source au sein d'un solide dans le cas d'une situation à une variable d'espace en géométrie cartésienne, cylindrique ou sphérique. Utiliser une généralisation de l'équation de la diffusion en présence d'un terme de source. Utiliser une généralisation en géométrie quelconque en utilisant l'opérateur Laplacien et son expression fournie. Analyser une équation de diffusion thermique en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle.</p> <p><u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, résoudre l'équation de la diffusion thermique à une dimension par une méthode des différences finies dérivée de la méthode d'Euler explicite de résolution des équations différentielles ordinaires.</p>
Régime stationnaire. Résistance thermique.	<p>Définir la notion de résistance thermique par analogie avec l'électrocinétique. Déterminer l'expression de la résistance thermique d'un solide dans le cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Exploiter les lois d'association de résistances thermiques.</p>
Coefficient de transfert thermique de surface, loi de Newton.	<p>Utiliser la loi de Newton comme condition aux limites à une interface solide-fluide.</p>
Approche descriptive du rayonnement thermique dans le cas d'un corps noir. Loi de Wien. Loi de Stefan. Effet de serre.	<p>Exploiter les expressions fournies des lois de Wien et de Stefan. Analyser quantitativement l'effet de serre en s'appuyant sur un bilan énergétique sur un modèle à une couche.</p>

6. Physique quantique

Cette partie s'inscrit dans le prolongement de l'introduction à la physique quantique traitée en classe de MPII, option sciences informatiques. Il s'agit cependant de dépasser l'approche descriptive et qualitative et de donner aux étudiants leurs premiers outils quantitatifs d'analyse. Le cœur de cet enseignement est construit sur la mécanique ondulatoire de Schrödinger et propose des résolutions d'exemples simples mais fondamentaux pour la bonne compréhension de problèmes plus complexes : particule dans une marche de potentiel et effet tunnel, particule dans un puits de potentiel infini et quantification de l'énergie d'une particule confinée. L'accent doit être mis sur l'interprétation et l'exploitation des résultats et non pas sur les calculs, non exigibles pour l'exemple plus délicat de la barrière de potentiel. Le professeur peut au contraire, s'il le souhaite, proposer des analyses de graphes, des exploitations de formules analytiques fournies, des estimations numériques, des simulations... afin d'aborder des modélisations plus réalistes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6.1. Fonction d'onde et équation de Schrödinger	
Fonction d'onde ψ d'une particule sans spin et densité de probabilité de présence.	Interpréter en termes de probabilité l'amplitude d'une onde associée à une particule.
Équation de Schrödinger à une dimension dans un potentiel $V(x)$.	Utiliser le caractère linéaire de l'équation (principe de superposition).
États stationnaires de l'équation de Schrödinger.	Procéder à la séparation des variables temps et espace. Distinguer l'onde associée à un état stationnaire en mécanique quantique d'une onde stationnaire au sens usuel de la physique des ondes. Relier l'énergie de la particule à l'évolution temporelle de sa fonction d'onde et faire le lien avec la relation de Planck-Einstein. Identifier le terme associé à l'énergie cinétique.
6.2. Particule libre	
Fonction d'onde d'une particule libre non localisée.	Établir les solutions. Interpréter la difficulté de normalisation de cette fonction d'onde.
Relation de de Broglie.	Relier l'énergie de la particule et le vecteur d'onde de l'onde plane associée.
Inégalité d'Heisenberg spatiale et paquet d'ondes.	Expliquer, en s'appuyant sur l'inégalité d'Heisenberg spatiale, que la localisation de la particule peut s'obtenir par superposition d'ondes planes.
6.3. États stationnaires d'une particule dans des potentiels constants par morceaux	
États stationnaires d'une particule dans le cas d'une marche de potentiel.	Citer des exemples physiques illustrant cette problématique. Exploiter les conditions de continuité (admissibles) relatives à la fonction d'onde. Établir la solution dans le cas d'une particule incidente sur une marche de potentiel. Expliquer les différences de comportement par rapport à une particule classique Identifier une onde évanescence et la caractériser.
Barrière de potentiel et effet tunnel.	Décrire qualitativement influence de la hauteur et de la largeur de la barrière de potentiel sur l'effet tunnel. Citer des applications.
États stationnaires d'une particule dans un puits de potentiel infini.	Établir les solutions et les niveaux d'énergie de la particule confinée. Identifier des analogies avec d'autres domaines de la physique.
Énergie de confinement.	Estimer l'énergie d'une particule confinée dans son état fondamental pour un puits non rectangulaire. Associer l'analyse à l'inégalité d'Heisenberg.

6.4. États non stationnaires d'une particule dans un puits de potentiel infini

Combinaison linéaire d'états stationnaires.

Expliquer qu'une superposition de deux états stationnaires engendre une évolution au cours du temps de l'état de la particule.
Établir l'expression de la densité de probabilité de présence de la particule dans le cas d'une superposition de deux états stationnaires ; interpréter le résultat.

7. Transformation de la matière

L'objectif de cette partie est d'amener les étudiants à mobiliser de manière autonome les notions et modèles pour décrire, au niveau macroscopique, un système physico-chimique et son évolution. Il convient que les problématiques abordées, les illustrations et les applications prennent largement appui sur des transformations chimiques rencontrées dans la vie quotidienne, au laboratoire, en milieu industriel ou dans le monde du vivant.

Les concepts développés permettent l'étude quantitative de l'état final d'un système, siège d'une transformation chimique, à partir d'une modélisation par une seule réaction chimique. Cette réaction est décrite de manière symbolique par une équation de réaction à laquelle est associée une constante thermodynamique d'équilibre. Il s'agit de prévoir le sens d'évolution de systèmes homogènes ou hétérogènes et de déterminer leur composition dans l'état final.

Ces études portent plus spécifiquement sur les transformations chimiques en solution aqueuse notamment sur des transformations modélisées par des réactions acide-base et d'oxydo-réduction. Ces dernières interviennent dans de nombreux développements technologiques et lors d'analyses de qualité et de conformité : générateurs électrochimiques, traitement des eaux, analyses environnementales, lutte contre la corrosion... On évite tout calcul inutile de concentration et de pH, en privilégiant l'utilisation des diagrammes de prédominance ou de distribution pour valider le choix de la réaction qui modélise au mieux la situation. Aucune formule de calcul de pH n'est exigible.

Les choix pédagogiques relatifs au contenu des séances de travail expérimental contribuent à contextualiser ces enseignements et constituent une nouvelle occasion d'aborder la thématique « Mesure et incertitudes ». Les titrages sont étudiés exclusivement en travaux pratiques dans le cadre de situations authentiques présentant un intérêt en termes d'analyses.

Notions et contenus	Capacités exigibles
7.1 Transformations chimiques d'un système	
Espèces physico-chimiques. Entités chimiques.	Recenser les espèces physico-chimiques présentes dans un système et leur quantité de matière. Attribuer à une espèce physico-chimique une formule brute et un état physique.
Modélisation d'une transformation au niveau macroscopique par une réaction : équation de réaction.	Écrire l'équation de la réaction qui modélise une transformation chimique.
État final d'un système siège d'une transformation : transformation totale ou non totale, équilibre chimique.	Distinguer une transformation totale d'une transformation aboutissant à un état d'équilibre chimique. Exprimer l'activité d'une espèce chimique pure, en phase condensée ou très diluée en

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie MPI

	<p>solution aqueuse. Exprimer l'activité d'une espèce chimique pure ou dans un mélange dans le cas de solutions aqueuses très diluées.</p>
<p>Évolution d'un système, siège d'une transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique : avancement, activité, quotient de réaction, constante thermodynamique d'équilibre. Critère d'évolution spontanée, état final.</p>	<p>Déterminer le quotient de réaction dans l'état initial et dans l'état final, à partir de données. Prévoir le sens de l'évolution spontanée d'un système chimique. Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p> <p>Déterminer une constante thermodynamique d'équilibre.</p>
<p>7.2 Acides et bases, réactions acide-base</p>	
<p>pH d'une solution aqueuse. Transformation modélisée par une réaction acide-base. Couples acide-base, constante d'acidité ; acides et bases fort(e)s ou faibles dans l'eau ; diagramme de prédominance et courbes de distribution. Indicateurs colorés.</p>	<p>Écrire l'équation d'une réaction acide-base et déterminer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction acide-base à partir des pKa des couples acide-base mis en jeu. Utiliser un diagramme de prédominance pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires. Interpréter et exploiter un diagramme de distribution.</p> <p>Réaliser un titrage ayant pour réaction support une réaction acide-base.</p>
<p>7.3 Oxydants et réducteurs, réactions d'oxydo-réduction</p>	
<p>Transformation modélisée par une réaction d'oxydo-réduction. Couple oxydant-réducteur. Nombre d'oxydation.</p>	<p>Identifier un transfert d'électrons et écrire une réaction d'oxydo-réduction à partir de données expérimentales ou des couples oxydant-réducteurs mis en jeu. Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple.</p>
<p>Pile, demi-piles, pont salin, tension à vide, réactions électrochimiques aux électrodes. Potentiel d'électrode, potentiel standard, relation de Nernst, électrode standard à hydrogène.</p>	<p>Justifier la séparation des réactifs dans deux demi-piles et l'utilisation d'un pont salin. Exploiter la relation de Nernst. Modéliser et schématiser le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrode, ou à partir d'une mesure d'intensité de courant.</p> <p>Réaliser une pile et étudier son fonctionnement.</p>
<p>Aspect thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction. Domaine de prédominance. Force comparée des oxydants et des réducteurs.</p>	<p>Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction à partir des potentiels standard des couples.</p>

Usure d'une pile. Capacité électrique d'une pile.	Déterminer la composition chimique d'une pile ayant fonctionné pendant une durée déterminée, l'intensité du courant étant fournie. Évaluer la capacité électrique d'une pile connaissant sa composition initiale.
--	--

Annexe 1 : matériel

Cette liste complète celle donnée en annexe 1 du programme de physique chimie de la classe de MP11, option sciences informatiques. À elles deux, ces listes regroupent le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée. Une utilisation de matériel hors de ces listes lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une aide.

1. Domaine optique

- Polariseur.
- Interféromètre de Michelson motorisé.
- Capteur photographique numérique.
- Spectromètre à fibre optique.

2. Domaine électrique

- Oscilloscope numérique avec analyseur de spectre.
- Carte d'acquisition dont l'API est publiée.
- Microcontrôleur.
- Circuits intégrés comportant des portes logiques

3. Domaine thermodynamique

- Caméra thermique

4. Domaine transformation de la matière

- Verrerie classique de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, béchers, etc.
- Matériel classique du laboratoire de chimie : dispositifs de chauffage ou de refroidissement (bain-marie, bain froid, etc.), dispositifs d'agitation.
- Spectrophotomètre UV-visible
- pH-mètre et électrodes de mesure
- Ampèremètre, voltmètre et électrodes de référence
- Thermomètre
- Balance de précision

Annexe 2 : outils mathématiques

Les outils mathématiques dont la maîtrise est nécessaire à la mise en œuvre du programme de physique de la classe de MPI sont d'une part ceux qui figurent dans l'annexe 2 du programme de la classe de MP11 option sciences informatiques et d'autre part ceux qui figurent dans la liste ci-dessous.

Le thème « analyse vectorielle » n'a pas fait l'objet d'une rubrique en première année, l'expression des différents opérateurs introduits sont exigibles en coordonnées cartésiennes.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

Physique-chimie MPI

Les expressions des opérateurs en coordonnées cylindriques et sphériques et les formules d'analyse vectorielle ne sont pas exigibles ; elles doivent donc être systématiquement rappelées.

Le thème « Analyse de Fourier » prolonge l'étude de l'outil « Séries de Fourier » abordée en MPII option sciences informatiques et réutilisée en classe de MPI, on étend la décomposition d'un signal périodique comme somme de ses harmoniques à l'expression d'un signal non périodique sous forme d'une intégrale (synthèse spectrale) ; aucun résultat n'est exigible. On souligne en revanche la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale Δf et la durée caractéristique Δt d'un signal non périodique.

Dans le thème « Équations aux dérivées partielles », aucune méthode générale d'étude n'est exigible : on se limite à chercher des solutions d'une forme donnée par substitution, menant ainsi soit à des équations différentielles classiques, soit à une relation de dispersion. L'accent est mis sur le rôle des conditions aux limites.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Analyse vectorielle	
Gradient.	Citer le lien entre le gradient et la différentielle. Exprimer les composantes du gradient en coordonnées cartésiennes. Utiliser le fait que le gradient d'une fonction f est perpendiculaire aux surfaces iso- f et orienté dans le sens des valeurs de f croissantes.
Divergence.	Citer et utiliser le théorème d'Ostrogradski. Exprimer la divergence en coordonnées cartésiennes.
Rotationnel.	Citer et utiliser le théorème de Stokes. Exprimer le rotationnel en coordonnées cartésiennes.
Laplacien d'un champ scalaire.	Définir le laplacien à l'aide de la divergence et du gradient. Exprimer le laplacien en coordonnées cartésiennes.
Laplacien d'un champ de vecteurs.	Exprimer le laplacien d'un champ de vecteurs en coordonnées cartésiennes. Utiliser la formule d'analyse vectorielle : $\text{rot}(\text{rot}\mathbf{A}) = \text{grad}(\text{div}\mathbf{A}) - \Delta\mathbf{A}$.
Cas des champs proportionnels à $\exp(i\omega t - \mathbf{i}\mathbf{k}\cdot\mathbf{r})$ ou à $\exp(\mathbf{i}\mathbf{k}\cdot\mathbf{r} - i\omega t)$.	Exprimer l'action des opérateurs d'analyse vectorielle sur un tel champ à l'aide du vecteur $\mathbf{i}\mathbf{k}$.
2. Analyse de Fourier	
Décomposition d'une fonction périodique en série de Fourier.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni. Utiliser un raisonnement par superposition.

Synthèse spectrale d'un signal non périodique.	Utiliser un raisonnement par superposition. Citer et utiliser la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale Δf et la durée caractéristique Δt d'un signal non périodique.
3. Équations aux dérivées partielles	
Exemples d'équations aux dérivées partielles : équation de Laplace, équation de diffusion, équation de d'Alembert, équation de Schrödinger.	Identifier une équation aux dérivées partielles connue. Transposer une solution familière dans un domaine de la physique à un autre domaine. Obtenir des solutions de forme donnée par substitution. Utiliser des conditions initiales et des conditions aux limites.

Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python dans la formation des étudiants inclue l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques. Elle vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est par ailleurs toujours recommandée. Elle a aussi pour objectif de mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique et de la chimie. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités utiles à la physique-chimie comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples.

Le tableau ci-dessous complète les outils numériques identifiés dans le programme de physique-chimie de première année de la classe de MP11, option sciences informatiques.

Domaines numériques	Capacités exigibles
Transformée de Fourier discrète.	Calculer la transformée de Fourier discrète d'un signal à valeurs réelles en utilisant la fonction rfft de la bibliothèque numpy.fft (sa spécification étant donnée).
Équation de diffusion à une dimension.	Mettre en œuvre une méthode des différences finies explicite pour résoudre l'équation de diffusion à une dimension en régime variable.
Équation de Laplace à une ou deux dimensions.	Choisir un pas spatial adapté à la résolution numérique d'une équation de Laplace dans un contexte physique donné. Implémenter un schéma itératif fourni pour résoudre l'équation de Laplace avec des conditions aux limites de type Dirichlet.

Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python dans la formation des étudiants inclue l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques. Elle vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est par ailleurs toujours recommandée. Elle a aussi pour objectif de mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique et de la chimie. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités utiles à la physique-chimie comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples.

Le tableau ci-dessous complète les outils numériques identifiés dans le programme de physique-chimie de première année de la classe de M^{PII}, option sciences informatiques.

Domaines numériques	Capacités exigibles
Transformée de Fourier discrète.	Calculer la transformée de Fourier discrète d'un signal à valeurs réelles en utilisant la fonction rfft de la bibliothèque numpy.fft (sa spécification étant donnée).
Équation de diffusion à une dimension.	Mettre en œuvre une méthode des différences finies explicite pour résoudre l'équation de diffusion à une dimension en régime variable.
Équation de Laplace à une ou deux dimensions.	Choisir un pas spatial adapté à la résolution numérique d'une équation de Laplace dans un contexte physique donné. Implémenter un schéma itératif fourni pour résoudre l'équation de Laplace avec des conditions aux limites de type Dirichlet.

Enseignements secondaire et supérieur

Parcoursup

Calendrier de la procédure nationale de préinscription pour l'accès aux formations initiales du premier cycle de l'enseignement supérieur en Nouvelle-Calédonie - session 2021-2022

NOR : ESRS2121677A

arrêté du 29-7-2021 - JO du 1-8-2021

MESRI - DGESIP A-MOSS

Vu Code de l'éducation, notamment articles L. 684-2 et D. 612-1-2

Article 1 - Pour l'accès aux formations initiales du premier cycle de l'enseignement supérieur en Nouvelle-Calédonie, le calendrier de la procédure nationale de préinscription est adapté dans les conditions fixées par le présent arrêté.

Article 2 - La phase principale est ouverte sur la plateforme Parcoursup du 26 août 2021 jusqu'au 23 décembre 2021 inclus. Elle comprend :

- 1° La phase de dépôt des vœux, ouverte jusqu'au 1er octobre 2021 à 23 h 59 (heure de Nouvelle-Calédonie) ;
- 2° La phase de confirmation des vœux, ouverte jusqu'au 13 octobre 2021 à 23 h 59 (heure de Nouvelle-Calédonie) ;
- 3° La phase d'examen des vœux et de saisie des données d'appel par les établissements proposant des formations inscrites sur la plateforme, ouverte du 19 octobre 2021 au 19 novembre 2021 23 h 59 (heure de Nouvelle-Calédonie) ;
- 4° La phase de vérification des classements et données d'appel, ouverte du 22 novembre 2021 au 24 novembre 2021 à 18 heures (heure de Nouvelle-Calédonie) ;
- 5° La phase de réponse des établissements et de choix des candidats, ouverte du 26 novembre 2021 au 23 décembre 2021 23 h 59 (heure de Nouvelle-Calédonie).

Article 3 - La date limite pour modifier le nombre de sous-vœux d'un vœu multiple à dossier unique donnant lieu à un classement commun mentionnée au dernier alinéa de l'article D. 612-1-11 du Code de l'éducation est le 19 novembre 2021 à 23 h 59 (heure de Nouvelle-Calédonie).

Article 4 - Durant la phase définie au 5° de l'article 2, les propositions d'admission faites par les établissements sont portées à la connaissance des candidats sur la plateforme Parcoursup.

1° Les candidats indiquent s'ils acceptent ou refusent les propositions faites par les établissements au plus tard à la fin du quatrième jour qui suit celui au cours duquel une proposition leur est faite, lorsque cette dernière est reçue le 26 novembre 2021.

2° Les candidats indiquent s'ils acceptent ou refusent les propositions faites par les établissements à partir du 27 novembre 2021 :

- le 30 novembre 2021 à 23 h 59 (heure de Nouvelle-Calédonie), pour une proposition reçue le 27 novembre 2021 ;

- à la fin du deuxième jour qui suit celui au cours duquel une proposition leur est faite, lorsque cette dernière intervient entre le 28 novembre 2021 et le 21 décembre 2021 inclus.

Article 5 - Le délai supplémentaire au terme duquel le candidat peut, en application de la deuxième phrase du deuxième alinéa du III de l'article D. 612-1-14 du Code de l'éducation, confirmer le maintien de ses vœux ou des placements sur liste d'attente dont il bénéficie est de cinq jours.

Ce délai commence à courir le jour suivant l'expiration de l'un des délais mentionnés à l'article 4.

Article 6 - La possibilité, mentionnée au IV de l'article D. 612-1-14 du Code de l'éducation, d'ordonner les vœux sur la plateforme afin que toute proposition d'admission adressée au candidat soit, selon l'ordre de priorité qu'il a défini, automatiquement acceptée, est ouverte à compter du 27 novembre 2021.

Article 7 - I.- La date jusqu'à laquelle les propositions d'admission formulées, au titre du VI de l'article D. 612-1-14 du Code de l'éducation, sont portées à la connaissance des candidats, dès que la plateforme Parcoursup est

informée de l'absence d'inscription, du désistement ou de la démission d'un candidat pour la formation correspondante, est le 14 février 2022.

Conformément au VI de l'article D. 612-1-14 du Code de l'éducation, au-delà de cette date, les propositions d'admission éventuellement formulées via la plateforme Parcoursup le sont sur décision du chef d'établissement, sans préjudice des propositions formulées par le vice-recteur de Nouvelle-Calédonie dans le cadre de la procédure d'accompagnement prévue au VIII de l'article L. 612-3 du Code de l'éducation.

II.- Les candidats indiquent s'ils acceptent ou refusent les propositions faites conformément au VI de l'article D. 612-1-14 du Code de l'éducation :

- au plus tard le 8 février 2022, à 23 h 59 (heure de Nouvelle-Calédonie), pour une proposition reçue entre le 28 décembre 2021 et le 6 février 2021 inclus ;
- le 8 février 2022, à 23 h 59 (heure de Nouvelle-Calédonie), pour une proposition reçue le 7 février 2022 ;
- au plus tard à la fin du jour (23 h 59, heure de Nouvelle-Calédonie) au cours duquel une proposition leur est faite, lorsque cette dernière intervient entre le 8 février 2022 et le 19 février 2022 inclus.

Article 8 - La phase complémentaire est ouverte sur la plateforme Parcoursup du 15 décembre 2021 jusqu'au 19 février 2022 inclus. Elle comprend :

1° La phase de dépôt des vœux sur les places vacantes au sens de l'article D. 612-1-1 du Code de l'éducation, ouverte jusqu'au 17 février 2022, à 23 h 59 (heure de Nouvelle-Calédonie) ;

2° La phase d'examen des vœux et de réponse des établissements proposant des formations inscrites sur la plateforme, ouverte jusqu'au 18 février 2022 inclus ;

3° La phase d'envoi des propositions est ouverte jusqu'au 19 février 2022 inclus ;

4° La phase de choix des candidats, ouverte jusqu'au 19 février 2022, 23 h 59 (heure de Nouvelle-Calédonie).

Article 9 - Le délai maximum laissé aux établissements, en application de l'article D. 612-1-20 du Code de l'éducation, pour répondre à une candidature formulée en phase complémentaire expire :

a) au plus tard à la fin du premier jour qui suit l'enregistrement du vœu, lorsque la formation ne relève pas du VI de l'article L. 612-3 du Code de l'éducation et que la réponse n'est pas subordonnée à l'acceptation par le candidat d'un dispositif d'accompagnement pédagogique ou d'un parcours de formation personnalisé, tel que mentionné à l'article D. 612-1-14 du Code de l'éducation ;

b) à la fin du huitième jour qui suit l'enregistrement du vœu dans les autres cas. Toutefois, ce délai s'entend sous réserve de ne pas dépasser le 18 février 2022 à 23 h 59 (heure de Nouvelle-Calédonie) afin de tenir compte de la date de fin de la phase complémentaire mentionnée à l'article 8.

Article 10 - I. - Durant la phase complémentaire, les propositions d'admission faites par les établissements sont portées à la connaissance des candidats sur la plateforme Parcoursup.

Les candidats indiquent s'ils acceptent ou refusent les propositions faites par les établissements au plus tard :

- à la fin du deuxième jour qui suit celui au cours duquel une proposition leur est faite lorsque cette dernière intervient entre le 15 décembre 2021 et le 6 février 2022 inclus ;

- le 8 février 2022 à 23 h 59 (heure de Nouvelle-Calédonie), pour une proposition reçue le 7 février 2022 ;

- à la fin du jour (23 h 59, heure de Nouvelle-Calédonie) au cours duquel une proposition leur est faite lorsque cette dernière intervient entre le 8 février 2022 et le 19 février 2022.

II. - Les délais mentionnés au I sont applicables au candidat auquel le vice-recteur fait une proposition d'inscription sur le fondement du deuxième alinéa de l'article D. 612-1-24 du Code de l'éducation.

Par exception au cinquième alinéa du I, le candidat auquel le vice-recteur fait une proposition d'inscription indique s'il accepte ou refuse la proposition à la fin du premier jour qui suit celui au cours duquel la proposition lui est faite, lorsque cette dernière intervient entre le 8 février 2022 et la fin de la phase d'accompagnement prévue au titre de l'article VIII de l'article L. 612-3 du Code de l'éducation.

Article 11 - La date mentionnée au deuxième alinéa du I de l'article D. 612-1-23 du Code de l'éducation est le 26 novembre 2021.

La date mentionnée au troisième alinéa du I de l'article D. 612-1-23 du Code de l'éducation à partir de laquelle les candidats, n'ayant reçu aucune proposition d'admission à leurs demandes d'inscription formulées dans le cadre de la phase principale ou de la phase complémentaire, peuvent demander le bénéfice d'un accompagnement est le 15 décembre 2021.

Article 12 - Le délai supplémentaire au terme duquel le candidat qui n'a pas répondu dans le délai imparti à une proposition d'admission qui lui a été faite au titre de la phase complémentaire doit, en application de la deuxième phrase du deuxième alinéa du III de l'article D. 612-1-14 du Code de l'éducation, confirmer le maintien de ses autres vœux ou des placements sur liste d'attente dont il bénéficie sur la plateforme Parcoursup est de cinq jours.

Ce délai commence à courir le jour suivant l'expiration de l'un des délais mentionnés à l'article 10.

Article 13 - Conformément au deuxième alinéa de l'article D. 612-1-9 du Code de l'éducation, les établissements signalent, sur la plateforme, le jour de la rentrée fixé par l'établissement, les places restées vacantes dans les formations qu'ils dispensent, lorsqu'un candidat ne se présente pas, sans justification valable, le jour de la rentrée fixé par l'établissement.

Article 14 - L'arrêté du 30 juillet 2020 relatif au calendrier de la procédure nationale de préinscription pour l'accès aux formations initiales du premier cycle de l'enseignement supérieur en Nouvelle-Calédonie est abrogé.

Article 15 - La directrice générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle et le vice-recteur de Nouvelle-Calédonie sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 29 juillet 2021

La ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation,
Frédérique Vidal

Enseignements secondaire et supérieur

Brevet de technicien supérieur

Thème concernant l'enseignement de culture audiovisuelle et artistique du brevet de technicien supérieur métiers de l'audiovisuel - session 2023

NOR : ESRS2122176N

note de service du 19-7-2021

MESRI - DGESIP A1-2

Texte adressé aux recteurs et rectrices de région académique, chanceliers et chancelières des universités ; aux recteurs délégués et rectrices déléguées pour l'enseignement supérieur, la recherche et l'innovation ; aux recteurs et rectrices d'académie ; aux vice-recteurs ; aux inspecteurs et inspectrices d'academie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux ; au directeur du Cned ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux cheffes et chefs d'établissement

L'arrêté du 4 juin 2013 modifié portant création et fixant les conditions de délivrance du brevet de technicien métiers de l'audiovisuel, paru au Journal officiel de la République française le 13 juillet 2013, prévoit un programme de culture audiovisuelle et artistique qui comporte une thématique et une dizaine de références à étudier durant les deux années de formation.

L'intitulé et les indications bibliographiques de ce thème sont présentés en annexe. Il est rappelé que la bibliographie et la filmographie de cette annexe restent indicatives.

Pour la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et par délégation,
Pour la directrice générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle, et par délégation,
La cheffe du service de la stratégie des formations et de la vie étudiante, adjointe à la directrice générale,
Isabelle Prat

Annexe

Thème : Le corps

La bibliographie et la filmographie indicatives permettent de travailler, notamment, les axes suivants :

- les représentations du corps dans les arts et dans les médias ;
- l'imaginaire et l'imagerie de corps et leur portée anthropologique ;
- la place du corps de l'auteur dans l'acte de création ; celle du corps du spectateur dans la réception.

Textes de référence

Vincent Amiel, *Le Corps au cinéma : Keaton, Bresson, Cassavetes*, PUF, 1998

Daniel Arasse, *L'Annonciation italienne, une histoire de perspective*, Hazan, 1999

Paul Ardenne, *L'Image corps. Figures de l'humain dans l'art du XXe siècle*, 2001, éditions du Regard

Raymond Bellour, *Le Corps du cinéma*, P.O.L., 2009

Nicole Brenez, *De la figure en général et du corps en particulier*, De Boeck, 1998

Philippe Comar, *Les Images du corps*, collection Découvertes Gallimard, n° 185, 1993

Georges Didi-Huberman, *Ouvrir Vénus*, collection Le Temps des images, Gallimard, 1999

Stéphane Dumas, *Les Peaux créatrices. Esthétique de la sécrétion*, Klincksieck, 2014

Umberto Galimberti, *Les Raisons du corps*, traduit de l'italien par Marilène Raiola, Grasset-Mollat, 1998

Olivier Mongin, *Éclats de rire. Variations sur le corps comique, essai sur les passions démocratiques, tome III* éditions du Seuil, 2002

Claude Reichler (dir.), *Le Corps et ses fictions*, Les Éditions de Minuit, 1983

Textes littéraires et romans graphiques

Samuel Beckett, *Oh les beaux jours*, 1961, ou *Fin de partie*, 1957, Les Éditions de Minuit

Théophile Gautier, *Arria Marcella*, 1852, ou *La Morte amoureuse*, 1836

Hervé Guibert, *Le Protocole compassionnel*, 1991, Gallimard

Michel Houellebecq, *Les Particules élémentaires*, éditions J'ai lu, 2019

Victor Hugo, *Notre-Dame de Paris*, I, 5, « Quasimodo », 1831

Édouard Louis, *Qui a tué mon père*, éditions du Seuil, 2018

Clément Marot, *Blasons anatomiques du corps féminin*, suivi des *Contreblasons*, GF Flammarion, 2016

Michel de Montaigne, *Essais*, III, 13, « De l'expérience »

Ovide, *Les Métamorphoses*, Ier siècle
Edgar Allan Poe, *Le Portrait ovale*, 1842
Mary Shelley, *Frankenstein ou le Prométhée moderne*, 1818
Joy Sorman, *La Peau de l'ours*, 2014, Gallimard
Bastien Vivès, *Polina* (roman graphique), Casterman, 2011

Documents iconographiques et références plastiques

Aux origines du cinéma scientifique et de la photographie Cnrs images, 1984-1989
Marina Abramovic, *The Artist is present*, Moma, 2010, ou *Rhythm 0*
Francis Bacon, *Trois études de dos d'homme*, éléments d'un diptyque, 1970
Joseph Beuys, *I like America and America likes me*, 1974
Eugène Delacroix, *La Mort de Sardanapale*, 1827
Léonard de Vinci, *L'Homme de Vitruve*, vers 1490, ou Le Corbusier, le *Modulor*, 1948
Masaccio, *Adam et Ève chassés du paradis*, 1425
Félix-Jacques Moulin, la série des *Nus allongés*, 1852
Ron Mueck, *Wild Man*, 2005
Auguste Rodin, *Danseuses* (sculptures et dessins)
Pierre Paul Rubens, *Le Christ à la paille*, 1618 ou *Les Trois Grâces*, 1630-1635
Niki de Saint Phalle, *Hon/Elle*, 1966
Cindy Sherman, les séries *Civil war* ou *Sex pictures*
Joel-Peter Witkin, *Photopoche*, n° 49, 2008

Documents filmiques et audiovisuels

Alexandre Aja, *Oxygène*, 2021
Matthew Barney, *Cremaster 4*, 1994
Sophie Bruneau, Marc-Antoine Roudil, *Ils ne mouraient pas tous mais tous étaient frappés* 2005
Alain Cavalier, *Irène*, 2008
Jérémy Clapin, *J'ai perdu mon corps*, 2019
Clément Cogitore (mise en scène de), *Les Indes galantes* de Jean-Philippe Rameau, 2017
David Cronenberg, *La Mouche*, 1986
Claire Denis, *Beau travail*, 1999
Brian De Palma, *Body Double*, 1984
Paul Greengrass, *La Mort dans la peau*, 2004
Hervé Guibert, *La Pudeur ou l'impudeur*, 1992
David Lynch, *Elephant Man*, 1980
Kiyoshi Kurosawa, *Le Secret de la chambre noire*, 2016
Im Kwon-taek, *Ivre de femmes et de peinture*, 2002
Louis Malle, *Humain, trop humain*, 1974
Mamoru Oshii, *Avalon*, 2001
Jacques Rivette, *La Belle Noiseuse*, 1991
Albert Serra, *La Mort de Louis XIV*, 2017
Jacques Tourneur, *La Féline*, 1942
Billy Wilder, *Certains l'aiment chaud*, 1959
Ryan Murphy, *Nip/Tuck*, saison 1, 2003
Steven Soderbergh, *The Knick*, saison 1, 2014

Documents sonores

Antonin Artaud, *Pour en finir avec le jugement de Dieu*, 1947 (émission radiophonique), Harmonia mundi, CD, 2001
« Le corps antenne », dans l'émission Les ateliers de la création, France Culture, podcast :

<https://www.franceculture.fr/emissions/latelier-de-la-creation-14-15/le-corps-antenne>

Abel Meeropol, le poème « Strange Fruit » chanté par Billie Holiday ou Nina Simone (sur le corps « racisé » et supplicié)

Sitographie

Site de l'artiste Orlan : <http://www.orlan.eu>

Visite virtuelle de la chapelle Sixtine : www.museivaticani.va/content/museivaticani/fr/collezioni/musei/cappella-sistina/tour-virtuale.html

Enseignements primaire et secondaire

Établissements scolaires publics

Inscription des établissements scolaires publics dans le programme Rep+ : modification

NOR : MENE2122299A

arrêté du 1-7-2021

MENJS - DGESCO B2-3

Vu Code de l'éducation, notamment article L. 211-1 ; décret n° 86-492 du 14-3-1986 modifié, notamment article 25-2 ; décret n° 2008-775 du 30-7-2008 modifié, notamment article 3-1 ; arrêté du 1-8-2018 ; avis du comité technique ministériel de l'éducation nationale du 15-6-2021

Article 1 - L'annexe de l'arrêté du 1er août 2018 susvisé est modifiée ainsi qu'il suit par l'entrée en réseau d'éducation prioritaire renforcé de dix-neuf écoles. Le collège tête de réseau, intégrant ces écoles, est indiqué.

Académie	Département	Commune	UAI	Patronyme	Type d'établissement
Besançon	Doubs	Besançon	0251080n	Diderot	Collège
Besançon	Doubs	Besançon	0251355m	Fourier	Élémentaire ou primaire
Besançon	Doubs	Besançon	0251377l	Fourier	École maternelle
Besançon	Doubs	Besançon	0251538l	Fribourg	École maternelle
Besançon	Doubs	Besançon	0251357p	Saint-Exupéry	École maternelle
Bordeaux	Gironde	Bordeaux	0331753b	Auguste Blanqui	Collège
Bordeaux	Gironde	Bordeaux	0333494u	Modeste Testas	Élémentaire ou primaire
Créteil	Seine-Saint-Denis	Stains	0931147s	Barbara	Collège
Créteil	Seine-Saint-Denis	Stains	0932790c	Lucie Aubrac	Élémentaire ou primaire
Guyane	Guyane	Apatou	9730337d	Ma Aiye	Collège
Guyane	Guyane	Apatou	9730550k	Agathe Maïman	Élémentaire ou primaire
Guyane	Guyane	Macouria	9730374u	Antoine Sylvère Felix	Collège
Guyane	Guyane	Macouria	9730547g	Rives De Soula	Élémentaire ou primaire
Guyane	Guyane	Macouria	9730548h	Rives De Soula	École maternelle
Guyane	Guyane	Saint-Georges	9730173a	Chlore Constant	Collège
Guyane	Guyane	Saint-Georges	9730554p	Élie Castor	Élémentaire ou primaire
Guyane	Guyane	Saint-Laurent-du-Maroni	9730329v	Paul Jean Louis	Collège
Guyane	Guyane	Saint-Laurent-du-Maroni	9730555r	Jacques Voyer 2	Élémentaire ou primaire
Guyane	Guyane	Saint-Laurent-du-Maroni	9730394r	Arsène Bouyer d'Angoma	Collège
Guyane	Guyane	Saint-Laurent-du-Maroni	9730551l	Maurice Bayeron	Élémentaire ou primaire

Guyane	Guyane	Saint-Laurent-du-Maroni	9730348r	Léodate Volmar	Collège
Guyane	Guyane	Saint-Laurent-du-Maroni	9730552m	Sparwin	Élémentaire ou primaire
Lyon	Rhône	Vaulx-en-Velin	0691793z	Jacques Duclos	Collège
Lyon	Rhône	Vaulx-en-Velin	0694409t	Katherine Johnson	Élémentaire ou primaire
Lyon	Rhône	Vénissieux	0690094c	Jules Michelet	Collège
Lyon	Rhône	Vénissieux	0694463b	Flora Tristan	École maternelle
Lyon	Rhône	Vénissieux	0692343x	Elsa Triolet	Collège
Lyon	Rhône	Vénissieux	0694462a	Paul Langevin	École maternelle
Mayotte	Mayotte	Ouangani	9760371z	Ouangani	Collège
Mayotte	Mayotte	Ouangani	9760479s	Kahani	École maternelle
Mayotte	Mayotte	Dembeni	9760245m	Zakia Madi	Collège
Mayotte	Mayotte	Dembeni	9760475m	Tsararano Bis T7	Élémentaire ou primaire
Nantes	Maine-et-Loire	Angers	0490060z	Jean Lurçat	Collège
Nantes	Maine-et-Loire	Angers	0490770w	Voltaire	École maternelle

Article 2 - L'annexe de l'arrêté du 1er août 2018 susvisé est modifiée ainsi qu'il suit par l'entrée en réseau d'éducation prioritaire renforcé d'un collège et par le changement de réseau d'éducation prioritaire renforcé de neuf écoles.

Académie	Département	Commune	UAI	Patronyme	Type d'établissement
Versailles	Yvelines	Mantes-la-Jolie	0783774d	André Chénier (Nouveau collège)	Collège
Versailles	Yvelines	Mantes-la-Jolie	0780285l	Louise de Vilmorin	Élémentaire ou primaire
Versailles	Yvelines	Mantes-la-Jolie	0780298a	Claude Monet	Élémentaire ou primaire
Versailles	Yvelines	Mantes-la-Jolie	0781369p	Gabrielle Colette	Élémentaire ou primaire
Versailles	Yvelines	Mantes-la-Jolie	0782123j	Mermoz	Élémentaire ou primaire
Versailles	Yvelines	Mantes-la-Jolie	0783436l	Henri Matisse	Élémentaire ou primaire
Versailles	Yvelines	Mantes-la-Jolie	0780253b	Les Pervenches	École maternelle
Versailles	Yvelines	Mantes-la-Jolie	0780502x	Les Lavandes	École maternelle
Versailles	Yvelines	Mantes-la-Jolie	0780559j	Les Gentianes	École maternelle
Versailles	Yvelines	Mantes-la-Jolie	0781176e	Les Bleuets	École maternelle
Versailles	Yvelines	Mantes-la-Jolie	0782096e	Les Tulipes	École maternelle
Versailles	Yvelines	Mantes-la-Jolie	0782184a	Les Jonquilles	École maternelle

Article 3 - L'annexe de l'arrêté du 1er août 2018 susvisé est modifiée ainsi qu'il suit par la sortie de réseau d'éducation prioritaire renforcé de cinq écoles et deux collèges qui ferment.

Académie	Département	Commune	UAI	Patronyme	Type d'établissement
Aix-Marseille	Bouches-du-Rhône	Marseille	0133778l	Ruffi	Élémentaire ou primaire

Martinique	Martinique	Basse-Pointe	9720104f	Morne Balai	Élémentaire ou primaire
Martinique	Martinique	Fort-de-France	9720135p	Mireille Gallot - Citron	Élémentaire ou primaire
Poitiers	Vienne	Châtelleraut	0860211m	Jacques Prévert	École maternelle
Poitiers	Vienne	Châtelleraut	0860213p	Henri Matisse	École maternelle
Versailles	Yvelines	Mantes-la-Jolie	0780417e	Paul Cézanne	Collège
Versailles	Yvelines	Mantes-la-Jolie	0783254n	André Chénier	Collège

Article 4 - Les dispositions du présent arrêté entrent en vigueur à compter de la rentrée scolaire 2021.

Le directeur général de l'enseignement scolaire et les recteurs d'académie sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au Bulletin officiel de l'éducation nationale, de la jeunesse et des sports.

Fait le 1er juillet 2021

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Édouard Geffray

Enseignements primaire et secondaire

Classement des collèges

Rentrée 2021

NOR : MEND2123482A

arrêté du 23-7-2021

MENJS - DE 2-1

Vu décret n° 88-342 du 11-4-1988 ; décret n° 2001-1174 du 11-12-2001 modifié, notamment article 24 ; arrêté du 30-9-2020

Article 1 - Sont rayés du classement des collèges, à compter de **la rentrée scolaire 2021**, les établissements suivants :

Normandie (Caen)

0500076L - Victor Hugo, Sourdeval

Orléans-Tours

0451244H - Denis Poisson, Pithiviers

Versailles

0780417E - Paul Cézanne, Mantes-la-Jolie

0783254N - André Chénier, Mantes-la-Jolie

Article 2 - Sont classés en première catégorie, à compter de **la rentrée scolaire 2021**, les collèges suivants :

Bordeaux

0333484H - Collège Marsas, Marsas

Créteil

0942482M - Collège Samuel Paty, Valenton

Lyon

0694453R - Collège Gisèle Halimi, Lyon (7e arrondissement)

Nantes

0442921L - Collège Loireauxence, Loireauxence

0851698J - Collège Jacqueline Auriol, Challans

Toulouse

0313045S - Collège de Cintegabelle, Cintegabelle

Article 3 - Sont classés en deuxième catégorie, à compter de **la rentrée scolaire 2021**, les collèges suivants :

Bordeaux

0401091U - Collège départemental, Angresse

Grenoble

0070849K - Collège des deux Vallées, Le Cheylard

Orléans-Tours

0451787Y - Collège les Grandes Plaines, Dadonville

Rennes

0222030M - Charles de Gaulle, Hillion

0352958A - François Élie, Bréal-sous-Montfort

Article 4 - Sont classés en troisième catégorie, à compter de **la rentrée scolaire 2021**, les collèges suivants :

Grenoble

0731042L - Collège Jules Ferry, Chambéry

Orléans-Tours

0451787Y - Nouveau collège de Pithiviers, Pithiviers

Versailles

0783774D - Nouveau collège, Mantes-la-Jolie

Article 5 - Le directeur de l'encadrement est chargé de l'exécution du présent arrêté.

Fait le 23 juillet 2021

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur de l'encadrement, secrétaire général adjoint,
Pierre Moya

Enseignements primaire et secondaire

Classement des lycées professionnels

Rentrée 2021

NOR : MEND2123504A

arrêté du 23-7-2021

MENJS - DE 2-1

Vu décret n° 88-342 du 11-4-1988 ; décret n° 2001-1174 du 11-12-2001 modifié, notamment article 24 ; arrêté du 30-9-2020

Article 1 - Sont rayés du classement des lycées professionnels, à compter de la rentrée scolaire 2021, les établissements suivants :

Aix-Marseille

0132211H - Jean Lurçat, Martigues

0132319A - Maurice Genevoix, Marignane

0840044S - Victor Hugo, Carpentras

0130172S - Léonard de Vinci, Marseille (7e arrondissement)

Lyon

0420027B - Georges Brassens, Rive-de-Gier

Article 2 - Le directeur de l'encadrement est chargé de l'exécution du présent arrêté.

Fait le 23 juillet 2021

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur de l'encadrement, secrétaire général adjoint,
Pierre Moya

Enseignements primaire et secondaire

Classement des lycées et des écoles des métiers

Rentrée 2021

NOR : MEND2123506A

arrêté du 23-7-2021

MENJS - DE 2-1

Vu décret n° 88-342 du 11-4-1988 ; décret n° 2001-1174 du 11-12-2001 modifié, notamment article 24 ; arrêté du 30-9-2020

Article 1 - Sont classés en deuxième catégorie, à compter de la **rentrée scolaire 2021**, les lycées et écoles des métiers suivants :

Créteil

0932783V - Lycée de Pierrefitte, Pierrefitte

Nantes

0851696G - Saint Gilles Croix de Vie, Saint-Gilles-Croix-de-Vie

Versailles

0912433A - Lycée d'enseignement général et technologique de Palaiseau, Palaiseau

Article 2 - Sont classés en troisième catégorie, à compter de la **rentrée scolaire 2021**, les lycées et écoles des métiers suivants :

Amiens

0801900F - De l'Authie, Doullens

Rennes

0352950S - Simone Veil, Liffré

Article 3 - Sont classés en quatrième catégorie, à compter de la **rentrée scolaire 2021**, les lycées et écoles des métiers suivant :

Aix-Marseille

0132210G - Jean Lurçat, Martigues

0130049H - Rue des Remparts, Marseille (7e arrondissement)

Article 4 - Le directeur de l'encadrement est chargé de l'exécution du présent arrêté.

Fait le 23 juillet 2021

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur de l'encadrement, secrétaire général adjoint,
Pierre Moya

Enseignements primaire et secondaire

Classement des établissements régionaux d'enseignement adapté

Rentrée 2021

NOR : MEND2123511A

arrêté du 23-7-2021

MENJS - DE 2-1

Vu décret n° 88-342 du 11-4-1988 ; décret n° 2001-1174 du 11-12-2001 modifié, notamment article 24 ; arrêté du 30-9-2020

Article 1 - Est rayé du classement des établissements régionaux d'enseignement adapté, à compter de la rentrée scolaire 2021, l'établissement suivant :

Nantes

0850047P - Jean d'Orbestier, Les Sables d'Olonne.

Article 2 - Le directeur de l'encadrement est chargé de l'exécution du présent arrêté.

Fait le 23 juillet 2021

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur de l'encadrement, secrétaire général adjoint,
Pierre Moya

Enseignements primaire et secondaire

Bourses

Bourses au mérite

NOR : MENE2101249C

circulaire du 10-8-2021

MENJS - DGESCO B1-3 - DAF

Texte adressé aux recteurs et rectrices de région académique ; aux recteurs et rectrices d'académie ; aux directeurs et directrices académiques des services de l'éducation nationale

Références : Code de l'éducation, articles D. 531-37 à D. 531-41 ; décret modificatif n° 2021-924 du 13-7-2021 ; arrêtés du 22-3-2016

Le dispositif des bourses au mérite est un complément de la bourse nationale d'études du second degré de lycée pour les élèves boursiers ayant obtenu le diplôme national du brevet (DNB) avec mention bien ou très bien. Cette aide supplémentaire a pour objectif de favoriser la poursuite d'études pour des élèves sortant de la classe de troisième qui, en raison de difficultés sociales avérées, pourraient abandonner leur scolarité avant l'obtention du diplôme. Véritable levier pour l'égalité des chances, à compter de la rentrée scolaire 2021, ce dispositif est étendu aux élèves inscrits dans une formation conduisant au certificat d'aptitude professionnelle (CAP).

La présente circulaire a pour objet de détailler les modalités d'application de ce dispositif et d'en préciser les conditions de mise en œuvre, modifiées par le décret n° 2021-924 du 13 juillet 2021 relatif à l'extension de la bourse au mérite aux élèves inscrits dans une formation conduisant au certificat d'aptitude professionnelle à compter de l'année scolaire 2021-2022.

La circulaire n° 2016-131 du 26 août 2016 est abrogée.

I - Conditions d'attribution

La bourse au mérite est exclusivement réservée aux élèves boursiers de lycée s'engageant, à l'issue de la classe de troisième, dans un cycle d'enseignement conduisant au baccalauréat général, technologique ou professionnel ou, à compter de la rentrée 2021, dans un cycle conduisant au certificat d'aptitude professionnelle dans un établissement ou une classe habilitée à recevoir des boursiers de l'éducation nationale. Les trois conditions cumulatives relatives à l'attribution du complément de bourse intitulé « bourse au mérite » sont les suivantes :

- avoir la qualité de boursier en classe de seconde ou de première année de CAP ;
- avoir obtenu une mention bien ou très bien au DNB ;
- s'engager directement à l'issue de la troisième dans un cursus conduisant au baccalauréat ou au certificat d'aptitude professionnelle.

Ces conditions doivent être rappelées dans les informations communiquées aux familles.

Cette bourse au mérite de droit est attribuée automatiquement jusqu'en classe de terminale de baccalauréat ou jusqu'à la dernière année du certificat d'aptitude professionnelle si le bénéficiaire est toujours titulaire d'une bourse de lycée, et sous réserve des conditions de suspension prévues par l'article D. 531-40 du Code de l'éducation.

En outre, la bourse au mérite est maintenue pour les élèves qui souhaitent poursuivre leurs études jusqu'au baccalauréat professionnel à l'issue de leur certificat d'aptitudes professionnelles.

Les nouveaux boursiers au mérite entrant en classe de seconde ou de première année de CAP voient leur bourse au mérite prise en considération quel que soit le ministère assurant la tutelle de l'établissement qui les accueille, sous réserve de faire connaître à l'établissement d'accueil leur résultat au diplôme national du brevet, dans le mois qui suit la notification d'attribution de la bourse nationale de lycée.

II - Conditions de paiement

Le service académique chargé de la gestion des bourses nationales notifie aux familles concernées, ou au représentant légal de l'élève, la décision d'attribution de la bourse au mérite simultanément à la notification de bourse nationale de lycée à l'entrée en classe de seconde ou de première année de CAP.

Le montant forfaitaire annuel de ce complément de bourse de lycée est fixé par arrêté conjoint du ministre chargé de l'éducation nationale et du ministre chargé du budget. Il varie selon l'échelon de la bourse attribuée

à l'élève.

Son versement s'effectue selon les mêmes modalités et en même temps que la bourse nationale de lycée (en trois versements trimestriels). Il est assujéti aux mêmes règles de déductibilité et de retenue que la bourse. Le paiement de ce complément de bourse reste, toutefois, subordonné à l'engagement écrit de l'élève et de son représentant légal à poursuivre sa scolarité avec assiduité jusqu'à la fin du cycle conduisant au baccalauréat général, technologique ou professionnel ou au certificat d'aptitude professionnelle (article D. 531-40, dernier alinéa, du Code de l'éducation). Il convient de veiller tout particulièrement au respect de cette règle afin que les intéressés soient sensibilisés à la spécificité et l'objet de ce dispositif. Cet engagement est remis, après signature des bénéficiaires, à l'établissement scolaire qui doit le conserver comme preuve permettant le versement de la bourse au mérite.

Les élèves qui ne satisfont pas aux obligations d'assiduité, ou dont les efforts fournis et les résultats scolaires sont jugés très insuffisants par le conseil de classe, peuvent se voir suspendre le bénéfice de ce complément de bourse par l'inspecteur d'académie, directeur académique des services de l'éducation nationale ou l'inspectrice d'académie, directrice académique des services de l'éducation nationale. La suspension est prononcée au vu d'un rapport circonstancié du chef d'établissement, après avis du conseil de classe. Toutefois, le reversement des sommes déjà perçues n'est pas exigé.

La dépense est à imputer sur le budget opérationnel de programme académique (Bopa) Vie de l'élève pour les élèves de l'enseignement public et sur le budget opérationnel de programme académique (Bopa) Enseignement privé du premier et du second degrés pour les élèves de l'enseignement privé selon le même schéma que pour les aides financières à la scolarité.

III - Suivi du dispositif

Vous veillerez à informer les chefs d'établissement de ces dispositions, en appelant leur attention sur les conditions d'attribution de la bourse au mérite, et notamment sur le fait qu'il s'agit d'un complément à la bourse nationale de second degré de lycée, dont le bénéfice est également conditionné, en conséquence, par la situation des charges et des ressources de la famille.

Les lycéens concernés doivent pouvoir bénéficier des différentes formules d'accompagnement et d'information visant à développer l'accès à l'enseignement supérieur, à introduire une plus grande diversité parmi les étudiants des grandes écoles et des universités mais aussi à répondre à la volonté de promouvoir la voie professionnelle et son excellence afin d'établir une équité de traitement pour les élèves souhaitant intégrer une formation permettant une insertion professionnelle rapide à l'issue de la troisième.

Nos services restent à votre disposition pour vous apporter toute information complémentaire qui vous serait nécessaire.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,
Le chef du service du budget et des politiques éducatives territoriales,
Christophe Gehin

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Pour la directrice des affaires financières, et par délégation,
Le chef de service, adjoint à la directrice,
Frédéric Bonnot

Enseignements primaire et secondaire

Bourses nationales d'études du second degré

Bourses nationales de collège et bourses nationales d'études du second degré de lycée

NOR : MENE2123714C

circulaire du 12-8-2021

MENJS - DGESCO B1-3 - DAF D-2

Texte adressé aux recteurs et rectrices de région académique, recteurs et rectrices d'académie ; aux directeurs et directrices académiques des services de l'éducation nationale ; aux cheffes et chefs d'établissements publics et privés sous contrat ; au directeur général du Cned

Les bourses nationales d'études du second degré de collège et de lycée sont destinées à favoriser la scolarité des élèves qui suivent des enseignements généraux, technologiques ou professionnels et permettre aux familles, dont les ressources ont été reconnues insuffisantes, d'assumer la scolarité de leur enfant.

Plus de 1 465 000 élèves ont bénéficié d'une bourse de collège ou de lycée pour l'année scolaire 2020-2021.

Depuis la rentrée scolaire 2019, suite au décret n° 2019-918 du 30 août 2019 portant diverses mesures de simplification, plusieurs dispositions ont été adoptées afin de faciliter les demandes de bourse des familles :

- la dématérialisation de la demande de bourse (établissements publics) ;
- la prise en compte des revenus de l'année N-1 permettant de considérer la situation la plus récente du ménage fiscal et de réduire ainsi les erreurs d'interprétation et les recours ;
- la tacite reconduction de la demande de bourse de collège offrant aux familles la possibilité de déposer une seule demande de bourse durant toute la scolarité de l'enfant au collège public sous réserve de donner leur consentement lors de la demande en ligne pour l'actualisation de leurs données fiscales. La bourse est automatiquement réexaminée chaque année ;
- une date limite unique pour les bourses de collège et de lycée : le 3e jeudi d'octobre.

À compter de la rentrée scolaire 2021, dans le cadre du plan interministériel Égalité des chances, de nouvelles actions sont engagées afin de garantir un soutien renforcé aux familles les plus défavorisées particulièrement touchées par la crise sanitaire. Deux mesures ont été retenues pour répondre à cet objectif :

- la revalorisation de la prime à l'internat

En offrant un cadre d'accueil propice au travail et à la concentration, un accompagnement pédagogique renforcé, et des activités culturelles et sportives enrichies, les internats constituent de véritables tremplins vers une scolarité réussie. Dans le cadre du plan Égalité des chances, la prime d'internat, déjà revalorisée en 2020, fait l'objet d'une revalorisation conséquente à cette rentrée. L'objectif est de couvrir le plus largement possible, voire en intégralité pour les bénéficiaires du 6e échelon, les frais de pension et ainsi apporter un réel appui aux élèves boursiers les plus défavorisés en levant les freins possibles à des projets d'orientation impliquant une mobilité géographique ;

- l'octroi de la bourse au mérite aux élèves de CAP

L'extension de la bourse au mérite aux élèves de CAP, jusqu'ici uniquement réservée aux élèves ayant obtenu une mention bien ou très bien au DNB inscrits dans une filière menant au baccalauréat, s'inscrit dans la promotion de la voie professionnelle et vise une équité de traitement pour les élèves souhaitant intégrer une formation permettant une insertion professionnelle rapide à l'issue de la troisième [1].

Il est important de rappeler qu'outre les mesures mises en œuvre pour encourager les familles à déposer une demande de bourse, les équipes de direction des établissements doivent continuer de mobiliser tous les acteurs susceptibles de repérer les familles en difficulté sociale et/ou matérielle et de les informer du dispositif des bourses. Il convient ainsi de veiller au renforcement de l'accompagnement de proximité assuré par les établissements afin d'éviter toute rupture, notamment entre le collège et le lycée, et de promouvoir toute disposition de nature à favoriser l'accès aux bourses du second degré. Cet accompagnement dans la constitution de la demande de bourse doit permettre de réduire les situations de non-recours aux bourses nationales pour des familles qui pourraient en bénéficier.

La présente circulaire a pour objet de préciser les modalités d'application du Code de l'éducation pour les aides à la scolarité, articles D. 530-1 à D. 531-43, et d'apporter les informations nécessaires à la mise en œuvre du dispositif des bourses nationales d'études de collège et du second degré de lycée à compter de l'année scolaire 2021-2022.

La circulaire n° 2018-058 du 23 mai 2018 relative aux bourses nationales d'études du second degré et la circulaire n° 2018-086 du 24 juillet 2018 relative aux bourses nationales de collège sont abrogées.

I. Champ des bénéficiaires

Champ des bénéficiaires au collège

Les bourses de collège sont attribuées en métropole et dans les départements d'outre-mer aux élèves inscrits dans l'une des catégories d'établissement énumérées aux articles R. 531-1, R. 531-2 et D. 531-3 du Code de l'éducation :

- collèges d'enseignement public, quel que soit le niveau de formation suivi ;
- collèges d'enseignement privé ayant passé un contrat avec l'État ;
- établissements privés hors contrat habilités à recevoir des boursiers nationaux.

Peuvent également bénéficier du dispositif des bourses de collège les élèves inscrits :

- dans des classes sous contrat simple des établissements ou services sociaux ou médico-sociaux privés (sous condition précisée à l'article R. 531-2 du Code de l'éducation) ;
- dans des classes de niveau collège qui suivent leur scolarité en collège ou dans les écoles régionales du premier degré (ERPD) lorsque celles-ci comptent des classes de collège.

Conformément à l'arrêté du 27 juillet 2009 (modifié par l'arrêté du 18 janvier 2010) fixant les conditions et modalités d'attribution et de paiement des bourses de collège, peuvent bénéficier de bourses de collège :

- les élèves, soumis à l'obligation scolaire, inscrits pour un enseignement complet dans une classe de niveau collège du Centre national d'enseignement à distance après avis favorable du directeur académique des services de l'éducation nationale du département de résidence de la famille ;
- les élèves qui, résidant hors de France, suivent un enseignement complet au Centre national d'enseignement à distance, en raison de l'impossibilité d'effectuer leur scolarité dans un établissement du réseau de l'Agence pour l'enseignement français à l'étranger (AEFE).

Pour ces familles, il convient de remplir l'imprimé de demande de bourse conforme au modèle joint à la présente circulaire et l'adresser, accompagné des pièces justificatives, comme indiqué sur la notice (annexe 2) à :

- Cned de Rouen pour les classes de l'enseignement général ;
- Cned de Toulouse pour les classes de l'enseignement général et professionnel adapté (Segpa).

L'annexe 1 mentionne la date limite pour le dépôt des demandes de bourse de collège pour les élèves scolarisés au Cned.

Champ des bénéficiaires au lycée

Selon les termes du Code de l'éducation (articles L. 531-4 et L. 531-5), les bourses nationales bénéficient aux élèves inscrits sous statut scolaire :

- dans les lycées publics ou privés sous contrat ;
- dans les établissements régionaux d'enseignement adapté (Erea) ;
- dans les établissements privés hors contrat habilités à recevoir des boursiers nationaux ;
- auprès du Centre national d'enseignement à distance (Cned) ;
- dans un établissement ou service social ou médico-social privé, si le statut de l'établissement ne permet pas de bénéficier de la prise en charge prévue à l'article L. 242-10 du Code de l'action sociale et des familles ;

Relèvent du dispositif des bourses d'études du second degré de lycée les élèves :

- scolarisés en lycée ou en Erea dans des classes de niveau collège ;
- inscrits en classe de troisième au collège qui poursuivront leur scolarité en lycée, lycée professionnel, Erea ou dans une classe de niveau lycée par le Cned à la prochaine rentrée scolaire ;
- inscrits en lycée, Erea ou au Cned sous statut scolaire, non boursiers au moment de la demande, mais dont les ressources et charges de leur famille, au titre de l'année de référence, pourraient leur permettre de bénéficier d'une bourse à la rentrée scolaire suivante ;
- admis sous statut scolaire en CFA avant d'atteindre l'âge de 15 ans leur permettant de signer un contrat d'apprentissage ;
- inscrits en troisième préparatoire aux formations professionnelles prépa-métiers en lycée ;
- redoublant une deuxième année de CAP ou une classe de terminale des séries générale, technologique ou professionnelle, non boursiers l'année précédente.

Les élèves de moins de 15 ans accueillis en CFA sous statut scolaire en attente de signature de leur contrat d'apprentissage pourront bénéficier d'un droit à bourse pour la seule durée précédant leur anniversaire. À compter du lendemain de l'anniversaire, même en l'absence de signature du contrat d'apprentissage, ces élèves ne relèvent plus du statut scolaire, mais du statut de stagiaire de la formation professionnelle et de ce fait ne peuvent continuer à bénéficier de la bourse.

Les jeunes inscrits en formation dans un Greta ne sont pas sous statut scolaire et ne peuvent bénéficier d'une bourse nationale du second degré.

A. Campagne annuelle de bourse de collège et de lycée

Conformément à l'article D. 530-1 du Code de l'éducation, la campagne annuelle des bourses nationales de collège et d'études du second degré de lycée se termine au troisième jeudi d'octobre suivant la rentrée

scolaire.

B. Campagne complémentaire à la rentrée scolaire

Une campagne complémentaire est ouverte à chaque rentrée scolaire. Elle concerne différents publics :

- les élèves s'inscrivant dans une formation relevant du dispositif Mission de lutte contre le décrochage scolaire (MLDS) ;
- les élèves bénéficiant du droit au retour à la formation initiale.

C. Scolarisation par la MLDS et retour en formation initiale

Les élèves concernés par ces deux situations doivent présenter leur demande de bourse dans le mois qui suit leur entrée en formation.

Mission de lutte contre le décrochage scolaire

Les élèves scolarisés dans le cadre de la Mission de lutte contre le décrochage scolaire (MLDS) relèvent également des bourses d'études du second degré lorsque le dispositif d'insertion est situé dans un collège, un lycée ou un lycée professionnel. Il vous appartient de veiller à ce qu'ils puissent bénéficier de ces bourses quelle que soit la date d'entrée en formation, mais pour la seule durée de la période de formation.

Dispositif de retour en formation initiale pour les 16-25 ans

Ce droit est ouvert aux jeunes de 16 à 25 ans révolus sortant du système éducatif sans diplôme ou sans qualification professionnelle reconnue. La circulaire n° 2015-041 du 20 mars 2015 précise les conditions d'accueil pour ces retours en formation.

Les jeunes accueillis en retour en formation initiale peuvent bénéficier d'une bourse nationale sous les conditions habituelles à compter de leur retour en formation, dès lors qu'ils sont inscrits sous statut scolaire, après affectation par le directeur académique des services de l'éducation nationale. Si, par ailleurs, ils remplissent les conditions précisées au paragraphe IV.C.3, ils bénéficieront de la prime de reprise d'études. Le retour en formation initiale peut s'effectuer à toute période de l'année scolaire. Dans l'attente d'une entrée effective en formation, les jeunes peuvent être pris en charge de la même manière que les publics relevant d'actions de la MLDS au titre d'une phase préparatoire à la formation.

Le retour en formation initiale sous statut d'apprenti ou de stagiaire de la formation professionnelle ne peut ouvrir droit à une bourse nationale d'études du second degré de lycée.

Exception : les jeunes inscrits dans une action MLDS ou au titre du retour en formation initiale tout en étant engagés dans une mission de service civique aménagé, ne peuvent bénéficier d'une bourse de lycée.

II. Information des familles - Formulation de la demande

A. Information des familles

Les établissements scolaires (collèges et lycées) ont en charge l'information et l'accompagnement des familles et des élèves.

Il appartient au chef d'établissement public, privé sous contrat ou habilité :

- de faire connaître l'existence et les modalités d'attribution des bourses nationales ;
- d'informer toutes les familles sans exception des présentes dispositions ;
- d'accompagner les familles dans les demandes de bourse ;
- de promouvoir toute disposition favorisant l'accès aux bourses ;
- de faciliter les conditions mettant les familles en mesure de déposer un dossier dans les délais requis.

À cet effet, vous mettrez à disposition des familles la notice d'information et vous porterez à leur connaissance les simulateurs de bourse de collège et de lycée, tous deux accessibles aux adresses suivantes :

- www.education.gouv.fr/aides-financieres-college pour les bourses de collège ;
- www.education.gouv.fr/aides-financieres-lycee pour les bourses de lycée.

Les familles pourront ainsi vérifier si leur situation est susceptible d'ouvrir un droit à bourse pour leur(s) enfant(s).

La réalisation de cette étape conditionne le bon déroulement de l'instruction des dossiers dans le respect des délais : il conviendra donc de porter une attention particulière aux procédures d'information des familles.

Les établissements pourront utilement exploiter les données de Siecle (situation familiale, socio-professionnelle) pour s'assurer que les familles susceptibles de bénéficier d'une bourse ont bien formulé une demande.

B. La demande de bourse en ligne

Les demandes de bourse de collège et de lycée en ligne sont accessibles par le portail Scolarité services pour les élèves inscrits dans un collège ou lycée public.

Les conditions d'activation des comptes d'accès à ce portail sont communiquées à tous les collèges et lycées publics. Il importe d'accompagner les familles dans cette démarche de première connexion lorsque cela s'avère nécessaire.

À cet effet, un guide de connexion et un tutoriel vidéo sont fournis à tous les collèges et lycées publics, et accessibles sur les pages www.education.gouv.fr/aides-financieres-college pour les collèges et

www.education.gouv.fr/aides-financieres-lycee pour les lycées.

La demande de bourse de collège ou de lycée en ligne s'effectue pour chaque élève.

Un guide d'accompagnement des parents est mis à la disposition des établissements publics.

La bourse nationale de collège peut être attribuée pour la durée de la scolarité au collège, si les personnes présentant la demande ont donné leur consentement pour l'actualisation de leurs données fiscales issues du téléservice, mentionné à l'article D. 531-6, et sous réserve du respect des conditions de ressources examinées chaque année (article D. 431-4).

C. La demande de bourse format papier

Pour les élèves scolarisés dans les établissements privés sous contrat ou habilités hors contrat à recevoir des boursiers nationaux ou suivant leur scolarité par le Centre national d'enseignement à distance (Cned), la demande de bourse sera formulée à l'aide du dossier pré-imprimé qui doit être retiré par la famille auprès du secrétariat de l'établissement fréquenté par l'élève ou qui peut être téléchargé sur le site Internet aux adresses www.education.gouv.fr/aides-financieres-college pour les collèges et www.education.gouv.fr/aides-financieres-lycee pour les lycées.

Par ailleurs, les familles qui le souhaitent conservent la possibilité de retirer et déposer, auprès du secrétariat de l'établissement fréquenté par l'élève, leur demande de bourse au format papier.

D. Dépôt des demandes et accusé de réception

Une seule demande pour chaque élève

Conformément aux articles D. 531-6 et D. 531-24 du Code de l'éducation, il ne peut être déposé qu'une seule demande de bourse par élève.

Si les deux parents présentent séparément une demande de bourse pour le même élève, il ne revient pas à l'administration de choisir l'une de ces demandes. Les deux demandes doivent être déclarées irrecevables, et les parents doivent convenir entre eux de la demande qui sera maintenue. À défaut, la demande de bourse ne pourra être instruite.

Calendrier des campagnes de bourse

L'annexe 1 de la présente circulaire fixe les dates limites de dépôt de demande de bourse de collège et de lycée pour les différentes campagnes.

Accusés de réception

Afin d'éviter tout litige ultérieur, chaque famille ayant déposé un dossier de demande de bourse en ligne ou en version papier **doit se voir délivrer un accusé de réception**.

Pour les demandes de bourse formulées en ligne, un accusé d'enregistrement de la demande est transmis au demandeur dès la fin de la saisie de sa demande sur son adresse courriel. Un accusé de réception pourra ensuite être transmis dès vérification de la recevabilité de la demande complète par l'établissement ou le service académique des bourses nationales.

Pour les demandes au format papier, un accusé de réception conforme aux modèles joints en annexes 4 et 5, ou tel qu'il est fourni par le module Bourses de l'application Siecle doit être transmis à chaque responsable ayant déposé un dossier de demande de bourse.

Les dossiers au format papier déposés après les dates limites fixées nationalement doivent également faire l'objet d'un accusé de réception et être transmis au service académique des bourses (SAB) qui seul pourra prononcer l'irrecevabilité des demandes.

III. Instruction des demandes de bourse

Conditions de recevabilité communes au collège et au lycée

Elles sont attribuées, sous réserve de recevabilité de la demande, sous conditions de ressources et de charges de la famille (article D. 531-19 du Code de l'éducation) et appréciées en fonction d'un barème national déterminé par des plafonds de ressources fixés par arrêté interministériel (annexes 6 et 7).

L'établissement d'inscription détermine le dispositif de bourse nationale du second degré dont l'élève peut bénéficier, (articles R. 531-1 à D. 531-3 et R. 531-13 à D. 531-17).

A. La situation du demandeur

Les dispositions du Code de l'éducation conduisent désormais à retenir comme demandeur de la bourse la ou les personne(s) assumant la charge effective et permanente de l'élève.

Ainsi, c'est désormais la notion de ménage qui prime selon les mêmes modalités que pour les prestations servies en référence à la législation sur les prestations familiales.

Un parent isolé qui assume la charge de l'élève (que la résidence de l'enfant soit exclusive ou alternée) verra prendre en considération ses seules ressources. Il devra justifier de la charge de l'élève par l'avis d'imposition. Un parent divorcé ou séparé en situation de concubinage qui assume la charge de l'élève (que la résidence de l'enfant soit exclusive ou alternée) verra prendre en considération ses ressources et celles de son concubin. Il devra justifier de la charge de l'élève par son avis d'imposition et devra joindre l'avis d'imposition de son concubin.

Selon les articles D. 531-4 et R. 531-19, c'est la situation de concubinage au moment de la demande de bourse qui est prise en considération. Le concubin doit fournir ses revenus de l'année de référence, quelle que soit sa situation au cours de cette année de référence.

Pour toute demande formulée par le service en ligne, il pourra être réclamé une copie de l'avis d'imposition si les données ne sont pas récupérées en ligne pour le concubin, ou une copie de l'attestation CAF si les données récupérées ne sont pas suffisantes pour établir la charge effective de l'élève.

B. Conditions de résidence

Aucune condition de nationalité n'est posée dès lors que le demandeur de bourse réside sur le territoire national, et assume la charge effective et permanente de l'élève, au sens de la législation sur les prestations familiales.

Il convient d'entendre par résidence sur le territoire, tout lieu de résidence principale pouvant être justifié par le demandeur.

Par exception à l'obligation de résidence du demandeur sur le territoire national et en application de l'article 45 du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne, l'obligation de résidence en France de la personne assumant la charge du candidat boursier n'est pas opposable aux ressortissants des États membres de l'Union européenne. Ces derniers peuvent bénéficier d'une bourse nationale d'études du second degré, dès lors que l'un des parents est - ou a été - titulaire d'un emploi sur le territoire français. Il appartient au demandeur d'apporter les justificatifs permettant d'apprécier le droit à bourse.

Si le demandeur n'est pas l'un des parents de l'élève mineur, il devra fournir un justificatif de la délégation d'autorité parentale (même partielle) qui lui aura été accordée.

Dans les situations de délégation d'autorité parentale d'un enfant étranger mineur auprès d'un autre membre de sa famille, l'exigence de résidence ne porte pas sur les parents qui ont délégué l'autorité parentale sur leur enfant. Lorsque la délégation d'autorité parentale a été établie à l'étranger, il revient à la personne ayant reçu délégation de l'autorité parentale, même partielle, de présenter une attestation établie par le consulat du pays d'origine en France, validant le document établi à l'étranger.

C. Ressources à prendre en compte

Les familles imposables ou non imposables sur le revenu justifient de leurs ressources par l'avis d'imposition sur le revenu adressé aux contribuables par les services fiscaux.

D'une manière générale, pour apprécier les ressources à prendre en considération, c'est le revenu fiscal de référence qui est retenu tel qu'il figure sur l'avis d'imposition ou de non-imposition concernant les revenus perçus au cours de la dernière année civile par rapport à celle de l'année de la demande (articles D. 531-4 et D. 531-21). À titre d'exemple, pour la rentrée de l'année scolaire 2021-2022, ce sont les revenus de 2020 qui sont pris en considération, mentionnés sur l'avis d'imposition 2021.

En cas de foyers fiscaux distincts des personnes qui assument la charge effective et permanente de l'élève pour lequel est demandée la bourse, l'avis d'imposition de chaque foyer fiscal doit être fourni (situation de concubinage).

Il s'agit toujours de prendre en compte les revenus des personnes assumant la charge de l'élève au moment de la demande. Les revenus retenus sont ceux de l'année de référence (articles D. 531-5 et D. 531-20).

En règle générale, aucune déduction ou ajout n'est à opérer sur le montant exprimant le revenu fiscal de référence du demandeur. Les ressources de la seule année de référence sont à prendre en compte : ainsi les déficits d'années antérieures n'ont pas à être déduits du revenu brut global de l'année, seul le déficit de l'année de référence sera retenu.

Il n'y a pas lieu d'intégrer dans les revenus, les ressources non imposables : prestations familiales, allocations familiales, prestations logement, RSA, fonds national de solidarité, etc.

1. Modification de situation

Les changements de situation familiale intervenus en fin d'année N-1 ou dans l'année en cours peuvent conduire à prendre en compte les revenus de l'année N-1 du seul demandeur de la bourse dans les situations **strictement limitées** aux cas suivants :

- décès de l'un des parents ;
- divorce des parents ou séparation attestée ;
- résidence exclusive de l'enfant modifiée par décision.

Il conviendra alors d'isoler, dans l'avis d'imposition fourni, le revenu de la seule personne présentant la demande, sans exclure la possibilité de prendre en compte les revenus du ménage éventuellement reformé depuis l'événement justifiant le changement de situation.

Les aggravations de situation professionnelle depuis le début de l'année en cours relèveront d'une aide au titre des fonds sociaux. Cette aide pourra venir en complément de la bourse nationale éventuellement déjà obtenue. Les revenus de l'année en cours ne peuvent pas être pris en considération au titre des bourses.

2. Cas particuliers

Contribuables frontaliers, fonctionnaires internationaux ou personnes ayant des revenus à l'étranger au titre de l'année de référence : pour les contribuables ayant leur domicile fiscal en France, le montant des revenus à

L'étranger, non imposables en France ou ouvrant droit à crédit d'impôt, est intégré dans le revenu fiscal de référence au titre du taux effectif (revenu total ou mondial). À défaut, les contribuables devront fournir l'avis d'imposition qu'ils ont reçu pour l'année de référence à l'étranger.

Pour les situations exceptionnelles (nouveaux arrivants, enfants récemment accueillis sur le territoire français), l'absence d'avis d'imposition sur le revenu ne saurait priver ces demandeurs de voir leur dossier examiné à la lumière de toute justification de ressources.

Les ressources prises en considération pour ces familles seront établies à partir de :

- soit un justificatif des revenus perçus dans le pays d'origine au titre de l'année de référence (N-1) ;
- soit pour les familles qui sont en possession de bulletins de salaire ou autre justificatif de revenus sur l'année N-1 ;
- soit une attestation de revenus établie par un organisme agréé pour l'accueil de nouveaux arrivants pour l'année N-1.

Le montant de ces revenus bruts doit bénéficier de l'abattement de 10 % autorisé par la réglementation fiscale. En l'absence de tout justificatif de revenus sur N-1, ces situations seront examinées dans le cadre du fonds social.

Ces dispositions spécifiques ne remettent pas en cause le principe général des dates limites de campagne fixées nationalement pour les demandes de bourse.

D. Charges prises en compte

La seule charge retenue est le nombre d'enfants mineurs ou majeurs à charge mentionnés sur le ou les avis d'imposition sur les revenus de l'année prise en considération :

- enfants mineurs ou handicapés ;
- enfants majeurs célibataires.

Dans les situations de reconstitution familiale, la prise en compte des revenus du ménage implique la prise en compte du nombre d'enfants à charge de chacun des membres du ménage. La même disposition s'appliquera en situation de concubinage.

Divorce, séparation ou rupture de Pacs

La mise en œuvre, pour les situations de divorce, de séparation ou de rupture de Pacs, des dispositions relatives aux prestations familiales conduira à prendre en considération les seuls revenus du demandeur de la bourse en fonction de sa nouvelle situation familiale.

Rappel de l'article 194 du Code général des impôts :

« En cas de divorce, de rupture de Pacs ou de toute séparation de fait de parents non mariés, l'enfant est considéré, jusqu'à preuve du contraire, comme étant à la charge du parent chez lequel il réside à titre principal. »

Le rappel de cette disposition générale doit permettre de traiter les situations de séparation en l'attente éventuelle d'une décision officielle (ordonnance de non-conciliation ou jugement de divorce).

Candidats boursiers placés sous tutelle

Dans la mesure où le tuteur a la charge permanente et effective de l'élève au sens de la réglementation sur les prestations familiales et lorsqu'il fait figurer son pupille dans sa déclaration de revenus - bénéficiant ainsi d'une demi-part fiscale supplémentaire - les ressources du tuteur doivent être prises en considération.

Candidats boursiers relevant de l'aide sociale à l'enfance

La protection de l'enfance vise à prévenir les difficultés auxquelles les parents peuvent être confrontés dans l'exercice de leurs responsabilités éducatives, et d'assurer le cas échéant, selon des modalités adaptées à leurs besoins, une prise en charge partielle ou totale des mineurs (article L. 112-3 du Code de l'action sociale et des familles).

L'article L. 228-3 du Code de l'action sociale et des familles mentionne que le département prend en charge financièrement les dépenses d'entretien, d'éducation et de conduite de chaque mineur, à l'exception des dépenses résultant de placements dans des établissements ou services de la protection judiciaire de la jeunesse.

La loi n° 2007-293 du 5 mars 2007 réformant la protection de l'enfance permet l'organisation de la prise en charge de manière temporaire ou alternative, entre la famille et un établissement ou un assistant familial spécialisé (ex-famille d'accueil), sous les modalités d'un contrat établi entre la famille et l'aide sociale à l'enfance.

Ces modalités d'organisation de la prise en charge ne retirent pas l'obligation faite au conseil départemental au sens de l'article L. 228-3 du Code de l'action sociale et des familles. Il en résulte l'impossibilité d'accorder une bourse nationale si l'élève fait l'objet d'un placement par décision judiciaire ou administrative, même lorsque le juge décide de maintenir les allocations familiales aux parents ou lorsque le conseil départemental demande une participation financière mensuelle aux parents.

Candidats boursiers majeurs et mineurs émancipés

Les bourses nationales n'ont pas pour objet de se substituer à l'obligation définie par l'article 371-2 du Code civil qui impose aux parents d'assurer l'entretien et l'éducation de leurs enfants. Cette obligation ne cesse pas

de plein droit lorsque l'enfant est majeur.

En conséquence, seuls les élèves mineurs émancipés ou majeurs, qui ne sont à la charge d'aucune personne, peuvent présenter eux-mêmes une demande de bourse, à la condition d'être contribuables (article R. 531-19). Il convient que le jeune majeur puisse présenter un avis d'imposition ou de non-imposition, voire une situation déclarative.

L'attribution des bourses nationales ne peut être écartée sur le motif que le jeune bénéficie d'un contrat jeune majeur ou d'une protection jeune majeur.

Toutefois, le bénéfice de ce contrat ou de la protection, d'une durée limitée (quelques mois) même s'il est reconductible, nécessite d'étudier la demande de bourse avec une attention particulière quant aux revenus pris en compte et à la possible évolution de la situation du jeune. L'avis d'imposition à l'impôt sur le revenu devra être fourni par le jeune autonome financièrement (N-1).

- Si ces élèves jeunes majeurs ne sont à la charge d'aucune personne, au sens d'une charge totale, ou s'ils sont hébergés par une personne qui ne subvient pas à leurs besoins, ils seront considérés comme autonomes.

- *A contrario*, l'élève ne pourra être considéré comme majeur isolé s'il est mentionné à charge fiscalement (au sens recueilli) par une tierce personne, ni s'il est mentionné à charge sur l'attestation CAF d'une tierce personne. De la même manière, si l'élève était avant sa majorité à la charge d'une personne qui s'était vu confier ou déléguer l'autorité parentale sur le jeune, il ne pourra être considéré comme isolé.

Pour l'examen de ces cas particuliers, il est conseillé de prendre l'attache du service social en faveur des élèves. Si la bourse ne peut être accordée, une aide au titre du fonds social sera éventuellement sollicitée.

Candidats boursiers majeurs étrangers isolés (bourses de lycée uniquement)

Pour toutes les situations d'élèves majeurs étrangers isolés présentant une demande de bourse nationale de lycée, vous pourrez solliciter un rapport du service social en faveur des élèves qui permettra de disposer des éléments factuels quant à l'hébergement et aux moyens de subsistance de l'élève.

Ces demandes de bourse ne sont pas dispensées, comme pour tout élève majeur autonome financièrement, de la production d'un avis d'imposition ou de non-imposition (article R. 531-19).

Dans la situation de rupture avec la famille pour les élèves majeurs étrangers isolés, ils doivent être considérés comme autonomes, dans les conditions suivantes :

- soit ils bénéficient d'un contrat jeune majeur et les dispositions de la circulaire sur les bourses de lycée concernant les bénéficiaires de ce type de contrat s'appliquent ;

- soit ils ne bénéficient pas de contrat jeune majeur et ne sont à la charge d'aucune personne, au sens d'une charge totale. S'ils sont hébergés par une personne qui ne subvient pas à leurs besoins, ils seront considérés comme autonomes.

A contrario, l'élève ne pourra être considéré comme majeur isolé s'il est mentionné à charge fiscalement (au sens recueilli) par une tierce personne, ni s'il est mentionné à charge sur l'attestation CAF d'une tierce personne. De la même manière, si l'élève était avant sa majorité à la charge d'une personne qui s'était vu confier ou déléguer l'autorité parentale sur le jeune, il ne pourrait être considéré comme isolé.

Disposition générale pour les cas particuliers

Pour toute autre situation très spécifique et pour l'ensemble des cas particuliers cités ci-dessus, lorsque la complexité de la situation ne permet pas d'appliquer l'une des dispositions énoncées, il convient de prendre en compte le revenu fiscal de référence de la (ou des) personne(s) qui déclare(nt) l'enfant fiscalement à charge.

IV. Procédure d'attribution de la bourse

A. Barème d'attribution

Les plafonds de ressources susceptibles d'ouvrir droit à une bourse de collège et de lycée pour l'année scolaire sont fixés par application d'un arrêté ministériel sur la base d'un coefficient du Smic au 1er juillet de l'année de référence (N-1).

Vous trouverez en annexes 6 et 7 les barèmes d'attribution des bourses de collège et de lycée applicables à la prochaine rentrée scolaire.

Ces barèmes précisent le niveau d'échelon de bourse qui sera accordé en fonction des ressources et du nombre de points de charge.

Le nombre de points de charge est plafonné à huit (quel que soit le nombre d'enfants à charge au-delà de huit enfants).

B. Notification de la décision et recours

Notification de la décision et recours au collège

Procédure d'attribution applicable aux collèges publics

Les demandes de bourse de collège formulées par les familles sont instruites par le chef d'établissement et donnent lieu à une décision d'attribution ou de refus de la part de ce dernier, au nom de l'État.

Dans cette opération, le chef d'établissement est secondé par l'adjoint-gestionnaire.

Les décisions doivent intervenir à compter de la rentrée scolaire, dès la scolarisation effective des élèves,

condition indispensable à l'attribution d'une bourse pour l'année scolaire.

En tout état de cause, les décisions doivent être notifiées aux familles dans les meilleurs délais, que la demande soit déposée en ligne ou en version papier.

Les EPLE doivent adresser au service académique des bourses l'état récapitulatif trimestriel des boursiers par échelon, accompagné de la liste des boursiers. Il appartient à chaque recteur de fixer la date de cette transmission, en veillant à tenir compte du délai nécessaire à l'instruction préalable des dossiers par les établissements.

Procédure d'attribution applicable aux collèges privés

Après avoir avisé les familles de la réception de leurs demandes papier, le chef d'établissement instruit celles-ci et établit une liste de propositions à destination du service académique en charge de la gestion des bourses nationales. Toutes les demandes de bourse de collège doivent être saisies dans le module Bourses de l'application Siecle.

Ces propositions ainsi que les dossiers correspondants sont transmis au service académique en charge de la gestion des bourses nationales, qui a compétence pour procéder à l'attribution ou au refus de la bourse de collège et notifier, au nom du recteur d'académie, les décisions aux familles.

Ces propositions doivent parvenir aux services académiques dans les huit jours qui suivent la date limite de la campagne de bourse, afin que les notifications aux familles de l'attribution ou du refus interviennent dans les meilleurs délais et que le versement des bourses puisse être effectué au cours du premier trimestre.

Procédure de recours

Si les familles estiment que la décision prise par l'administration est contestable, elles peuvent, dans les deux mois suivant la réception de la notification d'attribution ou de refus de bourse, soit former un recours administratif devant l'autorité qui a pris la décision (recours gracieux) ou devant l'autorité hiérarchiquement supérieure (recours hiérarchique), soit intenter directement un recours contentieux devant le tribunal administratif.

Si elles ont introduit un recours administratif (gracieux ou hiérarchique), elles disposent, à compter de la réception de la réponse, d'un délai de deux mois pour se pourvoir devant le tribunal administratif. Ce délai est porté à quatre mois à compter de l'introduction du recours administratif si ce dernier est resté sans réponse. Tout chef d'établissement public dont la décision sera contestée devant le tribunal administratif devra transmettre au recteur d'académie le dossier de la requête.

En application de l'article D. 222-35 du Code de l'éducation, les recteurs d'académie ont compétence pour représenter l'État devant les tribunaux administratifs pour toute décision prise par les personnels placés sous leur autorité. En l'espèce, les décisions relatives aux demandes de bourse de collège prises par les chefs d'établissements publics sont toutes prises au nom de l'État.

Notification de la décision et recours au lycée

Les décisions prises sur les demandes de bourse nationale d'études du second degré de lycée sont notifiées aux familles par le recteur d'académie, afin de leur permettre, le cas échéant, d'exercer un recours dans le délai imparti.

Le recours administratif préalable obligatoire (Rapo), prévu à l'article R. 531-25 du Code de l'éducation, est exercé auprès du recteur d'académie. Il est formulé par le demandeur de la bourse, motivé et accompagné de tous documents justifiant les éléments invoqués dans le recours.

S'agissant du délai de recours, celui-ci est désormais de quinze jours après la notification au demandeur. La date de notification, mentionnée au Code de l'éducation (article R. 531-25), est celle de la réception par le demandeur.

Afin de permettre aux familles d'utiliser toutes les possibilités de recours ultérieurs, vous considérez tout recours reçu des familles dans le délai qui leur est imparti, comme un recours administratif préalable obligatoire, sans distinction entre les recours accompagnés ou non d'éléments complémentaires et les recours formulés à titre gracieux ou hiérarchique.

À la réception des recours, le Code de l'éducation précise en son article D. 531-26 que « le recteur statue sur les recours dans un délai de deux mois », après instruction préalable par le service académique.

À la suite de cette décision prise sur le recours administratif préalable obligatoire :

- en cas d'accord, il y a notification d'un droit ouvert, accompagné d'un courrier mentionnant qu'à la suite du recours, le recteur d'académie a décidé d'accorder le droit à bourse ;

- en cas de maintien du refus, il convient d'utiliser l'imprimé de refus sur recours administratif, issu de l'application AGEUNET, formulant le maintien du refus par le recteur d'académie, mais pouvant être signé par le directeur académique chargé du service académique des bourses nationales, par délégation.

Si le refus de bourse est maintenu par le recteur d'académie sur le recours préalable, la famille dispose alors d'un délai de deux mois pour saisir le tribunal administratif mentionné sur la décision.

En tout état de cause, la famille peut toujours saisir dans un délai de deux mois suivant la notification de la décision initiale de refus ou de refus sur recours, le recteur d'académie d'un recours gracieux ou le ministre chargé de l'éducation nationale d'un recours hiérarchique sur la décision prise.

Tous les recours doivent être présentés à l'autorité qui a notifié le refus de bourse initial. Pour le recours hiérarchique auprès du ministre chargé de l'éducation nationale, le dossier s'accompagne d'une fiche synthétique selon le modèle joint en annexe 12.

Le tribunal administratif territorialement compétent^[2] doit être mentionné sur la décision opposant un refus au recours administratif. Il s'agit toujours du tribunal administratif territorialement compétent pour le département où a été prise la décision initiale, en vertu du pouvoir propre de l'autorité qui a signé, ou en vertu des délégations que cette autorité a reçues (article R. 312-1 du Code de justice administrative).

Les mêmes modalités de recours préalable obligatoire sont applicables pour les notifications de retrait de bourse.

Droit à l'erreur

La loi du 10 août 2018 pour un État au service d'une société de confiance (Essoc) prévoit, entre autres dispositions, la mise en œuvre du droit à l'erreur. Son principe repose sur un *a priori* de bonne foi et atteste de la possibilité pour chaque usager de se tromper dans ses déclarations à l'administration. Ainsi, les usagers ont la possibilité de rectifier - spontanément ou au cours d'un contrôle - une erreur lorsque celle-ci est commise de bonne foi et pour la première fois.

En application de la loi de 2018, le droit à l'erreur est pris en compte lors du traitement des dossiers de bourses et des recours des familles.

C. Montant de la bourse et primes

Dispositions communes au collège et lycée

Le montant de chaque échelon de bourse est déterminé en application des articles D. 531-7 et D. 531-29. Ces montants sont mentionnés en annexes 6 et 7.

Les élèves boursiers des classes de niveau collège dans un lycée ou un Erea bénéficieront d'une bourse de lycée qui ne peut excéder l'échelon 3.

1. Prime à l'internat

Seuls sont éligibles à la prime à l'internat les élèves boursiers internes. Cette prime visant à couvrir les frais d'hébergement est versée en trois fois, en même temps que la bourse.

Son attribution est automatique aux élèves boursiers qui ont le régime d'interne dans leur établissement de scolarisation. Aucune demande n'est à formuler.

Les élèves boursiers en internat de la réussite, bénéficient comme tous les élèves boursiers de cette prime en tant qu'interne, quelles que soient les autres aides spécifiques aux internats de la réussite.

Primes attribuées au lycée

2. Prime d'équipement

Elle est attribuée aux élèves boursiers qui accèdent en première année d'un cycle de formation conduisant à un CAP, un baccalauréat professionnel ou un baccalauréat technologique dans les formations (spécialités) qui y ouvrent droit (annexe 8).

Cette prime est versée en une seule fois, avec le premier trimestre de la bourse. Un même élève ne peut en bénéficier qu'une seule fois au cours de sa scolarité dans l'enseignement secondaire. Un contrôle doit être systématiquement effectué pour les élèves qui intègrent un cycle, notamment de CAP vers un baccalauréat professionnel ou technologique, en cours d'année.

La prime d'équipement n'est pas versée si l'élève boursier quitte sa scolarité dans une formation ouvrant droit à la prime avant la fin du mois de septembre.

3. Prime de reprise d'études

Une prime de reprise d'études a été instaurée par arrêté du 19 août 2016 en faveur des élèves boursiers reprenant une formation sous statut scolaire après une interruption de leur scolarité. Elle peut bénéficier aux jeunes de 16 à 18 ans révolus, déscolarisés depuis plus de 5 mois, et qui sont éligibles à une bourse nationale de lycée à la date de leur reprise d'études. Cette prime est accordée aux élèves inscrits, sous statut scolaire, dans une formation sanctionnée par un diplôme inscrit au RNCP (répertoire des certifications professionnelles).

La fiche spécifique (annexe 9), complétée par l'établissement d'inscription de l'élève, est jointe à la demande de bourse de lycée.

Cette prime est versée simultanément à la bourse, de manière trimestrielle et pour la seule première année de la reprise d'études.

4. Bourse au mérite

Un complément de bourse dit « bourse au mérite » peut être attribué aux élèves boursiers de lycée dans les conditions prévues par les articles D. 531-37 à D. 531-41 du Code de l'éducation, soit aux seuls boursiers ayant obtenu une mention bien ou très bien au diplôme national du brevet (DNB) et qui s'engagent à l'issue de la classe de troisième dans un cycle d'enseignement conduisant au baccalauréat général, technologique ou professionnel ou au certificat d'aptitudes professionnelles.

Son montant, fixé par arrêté, est lié à l'échelon de bourse obtenu (annexe 7).

La notification de bourse au mérite s'effectue simultanément à la notification d'attribution de bourse à l'entrée en seconde ou de première année de CAP. Un engagement de l'élève et de sa famille est transmis à

l'établissement qui doit le conserver après signature des bénéficiaires.

La bourse au mérite qui est un complément de la bourse nationale de lycée, suit les mêmes règles de déductibilité et de retenue que la bourse. Elle est attribuée jusqu'en classe de terminale de baccalauréat ou de dernière année de CAP si le bénéficiaire est toujours titulaire d'une bourse nationale de second degré de lycée, et sous réserve des conditions de suspension prévues par l'article D. 531-40.

Les modalités d'application de ce dispositif et de sa mise en œuvre sont précisées par la circulaire de 2021 relative aux bourses au mérite.

V. Validité de la bourse et réexamen du bénéfice du droit à bourse

A. Transfert de la bourse entre établissements

Au collège

Conformément à l'article D. 531-6 du Code de l'éducation, les transferts de bourse de collège entre établissements sont de droit lorsque l'élève change d'établissement en cours d'année scolaire.

En ce qui concerne le paiement de la bourse, l'établissement d'origine verse le montant total de la bourse due au titre du trimestre en cours ; l'établissement d'accueil ne prend en compte la bourse de l'élève qu'au trimestre suivant.

Pour l'application de ces dispositions, les trimestres retenus pour prendre en considération le transfert des bourses sont les suivants :

- 1er trimestre : du jour de la rentrée scolaire au 31 décembre ;
- 2e trimestre : du 1er janvier au 31 mars ;
- 3e trimestre : du 1er avril au dernier jour de l'année scolaire.

Au lycée

Le transfert de la bourse attribuée est de droit pendant toute la scolarité au lycée.

Indépendamment de la démarche des familles qui doivent informer l'établissement d'accueil de la bourse qui leur a été antérieurement attribuée, les académies d'origine veilleront à transmettre sans délai à l'académie d'accueil les décisions prises et les dossiers de bourse des élèves concernés. Il n'y a pas lieu de refaire l'instruction de la demande de bourse. Éventuellement, il peut être prévu une mise en réexamen pour l'année scolaire suivante si la situation le justifie.

Tous les boursiers originaires des départements d'outre-mer (dont Mayotte) relèvent du dispositif du transfert de bourse. Il n'y pas lieu de leur demander le dépôt d'une nouvelle demande lors de leur arrivée en métropole à la rentrée.

Le transfert de la bourse de lycée est également systématique pour les élèves scolarisés dans un établissement relevant du ministère de l'Agriculture qui poursuivent leur scolarité dans un établissement relevant du ministère de l'Éducation nationale et inversement.

Lorsqu'un élève change d'établissement en cours d'année scolaire, le transfert de la bourse est effectué après information du service académique des bourses par l'établissement d'origine. Le transfert de la bourse est effectif à la date à laquelle l'élève change d'établissement. La date de l'arrêt du versement de la bourse doit être mentionnée par l'établissement d'origine sur l'imprimé de transfert fourni par le service académique des bourses, afin d'éviter l'interruption du versement ou le double paiement.

C'est au service académique des bourses du lieu de scolarisation d'origine qu'il incombe de transmettre tous les éléments nécessaires à la prise en charge de l'élève boursier soit directement à l'établissement d'accueil s'il est de son ressort territorial, soit au service des bourses de l'académie d'accueil le cas échéant.

B. Vérification de ressources et de charges pour les boursiers

Les bourses nationales de collège sont attribuées pour une année scolaire, la demande étant renouvelée chaque année, la vérification de ressources et de charges pour les boursiers est systématique. Les familles ayant autorisé, lors de la demande initiale, l'actualisation de leurs données fiscales, voient leur situation réexaminée sans intervention de leur part.

Les bourses nationales d'études du second degré de lycée sont attribuées pour la durée de la scolarité au lycée par le recteur d'académie, sous les seules conditions de ressources et de charges de la famille.

Un réexamen du droit à bourse est demandé dans les situations prévues à l'article D. 531-22 :

- à l'occasion du passage dans le second cycle, pour les élèves qui fréquentaient l'année précédente une classe du premier cycle en lycée ;
- pour les autres élèves déjà boursiers de lycée, en cas de redoublement, de réorientation ou de préparation d'une formation complémentaire ;
- si la situation familiale a évolué favorablement ou défavorablement de façon durable depuis l'année des revenus pris en considération.

Dans tous les cas, les réexamens entraînent l'application du barème afférent à l'année scolaire considérée, que celle-ci ait pour conséquence la suppression, la diminution ou l'augmentation de la bourse précédemment allouée.

Les réexamens de situation, qu'ils soient à l'initiative du service ou à la demande de la famille, ne s'effectuent qu'à la rentrée scolaire et au plus tard à la fin de la campagne de bourse de lycée
Ainsi, une modification substantielle de la situation familiale en cours d'année ne justifie pas un réexamen de la bourse déjà attribuée pour l'année scolaire. Il convient de répondre à ces situations par l'attribution de fonds sociaux.

C. Droit et maintien du droit à bourse

Dispositions communes aux bourses de collège et de lycée

Le droit à bourse ou le maintien du droit à bourse nationale est subordonné aux seules conditions de ressources et de charges de la famille, telles qu'elles sont définies par le barème national.

En dehors du dispositif de retour en formation initiale sous statut scolaire, le droit à bourse nationale est exclu :

- pour les élèves scolarisés dans une classe qui n'est pas régulièrement habilitée (privé hors contrat) ou une formation ouverte sans agrément par le recteur d'académie avant l'inscription des élèves ;
- pour les élèves qui ont suivi pendant trois trimestres une action de la Mission de lutte contre le décrochage scolaire et qui ne réintègrent pas, à l'issue de cette année, une classe de second cycle de l'enseignement du second degré à temps plein.

Dispositions spécifiques aux bourses de lycée

Le droit à bourse nationale d'études du second degré de lycée est exclu :

- pour les titulaires d'un diplôme de niveau 3 (anciennement niveau V) qui poursuivent leurs études dans le second cycle court (sauf s'ils préparent un second diplôme de niveau 3 en une année ou s'ils suivent pour une seule année, soit une formation conduisant à la délivrance d'une mention complémentaire au diplôme déjà obtenu, soit une formation complémentaire non diplômante) ;
- pour les titulaires du baccalauréat qui poursuivent leurs études dans le second degré à un niveau inférieur au baccalauréat (sauf s'ils préparent en une année un second baccalauréat ou s'inscrivent dans une formation complémentaire pour une seule année, voire une formation de niveau 3 en un an pour faciliter leur insertion professionnelle).

Ces différentes exceptions à la règle selon laquelle, tout élève scolarisé dans le second degré peut obtenir une bourse si les ressources et les charges de sa famille le justifient, visent à garantir que l'aide de l'État poursuive bien l'objectif de favoriser l'élévation de la qualification quel que soit le cursus suivi.

VI. Mise à disposition des crédits

Les crédits relatifs aux bourses nationales pour l'enseignement secondaire sont inscrits sur les budgets opérationnels de programme (BOP) académiques sur le programme 230 Vie de l'élève, action 04 « aide sociale aux élèves », pour l'enseignement public, et, pour l'enseignement privé, à l'action 08 « actions sociales en faveur des élèves » du programme 139 Enseignement privé du premier et du second degrés.

La Dgesco délègue les crédits aux recteurs d'académie qui, une fois leur budget opérationnel de programme (BOP) visé par le contrôle financier déconcentré (CFD), mandatent les sommes dues aux établissements, après validation des listes de boursiers à payer attestant l'assiduité des élèves que les établissements auront adressées aux services académiques. Les crédits sont mis à disposition des établissements publics en application de la circulaire n° 2017-027 du 14 février 2017.

S'agissant du programme 139, après délégation des crédits par le responsable de ce programme et visa du BOP par le CFD, mais avant tout mandatement aux établissements privés sous contrat, les services académiques veillent à la production par ces derniers des attestations de procuration annuelle par lesquelles les familles autorisent le versement de la bourse directement à l'établissement.

En effet, dans le cas où les responsables d'élèves attributaires ou les élèves attributaires eux-mêmes s'ils sont majeurs, n'auraient pas donné procuration sous seing privé au représentant légal des établissements d'enseignement privés pour percevoir en leur nom le montant de ces bourses, les services académiques effectuent le paiement direct aux familles.

VII. Paiement des bourses

Nous attirons votre attention sur l'importance qui s'attache à ce que le versement aux familles de toutes les aides financières à la scolarité intervienne avant la fin de chaque trimestre. Vous veillerez à ce que les établissements prennent en compte au plus tôt les notifications d'attribution afin que seul le solde des frais scolaires soit réclamé aux familles.

A. Conditions exigées de la part de l'élève boursier

Au collège

Les bourses nationales ne sont pas une prestation familiale au sens retenu pour l'application des articles L. 131-3 et L. 131-8 du Code de l'éducation et précisé dans la circulaire n° 2011-0018 du 31 janvier 2011. Les bourses

nationales étant une aide à la scolarité, l'assiduité de l'élève doit être effective et constitue une condition impérative pour bénéficier du paiement de la bourse.

Conformément à l'article D. 531-12 du Code de l'éducation, si la scolarité d'un élève fait état d'absences injustifiées et répétées, une retenue sur le montant annuel de la bourse est opérée dès lors que la durée cumulée des absences de l'élève excède quinze jours depuis le début de l'année scolaire.

La première retenue sera opérée sur le trimestre au cours duquel est constaté le dépassement des quinze jours cumulés d'absence. Le total des absences constatées à cette date fait l'objet d'une retenue. Ensuite, toute nouvelle journée d'absence injustifiée au cours de l'année scolaire entraîne la retenue de cette journée sur le montant de la bourse.

Le chef d'établissement appréciera le caractère justifié ou non des absences au sens de l'article L. 131-8 du Code de l'éducation, et par application des articles R. 131-5 à R. 131-7 sur le contrôle de l'assiduité.

Bien que la durée de l'année scolaire soit actuellement fixée à 36 semaines (252 jours), cette retenue sera d'un deux cent soixante-dixième par jour d'absence.

Ces retenues, motivées, sont prononcées par le chef d'établissement pour les élèves relevant de l'enseignement public et par le directeur académique des services de l'éducation nationale, sur proposition du chef d'établissement, pour les élèves relevant de l'enseignement privé.

Dans les situations d'exclusion définitive de l'établissement, le paiement de la bourse est maintenu pour l'élève pour tout le trimestre en cours, quelle que soit sa date d'affectation dans un autre collège. Le collège, qui accueillera l'élève après affectation par le Dasen, prendra en compte la bourse de l'élève à compter du trimestre suivant celui de l'exclusion du précédent collège.

Au lycée

Le paiement des bourses est subordonné à l'assiduité aux enseignements (article R. 531-31).

En cas d'absences injustifiées et répétées d'un élève boursier, il appartient au chef d'établissement d'informer le service académique des absences injustifiées dès qu'elles excèdent quinze jours cumulés depuis le début de l'année scolaire. Le service académique des bourses notifie à l'établissement la retenue à opérer sur le paiement de la bourse.

En conséquence, dès qu'est comptabilisée pour un boursier une absence d'une durée cumulée excédant quinze jours, toute nouvelle absence non justifiée dans la même année scolaire, même d'une seule journée, entraîne une information du service académique de la durée de la nouvelle absence et une retenue est opérée sur le montant trimestriel de la bourse. Ces dispositions concernent tous les élèves qu'ils soient ou non soumis à l'obligation scolaire.

Le chef d'établissement apprécie le caractère justifié ou non des absences au sens de l'article L. 131-8 du Code de l'éducation, et par application de l'article R. 131-5 sur le contrôle de l'assiduité, transmet une demande de retenue sur bourse au service académique des bourses nationales.

Dans les situations d'exclusion définitive de l'établissement, la retenue s'opère à la date de sortie de l'établissement. Pour rappel, la date d'arrêt de versement de la bourse devra être mentionnée par l'établissement d'origine sur l'imprimé de transfert de bourse fourni par le SAB, afin d'éviter l'interruption du versement ou le double paiement.

B. Modalités du paiement aux familles

La **bourse de collège** accordée au titre d'une année scolaire est versée en trois parts trimestrielles égales.

La **bourse de lycée** accordée **durant la scolarité de l'élève au lycée** est versée en trois parts trimestrielles égales.

La bourse de collège ou de lycée est versée au responsable de l'élève ayant formulé la demande de bourse.

Les établissements procèdent au paiement après déduction des frais de pension ou de demi-pension, afin d'éviter aux familles des élèves boursiers de faire l'avance de ces frais.

Seule la prime d'équipement ne peut faire l'objet de déduction des frais de pension ou de demi-pension. Elle est versée en une seule fois au premier trimestre.

1. Établissements publics

L'agent comptable de l'établissement est compétent pour payer la bourse au vu d'un état de liquidation émis par le chef d'établissement.

Les établissements publics paient les bourses aux familles. Pour cela, les services académiques créditent globalement l'établissement par des versements de subventions.

Les collèges et lycées publics gèrent les crédits de bourses au sein du service spécial « bourses nationales ». Les bourses et primes sont mandatées respectivement aux comptes 6571 et 6573. La recette est effectuée au compte 7411 « subventions du ministère de l'Éducation nationale » et l'encaissement des subventions est enregistré au crédit du compte 44112 « subventions pour bourses et primes » (ou 441912 « avances de subventions »).

2. Établissements privés

Le paiement de la bourse intervient à l'initiative du directeur départemental des finances publiques au vu de l'état de liquidation émis par le service académique des bourses nationales ordonnateur de la dépense.

En application de la réglementation en vigueur, les bourses doivent être payées directement aux familles, à la

personne ayant présenté la demande de bourse.

Toutefois, les responsables légaux des élèves boursiers qui le souhaitent (ou les élèves boursiers eux-mêmes s'ils sont majeurs) peuvent donner procuration sous seing privé (cf. modèles joints en annexes 10 et 11) au représentant légal de l'établissement privé sous contrat.

Dans cette hypothèse, sur présentation au service académique des bourses des procurations données par les familles concernées, le versement global des bourses attribuées à ces familles est effectué au bénéfice du responsable légal de l'établissement.

Ce dernier est alors tenu, à chaque trimestre, aux obligations suivantes :

a) préparation des pièces destinées aux services académiques

- l'état de liquidation fourni par le service académique et validé par le responsable légal de l'établissement, qui tient lieu d'attestation d'assiduité des élèves mentionnés ;

- toutes les procurations annuelles, ainsi que les éventuelles résiliations de procuration ;

- l'engagement de garantir l'État au nom de l'établissement contre tout recours mettant en cause la validité des paiements intervenus par son intermédiaire.

b) paiement aux familles et comptabilité

L'établissement doit établir, pour chaque élève boursier, un compte d'emploi des sommes mandatées, afin d'être en mesure de répondre à toute vérification *a posteriori* par les services administratifs.

Par ailleurs, les opérations de paiement aux familles doivent être terminées dans le mois qui suit la perception des bourses par le mandataire, aucune somme ne devant rester en attente au compte de l'établissement pour être reportée d'un trimestre sur l'autre.

Je vous demande de bien vouloir veiller à l'exécution de ces instructions et de me saisir, sous les présents timbres, des difficultés que vous pourriez rencontrer dans leur application. Nos services restent à votre disposition pour vous apporter toute information complémentaire qui vous serait nécessaire.

[1] Une circulaire spécifique précise les conditions et le périmètre de la bourse au mérite.

[2] Il s'agit du tribunal compétent pour le département dans lequel est situé le service académique des bourses.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports,
Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,
Le chef du service du budget et des politiques éducatives territoriales,
adjoint au directeur général,
Christophe Gehin

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Pour la directrice des affaires financières, et par délégation,
Le chef de service, adjoint à la directrice,
Frédéric Bonnot

Annexe 1

↳ [Calendrier des campagnes de bourse de collège et de lycée](#)

Annexe 2

↳ [Formulaire de demande de bourse nationale de collège - année scolaire 2021-2022](#)

Annexe 3

↳ [Formulaire de demande de bourse nationale de lycée - année scolaire 2021-2022](#)

Annexe 4

↳ [Modèle d'accusé de réception de demande de bourse nationale de collège](#)

Annexe 5

↳ [Modèle d'accusé de réception de demande de bourse nationale d'études du second degré de lycée](#)

Annexe 6

↳ [Barème des bourses nationales de collège](#)

Annexe 7

↳ Barème des bourses nationales d'études du second degré de lycée

Annexe 8

↳ Groupe des spécialités de formation ouvrant droit à la prime d'équipement

Annexe 9

↳ Fiche navette pour prime de reprise d'études

Annexe 10

↳ Procuration de paiement pour la bourse nationale de collègue

Annexe 11

↳ Procuration annuelle de paiement des bourses nationales d'études du second degré de lycée

Annexe 12

↳ Fiche synthétique de présentation du recours hiérarchique



**Bourses nationales d'enseignement du second degré
Année scolaire 2021-2022**

**Calendrier des campagnes de bourse de collège et de lycée
(article D 530- 1 du code de l'éducation)**

Campagne annuelle :

Public bénéficiaire – Titre I-A de la circulaire

Date limite de dépôt des dossiers de demande de bourse nationale d'enseignement du second degré de collège et de lycée pour l'année scolaire 2020-2021 : **jeudi 21 octobre 2021**

Demande de bourse nationale de collège pour l'année scolaire 2021-2022

La demande de bourse nationale de collège¹ est émise par le Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports.

Partie à conserver

Notice d'information

Qu'est ce que la bourse nationale de collège ?

La bourse nationale de collège vous aide à financer les frais de scolarité de votre enfant qui est déjà ou va rentrer dans un collège public ou un collège privé sous contrat ou au Centre National d'Enseignement à Distance (CNED).

Quels sont les critères d'obtention de cette bourse ?

La bourse de collège est obtenue en fonction de deux critères :

– **Les ressources de la famille** : c'est le revenu fiscal de référence inscrit sur le ou les avis d'imposition 2021 sur les revenus de 2020 du ménage du demandeur.

 **Si vous êtes en concubinage, c'est la somme de vos revenus fiscaux de référence et de ceux de votre concubin qui est prise en compte.**

– **Les enfants à charge rattachés à votre foyer fiscal** (présents sur votre avis d'imposition) : les enfants mineurs, les enfants majeurs célibataires et les enfants handicapés.

Le barème ci-dessous vous permet de vérifier si vous pouvez bénéficier d'une bourse de collège, selon les ressources de la famille et le nombre d'enfant(s) à charge :

Nombre d'enfant(s) à charge	1	2	3	4	5	6	7	8 ou +
Plafond de revenus 2020 à ne pas dépasser	15 795€	19 440€	23 085€	26 730€	30 376€	34 021€	37 666€	41 311€


Pour savoir si vous avez droit à la bourse nationale de collège et pour estimer son montant, vous pouvez utiliser le simulateur : calculateur-bourses.education.gouv.fr.

Qui peut faire cette demande ?

Un responsable légal de l'élève (père, mère ou tuteur) ou une personne en charge de l'élève.

Comment faire ma demande de bourse nationale de collège ?

Demandes pluriannuelles : Si l'élève a été boursier pour l'année scolaire 2020-2021 et que vous avez donné votre accord pour que la demande de bourse soit automatiquement reconduite et que l'élève poursuit sa scolarité dans le même établissement, alors vous n'avez pas à effectuer de nouvelle demande de bourse pour l'année scolaire 2021-2022.

 Votre demande de bourse initiale sera automatiquement réexaminée par le service gestionnaire de l'établissement et vous recevrez une notification d'attribution, de refus ou de demande de pièces complémentaires en cas de changement de situation.

– **Pour les élèves inscrits en collège public**, la demande de bourse s'effectue en ligne sur le portail Scolarité services du 2 septembre au 21 octobre 2021 inclus. En effectuant votre demande en ligne vous pourrez demander une reconduction annuelle de la demande durant toute la scolarité au collège de votre enfant.

1. Articles R. 531-13 à D. 531-43 du Code de l'éducation

– Si vous ne pouvez pas déposer une demande en ligne ou si l'élève est inscrit en collège privé, vous pouvez faire votre demande en suivant ces étapes :

1. Remplissez les pages 3 à 5 de ce formulaire ;
2. Rassemblez les documents justificatifs suivants :
 - votre avis d'imposition 2021 sur les revenus de 2020
 - un relevé d'identité bancaire (BIC/IBAN) à votre nom
 - si votre enfant est inscrit dans un établissement privé, vous pouvez choisir de compléter une procuration ([cerfa N°15985](#)), la bourse pourra ainsi être directement versée à l'établissement de votre enfant pour payer sa scolarité.

Selon votre situation	Documents complémentaires à fournir
Si vous vivez en concubinage ²	– Avis d'imposition 2021 sur les revenus 2020 de votre partenaire
Si l'élève pour lequel vous demandez la bourse est désormais à votre charge et ne figurait pas sur votre avis d'imposition	– Attestation de paiement de la CAF indiquant les enfants à votre charge – Justificatif du changement de résidence de l'élève
Si votre demande concerne un enfant dont vous avez la tutelle	– Copie de la décision de justice désignant le tuteur et une attestation de paiement de la CAF ou – De la décision du conseil de famille et une attestation de paiement de la CAF

3. Remettez ou envoyez le formulaire rempli et tous les documents justificatifs le plus tôt possible à l'établissement où l'élève est scolarisé.

! | La date limite pour remettre la demande de bourse est **le 21 octobre 2021**.

Pour les élèves inscrits au CNED :

– Pour les élèves de moins de 16 ans, un avis favorable à l'inscription en scolarité réglementée **est nécessaire lors du dépôt de la demande de bourse**.

Si la démarche n'a pas été faite, il faut dès maintenant imprimer une demande d'inscription en scolarité réglementée sur le site du CNED, la remplir et la transmettre à la **Direction des Services Départementaux de l'Éducation Nationale (DSDEN) du lieu de résidence de l'élève**.

– À réception de l'avis favorable du Directeur Académique des Services de l'Éducation nationale (DASEN), remplissez votre demande de bourse, envoyez-la au service compétent **avec l'avis favorable réceptionné**.

– Pour les élèves de plus de 16 ans, vous pouvez remplir votre demande de bourse et la faire parvenir au service des bourses compétent.

– Pour les élèves inscrits au CNED en classes de l'enseignement général de niveau collège : la demande de bourse sera à envoyer par courrier postal au service des bourses de l'académie (SAB) de Rouen :

DSDEN-27 Service Académique des Bourses

Bourse collège CNED

24 Boulevard Georges Chauvin

CS 22203

27022 EVREUX CEDEX.

– Pour les élèves inscrits au CNED en classes de l'enseignement général et professionnel adapté (SEGPA) de niveau collège : la demande de bourse sera à envoyer par courrier postal au service des bourses de l'académie (SAB) de Toulouse :

DSDEN de l'Ariège – DVE

Bourses CNED SEGPA

7, Rue du Lieutenant Paul Delpech

BP 40077

09008 FOIX cedex

2. Nous considérons que vous vivez en concubinage si vous partagez avec votre partenaire votre domicile sans avoir le même avis d'imposition.

Votre conjoint(e), concubin(e) ou partenaire de pacs est :

la mère de l'élève

le père de l'élève

autre

Son nom de naissance : _____

Son nom d'usage (si différent) : _____

Son prénom : _____

Son adresse : _____

Code postal 1 1 1 1 1 Commune : _____

Exerce t-il une activité professionnelle ? Oui Non

Profession : _____

Les personnes à charge du foyer :

Nom et prénom de chacune des personnes à charge (y compris l'élève pour qui vous demandez la bourse)	Date de naissance	Établissement scolaire fréquenté ou profession	Boursier	
			oui	non
_____	<u> J J </u> / <u> M M </u> / <u> A A A A </u>	_____		
_____	<u> J J </u> / <u> M M </u> / <u> A A A A </u>	_____		
_____	<u> J J </u> / <u> M M </u> / <u> A A A A </u>	_____		
_____	<u> J J </u> / <u> M M </u> / <u> A A A A </u>	_____		
_____	<u> J J </u> / <u> M M </u> / <u> A A A A </u>	_____		
_____	<u> J J </u> / <u> M M </u> / <u> A A A A </u>	_____		
_____	<u> J J </u> / <u> M M </u> / <u> A A A A </u>	_____		
_____	<u> J J </u> / <u> M M </u> / <u> A A A A </u>	_____		


Demande de bourse nationale de lycée pour l'année scolaire 2021 - 2022

La demande de bourse nationale de lycée¹ est émise par le
Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports.

Comment faire ma demande de bourse nationale de lycée ?

- 1- Je lis la notice.
- 2- Je rassemble les documents justificatifs.
- 3- Je remplis le formulaire en pages 3, 4 et 5.
- 4- J'envoie la demande remplie et signée et tous les documents justificatifs à l'établissement où l'élève est scolarisé.

Vous pouvez faire votre demande en version papier du **17 mai au 6 juillet 2021 inclus** et du **2 septembre au 21 octobre 2021 inclus**.

-  Si l'élève est dans un établissement public vous pouvez également effectuer cette **demande en ligne** directement sur le **portail scolarité service** de votre académie du **28 juin au 6 juillet (inclus) 2021** et du **2 septembre au 21 octobre (inclus) 2021** avec votre compte EduConnect².

Partie à conserver

Notice

Qu'est ce que la bourse nationale de lycée ?

La Bourse nationale de lycée vous aide à financer les frais de scolarité d'un élève, si celui-ci est scolarisé ou va rentrer dans un **lycée public** ou un **lycée privé habilité à recevoir des boursiers nationaux**.

Qui peut faire cette demande ?

Un responsable légal de l'élève (père, mère ou tuteur) ou une personne en charge de l'élève.

Qui est concerné par la demande de bourse nationale de lycée ?


Les élèves inscrits en classe de :

- 3ème au collège qui poursuivront leur scolarité en lycée général, technologique ou professionnel ; établissement régional d'enseignement adapté (EREA) ou dans une classe complète réglementée de niveau lycée au CNED ;

Les élèves non boursiers inscrits en classe de :

- 2nde, 1ère ou terminale, en lycée général, technologique ou professionnel ;
- 1ère ou 2ème année de CAP ;


Ne sont pas concernés par cette formation :

-  - Les apprentis (Pour en savoir plus rapprochez-vous de votre région)
- Les étudiants et élèves inscrits en BTS (Pour en savoir plus rendez-vous sur messervices.etudiant.gouv.fr)

Quels sont les critères d'obtention de cette bourse ?

La bourse nationale de lycée est obtenue en fonction de deux critères :

1. les ressources de la famille : c'est le revenu fiscal de référence, inscrit sur votre avis d'imposition 2021 sur les revenus de 2020.

-  Si vous êtes en concubinage, c'est la somme des revenus fiscaux de référence des **deux conjoints** qui est prise en compte.

1. Articles R. 531-13 à D. 531-43 du Code de l'éducation

2. Le portail Éduservices est une offre de services en ligne mis à la disposition des représentants légaux de l'élève par le Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports. Il sera disponible à la rentrée scolaire en Septembre 2021.

2. Les enfants à charge rattachés à votre foyer fiscal :

- les enfants mineurs
- les enfants majeurs
- les enfants en situation de handicap

Le barème ci-dessous vous permet de vérifier si vous pouvez bénéficier d'une bourse de lycée pour cette demande, selon les ressources de la famille et le nombre d'enfant(s) à charge :

Nombre d'enfant(s) à charge	1	2	3	4	5	6	7	8 ou +
Plafond de revenus 2020 à ne pas dépasser	18 828€	20 276€	23 171€	26 793€	30 413€	34 760€	39 104€	43 449€

Pour savoir si vous avez droit à la bourse nationale du lycée, vous pouvez utiliser le simulateur :

education.gouv.fr/aides-financieres-lycee

Il vous permet de savoir si vous pouvez bénéficier d'une bourse de lycée pour votre élève et d'estimer son montant.



Quels sont les documents justificatifs à joindre ?

Si vous faites votre demande jusqu'au 6 juillet 2021 inclus (première période de campagne) :

- un document mentionnant votre **numéro fiscal**

Le numéro fiscal figure sur votre déclaration de revenus pré-remplie, sur vos avis d'impôt (avis de situation déclarative, impôt sur le revenu).

Si vous faites votre demande à partir du 2 septembre 2021 (deuxième période de campagne) :

- une copie de votre avis d'imposition 2021 sur les revenus 2020

Vous devez également fournir selon votre situation les documents suivants :

Selon votre situation	Documents complémentaires à fournir
Si vous vivez en concubinage ³	<ul style="list-style-type: none">– Si vous faites votre demande pendant la première période de campagne : tout document mentionnant le numéro fiscal de votre partenaire– Si vous faites votre demande pendant la deuxième période de campagne : l'avis d'imposition 2021 de votre partenaire sur les revenus 2020
Si l'élève pour lequel vous demandez la bourse est désormais à votre charge et ne figurait pas sur votre avis d'imposition	<ul style="list-style-type: none">– Attestation de paiement de la CAF indiquant les enfants à votre charge– Justificatif du changement de résidence de l'élève
Si votre demande concerne un enfant dont vous avez la tutelle	<ul style="list-style-type: none">– Copie de la décision de justice désignant le tuteurou– De la décision du conseil de famille et une attestation de paiement de la CAF

→ Pour en savoir plus :

Vous pouvez contacter l'établissement d'accueil de votre élève ou consulter :

www.education.gouv.fr/aides-financieres-lycee.

3. Nous considérons que vous vivez en concubinage si vous partagez avec votre partenaire votre lieu de domicile sans avoir le même avis d'imposition.

4. Engagement de la famille

Si vous vous êtes trompé, signalez-le dès que possible à l'établissement où vous avez déposé votre demande de bourse. Il corrigera les informations concernées. Si cette rectification fait baisser le montant des prestations que vous recevez, vous devrez rembourser les sommes perçues en trop. Si vous êtes de bonne foi et que c'est votre première erreur, vous ne serez pas sanctionné¹.

En revanche, si vous commettez une fraude ou de fausses déclarations pour obtenir des avantages auxquels vous n'auriez pas droit, **vous risquez une amende et/ou une peine d'emprisonnement, comme prévu par la loi².**

Je certifie sur l'honneur que les renseignements que j'ai donnés sur cette déclaration sont exacts.

OUPS.GOUV.FR

Vous avez droit à l'erreur

Vous devez dater et signer la rubrique suivante (en cochant la case qui correspond à votre situation)


Je soussigné :

la mère

le père

autre personne en charge de l'élève

Le : / /

 Vous venez de remplir votre demande de bourse. Vous pouvez maintenant la remettre ou l'envoyer à l'établissement scolaire actuel de votre enfant en joignant les documents justificatifs détaillés dans la notice. **Si vous déposez votre demande à la première période de la campagne, vous n'avez aucune démarche à effectuer à la rentrée de septembre. L'administration reviendra vers vous lorsque votre dossier sera traité.**

Rubrique réservée au chef d'établissement

Après vérification des renseignements indiqués par la famille en ce qui concerne l'établissement et la classe actuellement fréquentés par l'élève.

Observations éventuelles :

Signature du chef d'établissement et timbre de l'établissement :

 / /

Nous avons besoin de vos données pour étudier votre demande, calculer le droit à bourse de l'élève concerné par la demande et pour vous contacter. Vos informations seront conservées le temps de la scolarité de l'élève par l'établissement scolaire et le service académique des bourses, en charge du traitement des bourses de lycée.

Vous avez le droit d'accéder, rectifier et effacer les données qui vous concernent. Pour exercer votre droit, adressez-vous au délégué à la protection des données à l'adresse suivante : dpd@education.gouv.fr

Après avoir contacté le délégué à la protection des données, si vous estimez que vos droits « Informatique et Libertés » ne sont toujours pas respectés, vous pouvez faire une réclamation en ligne ou par voie postale à la Commission Nationale Informatique et Libertés (Cnil).

Conformément au Règlement européen n° 2016/679/UE du 27 avril 2016 et à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée.

1. Connectez-vous sur le site oups.gouv.fr pour en savoir plus sur le droit à l'erreur.

2. En application des articles de l'article 22 de la loi n°68-690 du 31 juillet 1968. L'intégralité de ces textes de loi sont disponibles sur le site legifrance.gouv.fr.

**Nom et coordonnées
de l'établissement**

Accusé de réception

De dossier de demande de bourse nationale de collègue

À conserver par la famille

Le chef d'établissement, soussigné, certifie avoir reçu le (date).....

le dossier de demande de bourse de collègue en faveur de l'élève :

Nom – Prénom :

Classe :

À, le
Le chef d'établissement

Cachet de
l'établissement

Informations importantes à l'attention de la famille

Des pièces complémentaires pourront vous être demandées. Le défaut de leur production entraînera le rejet de la demande de bourse.



**Nom et coordonnées
de l'établissement**

Accusé de réception

**De dossier de demande de bourse nationale
d'études du second degré de lycée**

À conserver par la famille

Le chef d'établissement, soussigné, certifie avoir reçu le (date).....

le dossier de demande de bourse de lycée en faveur de l'élève :

Nom – Prénom :

Classe :

À, le
Le chef d'établissement

Cachet de
l'établissement

(Nom et coordonnées de l'établissement)

Informations importantes à l'attention de la famille

Des pièces complémentaires pourront vous être demandées. Le défaut de leur production entraînera le rejet de la demande de bourse.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, DE LA JEUNESSE ET DES SPORTS

CAMPAGNE DES BOURSES NATIONALES DE COLLÈGE Année Scolaire 2021-2022

BARÈME DES BOURSES NATIONALES DE COLLÈGE Année Scolaire 2021-2022

Plafonds de ressources du foyer à ne pas dépasser Revenu fiscal de référence de l'avis d'imposition 2021 sur les revenus de 2020			
Nombre d'enfants à charge	Echelon 1	Echelon 2	Echelon 3
1	15 795	8 538	3 013
2	19 440	10 509	3 708
3	23 085	12 479	4 403
4	26 730	14 451	5 098
5	30 376	16 421	5 794
6	34 021	18 391	6 489
7	37 666	20 362	7 184
8 ou plus	41 311	22 332	7 879
Montant annuel de la bourse	105 €	294 €	459 €
Montant annuel de la prime d'internat (accordée aux élèves boursiers internes)	327 €	396 €	465 €

BARÈME DES BOURSES NATIONALES D'ÉTUDES DE SECOND DEGRÉ DE LYCÉE

Barème d'attribution des bourses de lycée 2021 - 2022 - Année de référence des revenus : 2020

Nombre d'enfants à charge	Plafonds de ressources du foyer à ne pas dépasser					
	Revenu fiscal de référence de l'avis d'imposition 2021 sur les revenus de 2020					
	Echelon 1	Echelon 2	Echelon 3	Echelon 4	Echelon 5	Echelon 6
1	18 828	14 904	12 658	10 209	6 345	2 480
2	20 276	16 261	13 808	11 136	7 050	2 963
3	23 171	18 970	16 110	12 993	8 460	3 927
4	26 793	21 682	18 412	14 849	9 869	4 889
5	30 413	25 748	21 864	17 634	11 984	6 335
6	34 760	29 812	25 317	20 420	14 100	7 779
7	39 104	33 878	28 770	23 202	16 215	9 226
8 ou plus	43 449	37 945	32 223	25 986	18 330	10 671
Montant annuel de la bourse	441 €	543 €	639 €	738 €	834 €	936 €

Les élèves fréquentant une classe de niveau collège dans un lycée ou un EREA bénéficieront d'une bourse de lycée qui ne peut excéder l'échelon 3.

Montant annuel de la bourse au mérite (*)	402 €	522 €	642 €	762 €	882 €	1002 €
---	-------	-------	-------	-------	-------	--------

(*) attribuée aux boursiers de lycée entrant en classe de seconde ou de première année de CAP avec une mention Bien ou Très bien au DNB

Montant annuel de la prime d'internat <small>(accordée aux élèves boursiers internes)</small>	327 €	396 €	465 €	534 €	603 €	672 €
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Montant de la prime d'équipement accordée aux élèves boursiers inscrits pour la première fois en première année de certaines spécialités de formation (liste déterminée par arrêté) : 341,71 €

GROUPES DES SPÉCIALITÉS DE FORMATION OUVRANT DROIT À LA PRIME D'ÉQUIPEMENT

- 133 - Musique, arts du spectacle (sauf théâtre)
- 200 - Technologies industrielles fondamentales (génie industriel et procédés de transformation, spécialités à dominante fonctionnelle)
- 201 - Technologies de commandes des transformations industrielles (automatismes et robotique industriels, informatique industrielle)
- 220 - Spécialités pluritechnologiques des transformations
- 221 - Agro-alimentaire, alimentation, cuisine
- 222 - Transformations chimiques et apparentées (y.c. industrie pharmaceutique)
- 223 - Métallurgie (y.c. sidérurgie, fonderie, non ferreux...)
- 224 - Matériaux de construction, verre, céramique
- 225 - Plasturgie, matériaux composites
- 226 - Papier, carton
- 227 - Énergie, génie climatique (y.c. énergie nucléaire, thermique, hydraulique ; utilités : froid, climatisation, chauffage)
- 230 - Spécialités pluritechnologiques, génie civil, construction, bois :
SAUF : Études et économie de la construction
Bâtiment : étude de prix, organisation et gestion des travaux
- 231 - Mines et carrières, génie civil, topographie
- 232 - Bâtiment : construction et couverture
- 233 - Bâtiment : finitions
- 234 - Travail du bois et de l'ameublement
- 240 - Spécialités pluritechnologiques matériaux souples
- 241 - Textile
- 242 - Habillement (y.c. mode, couture)
- 243 - Cuirs et peaux
- 250 - Spécialités pluritechnologiques mécanique-électricité (y.c. maintenance mécano-électrique)
- 251 - Mécanique générale et de précision, usinage
- 252 - Moteurs et mécanique auto
- 253 - Mécanique aéronautique et spatiale
- 254 - Structures métalliques (y.c. soudure, carrosserie, coque bateau, cellule avion)
- 255 - Électricité, électronique (non c. automatismes, productique)
- 311 - Transport, manutention, magasinage :
SEULEMENT : - agent d'accueil et de conduite routière, transport de voyageurs
- conduite de systèmes et de véhicules de manutention
- conduite routière
- déménageur professionnel
- emballeur professionnel
- emballage et conditionnement
- 320 - Spécialités plurivalentes de la communication
- 321 - Journalisme et communication (y.c. communication graphique et publicité)
- 322 - Techniques de l'imprimerie et de l'édition
- 323 - Techniques de l'image et du son, métiers connexes du spectacle
- 326 - Informatique, traitement de l'information, réseaux de transmission des données
- 331 - Santé : SEULEMENT : orthoprothésiste, podoprothésiste, prothésiste dentaire
- 332 - Travail social : SEULEMENT : développement option : activités familiales, artisanales, touristiques
- 334 - Accueil, hôtellerie, tourisme : SAUF : Tourisme - option A : voyage et transport de voyageur
- option B : information touristique
- option C : hôtesse
- 336 - Coiffure, esthétique et autres spécialités des services aux personnes
- 343 - Nettoyage, assainissement, protection de l'environnement
- 344 - Sécurité des biens et des personnes, police, surveillance : SEULEMENT : gardien d'immeuble.

Fiche navette pour prime de reprise d'études

(à compléter par l'établissement d'accueil
et à joindre à la demande de bourse de l'élève)

L'élève

Nom – Prénoms : _____

Établissement d'accueil : _____ N° Étab : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
(nom – ville)

Classe actuelle de l'élève : _____ |_|_|_|_|_|_|_| (MEF-classe : libellé court)

Sa scolarité antérieure

Dernier établissement fréquenté (au moment de l'interruption de scolarité)

Nom de l'établissement : _____

Code postal : |_|_|_|_|_|_| Commune : _____

Date d'interruption de scolarité : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Classe et formation suivie au moment de l'interruption :

Nom du tuteur et coordonnées : _____
(de la plateforme de suivi et d'appui aux jeunes décrocheurs)

Fiche navette

Service académique des bourses

IEN – IO DSDEN : _____
département de l'établissement fréquenté avant
l'interruption de scolarité

Procuration de paiement de la bourse nationale de collège Établissement d'enseignement privé

La procuration de paiement de la bourse nationale de collège¹ est émise par le Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports.

Établissement : _____

Adresse : _____

Commune : _____ Code postal : 1 1 1 1 1

Je soussigné(e) Nom et prénoms

demeurant au Adresse

agissant en tant que : père mère autre personne en charge de l'élève

de Nom et prénom de l'enfant élève de cet établissement en classe de _____

pour l'année scolaire 2021 - 2022, autorise Nom du chef de l'établissement

le chef de l'établissement agissant par délégation de l'organisme de gestion, à recevoir en mon nom, le montant de la bourse de collège attribuée à mon enfant.

Cette autorisation implique que le chef de l'établissement :

- donnera décharge de la somme de la bourse de l'enfant au comptable public dès versement au compte de l'établissement.
- me versera par virement bancaire, le montant restant éventuel de la bourse de l'élève après le paiement des frais de pension ou de demi-pension.

Fait le _____ Fait le _____

À _____ À _____

Signature du responsable de l'enfant

Signature du Chef d'établissement

1. Articles R. 531-13 à D. 531-43 du Code de l'éducation

Département n° : |__|__|__|

Établissement (1):

.....

(Cachet de l'association de gestion)

**Païement des bourses nationales d'études du second degré de lycée
Année scolaire 20 .. – 20 ..**

PROCURATION ANNUELLE

Je soussigné(e) (nom et prénom) :

Votre adresse :

.....

Code postal : |__|__|__|__| Commune

Agissant en tant que (2) : père ou mère ou représentant légal de l'enfant

nom et prénom :

élève de cet établissement en classe de :

pour l'année scolaire : 20 .. / 20 ..

Autorise (3)

Chef de l'établissement indiqué ci-dessus, agissant par délégation de l'organisme de gestion, à percevoir en mon nom, le montant de la bourse de lycée attribuée à (mon fils) (ma fille). (4)

Cette autorisation implique que le chef de l'établissement :

- donnera décharge de cette somme au comptable public dès versement au compte de l'établissement ;
- me versera, par virement bancaire, le solde éventuel de la bourse de (mon fils) (ma fille) (4), après déduction des frais de pension ou de demi-pension.

À _____, le _____,

Signature du responsable de l'élève

À _____, le _____,

Signature du représentant légal de l'établissement

(1) Nom et adresse exacte de l'établissement.

(2) Cocher la case correspondante.

(3) Nom - Prénom et fonction du représentant légal de l'établissement.

(4) Rayer la mention inutile.

Académie : Département :

Bourses nationales d'études de second degré

Année scolaire 20 .. /20 ..

Fiche synthétique de présentation du recours hiérarchique

► Renseignements concernant le candidat boursier :

Nom et prénom du candidat :

Date de naissance :

Établissement et classe fréquentés actuellement :

Établissement et classe fréquentés à la rentrée prochaine :

► Renseignements concernant la famille :

Demandeur(s) :

Nom - Prénom : Lien de parenté :

Profession :

Nom - Prénom : Lien de parenté :

Profession :

Adresse de la famille:

Nombre d'enfants : dont à charge

► Éléments d'appréciation retenus :

Revenu fiscal de référence de la famille :

Nombre de points de charge :

Revenu limite correspondant :

Dépassement :

Décision initiale : droit ouvert rejet

Éléments nouveaux pris en considération pour le recours :

Décision du recteur sur le recours en date du :

droit ouvert rejet

► Nouveaux éléments d'appréciation et avis sur le recours hiérarchique :

Éléments nouveaux connus après refus sur recours administratif et justifiant le recours hiérarchique :

.....

À , le

Le directeur académique

Enseignements primaire et secondaire

Scolarisation des élèves à besoins éducatifs particuliers

Élèves à besoins éducatifs particuliers scolarisés dans un établissement d'enseignement français à l'étranger

NOR : MENE2121008C

circulaire du 13-8-2021

MENJS - DGESCO A1-3 - MEAE - DFAE - AEFÉ/MIF

Texte adressé aux inspecteurs et inspectrices de l'éducation nationale en résidence ; aux cheffes et chefs d'établissement homologués du réseau ; aux cheffes et chefs de poste diplomatique et aux consuls ; aux conseillers et conseillères de coopération et d'action culturelle

La présente circulaire a pour objet de préciser les modalités de prise en compte des élèves à besoins éducatifs particuliers scolarisés dans un établissement de l'enseignement français à l'étranger. Elle abroge et remplace la circulaire n° 2017-137 du 4 août 2017 relative aux élèves en situation de handicap scolarisés dans un établissement d'enseignement français à l'étranger.

La loi n° 2019-791 du 26 juillet 2019 Pour une École de la confiance consacre le chapitre IV de son titre I au renforcement de l'École inclusive. L'article L. 111-1 du Code de l'éducation affirme que le service public de l'éducation veille à l'inclusion scolaire de tous les enfants sans aucune distinction. Il consacre ainsi une approche nouvelle : quels que soient les besoins particuliers de l'élève, c'est à l'école de s'assurer que l'environnement est adapté à sa scolarité.

L'article L. 452-2 du Code de l'éducation dispose que l'Agence pour l'enseignement français à l'étranger (AEFE) « a pour objet (...) de veiller au respect des principes de l'École inclusive envers les élèves à besoins éducatifs particuliers ».

Tous les élèves du réseau des établissements d'enseignement français à l'étranger homologués par le ministère en charge de l'éducation nationale, qu'ils soient de nationalité française ou autres, bénéficient des dispositions relatives à l'inclusion scolaire, en prenant en compte les ressources et contextes locaux, d'autant que les établissements d'enseignement français à l'étranger ne disposent pas de structures spécialisées telles qu'elles existent sur le territoire français.

Les articles D. 351-3 à D. 351-20 du Code de l'éducation précisent les modalités de mise en œuvre des parcours de formation des élèves en situation de handicap.

1. Public concerné

Les élèves à besoins éducatifs particuliers sont concernés dont :

- les élèves en situation de handicap de nationalité française ;
- les élèves en situation de handicap de nationalité étrangère.

2. Établissements concernés

Sont concernés les établissements d'enseignement français à l'étranger homologués par le ministère chargé de l'éducation nationale.

La liste officielle des établissements homologués est publiée chaque année au Journal officiel de la République française et au Bulletin officiel de l'éducation nationale.

3. Les acteurs

Le chef d'établissement et le directeur d'école, de par leur fonction, veillent à l'accueil et à la scolarisation des élèves à besoins éducatifs particuliers et s'assurent que tout est mis en œuvre pour faciliter leur parcours scolaire.

Les personnels des établissements français de l'étranger dont notamment les enseignants, participent à l'évaluation, à l'élaboration et à la mise en œuvre du parcours de scolarisation de ces élèves.

Le consulat, lien permanent avec les institutions du territoire français, a pour mission d'accompagner et d'aider les familles dans les démarches à accomplir auprès des instances concernées (maison départementale des personnes handicapées pour les élèves de nationalité française en situation de handicap (MDPH), services

académiques).

L'élève, les parents ou les représentants légaux sont des interlocuteurs essentiels et leur avis doit être systématiquement sollicité. Ils participent aux réunions de concertation relatives à leur enfant et leur accord est nécessaire pour tout aménagement ou changement du parcours scolaire.

À chaque fois que possible, les personnels médicaux ou paramédicaux qui participent à la prise en charge de l'élève dans ou en dehors de l'établissement, sont associés aux réunions de suivi afin que leur expertise soit sollicitée.

Les établissements de l'enseignement français à l'étranger disposent d'un guide d'auto-évaluation « Qualinclus EFE » auquel ils peuvent se reporter pour évoluer progressivement vers des pratiques toujours plus inclusives, du niveau de la classe à celui de l'établissement.

Voir sur le site de l'AEFE : [Guide d'auto-évaluation Qualinclus EFE](#)

4. Les élèves en situation de handicap de nationalité française

4.1. La procédure de saisine de la maison départementale des personnes handicapées

Cette procédure de saisine d'une maison départementale des personnes handicapées (MDPH) est décrite dans le document suivant de la Caisse nationale de solidarité pour l'autonomie (CNSA) : [La demande de parcours de scolarisation des enfants et adolescents français résidant à l'étranger](#).

Conformément à l'article L. 146-3 du Code de l'action sociale, pour les Français établis hors de France, la MDPH compétente pour instruire leurs demandes est celle par l'intermédiaire de laquelle un droit ou une prestation leur a été antérieurement attribué. En cas de première demande, les Français établis hors de France peuvent s'adresser à la maison départementale des personnes handicapées du département de leur choix.

La famille (ou le représentant légal de l'élève) saisit la MDPH afin que soit déterminé un parcours de scolarisation adapté aux besoins de son enfant (accompagnement, aménagement, etc.)

Cette saisine se fait à partir du [formulaire Cerfa n° 15692*01](#) afin de faire part des demandes et des souhaits relatifs au parcours de formation de l'enfant. Ce formulaire de demande est complété par des justificatifs d'identité et de domicile, d'un certificat médical récent de moins de six mois ([Cerfa n° 15695*01](#)), le Geva-Sco renseigné ([première demande](#) ou [réexamen](#)) ainsi que tout document jugé utile pour l'évaluation des besoins de l'élève. Ces documents doivent être rédigés en français ou faire l'objet d'une traduction assermentée.

L'évaluation du dossier est réalisée par l'équipe pluridisciplinaire de la MDPH qui évalue la situation de l'élève en s'appuyant sur le Geva-Sco et les informations médicales, paramédicales et sociales dont elle dispose.

La commission des droits et de l'autonomie des personnes handicapées (CDAPH), organe décisionnaire de la MDPH, se prononce sur l'orientation propre à assurer la scolarisation des élèves en situation de handicap pour au plus un cycle scolaire (3 ans) au vu des propositions inscrites dans le projet personnalisé de scolarisation (PPS) élaboré par l'équipe pluridisciplinaire.

Lors du retour en France, la famille doit s'adresser à la MDPH de son lieu de résidence et, si nécessaire, demander le transfert de son dossier à la MDPH ayant traité la précédente demande.

4.2. La décision de la commission des droits et de l'autonomie des personnes handicapées

Conformément à l'article D. 351-7 du Code de l'éducation, la commission des droits et de l'autonomie des personnes handicapées (CDAPH) décide :

- l'orientation scolaire ;
- les éventuels aménagements de scolarité ;
- le matériel pédagogique adapté ;
- le maintien en maternelle ;
- le recours à une aide humaine, en précisant s'il s'agit d'une aide mutualisée ou individuelle. Le cas échéant, la CDAPH peut faire également des préconisations.

La famille de l'élève en situation de handicap scolarisé dans un établissement français à l'étranger recrute les personnels chargés d'une aide individuelle ou mutualisée qui interviennent dans la classe sous l'autorité de l'enseignant. Cette aide peut être financée par l'AEFE sans conditions de ressources.

4.3. Procédure de demande d'aide au financement d'une aide humaine pour les élèves français (ou binationaux)

La demande d'aide financière des familles pour l'accompagnement de leur enfant en situation de handicap, est étudiée par le poste consulaire, sur la base des conclusions de la MDPH, chargée d'évaluer les besoins de l'élève. À l'instar des allocations consulaires adultes/enfants handicapés, la reconnaissance d'un taux d'incapacité pour l'attribution d'un soutien financier constitue un prérequis. Les familles potentiellement concernées sont donc invitées, si cela n'a pas encore été fait, à entamer les démarches nécessaires aussi rapidement que possible auprès de la MDPH de leur choix.

L'accompagnant de l'élève en situation de handicap (AESH) est généralement recruté et rémunéré par la famille. Une convention d'accompagnement doit donc associer contractuellement la famille et l'accompagnant. Le nombre d'heures effectué auprès de l'élève doit se conformer strictement à la notification

de la MDPH, lorsque cette dernière le précise.

Voir sur le site de l'AEFE : [Modèle de convention d'accompagnement établie entre des parents et un ou une AESH](#)

Une convention tripartite doit en outre être signée entre les parents, l'AESH et la direction de l'établissement. Elle définit les horaires d'intervention de l'accompagnant (plafonnés sur les horaires légaux de présence des élèves en classe) et sa rémunération. Elle spécifie par ailleurs les clauses de résiliation et doit être renouvelée chaque année.

Voir sur le site de l'AEFE : [Modèle de convention autorisant la présence d'un accompagnant AESH dans l'établissement](#)

L'évaluation par la MDPH, le PPS, l'autorisation de présence délivrée par le lycée (ou l'école) et la convention tripartite, doivent être transmis par l'établissement au poste consulaire pour validation préalable. Ce dernier transmet ensuite les pièces à la sous-direction de l'aide à la scolarité de l'AEFE, en charge du traitement administratif et financier du dossier.

L'aide au financement attribuée à la famille est versée à l'établissement par la sous-direction d'aide à la scolarité de l'AEFE en fonction des bases salariales localement en vigueur et des crédits spécifiques alloués annuellement à l'Agence. Afin d'assurer un suivi rigoureux de l'utilisation des sommes ainsi octroyées, il est préconisé aux établissements de reverser progressivement l'aide aux familles (mensuellement, trimestriellement par exemple), sur attestation par l'AESH du versement de sa rémunération.

4.4. Dérogation

Si la MDPH tardait à émettre un avis, le poste pourrait toutefois, à titre dérogatoire, proposer la mise en place d'une bourse, à condition que :

- i) les familles aient effectivement entrepris les démarches auprès de la MDPH et soient dans l'attente d'une réponse. Une copie du formulaire de dépôt de dossier au poste diplomatique qui procède à son envoi (ou une copie du récépissé AR de l'envoi par la famille) sera demandé ;
- ii) l'aide financière constitue un élément déterminant pour la scolarisation de l'enfant concerné ;
- iii) le diagnostic du médecin-conseil du poste reconnaît l'existence d'un handicap, et que la famille s'engage à rembourser les frais si la MDPH ne reconnaît pas le besoin d'une AESH. Cet engagement formel mentionnera en outre que la dérogation accordée de manière exceptionnelle par l'AEFE, ne pourra être reconduite l'année suivante.

4.5. Les activités et missions de l'accompagnant à la scolarité d'un élève en situation de handicap

L'action de ces personnels vient en complément des aménagements et adaptations mis en œuvre par l'enseignant. Les interventions de l'enseignant et de l'AESH sont coordonnées et complémentaires.

Deux types d'aide humaine sont possibles en fonction des besoins de l'élève : l'aide individuelle et l'aide mutualisée.

- **L'aide individuelle** a pour objet de répondre aux besoins d'élèves qui requièrent une attention soutenue et continue, sans que la personne qui apporte l'aide puisse concomitamment apporter son aide à un autre élève en situation de handicap.
- **L'aide mutualisée** est destinée à répondre aux besoins d'accompagnement d'élèves qui ne requièrent pas une attention soutenue et continue.

Trois grands domaines regroupent les différentes activités permettant l'accompagnement des élèves en situation de handicap sur tous les temps et lieux scolaires :

- l'accompagnement dans les actes de la vie quotidienne ;
- l'accompagnement dans l'accès aux activités d'apprentissage ;
- l'accompagnement dans les activités de la vie sociale et relationnelle.

Un guide des activités et du rôle de l'AESH a été établi dans le cadre des travaux de l'Observatoire des élèves à besoins éducatifs particuliers (Obep) installé par l'Agence en juin 2016.

Voir sur le site de l'AEFE : [Guide de l'accompagnant des élèves en situation de handicap \(AESH\) dans le réseau EFE](#)

4.6. Le matériel pédagogique adapté

La scolarité d'un élève en situation de handicap peut être facilitée par l'utilisation de matériel pédagogique adapté. Pour les élèves des établissements d'enseignement français à l'étranger, ce matériel est à la charge de la famille.

Pour les élèves de nationalité française en situation de handicap reconnue et notifiée par une MDPH, la nécessité pour un élève de disposer de ce matériel est appréciée par l'équipe pluridisciplinaire et décidée par la CDAPH.

Dans le cadre du document de mise en œuvre du projet personnalisé de scolarisation, le type de matériel pédagogique adapté ainsi que son utilisation doivent être précisés.

5. Les élèves de nationalité étrangère relevant de la définition du handicap telle que portée par la loi

de 2005

Ces élèves ne relèvent pas de la procédure de saisine décrite ci-dessus. L'analyse de leurs besoins de compensation et d'adaptation n'en reste pas moins essentielle.

La direction de l'établissement pourra s'appuyer sur les structures et compétences médicales locales pour la reconnaissance du handicap. Elle coordonne en outre toutes les expertises à sa disposition pour déterminer les aménagements ou l'accompagnement les plus adaptés à l'élève. Les mêmes enjeux de continuité et de cohérence du parcours scolaire se posent donc à la communauté éducative, même s'ils ne sont pas régis par les mêmes règles. Les établissements peuvent cependant recourir aux outils produits par le ministère chargé de l'éducation et la CNSA.

Les besoins de compensation et d'adaptation doivent s'organiser et s'inscrire dans le cadre d'un document formalisé signé par toutes les parties après accord de l'élève et de sa famille.

6. Les élèves à besoins éducatifs particuliers

La mise en place d'un accompagnement pédagogique s'organise dans le cadre d'équipes éducatives en charge de la conception et de la mise en œuvre collaborative de ces différents dispositifs. C'est un préalable indispensable.

Dans le cadre de la loi précitée et du déploiement du service public de l'École inclusive, le parcours de scolarisation des élèves à besoins éducatifs particuliers s'organise sur la base des dispositifs suivants :

6.1. Programme personnalisé de réussite éducative

Le programme personnalisé de réussite éducative (PPRE) est défini à l'article D. 311-12 du Code de l'éducation et concerne les élèves qui risquent de ne pas maîtriser certaines connaissances et compétences attendues à la fin d'un cycle d'enseignement. Il permet de coordonner des actions pour apporter une réponse efficace à la prise en charge de difficultés rencontrées par les élèves dans l'acquisition des connaissances et des compétences du socle commun.

Il s'organise dans le cadre d'une prise en charge personnalisée et peut intervenir à n'importe quel moment de la scolarité obligatoire. Un plan coordonné d'actions est conçu pour répondre aux besoins de l'élève, allant de l'accompagnement pédagogique différencié conduit en classe aux aides spécialisées ou complémentaires. Il est élaboré par l'équipe pédagogique, discuté avec les parents et présenté à l'élève.

6.2. Plan d'accompagnement personnalisé

Le plan d'accompagnement personnalisé (PAP) est inscrit à l'article L. 311-7 du Code de l'éducation et précisé aux articles D. 311-13 et 13-1 du même code. Il concerne les élèves du premier comme du second degré qui connaissent des difficultés scolaires durables ayant pour origine un ou plusieurs troubles des apprentissages et pour lesquels des aménagements et adaptations de nature pédagogique sont nécessaires. C'est un dispositif d'accompagnement pédagogique qui permet à l'élève de suivre les enseignements prévus au programme correspondant au cycle dans lequel il est scolarisé.

Il peut être mis en place soit sur proposition du conseil des maîtres ou du conseil de classe soit, à tout moment de la scolarité, à la demande de l'élève majeur, ou de ses parents s'il est mineur. Après avis médical, le PAP est élaboré par l'équipe pédagogique qui associe les parents et les professionnels concernés. La mise en œuvre du PAP est assurée par les enseignants au sein de la classe. Dans le second degré, le professeur principal peut jouer un rôle de coordination.

6.3. Projet d'accueil individualisé pour raison de santé

Le projet d'accueil individualisé pour raison de santé (PAI) dans la [circulaire du 10-2-2021 MENJS - DGESCO C2-CT](#) vise à garantir un accueil et un accompagnement individualisés des enfants et des adolescents atteints de troubles physiques ou psychiques évoluant sur une longue période nécessitant des aménagements.

Il est élaboré avec le jeune et ses responsables légaux. Il définit les adaptations nécessaires pour faciliter l'accueil de l'enfant ou de l'adolescent. Il indique, si nécessaire, les régimes alimentaires, aménagements d'horaires, les dispenses de certaines activités. Il fixe les conditions d'interventions éventuelles médicales ou paramédicales des partenaires extérieurs.

Ce dispositif est compatible avec la mise en place d'un PPRE, d'un PAP ou d'un PPS.

6.4. Le matériel pédagogique adapté

L'équipe de suivi préconise le matériel pédagogique adapté afin d'optimiser l'accessibilité aux savoirs et compétences attendus. L'acquisition de ce matériel est à la charge des familles.

7. L'enseignement à distance - Le Centre national d'enseignement à distance

Le Centre national d'enseignement à distance (Cned) propose deux types de parcours pour les élèves à besoins éducatifs particuliers :

- des cours en classe complète à inscription réglementée qui s'adressent aux élèves qui ne peuvent pas fréquenter un établissement scolaire du fait de leur situation ;

- des cours à la carte à inscription réglementée qui s'adressent aux élèves qui ne peuvent suivre leur scolarité à temps plein.

Le recours à l'enseignement à distance constitue en soi une adaptation du parcours de l'élève, que celui-ci soit complet ou partiel. Il n'est pas adapté à l'ensemble des situations de handicap et un accompagnement complémentaire (aide individuelle) ainsi qu'un équipement informatique spécifique peuvent s'avérer nécessaires.

En tout état de cause, l'inscription réglementée au Cned est soumise à un avis favorable du conseiller de coopération et d'action culturelle de l'ambassade de France du pays de résidence.

8. Les aménagements d'examen nationaux français et la dispense d'enseignement

Le décret n° 2020-1523 du 4 décembre 2020 et la circulaire du 8 décembre du ministère chargé de l'éducation relative aux aménagements des épreuves d'examen (« Organisation de la procédure et adaptations et aménagements des épreuves d'examen et concours pour les candidats en situation de handicap ») précisent les modalités et l'organisation de la demande d'aménagement d'examen. Ces textes formalisent la simplification de la procédure de demande qui se traduit par deux procédures distinctes de demande d'aménagements des épreuves d'examen :

- une procédure simplifiée à destination d'élèves à besoins éducatifs particuliers bénéficiant d'un PAP, d'un PAI et d'un PPS ;
- une procédure complète pour tous les autres élèves.

L'annexe 3 de la note de service AEFÉ relative à l'organisation des examens dans les établissements français à l'étranger (EFE) précise les dispositions dans le cadre des EFE.

Voir sur le site de l'AEFE : [Aménagements d'épreuves d'examen et dispenses d'enseignement \(annexe 3 de la note de service sur l'organisation des examens dans les EFE\)](#)

Des formulaires de demande d'aménagements sont à utiliser selon la situation :

- Formulaire de la procédure simplifiée pour le DNB ;
- Formulaire de la procédure complète pour le DNB ;
- Formulaire de la procédure simplifiée pour le baccalauréat ;
- Formulaire de la procédure complète pour le baccalauréat.

Voir sur le site de l'AEFE : [Formulaires de demande d'aménagements des épreuves d'examen en cas de handicap ou de trouble de la santé](#)

9. Orientation et affectation dans l'enseignement secondaire en France

La réglementation relative à la dispense d'enseignement y est également précisée dans l'annexe 3.

Un horaire dédié à l'orientation est prévu à l'emploi du temps de tous les élèves à partir de la classe de 4e, au lycée général et technologique et au lycée professionnel. Les actions proposées sont organisées et adaptées aux besoins de chaque élève qu'il soit ou non en situation de handicap. Elles comprennent des activités de découverte, d'apprentissage des compétences à s'orienter et un accompagnement personnalisé aux choix d'orientation.

Les phases d'orientation doivent mobiliser l'élève, sa famille, l'ensemble des membres de l'équipe en charge du suivi du parcours de l'élève à besoins éducatifs particuliers, et requièrent une préparation spécifique menée très en amont des procédures de fin d'année.

La procédure d'orientation en fin de classe de 3e pour les élèves en situation de handicap relève du droit commun sans aucune exclusion de filières. Une visite médicale en cours d'année est recommandée lorsque le projet professionnel d'un élève en situation de handicap est envisagé dans les filières professionnelles.

L'affectation des élèves au lycée en cas de retour en France est prononcée par l'inspecteur d'académie-directeur académique des services de l'éducation nationale (IA-Dasen) agissant par délégation du recteur d'académie. Elle intervient après la décision définitive d'orientation.

L'outil Affelnet-lycée, accessible par les établissements français à l'étranger via le [portail Affelmap](#), permet la saisie des vœux d'affectation des élèves dans un établissement en France. La procédure d'affectation est gérée au niveau académique. Les critères et barèmes retenus traduisent pour un territoire donné les axes prioritaires de la politique éducative d'affectation ainsi que les dispositions particulières pour la prise en compte des élèves en situation de handicap.

De façon à assurer à chaque élève le droit à une scolarisation en milieu ordinaire et à un parcours scolaire continu et adapté, une commission préparatoire à l'affectation présidée par l'IA-Dasen ou son représentant, statue sur la priorité médicale de la situation de handicap ou de santé. Une priorité d'affectation est attribuée sur l'un des vœux formulés en tenant compte des indications et contre-indications médicales, comme des éléments pédagogiques du dossier. Dans toute la mesure du possible, pour une admission en seconde générale et technologique, chaque enfant est inscrit dans l'établissement relevant de la commune dans laquelle ses

parents ont une résidence ou dans celle du domicile de la personne qui en a la garde. Lorsqu'il s'agit d'une orientation en voie professionnelle, il est tenu compte du choix de spécialité, des indications ou contre-indications médicales et de la proximité de l'établissement avec le lieu de soin ou du domicile.

La scolarisation avec l'appui d'une unité localisée pour l'inclusion scolaire lycée (Ulis) est subordonnée à la décision d'orientation prise par la CDAPH.

Pour une admission dans l'enseignement supérieur en France (Parcoursup), les candidats en situation de handicap peuvent se signaler via la plateforme de saisie des candidatures. Une fiche de liaison est mise à disposition pour préciser les modalités d'accompagnement qui ont été précédemment mises en place dans le secondaire. Cette fiche n'est pas transmise aux établissements pour l'examen du dossier. Le candidat la communique donc au référent handicap de l'établissement dans lequel il est admis. Ensemble, ils évaluent les besoins et les aménagements à mettre en place à la rentrée.

Si les modalités d'accueil afférentes à la formation acceptée ne s'avèrent pas compatibles avec la situation ou les besoins particuliers du candidat (ou en cas de refus de l'établissement visé), la **loi n° 2018-166 du 8 mars 2018** prévoit un droit de saisine particulier de l'autorité académique pour demander le réexamen de la situation et obtenir le cas échéant, et sur décision du recteur, une affectation dans la formation de son choix compatible avec ses besoins.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Édouard Geffray

Pour le ministre de l'Europe et des Affaires étrangères, et par délégation,
Le directeur général de la mondialisation, de la culture, de l'enseignement et du développement international,
Michel Miraillet

Annexe 1 - Diplôme national du brevet - Tableau des académies de rattachement des centres étrangers - Session 2021 (BOEN n° 47 du 10-12-2020)

Groupes	Académies de rattachement	Pays des centres étrangers
Groupe I	Aix-Marseille	Algérie - Tunisie
	Bordeaux	Maroc
	Grenoble	Arabie Saoudite - Bahreïn - Égypte - Émirats arabes unis - Éthiopie - Djibouti - Iran - Jordanie - Koweït - Oman - Qatar
	Lille	Belgique - Danemark - Finlande - Irlande - Luxembourg - Norvège - Pays-Bas - Royaume-Uni - Suède
	Lyon	Bulgarie - Chypre - Grèce - Israël - Italie - Roumanie - Serbie - Turquie
	Nantes	Bénin - Cameroun - Gabon - Ghana - Guinée équatoriale - Niger - Nigéria - Togo - République centrafricaine - République démocratique du Congo - République du Congo - Tchad
	La Réunion	Afrique du Sud - Angola - Burundi - Comores - Kenya - Madagascar - Maurice - Mozambique - Ouganda - Seychelles - Zimbabwe - Tanzanie - Zambie
	Rouen	Burkina Faso - Côte d'Ivoire - Gambie - Guinée Conakry - Mali - Mauritanie - Sénégal
	Siec	Liban - Syrie
	Strasbourg	Allemagne - Autriche - Azerbaïdjan - Bosnie-Herzégovine - Croatie - Géorgie - Hongrie - Lituanie - Ouzbékistan - Pologne - République tchèque - Russie - Slovaquie - Slovénie - Suisse - Ukraine
	Toulouse	Espagne - Portugal
Caen	Canada - États-Unis	
Bordeaux	Brasilia (Brésil) - Colombie - Équateur - Venezuela	

Groupe II	Martinique	Cuba - Guatemala - Haïti - Honduras - Mexique - Nicaragua - Panama - Paraguay - République dominicaine - Salvador
	Montpellier	Australie - Bangladesh - Birmanie - Cambodge - Chine - Corée du Sud - Inde - Indonésie - Japon - Laos - Malaisie - Népal - Philippines - Singapour - Taïwan - Thaïlande - Vietnam
	Nouvelle-Calédonie	Vanuatu
	Poitiers	Argentine - Bolivie - Brésil (sauf Brasilia) - Chili - Costa Rica - Pérou - Uruguay

Annexe 2 - Diplôme du baccalauréat - Tableau de rattachement des centres de baccalauréat (*) ouverts à l'étranger - Session 2021 (BOEN n° 49 du 24-12-2020)

Groupes	Académies de rattachement	Pays des centres étrangers
Groupe I	Aix-Marseille	Algérie - Tunisie
	Bordeaux	Maroc
	Grenoble	Arabie Saoudite - Bahreïn - Djibouti - Égypte - Émirats arabes unis - Éthiopie - Iran - Jordanie - Koweït - Qatar
	Lille	Belgique - Danemark - Irlande - Luxembourg - Norvège - Pays-Bas - Royaume-Uni - Suède
	Lyon	Bulgarie - Chypre - Grèce - Israël - Italie - Roumanie - Serbie - Turquie
	Nantes	Bénin - Cameroun - Congo - Gabon - Ghana - Niger - Nigéria - République centrafricaine - République démocratique du Congo - Tchad - Togo
	La Réunion	Afrique du Sud - Angola - Kenya - Madagascar - République de Maurice
	Rouen	Burkina Faso - Côte d'Ivoire - Guinée - Mali - Mauritanie - Sénégal
	Strasbourg	Allemagne - Autriche - Géorgie - Hongrie - Lituanie - Pologne - République tchèque - Russie - Suisse - Ukraine
	Toulouse	Espagne - Portugal
Groupe II	Bordeaux	Brésil (uniquement Brasilia) - Colombie - Cuba - Équateur - El Salvador - Guatemala - Haïti - Honduras - Mexique - Nicaragua - Panama - Paraguay - République dominicaine - Venezuela
	Caen	Canada - États-Unis
	Montpellier	Australie - Cambodge - Chine - Corée du Sud - Indonésie - Inde - Japon - Laos - Malaisie - Philippines - Singapour - Thaïlande - Taïwan - Vietnam
	Nouvelle-Calédonie	Vanuatu
	Poitiers	Argentine - Bolivie - Brésil (sauf Brasilia) - Chili - Costa Rica - Pérou - Uruguay
	Siec	Liban
	Nouvelle-Calédonie	Vanuatu

(*) centres d'épreuves anticipées ou centres d'épreuves anticipées et terminales

Enseignements primaire et secondaire

Brevet de technicien métiers de la musique

Programme préparatoire à l'épreuve A2 - session 2022

NOR : MENE2121016N

note de service du 12-7-2021

MENJS - DGESCO C1-3

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux cheffes et chefs d'établissement ; aux professeuses et professeurs

Références : arrêté du 22-4-1966 ; arrêté du 18-1-1969 modifié

La seconde partie de l'épreuve A2 (histoire de la musique et critique d'enregistrement) du brevet de technicien métiers de la musique fait l'objet d'une question choisie dans un programme limitatif annuel de thèmes musicaux. Pour l'année scolaire 2021-2022, en vue de la session 2022, le programme limitatif à étudier est constitué des deux thèmes suivants :

- « Les compositeurs européens de musique savante tournant leur regard sur le jazz », qui est la reconduction de l'un des deux thèmes de la session 2021 ;
- « La polyphonie de la fin du XVe à la fin du XVIe siècle », qui est un nouveau thème.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,

Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,

Le chef du service de l'accompagnement des politiques éducatives, adjoint au directeur général,

Didier Lacroix

Enseignements primaire et secondaire

Établissements d'enseignement français à l'étranger

Homologation et suivi - année scolaire 2021-2022

NOR : MENC2120980N

note de service du 23-7-2021

MENJS - DREIC - DIVSS

Texte adressé au ministre de l'Europe et des Affaires étrangères ; aux ambassadeurs et ambassadrices ; au directeur de l'Agence pour l'enseignement français à l'étranger (AEFE) ; aux cheffes et chefs d'établissement du réseau homologué ; aux recteurs et rectrices

Vu Code de l'éducation, notamment articles L. 451-1, R. 451-1 à R. 451-14, D. 531-45 à D. 531-51

Les établissements d'enseignement français homologués par le ministère en charge de l'éducation forment un réseau en développement qui scolarise plus de 370 000 élèves français et étrangers dans 138 pays et 540 établissements. Plus de soixante nouveaux établissements ont rejoint le réseau depuis 2019. Ce développement s'inscrit dans la dynamique initiée par le Plan langue française et plurilinguisme qui fixe comme objectif le doublement des effectifs à l'horizon 2030.

Les établissements homologués permettent de suivre une scolarité à l'étranger sur programmes français dans le respect des valeurs et des exigences du système éducatif français. Ils ont vocation à accueillir des élèves français et étrangers. La scolarité dans ces établissements permet l'acquisition par tous les élèves des savoirs fondamentaux, en particulier la maîtrise de la langue française mais aussi d'au moins deux langues étrangères dans une approche pluriculturelle. Ils forment des futurs citoyens qui prennent conscience de leurs droits, de leurs devoirs, de leurs responsabilités. Ils préparent les élèves à leur avenir professionnel. Ils favorisent l'ouverture sur le monde et l'épanouissement par une attitude bienveillante envers tous les élèves, dans une démarche inclusive. Ils constituent des lieux d'échanges avec les pays qui les accueillent. Le réseau des établissements homologués contribue, par son action, au rayonnement de la France à l'étranger.

L'homologation garantit aux élèves et à leur famille un parcours de qualité en français et sur programmes français. Elle permet la poursuite d'études et la délivrance de diplômes, à l'égal d'une scolarité effectuée dans un établissement en France, et favorise la mobilité dans le réseau de l'enseignement français à l'étranger et sur le territoire français. Elle permet aux établissements de bénéficier d'un accès privilégié à des services pédagogiques et de formation délivrés par la France. Les établissements sont invités à s'inscrire dans une démarche d'auto-évaluation afin de préparer le renouvellement de leur homologation intervenant tous les cinq ans. Par leur engagement permanent, ils adhèrent au cahier des charges de l'homologation.

La présente note de service précise le cahier des charges renouvelé de l'attribution de l'homologation et du suivi des établissements d'enseignement français à l'étranger.

I. L'homologation des établissements d'enseignement français à l'étranger

1.1 Définition

L'homologation des établissements d'enseignement français à l'étranger est la procédure par laquelle le ministère en charge de l'éducation atteste et reconnaît que des établissements scolaires situés à l'étranger dispensent un enseignement conforme aux principes, aux programmes et à l'organisation pédagogique du système éducatif français. L'attribution de l'homologation s'effectue en accord avec le ministère de l'Europe et des Affaires étrangères (MEAE).

1.2 Principes et critères

Pour être homologués, les établissements doivent respecter les principes et les critères énoncés ci-dessous, compte tenu de la législation locale et des accords signés avec les pays d'accueil.

Principes, programmes et valeurs du système éducatif français

L'établissement met en œuvre les principes et les valeurs du système éducatif français. La scolarité est organisée en cycles pour lesquels les établissements appliquent les objectifs, les volumes horaires et les programmes du ministère en charge de l'éducation.

Des aménagements peuvent être apportés pour tenir compte des conditions particulières dans lesquelles s'exerce leur activité et pour renforcer leur coopération avec les systèmes éducatifs des pays d'accueil.

L'organisation de l'année scolaire tient également compte des conditions géographiques et de la législation de l'État dans lequel l'établissement est situé.

Ces aménagements et cette organisation ne doivent toutefois pas avoir pour effet de réduire les volumes annuels d'heures d'enseignement ni les programmes. Les établissements veillent, pour l'équilibre de l'élève, à ne pas surcharger les emplois du temps.

L'établissement peut compléter son offre de formation, notamment dans le cadre des enseignements de spécialité au lycée, en faisant ponctuellement appel au Centre national d'enseignement à distance (Cned). L'établissement respecte les principes de gouvernance et de gestion de tout établissement scolaire français et met en place les instances du système éducatif français dans le respect de la réglementation locale. Le projet d'établissement ou d'école définit les conditions particulières de mise en œuvre des programmes. Il précise les moyens déployés pour assurer la réussite de tous les élèves et associer les parents à ces objectifs. Élaboré en commun par les différents membres de la **communauté éducative**, il est adopté par le conseil d'école ou le **conseil d'administration**/conseil d'établissement.

Place et maîtrise de la langue française

Au sein des établissements homologués, la langue de l'enseignement et des examens est le français. La maîtrise de la langue française est un objectif fondamental du système éducatif français. Elle est la langue des instances, des échanges et plus généralement de la vie de l'établissement ou de la section. Si pour des raisons administratives, le français n'est pas la seule langue utilisée, il convient que les comptes rendus et la communication demeurent également rédigés en français.

Les établissements encouragent les activités périscolaires et extrascolaires permettant d'accroître l'exposition à la langue française dans différents contextes. Chaque discipline/domaine d'enseignement doit rester majoritairement dispensé en langue française, à l'exception du domaine disciplinaire Français qui reste dispensé en français.

Politique linguistique plurilingue

Dans le cadre du projet d'école et/ou d'établissement, les écoles et établissements sont invités à proposer une politique linguistique plurilingue et des parcours adaptés aux profils des élèves en veillant à l'équilibre entre l'enseignement en français et l'enseignement en langues étrangères.

L'enseignement de et en langue(s) étrangère(s) prend en compte les obligations des autorités locales et la signature des accords intergouvernementaux.

Deux heures hebdomadaires supplémentaires peuvent être accordées par dérogation par l'AEFE dans le primaire pour l'apprentissage de la langue du pays dans lequel l'établissement est implanté.

Les établissements homologués sont invités à inscrire leurs parcours en langues dans le cadre des dispositifs du ministère en charge de l'éducation. L'ouverture de sections européennes ou sections de langues orientales, des sections internationales et des baccalauréats binationaux font l'objet d'une demande spécifique.

Personnels qualifiés et régulièrement formés

Exercent dans ces établissements des personnels d'encadrement et des enseignants titulaires du ministère en charge de l'éducation (et/ou des enseignants des établissements privés sous contrat, en position de disponibilité), des personnels titulaires d'un master métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation (MEEF) ainsi que des personnels qualifiés recrutés localement. Les personnels employés par l'établissement disposent de contrats de travail respectant la réglementation locale en matière de droit du travail.

L'établissement est engagé dans une politique de formation régulière de ses personnels au système éducatif français, de certification et de diplomation.

Évaluations, préparation et passation des examens français

Les établissements font passer les évaluations (évaluations nationales, tests de positionnement), les certifications et les attestations du système éducatif français. Les établissements préparent et présentent les élèves aux épreuves du diplôme national du brevet (DNB) et du baccalauréat.

Existence de locaux et équipements adaptés aux exigences pédagogiques

Les locaux et les équipements des niveaux et des filières d'enseignement concernés sont adaptés aux exigences pédagogiques, à l'accueil des élèves à besoins éducatifs particuliers et au respect des règles de sécurité. Les établissements, une fois homologués, rédigent un plan particulier de mise en sûreté (PPMS), visé par l'ambassade de France concernée.

1.3 Perspectives offertes par l'homologation

Les élèves peuvent :

- poursuivre un parcours sur programme français ;
- intégrer, sans examen de contrôle en France, un établissement public ou un établissement privé sous contrat d'association avec l'État et à l'étranger, un autre établissement d'enseignement français homologué dans les limites de ses capacités d'accueil ;
- se présenter et passer les diplômes français en candidat scolaire ;
- solliciter une bourse scolaire (selon les modalités en vigueur) s'ils sont de nationalité française.

Les personnels peuvent :

- participer au plan de formation du réseau homologué selon les besoins identifiés ;

- bénéficiaire de l'accompagnement des inspecteurs de l'éducation nationale, de formateurs titulaires de l'éducation nationale et des postes diplomatiques.

Les établissements intègrent un réseau et peuvent :

- participer aux actions proposées par le ministère en charge de l'éducation, par le ministère de l'Europe et des Affaires étrangères (MEAE), l'AEFE ou la Mission laïque française (Mlf) ;
- recruter des personnels titulaires de l'éducation nationale par la voie du détachement, afin qu'ils exercent leurs fonctions dans les seules classes homologuées. Il est rappelé que l'homologation n'implique pas le droit automatique au détachement de personnels titulaires du ministère en charge de l'éducation, les demandes de détachement restant soumises à l'appréciation et à l'accord de ce ministère. Le calendrier et les procédures relatives aux détachements font l'objet d'une note distincte. Les détachements sont prononcés par la direction générale des ressources humaines (DGRH) du MENJS en fonction de la ressource disponible.

II. Procédure de demande d'homologation

La procédure d'homologation est coordonnée par la délégation aux relations européennes et internationales et à la coopération (Dreic).

Depuis 2019, la procédure d'homologation a été modifiée et simplifiée :

- les délais ont été raccourcis permettant aux établissements de déposer un dossier dès la première année de fonctionnement de l'établissement s'ils répondent aux critères ;
- les demandes d'extension sont facilitées en réduisant le nombre de dépôts de dossiers puisqu'elles peuvent être déposées pour la totalité d'un cycle ou d'un niveau d'enseignement ;
- les dossiers de candidature ont été revus et les questionnaires adaptés à chaque niveau d'enseignement demandé (école/collège/lycée) ;
- le recours au Centre national d'enseignement à distance (Cned) est encouragé pour accompagner le développement de l'établissement dans le second degré ;
- les porteurs de projet peuvent bénéficier d'un accompagnement et sont invités à se rapprocher des postes diplomatiques pour en connaître les modalités.

2.1 Dépôt des dossiers

Une attention particulière est portée aux dossiers déposés qui doivent présenter des garanties au niveau du fonctionnement des classes concernées, de personnels qualifiés et de nombre d'élèves afin d'assurer la pérennité des établissements qui seront retenus.

2.1.1 Première demande d'homologation

Dès la première année de fonctionnement, les établissements/les sections peuvent déposer un dossier de première demande d'homologation. Ils peuvent toutefois attendre une ou plusieurs années de plein fonctionnement avant de déposer un dossier.

La demande d'homologation porte sur un niveau scolaire en cohérence avec le système éducatif français. Il est recommandé aux établissements de déposer d'abord une demande d'homologation portant sur les classes de maternelle (cycle 1, cycle des apprentissages premiers du système éducatif français) ou s'il s'agit d'un établissement du second degré de déposer une demande pour l'homologation du collège.

L'homologation peut concerner un établissement ou une section au sein d'un établissement.

2.1.2 Extension d'homologation

Les établissements déjà homologués déposent un dossier de demande d'extension dès lors qu'ils souhaitent obtenir l'homologation pour d'autres niveaux en fonctionnement.

L'homologation est demandée progressivement en privilégiant les niveaux complets (maternelle-élémentaire-collège-lycée) à l'aide d'un formulaire adapté afin de réduire le nombre de dépôts de demande, en cohérence avec l'organisation du système éducatif français (cycle) et la structure pédagogique de l'école/l'établissement.

Demandes d'extension pour le premier degré (primaire)

Les établissements déjà homologués pour les classes maternelles peuvent déposer une demande d'extension pour les classes de l'élémentaire (CP-CM2) ou pour le cycle 2 et/ou le cycle 3 (dès lors que la classe de 6e est en fonctionnement).

Si un établissement/une école souhaite déposer une demande pour un cycle pour lequel il est déjà partiellement homologué (par exemple la petite section alors qu'il est déjà homologué pour les classes de grande et moyenne section), il dépose alors une demande simplifiée d'homologation (questionnaire, emploi du temps et qualification des personnels, équipement) dans le cadre de la présente campagne.

Nota bene : pour les établissements déjà homologués pour la petite section, la reconnaissance de la très petite section (TPS) s'effectue sur la base d'un avis de l'IEN (inséré sur la plateforme de suivi). L'AEFE en informe le poste diplomatique et le MENJS. L'information est reportée dans la base Mage et sur la plateforme de suivi. Elle ne fait pas l'objet d'un avis spécifique de la commission interministérielle d'homologation (CIH).

Demandes d'extension pour le second degré (collège-lycée)

Collège

L'organisation du collège puis du lycée obéit dans le système éducatif français à une organisation pédagogique, une qualification des personnels et des instances différentes du premier degré.

À ce titre, la classe de 6e a un statut particulier puisque cette classe est la dernière classe du cycle 3 mais s'inscrit dans la logique du second degré.

Il est conseillé aux établissements souhaitant créer progressivement un collège sur programmes français de déposer dans un premier temps un dossier pour la classe de 6e, puis de solliciter l'homologation du cycle 4.

Lycée

Le lycée requiert, au regard de l'offre d'enseignements de spécialité, un personnel enseignant qualifié et des équipements spécifiques.

Les établissements peuvent déposer un dossier pour la voie générale ou technologique. La demande précise les enseignements de spécialité et, pour la voie technologique, la série concernée.

Cned et demande d'homologation

Il est conseillé aux établissements ayant peu d'effectifs d'avoir recours au Cned pour développer une offre d'enseignement avant de déposer une demande d'homologation notamment dans le second degré.

Pour faciliter la transition entre le Cned et l'homologation et permettre aux élèves de garder le statut scolaire, l'établissement peut conserver l'inscription des élèves des classes à examen uniquement (3e ou 1re ou terminale) en Cned réglementé, l'année durant laquelle il sollicite une demande d'homologation.

Une fois homologués pour le lycée, les établissements peuvent faire évoluer leur offre d'enseignements de spécialité de la voie générale en soumettant un dossier selon les modalités décrites dans la [note de service sur les demandes d'ouverture de centres d'examen, sections, enseignements de spécialité, options, séries de la voie technologique](#) publiée par l'AEFE. Cela ne fait pas l'objet d'une demande d'extension d'homologation.

Nota bene : les établissements en année probatoire (cf. III.2.3.) ne peuvent pas déposer de dossiers d'extension d'homologation.

Fusion/scission

L'AEFE notifie le MENJS des projets de fusion ou de scission en vue de la CIH. Si la gouvernance et/ou le statut est/sont modifié(s) et/ou si la fusion s'effectue avec un établissement non homologué, l'établissement est notifié de la nécessité d'un dépôt de première demande d'homologation en tant que nouvelle entité selon les procédures en vigueur. Dans les autres cas, l'établissement est placé au suivi si les conditions d'attribution de l'homologation ne sont pas modifiées. L'avis est rendu par la commission interministérielle d'homologation.

2.2 Évaluation des dossiers par les services du ministère en charge de l'éducation

Seuls les dossiers complets, ayant reçu un avis favorable du MEAE, sont transmis, pour instruction, au ministère en charge de l'éducation. Les établissements dont les dossiers n'ont pas été transmis par le MEAE au MENJS ne peuvent se prévaloir des possibilités ouvertes par la demande d'homologation.

L'analyse pédagogique et administrative des dossiers d'homologation est réalisée, sous la coordination de la délégation aux relations européennes et internationales et à la coopération (Dreic) et en lien avec la direction générale de l'enseignement scolaire (Dgesco) et la direction générale des ressources humaines (DGRH) par l'Inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche.

L'évaluation des demandes est réalisée au regard des principes et des critères de l'homologation sur la base du dossier d'homologation et d'un rapport d'inspection diligentée *in situ*. Les rapport(s) d'inspection sont rédigés par un inspecteur détaché (IEN ou IA-IPR) auprès de l'AEFE (ou par un IA-IPR dans le cadre d'une extension de compétences) ou, dans certains cas, par un inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche. Pour les demandes d'extension, le MENJS peut autoriser, dans des circonstances définies, publiées sur Éduscol et transmises par voie diplomatique, le recours à un audit à distance.

2.3 Commission interministérielle et publication des résultats

Après examen des dossiers présentés, les avis sont rendus par la commission interministérielle d'homologation (CIH), présidée par le délégué aux relations européennes et internationales et à la coopération, représentant le ministre chargé de l'éducation nationale. L'avis est rendu par cycle (voir cas particulier pour la classe de 6e).

La liste officielle des établissements d'enseignement français à l'étranger est établie par le ministre chargé de l'éducation nationale et le ministre de l'Europe et des Affaires étrangères. Elle donne lieu à la publication d'un arrêté publié au Journal officiel de la République française.

La direction générale de la mondialisation, de la culture, de l'enseignement et du développement international (DGM) du MEAE notifie les avis et les recommandations de la commission par courrier formel aux postes diplomatiques. Ceux-ci informent les établissements concernés et suivent la mise en œuvre des recommandations émises lors de la CIH.

L'homologation entre en vigueur à compter de la rentrée scolaire suivante.

Nota bene : les établissements souhaitant déposer un dossier de première demande d'homologation ou d'extension d'homologation sont invités à prendre l'attache des postes diplomatiques en amont de tout dépôt de candidature.

Ces derniers les informeront, sur la base de la présente note, des modalités d'attribution de l'homologation et des prestations qui peuvent être proposées par l'AEFE ou la Mif afin de préciser et préparer leur projet

pendant une à deux années précédant le dépôt de candidature et former leurs personnels. Les établissements bénéficiant d'un accompagnement pourront communiquer sur cette procédure selon les chartes et logos proposés par l'AEFE et la Mlf.

Cet accompagnement ne présage toutefois pas de l'obtention de l'homologation par le ministère en charge de l'éducation.

Les établissements peuvent reporter sur leurs supports de communication la mention « établissement candidat à l'homologation » dès lors qu'ils ont déposé un dossier d'homologation et que celui-ci a été transmis au MENJS.

III. Procédure de suivi et de renouvellement de l'homologation

3.1 Engagements liés à l'homologation

Une fois homologués, les établissements s'engagent à :

- répondre aux principes et aux critères de l'homologation (voir *infra*) ;
- faire partie du réseau de l'enseignement français à l'étranger homologué ;
- assurer la visibilité de la langue française et des programmes français ;
- proposer une communication en français ;
- faire figurer sur leurs supports de communication (site Internet, brochures, etc.) la mention « homologation par le ministère français chargé de l'éducation » en précisant les classes. Les mentions légales, le visuel et la charte d'utilisation sont disponibles sur le site Éduscol à l'adresse <https://eduscol.education.fr/925/suivi-et-contrôle-de-l-homologation> ;
- rédiger un PPMS, visé par l'ambassade de France ;
- répondre aux enquêtes diligentées par l'AEFE, en particulier l'enquête de rentrée sur l'application Mage et à s'inscrire dans le cadre des notes de service publiées par l'AEFE ;
- faire participer les personnels au plan de formation du réseau homologué en fonction des besoins identifiés et aux actions proposées par le poste diplomatique, à faire certifier dans la mesure du possible les compétences des personnels, à mettre en place une cellule de formation et à tenir à jour un tableau de bord des actions de formation (y compris les formations internes) ;

Pour les niveaux concernés, une priorité est à accorder à la formation et à la diplomation des enseignants néo-recrutés, aux enjeux de la maternelle et à la réforme du baccalauréat. Les actions de formation s'inscrivent prioritairement dans le cadre du plan de formation de l'AEFE en lien avec la Mlf et permettront de professionnaliser les personnels, d'accompagner les besoins individuels et de garantir un niveau général d'exigence et de qualité. Les initiatives locales de l'établissement en matière de formation s'inscrivent en complémentarité du plan de formation continue de la zone et sont mentionnées dans le tableau de bord des actions de formation ;

- notifier en amont, sous couvert du poste diplomatique, aux secteurs géographiques concernés et à la direction de l'enseignement, de l'orientation et de la formation de l'AEFE tout changement susceptible d'avoir un effet sur l'homologation (demande d'accréditation auprès d'autres institutions, changement de nom, changement de gouvernance, etc.). Ces informations sont transmises par l'opérateur public aux deux ministères concernés. Les documents sont ensuite actualisés sur la plateforme de suivi.

Il est rappelé que les établissements homologués respectent les obligations de la législation du pays d'accueil et disposent des autorisations en vigueur.

Les établissements peuvent actualiser leurs documents cadres (projet d'école/d'établissement, autorisations, etc.) sur la plateforme de suivi et informent le poste diplomatique et l'AEFE (/Mlf) de leur mise en ligne.

3.2 Renouvellement et suivi de l'homologation

En lien avec le MEAE et l'AEFE, le ministère en charge de l'éducation procède au contrôle du respect des principes et critères d'homologation. Les établissements homologués sont soumis à un audit lié au renouvellement de l'homologation et peuvent faire l'objet d'un suivi d'homologation ponctuel. Les rapport(s) d'inspection sont rédigés par un inspecteur détaché (IEN ou IA-IPR) auprès de l'AEFE (ou par un IA-IPR dans le cadre d'une extension de compétences) ou, dans certains cas, par un inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche. Les avis sont rendus par la commission interministérielle d'homologation.

Les établissements homologués sont invités à s'inscrire dans une démarche d'auto-évaluation régulière. Le ministère en charge de l'éducation met à disposition un guide adapté pour accompagner les établissements.

3.2.1 Renouvellement

Dans le cadre d'un plan de suivi interministériel, les établissements homologués font l'objet d'un audit tous les cinq ans, condition du renouvellement de l'homologation accordée par le ministère en charge de l'éducation. Les deux ministères informent les postes diplomatiques et les établissements concernés par le renouvellement. Chacun de ces établissements doit alors mettre en œuvre les conditions favorables à l'organisation de cet audit. L'évaluation globale s'appuie sur un questionnaire accompagné des pièces justificatives transmis par l'établissement sous couvert du poste diplomatique et sur le/les rapport(s) d'inspection.

En raison de l'impact de la pandémie, la procédure de renouvellement est suspendue pour l'année scolaire

2021-2022. Seuls les établissements dont le dossier a été reporté seront étudiés. En cas d'écart constaté avec les principes et les critères de l'homologation, l'établissement pourra être placé en suivi d'homologation (cf. *supra*).

3.2.2 Suivi ponctuel d'homologation

À l'occasion d'un signalement ou d'un avis de la commission interministérielle, chaque établissement homologué est susceptible de faire l'objet d'un suivi ponctuel, à tout moment de l'année. Il lui appartient alors de renseigner un questionnaire de « suivi d'homologation » et de le transmettre sous couvert du poste diplomatique dans un délai d'un mois après notification (hors période de congés scolaires). En outre, une mission d'inspection peut être diligentée. Il appartient à l'établissement de mettre en œuvre les conditions favorables à l'organisation de cette mission.

3.2.3 Année probatoire

L'établissement placé en année probatoire dispose d'un délai jusqu'à la commission interministérielle suivante pour se mettre en conformité avec les engagements liés à l'homologation. Il doit alors mettre en œuvre les conditions favorables à l'organisation d'un audit, en renvoyant sous couvert du poste diplomatique un questionnaire spécifique et en accueillant une mission d'inspection. Si, à terme échu, une discordance persistante avec les principes et critères de l'homologation est constatée, la décision de « retrait d'homologation » pour tout ou partie des classes est prononcée.

3.2.4 Avis rendus par la commission interministérielle d'homologation

Après analyse par le ministère en charge de l'éducation (voir II.2.2 et 2.3), en lien avec le MEAE, la commission interministérielle d'homologation (CIH) prononce les avis suivants, éventuellement assortis de recommandations :

- la confirmation de l'homologation ;
- la demande de suivi ponctuel d'homologation ;
- le placement de l'établissement en année probatoire ;
- le retrait de l'homologation de tout ou partie de l'établissement.

En cas de nécessité, les deux ministères peuvent également décider d'une procédure de contrôle en urgence, pouvant conduire à un retrait immédiat de l'homologation.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
La secrétaire générale,
Marie-Anne Lévêque

Annexe 1 - Calendrier et modalités de la campagne d'homologation 2021-2022

L'établissement est invité à se connecter au portail homologation <https://homologation.aefe.fr/> afin de prendre connaissance des modalités de dépôt des candidatures et d'être orienté vers la plateforme dédiée. Le dépôt de dossier s'effectue dans le calendrier fixé.

I. Calendrier de la campagne

Vendredi 3 septembre 2021	Ouverture de la campagne - Accès à la plateforme d'homologation
Vendredi 15 octobre 2021	Date limite de transmission électronique des dossiers par les établissements aux postes diplomatiques
Mardi 2 novembre 2021	Date limite de transmission électronique des dossiers par les postes diplomatiques au service pédagogique de l'AEFE
Novembre-décembre 2021	Examen des dossiers par le MEAE et l'AEFE
Janvier 2022	Transmission électronique des dossiers retenus par le MEAE et l'AEFE au MENJS
Février-avril 2022	Évaluation pédagogique par le MENJS, puis examen et évaluation des dossiers en commissions de synthèse
Mai 2022	Commission interministérielle d'homologation
Juin 2022	Publication, par le MENJS, de l'arrêté interministériel fixant la liste actualisée des établissements d'enseignement français homologués
	Notification des avis et des recommandations de la CIH aux postes diplomatiques par le MEAE

II. Modalités de dépôt des dossiers d'homologation

La procédure d'homologation est informatisée. Les dossiers sont uniquement accessibles par voie électronique, une fois connecté à la plateforme.

Les demandes d'aide à la constitution des dossiers et d'utilisation de l'application « homologation » sont à adresser à partir du 3 septembre au service pédagogique de l'AEFE à l'adresse : homologation.aefe@diplomatie.gouv.fr pour tous les établissements.

Première demande d'homologation

Accès à la plateforme et dépôt du dossier

Les établissements candidats sont invités à se connecter tout d'abord au portail homologation (www.portail-homologation.aefe.fr/) pour prendre connaissance des informations relatives à la campagne et accéder à la plateforme dédiée.

L'accès à l'application dédiée nécessite l'utilisation d'un identifiant et d'un mot de passe dont l'établissement fait la demande via l'application « homologation » homologation.aefe.fr/. L'attribution de ces identifiants est soumise à validation du service de coopération et d'action culturelle (Scac) de l'ambassade dont relève l'établissement.

L'établissement, muni de son identifiant et de son mot de passe, télécharge et complète le cahier pédagogique, qu'il enregistre dans l'application. Il joint impérativement les pièces énumérées en annexe, ainsi que les documents spécifiques précisés dans le cahier pédagogique.

Le poste diplomatique valide le cahier pédagogique, télécharge, complète de façon exhaustive et circonstanciée et signe le cahier diplomatique, qu'il enregistre dans l'application. Il vérifie que le dossier est complet et retourne le dossier, le cas échéant, à l'établissement.

Dossier et pièces justificatives

Le dossier de première demande comporte un cahier pédagogique signé et des pièces justificatives :

- le **cahier pédagogique** présente le projet de l'établissement, la qualification des enseignants et les actions mises en œuvre par l'établissement pour préparer la demande d'homologation ;
- les dossiers sont distincts pour chaque niveau demandé (primaire ; collège ; lycée).

Pièces justificatives

L'établissement joint sur la plateforme les **pièces justificatives** permettant l'analyse du dossier :

- les statuts de l'établissement (et de la section/filière pour les demandes qui ne concernent qu'une section/filière au sein d'un établissement) ; il joint une traduction des statuts si ces derniers ne sont pas rédigés en français ;
- les documents officiels des autorités locales (autorisations d'ouverture, licences, autorisation à enseigner les programmes français) ;
- le projet d'école et/ou d'établissement ;
- le règlement intérieur ;
- la liste des instances de l'établissement (conseil d'école, conseil école-collège, conseil d'établissement, conseil d'administration, etc.) et leur composition ;
- les comptes rendus des instances (2020-2021) ;
- la présentation des locaux (en cas de sites multiples, joindre les informations pour chaque site) ;
- les effectifs des élèves scolarisés dans l'établissement ;
- la liste des personnels de l'établissement (précisant leurs qualifications) en utilisant le modèle transmis ;
- le calendrier scolaire de l'établissement et les emplois du temps des élèves ;
- les résultats aux évaluations, aux examens et diplômes de l'éducation nationale (si disponibles) ;
- les modalités de certification aux comptes ;
- l'engagement d'adhésion de l'établissement demandeur à signer un accord de partenariat avec l'AEFE (les établissements de la Mission laïque française fournissent le contrat qui les lie à la MLF).

Le dossier précise les pièces à communiquer sur place à l'inspecteur.

Le dossier de l'établissement est étudié à l'appui d'un rapport *in situ* d'un inspecteur détaché (IEN ou IA-IPR) auprès de l'AEFE (ou par un IA-IPR dans le cadre d'une extension de compétences) ou, dans certains cas, par un inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche (IGÉSR) dès lors que le dossier a été transmis au MENJS pour évaluation.

Des compléments d'information peuvent être demandés à l'initiative des instructeurs des dossiers. Les établissements, les inspecteurs de l'éducation nationale (IEN) en résidence, les IA-IPR de l'AEFE, la Mission laïque française et les postes diplomatiques sont invités à répondre à ces compléments d'information. Ces éléments font alors partie intégrante de la documentation sur laquelle s'appuie l'évaluation des dossiers.

Les frais relatifs à la mission d'inspection *in situ* sont à la charge de l'établissement selon les modalités définies par l'AEFE.

Demande d'extension d'homologation

Avant tout dépôt ou analyse de la demande, les établissements déjà homologués et les postes diplomatiques sont invités à se reporter à la plateforme de suivi (suivi-homologation.aefe.fr) accessible à partir du 1er septembre pour connaître les derniers avis de la commission interministérielle d'homologation les concernant et les derniers rapports d'inspection.

Accès à la plateforme d'homologation et dépôt du dossier

Les établissements candidats à une demande d'extension sont invités à se connecter au portail homologation (www.portail-homologation.aefe.fr/) pour accéder à la plateforme dédiée.

Pour déposer une demande d'extension, l'établissement déjà homologué demande des identifiants en ligne sur

l'application « homologation » <https://homologation.aefe.fr/>. Son identifiant est le code Mage. Les courriels des établissements déposant une demande d'extension sont issus de l'enquête rapide de rentrée collectée dans Mage par l'AEFE.

L'établissement télécharge le questionnaire, y répond, le fait signer par les autorités compétentes et l'enregistre dans l'application.

Il joint impérativement les pièces énumérées en annexe ainsi que les documents spécifiques qui sont mentionnés dans le questionnaire.

Le poste diplomatique valide le cahier pédagogique, télécharge, complète de façon exhaustive et circonstanciée et signe le cahier diplomatique, qu'il enregistre dans l'application. Il vérifie que le dossier est complet et retourne le dossier, le cas échéant, à l'établissement.

Dossier et pièces justificatives

Le dossier complété par l'établissement comporte :

- un questionnaire pédagogique détaillé. Les dossiers sont distincts pour chaque niveau demandé (primaire ; collège ; lycée). Le questionnaire présente le contexte de la demande, le projet d'extension à un niveau supérieur (maternelle/élémentaires/collège/lycée), la qualification des enseignants et les actions mises en œuvre par l'établissement pour préparer la demande d'extension d'homologation ;
- **les pièces justificatives :**
 - les statuts* de l'établissement (et de la section/filière pour les demandes qui ne concernent qu'une section/filière au sein d'un établissement) ; il joint une traduction des statuts si ces derniers ne sont pas rédigés en français ;
 - les documents officiels* des autorités locales (autorisations d'ouverture, licences, autorisation à enseigner les programmes français) ;
 - le projet d'école* et/ou d'établissement ;
 - le règlement intérieur *;
 - la liste des instances de l'établissement (conseil d'école, conseil école-collège, conseil d'établissement, conseil d'administration, etc.) et leur composition ;
 - les comptes rendus de chacune des instances de l'année 2020 et 2021 ;
 - la présentation des locaux *;
 - la liste des personnels de l'établissement (précisant leur statut et leurs qualifications) en utilisant le modèle téléchargeable sur l'application « homologation » ;
 - le calendrier de l'établissement et les emplois du temps des élèves des niveaux concernés ;
 - les résultats aux évaluations, aux examens et diplômes de l'éducation nationale (si disponibles) ;
 - les modalités de certification des comptes ;
 - l'engagement d'adhésion de l'établissement demandeur à signer la Charte pour l'enseignement français à l'étranger et un accord de partenariat avec l'AEFE (les établissements de la Mission laïque française fournissent le contrat qui les lie à la MLF) pour les niveaux demandés.

* Ces documents peuvent être repris de la plateforme de suivi.

Le poste diplomatique complète l'avis diplomatique.

Le dossier de l'établissement est étudié à l'appui d'un rapport de mission *in situ* d'un inspecteur de l'AEFE, d'un inspecteur dans le cadre d'une extension de compétences ou d'un inspecteur général du MENJS dès lors que le dossier a été transmis au MENJS pour évaluation. Les frais relatifs à la mission d'inspection *in situ* sont à la charge de l'établissement selon les modalités définies de contractualisation avec l'AEFE. Le MENJS peut autoriser, dans des circonstances définies, publiées sur Éduscol et transmises par voie diplomatique, le recours à un audit à distance. Dans ce cas, des pièces justificatives supplémentaires peuvent être demandées, en particulier un portfolio des équipements et du bâti.

Des compléments d'information peuvent être demandés à l'initiative des instructeurs des dossiers. Les établissements, les inspecteurs de l'éducation nationale (IEN) en résidence, les IA-IPR de l'AEFE, la Mission laïque française et les postes diplomatiques sont invités à répondre à ces compléments d'information. Ces éléments font alors partie intégrante de la documentation sur laquelle s'appuie l'évaluation des dossiers.

Nota bene :

Dans le cas où un établissement placé au renouvellement/suivi d'homologation déposerait de manière simultanée une demande d'extension d'homologation, l'établissement téléchargera sur la plateforme d'homologation le questionnaire pédagogique pour le niveau concerné par l'homologation et le formulaire de suivi pour les niveaux concernés par le suivi/renouvellement. Les pièces justificatives devront concerner alors l'ensemble des niveaux. Il informera en amont de sa demande le MENJS à l'adresse suivante contact.suivi-homologation@education.gouv.fr. Un accord de principe sera transmis et vaudra autorisation.

Les dossiers incomplets et/ou hors délai et/ou n'utilisant pas les modèles ne sont pas étudiés.

Les établissements peuvent également communiquer d'autres documents susceptibles d'éclairer leur demande.

L'ensemble des pièces doit être numéroté ; les documents qui requièrent une signature sont scannés et téléchargés sur l'application. Les établissements en rythme Sud préparent des éléments d'actualisation de leur dossier (effectifs, personnels enseignants).

En raison de l'impact de la Covid-19 et des contraintes pesant sur l'ouverture des établissements et les déplacements des

corps d'inspection, le calendrier est sujet à modification et les décisions de la commission interministérielle sont susceptibles d'être prononcées plus tardivement ou d'être reportées.

Annexe 2 - Calendrier et modalités - suivi d'homologation 2021-2022

L'établissement est invité à se connecter au portail homologation www.portail-homologation.aefe.fr/ afin de prendre connaissance des modalités de dépôt des candidatures et d'être orienté vers la plateforme dédiée. Le dépôt de dossier s'effectue dans le calendrier fixé.

Renouvellement - suivi ponctuel - année probatoire

Toute information relative au suivi d'homologation (renouvellement, suivi ponctuel, renouvellement) est à adresser à contact.suivi-homologation@education.gouv.fr.

Les demandes d'aide à la constitution des dossiers et d'utilisation de l'application « suivi d'homologation » sont à adresser à l'adresse contact.suivi-homologation@education.gouv.fr ou en utilisant le formulaire de l'application.

Les établissements peuvent également se reporter à la rubrique « suivi d'homologation » du portail et à la page Éduscol : eduscol.education.fr/cid72022/suivi-et-contrôle-de-l-homologation.html

I. Calendrier de la procédure de suivi et de renouvellement

Juillet-septembre 2021	Mise à jour possible des documents cadre sur la plateforme et actualisation des dossiers reportés lors de la précédente campagne Établissement du plan du suivi Information des établissements par les postes diplomatiques
Vendredi 14 janvier 2022	Date limite de transmission électronique des dossiers par les établissements aux postes diplomatiques (dossier de suivi et de renouvellement)
Vendredi 28 janvier 2022	Date limite pour la vérification des pièces et rédaction de l'avis diplomatique par les postes diplomatiques Transmission électronique des dossiers au MENJS
Février 2022	Communication des dossiers de suivi par le MENJS aux évaluateurs [en cas de dossiers incomplets, le MENJS retourne une seule fois le dossier à l'établissement pour modification]
Mai 2022	Commission interministérielle d'homologation
Juin 2022	Publication, par le MENJS, de l'arrêté interministériel fixant la liste actualisée des établissements d'enseignement français homologués ; Notification des avis et des recommandations de la CIH aux postes diplomatiques par le MEAE pour communication aux établissements
Septembre 2022	Avis et recommandations de la commission interministérielle accessibles sur la plateforme de suivi

En raison de l'impact de la Covid-19 et des contraintes pesant sur l'ouverture des établissements et les déplacements des corps d'inspection, le calendrier est sujet à modification et les décisions de la commission interministérielle sont susceptibles d'être prononcées plus tardivement ou d'être reportées.

II. Modalités de dépôt des dossiers de suivi d'homologation

La procédure de suivi d'homologation est dématérialisée. Les dossiers sont uniquement accessibles par voie électronique via l'application dédiée : suivi-homologation.aefe.fr

Les adresses contact des établissements permettant l'accès à la plateforme sont issues de l'enquête rapide de rentrée collectée dans Mage par l'AEFE.

Les chefs d'établissement concernés sont notifiés à l'ouverture de la campagne de suivi.

L'établissement, muni de son code Mage (identifiant), peut accéder à la plateforme. L'établissement sollicite directement la récupération de son mot de passe depuis la plateforme.

Il télécharge et complète le questionnaire de suivi accompagné des pièces complémentaires qu'il enregistre dans l'application.

Le poste diplomatique valide le cahier pédagogique, télécharge, complète de façon exhaustive et circonstanciée et signe le cahier diplomatique, qu'il enregistre dans l'application. Il vérifie que le dossier est complet et retourne le dossier, le cas échéant, à l'établissement.

L'établissement met en ligne ou actualise sur la plateforme de suivi les pièces suivantes :

- les statuts* de l'établissement (et de la section/filière pour les demandes qui ne concernent qu'une section/filière au sein

d'un établissement) ;

- les documents relatifs aux autorisations* données à l'établissement par les autorités locales et à la reconnaissance du parcours et la référence le cas échéant au(x) accord(s) intergouvernemental/aux* le concernant ;
- le projet d'école* et/ou d'établissement* ;
- le règlement intérieur* ;
- la liste des instances de l'établissement, leur composition ;
- les comptes rendus de chaque instance au cours des deux dernières années (conseil d'école, conseil école-collège, conseil d'établissement, conseil d'administration, etc.) ;
- la liste des personnels de l'établissement (précisant leur statut et leurs qualifications) et la liste des stages de formation continue des trois dernières années suivis par ces personnels en utilisant le modèle téléchargeable sur l'application « suivi d'homologation » ;
- l'organigramme fonctionnel de l'établissement* ;
- les emplois du temps des élèves et des enseignants ;
- les résultats aux évaluations, aux examens et diplômes de l'éducation nationale et leur analyse ;
- deux projets pédagogiques mis en œuvre par l'établissement ;
- budget et modalité de certification des comptes ;
- la présentation des locaux et des équipements*.

* Les documents suivants peuvent être mis en ligne à tout moment de l'année sur la plateforme de suivi.

L'établissement transmet une traduction des statuts, des autorisations des autorités locales ou autres documents officiels si ces derniers ne sont pas rédigés en français.

Des documents complémentaires peuvent être demandés aux établissements placés au suivi ou en année probatoire.

Certains documents (PPMS, tableaux de bord) ne font pas l'objet d'une communication sur la plateforme mais sont remis aux inspecteurs mandatés dans le cadre de l'audit.

Rapports d'inspection

Le dossier de l'établissement est étudié à l'appui des rapports de mission(s) diligentée(s) au cours de l'année de la présente campagne des inspecteurs de l'AEFE, d'un inspecteur dans le cadre d'une extension de compétences ou, dans certains cas, par un inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche (IGÉSR) :

- pour le premier degré, les deux derniers rapports de mission d'IEN de zone ou assimilé ;
- pour le second degré, le rapport de mission d'un IA-IPR ou assimilé.

Les frais relatifs à la mission ou aux missions d'inspection diligentées *in situ* sont à la charge de chaque établissement selon les modalités de contractualisation avec l'AEFE.

En fonction des certaines circonstances et au regard des contraintes liées à la pandémie, le MENJS pourra décider que la mission d'inspection pourra s'effectuer à distance.

Nota bene :

Pour rappel, les dossiers incomplets et/ou hors délai et/ou n'utilisant pas les modèles ne sont pas étudiés.

Les établissements peuvent également communiquer d'autres documents susceptibles d'éclairer leur dossier.

Les documents qui requièrent une signature sont scannés et téléchargés sur l'application.

Annexe 3 - Procédure de changement de nom sur l'arrêté

Le nom figurant sur l'arrêté doit correspondre au nom officiel de l'établissement. Une traduction peut être admise si un document légal permet d'établir la correspondance.

La commission interministérielle acte des changements de nom. Le dossier de l'établissement doit être adressé en amont à l'AEFE pour transmission au MENJS et vérification en préparation de la CIH.

Les pièces sont les suivantes :

- avis favorable du poste diplomatique ;
- procès-verbal du conseil d'école et/ou du conseil d'établissement actant du changement ;
- changement des statuts ou des documents légaux où figure le changement de nom ;
- enregistrement du nouveau nom auprès des autorités locales.

Calendrier

Vendredi 22 avril 2022	Date limite de transmission par l'AEFE au MENJS des dossiers complets
Mai 2022	Vérification des pièces par le MENJS et présentation des changements à la commission interministérielle d'homologation
Juin 2022	Publication de l'arrêté

Enseignements primaire et secondaire

Baccalauréat général

Épreuve orale dite Grand oral de la classe de terminale de la voie générale à compter de la session 2022

NOR : MENE2121378N

note de service du 27-7-2021

MENJS - DGESCO A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; aux vice-recteurs ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux ; aux inspecteurs et inspectrices de l'éducation nationale ; aux cheffes et chefs d'établissement ; aux professeures et professeurs ; aux formateurs et formatrices

Cette note de service abroge et remplace la note de service n° 2020-036 du 11 février 2020 relative à l'épreuve orale dite Grand oral de la classe de terminale de la voie générale à compter de la session 2021 de l'examen du baccalauréat. Elle est applicable à compter de la session 2022 du baccalauréat pour l'épreuve orale terminale (dite épreuve du Grand oral), telle que définie par les arrêtés du 16 juillet 2018 relatifs aux épreuves du baccalauréat général et du baccalauréat technologique.

Définition et objectifs

Épreuve orale

Durée : 20 minutes

Préparation : 20 minutes

Coefficient : 10

L'épreuve orale terminale est l'une des cinq épreuves terminales de l'examen du baccalauréat.

Elle est obligatoire pour tous les candidats qui présentent l'épreuve dans les mêmes conditions.

Les candidats à besoins éducatifs particuliers peuvent demander à bénéficier d'aménagements de l'épreuve conformément à l'annexe 2.

Finalité de l'épreuve

L'épreuve permet au candidat de montrer sa capacité à prendre la parole en public de façon claire et convaincante. Elle lui permet aussi de mettre les savoirs qu'il a acquis, particulièrement dans ses enseignements de spécialité, au service d'une argumentation, et de montrer comment ces savoirs ont nourri son projet de poursuite d'études, voire son projet professionnel.

Évaluation de l'épreuve

L'épreuve est notée sur 20 points.

Le jury valorise la solidité des connaissances du candidat, sa capacité à argumenter et à relier les savoirs, son esprit critique, la précision de son expression, la clarté de son propos, son engagement dans sa parole, sa force de conviction. Il peut s'appuyer sur la grille indicative de l'annexe 1.

Format et déroulement de l'épreuve

L'épreuve, d'une durée totale de 20 minutes, se déroule en trois temps :

Premier temps : présentation d'une question (5 minutes)

Au début de l'épreuve, le candidat présente au jury deux questions.

Ces questions portent sur les deux enseignements de spécialité soit pris isolément, soit abordés de manière transversale. Elles mettent en lumière un des grands enjeux du ou des programmes de ces enseignements. Elles sont adossées à tout ou partie du programme du cycle terminal. Pour les candidats scolarisés, elles ont été élaborées et préparées par le candidat avec ses professeurs et, s'il le souhaite, avec d'autres élèves.

Les questions sont transmises au jury, par le candidat, sur une feuille signée par les professeurs des enseignements de spécialité du candidat et portant le cachet de son établissement d'origine.

Le jury choisit une des deux questions. Le candidat dispose de 20 minutes de préparation pour mettre en ordre

ses idées et réaliser, s'il le souhaite, un support. Ce support ne fait pas l'objet d'une évaluation. Pour son exposé, le candidat dispose du support qu'il a préparé.

Le candidat explique pourquoi il a choisi de préparer cette question pendant sa formation, puis il la développe et y répond.

Le jury évalue les capacités argumentatives et les qualités oratoires du candidat.

Deuxième temps : échange avec le candidat (10 minutes)

Le jury interroge ensuite le candidat pour l'amener à préciser et à approfondir sa pensée. Il peut interroger le candidat sur toute partie du programme du cycle terminal de ses enseignements de spécialité, en lien avec le premier temps de l'épreuve qui lui-même s'adosse à ces enseignements. Le jury évalue ainsi la solidité des connaissances et les capacités argumentatives du candidat.

Troisième temps : échange sur le projet d'orientation du candidat (5 minutes)

Le candidat explique en quoi la question traitée éclaire son projet de poursuite d'études, voire son projet professionnel. Il expose les différentes étapes de la maturation de son projet (rencontres, engagements, stages, mobilité internationale, intérêt pour les enseignements communs, choix de ses spécialités, etc.) et la manière dont il souhaite le mener après le baccalauréat.

Le jury mesure la capacité du candidat à conduire et exprimer une réflexion personnelle témoignant de sa curiosité intellectuelle et de son aptitude à exprimer ses motivations.

Le candidat effectue sa présentation du premier temps debout, sauf aménagements pour les candidats à besoins spécifiques. Pour les deuxième et troisième temps de l'épreuve, le candidat est assis ou debout selon son choix.

Si la question traitée concerne l'enseignement de spécialité langues, littératures et cultures étrangères et régionales, chacun des deux premiers temps de l'épreuve orale terminale peut se dérouler, en partie, dans la langue vivante concernée par l'enseignement de spécialité, selon le choix du candidat.

Candidats individuels ou issus des établissements privés hors contrat

Les candidats individuels ou les candidats issus des établissements scolaires privés hors contrat présentent l'épreuve orale terminale dans les mêmes conditions que les candidats scolaires. Le document précisant les questions présentées par le candidat à destination du jury est alors constitué par le candidat lui-même, en conformité avec le cadre défini pour les candidats scolaires.

Composition du jury

Le jury est composé de deux professeurs de disciplines différentes, dont l'un représente l'un des deux enseignements de spécialité du candidat et l'autre représente un autre enseignement (spécialité ou enseignements communs), ou est professeur-documentaliste. Ils contribuent ensemble à l'évaluation globale du candidat.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Édouard Geffray

Annexe 1 - Grille d'évaluation indicative de l'épreuve orale terminale

	Qualité orale de l'épreuve	Qualité de la prise de parole en continu	Qualité des connaissances	Qualité de l'interaction	Qualité et construction de l'argumentation
très insuffisant	Difficilement audible sur l'ensemble de la prestation. Le candidat ne parvient pas à capter l'attention.	Énoncés courts, ponctués de pauses et de faux démarrages ou énoncés longs à la syntaxe mal maîtrisée.	Connaissances imprécises, incapacité à répondre aux questions, même avec une aide et des relances.	Réponses courtes ou rares. La communication repose principalement sur l'évaluateur.	Pas de compréhension du sujet, discours non argumenté et décousu.

insuffisant	La voix devient plus audible et intelligible au fil de l'épreuve mais demeure monocorde. Vocabulaire limité ou approximatif.	Discours assez clair mais vocabulaire limité et énoncés schématiques.	Connaissances réelles, mais difficulté à les mobiliser en situation à l'occasion des questions du jury.	L'entretien permet une amorce d'échange. L'interaction reste limitée.	Début de démonstration mais raisonnement lacunaire. Discours insuffisamment structuré.
satisfaisant	Quelques variations dans l'utilisation de la voix ; prise de parole affirmée. Il utilise un lexique adapté. Le candidat parvient à susciter l'intérêt.	Discours articulé et pertinent, énoncés bien construits.	Connaissances précises, une capacité à les mobiliser en réponses aux questions du jury avec éventuellement quelques relances	Répond, contribue, réagit. Se reprend, reformule en s'aidant des propositions du jury.	Démonstration construite et appuyée sur des arguments précis et pertinents.
très satisfaisant	La voix soutient efficacement le discours. Qualités prosodiques marquées (débit, fluidité, variations et nuances pertinentes, etc.). Le candidat est pleinement engagé dans sa parole. Il utilise un vocabulaire riche et précis.	Discours fluide, efficace, tirant pleinement profit du temps et développant ses propositions.	Connaissances maîtrisées, les réponses aux questions du jury témoignent d'une capacité à mobiliser ces connaissances à bon escient et à les exposer clairement.	S'engage dans sa parole, réagit de façon pertinente. Prend l'initiative dans l'échange. Exploite judicieusement les éléments fournis par la situation d'interaction.	Maîtrise des enjeux du sujet, capacité à conduire et exprimer une argumentation personnelle, bien construite et raisonnée.

Annexe 2 - Aménagements de l'épreuve orale

En appliquant les articles D. 351-27 et suivants du Code de l'éducation, les candidats à l'examen du baccalauréat général ou technologique dont les troubles impactent la passation de l'épreuve orale terminale (troubles neurodéveloppementaux, troubles du langage oral ou de la parole, troubles des fonctions auditives, troubles psychiques, troubles des fonctions motrices ou maladies invalidantes, etc.) qui souhaitent bénéficier d'aménagements de l'épreuve orale terminale peuvent en faire une demande selon les procédures en vigueur.

Les demandes d'adaptation ou d'aménagements peuvent porter particulièrement sur :

- 1) Une majoration du temps de préparation ou du temps de passation de l'épreuve ;
- 2) Une brève pause en raison de la fatigabilité de certains candidats (déductible du temps de passation) ;
- 3) Une accessibilité des locaux et une installation spécifique de la salle ;
- 4) Des aides techniques ou du matériel apportés par le candidat ou fournis par l'établissement : utilisation d'une tablette ou d'un ordinateur équipé d'un logiciel spécifique le cas échéant (logiciel de retour vocal par exemple) que l'élève est habitué à utiliser en classe, mais vidé de ses dossiers ou fichiers et hors connexion ;
- 5) La communication : le port, par au moins un membre du jury, d'un micro haute fréquence (HF), une énonciation claire et simple des questions en face du candidat afin de faciliter une lecture labiale le cas échéant ou toute autre modalité d'adaptation ;
- 6) Les aides humaines :
 - un secrétaire reformulant une question ou expliquant un sens second ou métaphorique, rassurant le candidat ou apportant toute autre aide requise ;
 - un enseignant spécialisé dans les troubles des fonctions auditives le cas échéant ;
 - un interprète en langue des signes française (LSF) ou un codeur en langage parlé complété (LPC).
- 7) D'autres adaptations possibles :
 - fournir une transcription écrite (avec ou sans aide humaine) pour la présentation orale de la question et pour l'échange sur le projet d'orientation du candidat ;

- répondre par écrits brefs (avec ou sans aide humaine) lors des échanges avec le jury ;
- la présence dans les membres du jury d'au moins une personne maîtrisant la LSF ou le code LPC, le cas échéant, sera préférée à la présence d'un interprète ou d'un codeur ;
- toute autre mesure favorisant les échanges avec le jury et conforme à la réglementation en vigueur.

La grille d'évaluation indicative ci-jointe en annexe 1 doit être prise en compte également pour les élèves à besoins éducatifs particuliers. Le jury veillera à adopter une attitude bienveillante et ouverte afin de permettre d'évaluer les objectifs de l'épreuve dans le respect des compétences spécifiques du candidat.

Enseignements primaire et secondaire

Baccalauréat technologique

Épreuve orale dite Grand oral de la classe de terminale de la voie technologique à compter de la session 2022

NOR : MENE2121379N

note de service du 27-7-2021

MENJS - DGESCO A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; aux vice-recteurs ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux ; aux inspecteurs et inspectrices de l'éducation nationale ; aux cheffes et chefs d'établissement ; aux professeures et professeurs ; aux formateurs et formatrices

Cette note de service abroge et remplace la note de service n° 2020-037 du 11 février 2020 relative à l'épreuve orale dite Grand oral de la classe de terminale de la voie technologique à compter de la session 2021 de l'examen du baccalauréat. Elle est applicable à compter de la session 2022 du baccalauréat pour l'épreuve orale terminale (dite épreuve du Grand oral), telle que définie par les arrêtés du 16 juillet 2018 relatifs aux épreuves du baccalauréat général et du baccalauréat technologique.

Définition et objectifs

Épreuve orale

Durée : 20 minutes

Préparation : 20 minutes

Coefficient : 14

L'épreuve orale terminale est l'une des cinq épreuves terminales de l'examen du baccalauréat.

Elle est obligatoire pour tous les candidats qui présentent l'épreuve dans les mêmes conditions.

Les candidats à besoins éducatifs particuliers peuvent demander à bénéficier d'aménagements de l'épreuve conformément à l'annexe 2.

Finalité de l'épreuve

L'épreuve permet au candidat de montrer sa capacité à prendre la parole en public de façon claire et convaincante. Elle lui permet aussi de mettre les savoirs qu'il a acquis, particulièrement dans ses enseignements de spécialité, au service d'une argumentation, et de montrer comment ces savoirs ont nourri son projet de poursuite d'études, voire son projet professionnel.

Évaluation de l'épreuve

L'épreuve est notée sur 20 points.

Le jury valorise la solidité des connaissances du candidat, sa capacité à argumenter et à relier les savoirs, son esprit critique, la précision de son expression, la clarté de son propos, son engagement dans sa parole, sa force de conviction. Il peut s'appuyer sur la grille indicative de l'annexe 1.

Format et déroulement de l'épreuve

L'épreuve, d'une durée totale de 20 minutes, se déroule en trois temps :

Premier temps : présentation d'une question (5 minutes)

Au début de l'épreuve, le candidat présente au jury deux questions.

Ces questions s'appuient sur l'enseignement de spécialité pour lequel le programme prévoit la réalisation d'une étude approfondie. Les candidats scolarisés peuvent avoir préparé cette étude individuellement ou avec d'autres élèves. Cette étude approfondie correspond, dans certaines séries, au projet réalisé pendant l'année.

Les questions présentées par le candidat lui permettent de construire une argumentation pour définir les enjeux de son étude, la mettre en perspective, analyser la démarche engagée au service de sa réalisation ou expliciter la stratégie adoptée et les choix opérés en termes d'outils et de méthodes.

Les questions sont transmises au jury par le candidat sur une feuille, signée par le professeur de la spécialité

concernée et portant le cachet de l'établissement d'origine du candidat.

Le jury choisit une des deux questions. Le candidat dispose de 20 minutes de préparation pour mettre en ordre ses idées et réaliser, s'il le souhaite, un support. Ce support ne fait pas l'objet d'une évaluation. Pour son exposé, le candidat dispose du support qu'il a préparé.

Le candidat explique pourquoi il a choisi de préparer cette question pendant sa formation, puis il la développe et y répond.

Le jury évalue les capacités argumentatives et les qualités oratoires du candidat.

Deuxième temps : échange avec le candidat (10 minutes)

Le jury interroge ensuite le candidat pour l'amener à préciser et à approfondir sa pensée. Cette interrogation peut porter sur toute partie du programme du cycle terminal des enseignements de spécialité de la série dans laquelle le candidat est inscrit, en lien avec le premier temps de l'épreuve qui lui-même s'adosse à ces enseignements. Ce temps d'échange permet d'évaluer la solidité des connaissances du candidat et ses capacités argumentatives.

Troisième temps : échange sur le projet d'orientation du candidat (5 minutes)

Le candidat explique en quoi la question traitée éclaire son projet de poursuite d'études, voire son projet professionnel. Il expose les différentes étapes de la maturation de son projet (rencontres, engagements, stages, mobilité internationale, intérêt pour les enseignements communs, choix de ses spécialités, etc.) et la manière dont il souhaite le mener après le baccalauréat.

Le jury mesure la capacité du candidat à conduire et exprimer une réflexion personnelle témoignant de sa curiosité intellectuelle et de son aptitude à exprimer ses motivations.

Le candidat effectue sa présentation du premier temps debout, sauf aménagements pour les candidats à besoins spécifiques. Pour les deuxième et troisième temps de l'épreuve, le candidat est assis ou debout selon son choix.

Candidats individuels ou issus des établissements privés hors contrat

Les candidats individuels ou les candidats issus des établissements scolaires privés hors contrat présentent l'épreuve orale terminale dans les mêmes conditions que les candidats scolaires. Le document précisant les questions présentées par le candidat à destination du jury est alors constitué par le candidat lui-même, en conformité avec le cadre défini pour les candidats scolaires.

Composition du jury

Le jury est composé de deux professeurs de disciplines différentes, dont l'un représente l'enseignement de spécialité du candidat pour lequel le programme prévoit la réalisation d'un projet propre à la série, et l'autre représente un autre enseignement de la série (enseignement de spécialité ou l'un des enseignements communs), ou est professeur-documentaliste. Ils contribuent ensemble à l'évaluation globale du candidat.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,

Le directeur général de l'enseignement scolaire,

Édouard Geffray

Annexe 1 - Grille d'évaluation indicative de l'épreuve orale terminale

	Qualité orale de l'épreuve	Qualité de la prise de parole en continu	Qualité des connaissances	Qualité de l'interaction	Qualité et construction de l'argumentation
très insuffisant	Difficilement audible sur l'ensemble de la prestation. Le candidat ne parvient pas à capter l'attention.	Énoncés courts, ponctués de pauses et de faux démarrages ou énoncés longs à la syntaxe mal maîtrisée.	Connaissances imprécises, incapacité à répondre aux questions, même avec une aide et des relances.	Réponses courtes ou rares. La communication repose principalement sur l'évaluateur.	Pas de compréhension du sujet, discours non argumenté et décousu.

insuffisant	La voix devient plus audible et intelligible au fil de l'épreuve mais demeure monocorde. Vocabulaire limité ou approximatif.	Discours assez clair mais vocabulaire limité et énoncés schématiques.	Connaissances réelles, mais difficulté à les mobiliser en situation à l'occasion des questions du jury.	L'entretien permet une amorce d'échange. L'interaction reste limitée.	Début de démonstration mais raisonnement lacunaire. Discours insuffisamment structuré.
satisfaisant	Quelques variations dans l'utilisation de la voix ; prise de parole affirmée. Il utilise un lexique adapté. Le candidat parvient à susciter l'intérêt.	Discours articulé et pertinent, énoncés bien construits.	Connaissances précises, une capacité à les mobiliser en réponses aux questions du jury avec éventuellement quelques relances.	Répond, contribue, réagit. Se reprend, reformule en s'aidant des propositions du jury.	Démonstration construite et appuyée sur des arguments précis et pertinents.
très satisfaisant	La voix soutient efficacement le discours. Qualités prosodiques marquées (débit, fluidité, variations et nuances pertinentes, etc.). Le candidat est pleinement engagé dans sa parole. Il utilise un vocabulaire riche et précis.	Discours fluide, efficace, tirant pleinement profit du temps et développant ses propositions.	Connaissances maîtrisées, les réponses aux questions du jury témoignent d'une capacité à mobiliser ces connaissances à bon escient et à les exposer clairement.	S'engage dans sa parole, réagit de façon pertinente. Prend l'initiative dans l'échange. Exploite judicieusement les éléments fournis par la situation d'interaction.	Maîtrise des enjeux du sujet, capacité à conduire et exprimer une argumentation personnelle, bien construite et raisonnée

Annexe 2 - Aménagements de l'épreuve orale

En appliquant les articles D. 351-27 et suivants du Code de l'éducation, les candidats à l'examen du baccalauréat général ou technologique dont les troubles impactent la passation de l'épreuve orale terminale (troubles neurodéveloppementaux, troubles du langage oral ou de la parole, troubles des fonctions auditives, troubles psychiques, troubles des fonctions motrices ou maladies invalidantes, etc.) qui souhaitent bénéficier d'aménagements de l'épreuve orale terminale peuvent en faire une demande selon les procédures en vigueur.

Les demandes d'adaptation ou d'aménagements peuvent porter particulièrement sur :

- 1) Une majoration du temps de préparation ou du temps de passation de l'épreuve ;
- 2) Une brève pause en raison de la fatigabilité de certains candidats (déductible du temps de passation) ;
- 3) Une accessibilité des locaux et une installation spécifique de la salle ;
- 4) Des aides techniques ou du matériel apportés par le candidat ou fournis par l'établissement : utilisation d'une tablette ou d'un ordinateur équipé d'un logiciel spécifique le cas échéant (logiciel de retour vocal par exemple) que l'élève est habitué à utiliser en classe, mais vidé de ses dossiers ou fichiers et hors connexion ;
- 5) La communication : le port, par au moins un membre du jury, d'un micro haute fréquence (HF), une énonciation claire et simple des questions en face du candidat afin de faciliter une lecture labiale le cas échéant ou toute autre modalité d'adaptation ;
- 6) Les aides humaines :
 - un secrétaire reformulant une question ou expliquant un sens second ou métaphorique, rassurant le candidat ou apportant toute autre aide requise ;
 - un enseignant spécialisé dans les troubles des fonctions auditives le cas échéant ;
 - un interprète en langue des signes française (LSF) ou un codeur en langage parlé complété (LPC).
- 7) D'autres adaptations possibles :
 - fournir une transcription écrite (avec ou sans aide humaine) pour la présentation orale de la question et pour l'échange sur le projet d'orientation du candidat ;

- répondre par écrits brefs (avec ou sans aide humaine) lors des échanges avec le jury ;
- la présence dans les membres du jury d'au moins une personne maîtrisant la LSF ou le code LPC, le cas échéant, sera préférée à la présence d'un interprète ou d'un codeur ;
- toute autre mesure favorisant les échanges avec le jury et conforme à la réglementation en vigueur.

La grille d'évaluation indicative ci-jointe en annexe 1 doit être prise en compte également pour les élèves à besoins éducatifs particuliers. Le jury veillera à adopter une attitude bienveillante et ouverte afin de permettre d'évaluer les objectifs de l'épreuve dans le respect des compétences spécifiques du candidat.

Enseignements primaire et secondaire

Baccalauréats général et technologique

Évaluations ponctuelles d'histoire-géographie à compter de la session 2022

NOR : MENE2121383N

note de service du 28-7-2021

MENJS - DGESCO A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; aux vice-recteurs ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux ; aux inspecteurs et inspectrices de l'éducation nationale ; aux cheffes et chefs d'établissement ; aux professeures et professeurs ; aux formateurs et formatrices

La présente note de service définit le format des évaluations ponctuelles prévues en histoire-géographie au titre du contrôle continu, à compter de la session 2022 du baccalauréat, pour les candidats dits individuels, c'est-à-dire les candidats qui ne suivent les cours d'aucun établissement, les candidats inscrits dans un établissement privé hors contrat, les candidats inscrits dans un établissement français à l'étranger ne bénéficiant pas d'une homologation pour le cycle terminal et les candidats inscrits au Cned en scolarité libre, conformément aux dispositions de l'arrêté du 16 juillet 2018 modifié relatif aux modalités d'organisation du contrôle continu pour l'évaluation des enseignements dispensés dans les classes conduisant au baccalauréat général et au baccalauréat technologique. Elle abroge et remplace la note de service du 23 juillet 2020 relative aux évaluations communes d'histoire-géographie à compter de la session 2021 de l'examen du baccalauréat. Ces évaluations ponctuelles s'adressent également, sur leur demande, aux candidats sportifs de haut niveau, sportifs espoirs et sportifs des collectifs nationaux inscrits sur les listes mentionnées à l'article L. 221-2 du Code du sport.

Enfin, elles peuvent être organisées, à titre d'évaluations de remplacement, lorsque leur moyenne annuelle fait défaut, pour les candidats dits scolaires, c'est-à-dire les candidats inscrits dans un établissement public, dans un établissement privé sous contrat, au Cned en scolarité réglementée ou dans un établissement français à l'étranger homologué pour le cycle terminal.

Pour chacune des voies et séries, ces évaluations ponctuelles sont adossées au programme de l'enseignement commun d'histoire-géographie pour les classes de première et de terminale. Le résultat obtenu par le candidat est pris en compte pour le baccalauréat au titre du contrôle continu, conformément aux dispositions de la note de service du 28 juillet 2021 relative aux modalités d'évaluation des candidats à compter de la session 2022.

Deux modalités d'organisation de ces évaluations ponctuelles sont prévues, selon le choix formulé par le candidat individuel ou le sportif de haut niveau, ou pour répondre à la spécificité de la situation du candidat scolaire n'ayant pu présenter de moyenne annuelle, pour cause de force majeure dûment justifiée :

1. Une modalité d'organisation consistant en une unique évaluation ponctuelle à la fin du cycle terminal, sur le programme des deux années du cycle terminal ;
2. Une modalité d'organisation consistant en deux évaluations ponctuelles, une à la fin de l'année de première sur le programme de première, l'autre à la fin de l'année de terminale sur le programme de terminale.

Les candidats dits individuels, définis dans l'introduction de la présente note de service, formulent leur choix entre ces deux modalités, lors de leur inscription à l'examen. Ce choix est définitif une fois que l'inscription à l'examen est close, sauf en cas de situation exceptionnelle, et sous réserve de l'autorisation du recteur d'académie. Lorsque le candidat choisit d'être successivement évalué en fin de classe de première et en fin de classe de terminale, il ne peut modifier la répartition des évaluations prévues par la réglementation.

Les candidats dits scolaires, définis dans l'introduction de la présente note de service, sont convoqués à une évaluation ponctuelle, à titre d'évaluation de remplacement, au cours du premier trimestre de l'année de terminale sur le programme d'histoire-géographie de la classe de première si la moyenne annuelle qui leur fait défaut est celle de l'année de première, ou avant la fin de l'année de terminale sur le programme d'histoire-géographie de la classe de terminale si la moyenne annuelle qui leur fait défaut est celle de l'année de terminale.

La note attribuée est affectée d'un coefficient 3 si l'évaluation porte sur le programme de première ou de terminale et d'un coefficient 6 si l'évaluation porte sur le programme des deux années du cycle terminal.

Les candidats inscrits à la session 2022 de l'examen, concernés par cette évaluation ponctuelle d'histoire-

géographie, sont impérativement évalués à la fin de l'année 2021-2022 sur le seul programme de l'année de terminale. S'agissant du programme de l'année de première, les candidats scolaires inscrits à la session 2022 ont fait valoir leur moyenne annuelle en 2020-2021 au titre des évaluations communes annulées et les candidats individuels inscrits à cette même session 2022 ont été convoqués à une évaluation ponctuelle d'histoire-géographie à la fin de l'année 2020-2021, conformément aux dispositions de la note de service du 19 mars 2021 relative aux modalités d'organisation de l'examen du baccalauréat général et technologique de la session 2022, pour l'année scolaire 2020-2021, dans le contexte de l'épidémie de Covid-19.

Voie générale

Objectifs de l'évaluation

Les évaluations ponctuelles ont pour objectif d'évaluer l'aptitude du candidat à :

- mobiliser, au service d'une réflexion historique et géographique, des connaissances fondamentales pour la compréhension du monde et la formation civique et culturelle du citoyen ;
- rédiger des réponses construites et argumentées, montrant une maîtrise correcte de la langue ;
- exploiter, organiser et confronter des informations ;
- analyser un document de source et de nature diverses ;
- comprendre, interpréter et pratiquer différents langages graphiques.

Structure

Dans la voie générale, chaque évaluation ponctuelle d'histoire-géographie se compose de deux parties. La première consiste en une question problématisée ; la seconde est soit une analyse de document(s), soit la réalisation d'une production graphique.

Classe de première : évaluation sur le programme de première

Évaluation écrite

Durée : 2 heures

1re partie : réponse à une question problématisée

Il s'agit d'une réponse rédigée et construite. Le candidat doit montrer qu'il a acquis des capacités d'analyse, qu'il maîtrise des connaissances, sait les sélectionner et les organiser de manière à répondre à la problématique de la question.

L'intitulé de la question suggère des éléments de construction de la réponse.

2e partie : analyse de document(s) ou réalisation d'une production graphique

L'analyse de document(s) est accompagnée d'une consigne suggérant une problématique et des éléments de construction de l'analyse. Le ou les document(s), en histoire comme en géographie, comporte(nt) un titre et, si nécessaire, un nombre limité de notes explicatives.

Lorsque la production graphique est un croquis, ce croquis est réalisé à partir d'un texte élaboré pour l'exercice qui présente une situation géographique. Un fond de carte est fourni.

Le titre et l'organisation du texte indiquent de grandes orientations pour la réalisation du croquis.

Dans le cas d'une autre production graphique, les consignes et les données servant à l'élaboration de cette production sont fournies avec l'exercice.

Remarque générale : si la première partie du sujet porte sur l'histoire, la deuxième porte sur la géographie et/ou inversement.

Classe de terminale : évaluation sur le programme de terminale

Évaluation écrite

Durée : 2 heures

1re partie : réponse à une question problématisée

Il s'agit d'une réponse rédigée et construite. Le candidat doit montrer qu'il a acquis des capacités d'analyse, qu'il maîtrise des connaissances, sait les sélectionner et les organiser de manière à répondre à la problématique de la question.

2e partie : analyse de document(s) ou réalisation d'une production graphique

L'analyse de document(s) est accompagnée d'une consigne suggérant une problématique. Le ou les document(s), en histoire comme en géographie, comporte(nt) un titre et, si nécessaire, un nombre limité de notes explicatives.

Lorsque la production graphique est un croquis, ce croquis est réalisé à partir d'un texte élaboré pour l'exercice qui présente une situation géographique. Un fond de carte est fourni.

Le candidat fait preuve d'une plus grande autonomie pour identifier, organiser et hiérarchiser les éléments à représenter et construire la légende.

Dans le cas d'une autre production graphique, les consignes et les données servant à l'élaboration de cette production sont fournies avec l'exercice.

Remarque générale : si la première partie du sujet porte sur l'histoire, la deuxième porte sur la géographie et/ou inversement.

Fin du cycle terminal : évaluation sur le programme du cycle terminal

Évaluation écrite

Durée : 2 heures

1re partie : réponse à une question problématisée

Il s'agit d'une réponse rédigée et construite. Le candidat doit montrer qu'il a acquis des capacités d'analyse, qu'il maîtrise des connaissances, sait les sélectionner et les organiser de manière à répondre à la problématique de la question.

2e partie : analyse de document(s) ou réalisation d'une production graphique

L'analyse de document(s) est accompagnée d'une consigne suggérant une problématique. Le ou les document(s), en histoire comme en géographie, comporte(nt) un titre et, si nécessaire, un nombre limité de notes explicatives.

Lorsque la production graphique est un croquis, ce croquis est réalisé à partir d'un texte élaboré pour l'exercice qui présente une situation géographique. Un fond de carte est fourni.

Le candidat fait preuve d'une plus grande autonomie pour identifier, organiser et hiérarchiser les éléments à représenter et construire la légende.

Dans le cas d'une autre production graphique, les consignes et les données servant à l'élaboration de cette production sont fournies avec l'exercice.

Remarque générale : si la première partie du sujet porte sur l'histoire, la deuxième porte sur la géographie et/ou inversement.

Notation

Chaque partie est notée sur 10. La note finale est la somme des notes attribuées à chaque partie.

Candidats en situation de handicap

S'agissant du croquis, pour les candidats présentant un trouble moteur ou visuel, le candidat peut, dans le cadre de l'aménagement de l'épreuve, rédiger uniquement une légende, sans obligatoirement indiquer les figurés. Il indiquera de façon organisée les informations qu'il aurait fait figurer sur le fond de carte.

S'agissant de la production graphique autre que le croquis, pour les candidats présentant un trouble moteur ou visuel, le candidat peut, dans le cadre de l'aménagement de l'épreuve, remplacer cet exercice par une rédaction argumentée d'une page maximum, indiquant de façon organisée les informations qu'il aurait fait figurer sur la production graphique.

Voie technologique (toutes séries)

Objectifs de l'évaluation

Les évaluations ponctuelles ont pour objectif d'évaluer l'aptitude du candidat à :

- mobiliser des connaissances fondamentales ;
- exploiter, organiser et confronter des informations ;
- rédiger des réponses construites qui témoignent d'une maîtrise correcte de la langue et de capacités de réflexion en histoire et en géographie.

Structure et nature de l'évaluation

Durée de chaque évaluation : 2 heures

Chaque évaluation ponctuelle se compose de deux parties : un ensemble de questions et une analyse de document(s).

Les évaluations de première, de terminale et de fin de cycle visent les mêmes objectifs. La progressivité entre l'évaluation de première et l'évaluation de terminale résulte du nombre et de la complexité des questions.

Classe de première : évaluation sur le programme de première

Évaluation écrite

Durée: 2 heures

L'évaluation ponctuelle se compose de deux parties : un ensemble de questions et une analyse de document(s).

1re partie : questions

Cette partie est composée de questions qui évaluent la maîtrise des « questions obligatoires (A) » du programme en histoire et en géographie. Cette partie évalue la capacité des candidats à :

- caractériser un espace, une période, un événement, une situation ou un personnage ;
- citer des acteurs ;
- justifier une affirmation en proposant ou choisissant des arguments ;
- localiser et identifier des lieux et/ou des phénomènes sur une carte jointe au sujet ;
- proposer ou choisir les dates-clefs ou les périodes-clefs d'une évolution ;
- proposer ou choisir une définition pour une notion.

2e partie : analyse de document(s)

Cette partie consiste en l'analyse d'un ou deux document(s) relatif(s) à chacun des deux « sujets d'étude au

choix (B) » d'un thème du programme d'histoire ou de géographie. Le candidat choisit un des deux exercices proposés. L'analyse de document(s) est conduite en répondant à des questions.

L'analyse de document(s) permet au candidat de montrer qu'il comprend le sens général du (ou des deux) document(s), qu'il est capable de sélectionner les informations, de les hiérarchiser, de les expliciter et de prendre un recul critique en réponse à une interrogation en s'appuyant d'une part sur le contenu du (ou des) document(s) et, d'autre part, sur ses connaissances personnelles. Les réponses sont l'occasion d'évaluer la capacité de rédaction du candidat.

Classe de terminale : évaluation sur le programme de terminale

Évaluation écrite

Durée: 2 heures

L'évaluation ponctuelle se compose de deux parties : un ensemble de questions et une analyse de document(s).

1re partie : questions

Cette partie est composée de questions qui évaluent la maîtrise des « questions obligatoires (A) » du programme en histoire et en géographie. Cette partie évalue la capacité des candidats à :

- caractériser un espace, une période, un événement, une situation ou un personnage ;
- citer des acteurs ;
- justifier une affirmation en proposant ou choisissant des arguments ;
- localiser et identifier des lieux et/ou des phénomènes sur une carte jointe au sujet ;
- proposer ou choisir les dates-clefs ou les périodes-clefs d'une évolution ;
- proposer ou choisir une définition pour une notion.

2e partie : analyse de document(s)

Cette partie consiste en l'analyse d'un ou deux document(s) relatif(s) à chacun des deux « sujets d'étude au choix (B) » d'un thème du programme d'histoire ou de géographie. Le candidat choisit un des deux exercices proposés. L'analyse de document(s) est conduite en répondant à des questions.

L'analyse de document(s) permet au candidat de montrer qu'il comprend le sens général du (ou des deux) document(s), qu'il est capable de sélectionner les informations, de les hiérarchiser, de les expliciter et de prendre un recul critique en réponse à une interrogation en s'appuyant d'une part sur le contenu du (ou des) document(s) et, d'autre part, sur ses connaissances personnelles. Les réponses sont l'occasion d'évaluer la capacité de rédaction du candidat

Fin du cycle terminal : évaluation sur le programme du cycle terminal

Évaluation écrite

Durée: 2 heures

L'évaluation ponctuelle se compose de deux parties : un ensemble de questions et une analyse de document(s).

1re partie : questions

Cette partie est composée de questions qui évaluent la maîtrise des « questions obligatoires (A) » du programme en histoire et en géographie. Cette partie évalue la capacité des candidats à :

- caractériser un espace, une période, un événement, une situation ou un personnage ;
- citer des acteurs ;
- justifier une affirmation en proposant ou choisissant des arguments ;
- localiser et identifier des lieux et/ou des phénomènes sur une carte jointe au sujet ;
- proposer ou choisir les dates-clefs ou les périodes-clefs d'une évolution ;
- proposer ou choisir une définition pour une notion.

2e partie : analyse de document(s)

Cette partie consiste en l'analyse d'un ou deux document(s) relatif(s) à chacun des deux « sujets d'étude au choix (B) » d'un thème du programme d'histoire ou de géographie. Le candidat choisit un des deux exercices proposés. L'analyse de document(s) est conduite en répondant à des questions.

L'analyse de document(s) permet au candidat de montrer qu'il comprend le sens général du (ou des deux) document(s), qu'il est capable de sélectionner les informations, de les hiérarchiser, de les expliciter et de prendre un recul critique en réponse à une interrogation en s'appuyant d'une part sur le contenu du (ou des) document(s) et, d'autre part, sur ses connaissances personnelles. Les réponses sont l'occasion d'évaluer la capacité de rédaction du candidat

Notation

Chaque partie est notée sur 10. La note finale est la somme des notes attribuées à chaque partie.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,
La cheffe du service de l'instruction publique et de l'action pédagogique, adjointe au directeur général,
Rachel-Marie Pradeilles-Duval

Enseignements primaire et secondaire

Baccalauréats général et technologique

Évaluations ponctuelles de langues vivantes A et B à compter de la session 2022

NOR : MENE2121384N

note de service du 28-7-2021

MENJS - DGESCO A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; aux vice-recteurs ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux ; aux inspecteurs et inspectrices de l'éducation nationale ; aux cheffes et chefs d'établissement ; aux professeures et professeurs ; aux formateurs et formatrices

La présente note de service définit le format des évaluations ponctuelles prévues en langues vivantes A et B au titre du contrôle continu, à compter de la session 2022 du baccalauréat, pour les candidats dits individuels, c'est-à-dire les candidats qui ne suivent les cours d'aucun établissement, les candidats inscrits dans un établissement privé hors contrat, les candidats inscrits dans un établissement français à l'étranger ne bénéficiant pas d'une homologation pour le cycle terminal et les candidats inscrits au Cned en scolarité libre, conformément aux dispositions de l'arrêté du 16 juillet 2018 modifié relatif aux modalités d'organisation du contrôle continu pour l'évaluation des enseignements dispensés dans les classes conduisant au baccalauréat général et au baccalauréat technologique. Elle abroge et remplace la note de service du 23 juillet 2020 relative aux évaluations communes de langues vivantes A et B à compter de la session 2021 de l'examen du baccalauréat.

Ces évaluations ponctuelles s'adressent également, sur leur demande, aux candidats sportifs de haut niveau, sportifs espoirs et sportifs des collectifs nationaux inscrits sur les listes mentionnées à l'article L. 221-2 du Code du sport.

Enfin, elles peuvent être organisées, à titre d'évaluations de remplacement lorsque leur moyenne annuelle fait défaut, pour les candidats dits scolaires, c'est-à-dire les candidats inscrits dans un établissement public, dans un établissement privé sous contrat, au Cned en scolarité réglementée ou dans un établissement français à l'étranger homologué pour le cycle terminal.

Pour chacune des voies et séries, ces évaluations ponctuelles sont adossées au programme de l'enseignement commun de langues vivantes A et B pour les classes de première et de terminale. Le résultat obtenu par le candidat est pris en compte pour le baccalauréat au titre du contrôle continu, conformément aux dispositions de la note de service du 28 juillet 2021 relative aux modalités d'évaluation des candidats à compter de la session 2022.

Deux modalités d'organisation de ces évaluations ponctuelles sont prévues, selon le choix formulé par le candidat individuel ou le sportif de haut niveau, ou pour répondre à la spécificité de la situation du candidat scolaire n'ayant pu présenter de moyenne annuelle, pour cause de force majeure dûment justifiée :

1. Une modalité d'organisation consistant en une unique évaluation ponctuelle à la fin du cycle terminal, sur le programme des deux années du cycle terminal ;
2. Une modalité d'organisation consistant en deux évaluations ponctuelles, une à la fin de l'année de première, l'autre à la fin de l'année de terminale.

Les candidats dits individuels, définis dans l'introduction de la présente note de service, formulent leur choix entre ces deux modalités, lors de leur inscription à l'examen. Ce choix est définitif une fois que l'inscription à l'examen est close, sauf en cas de situation exceptionnelle, et sous réserve de l'autorisation du recteur d'académie. Lorsque le candidat choisit d'être successivement évalué en fin de classe de première et en fin de classe de terminale, il ne peut modifier la répartition des évaluations prévues par la réglementation.

Les candidats dits scolaires, définis dans l'introduction de la présente note de service, sont convoqués à une évaluation ponctuelle, à titre d'évaluation de remplacement, au cours du premier trimestre de l'année de terminale sur les axes du programme de langues vivantes A et B étudiés en classe de première si la moyenne annuelle qui leur fait défaut est celle de l'année de première, ou avant la fin de l'année de terminale sur les axes du programme de langues vivantes A et B étudiés en classe de terminale si la moyenne annuelle qui leur fait défaut est celle de l'année de terminale.

La note attribuée est affectée d'un coefficient 3 si l'évaluation porte sur une partie du programme pour l'année de première ou de terminale et d'un coefficient 6 si l'évaluation porte sur l'ensemble du programme du cycle

terminal.

Les candidats inscrits à la session 2022 de l'examen, concernés par cette évaluation ponctuelle de langues vivantes A et B, sont impérativement évalués à la fin de l'année 2021-2022 suivant l'évaluation définie ci-après pour la classe de terminale. S'agissant de l'année de première, les candidats scolaires inscrits à la session 2022 ont fait valoir leur moyenne annuelle en 2020-2021 au titre des évaluations communes annulées et les candidats individuels inscrits à cette même session 2022 ont été convoqués à une évaluation ponctuelle de langues vivantes A et B à la fin de l'année 2020-2021, conformément aux dispositions de la note de service du 19 mars 2021 relative aux modalités d'organisation de l'examen du baccalauréat général et technologique de la session 2022, pour l'année scolaire 2020-2021, dans le contexte de l'épidémie de Covid-19.

Toutes voies et séries

Objectifs de l'évaluation

Pour tous les candidats des voies générale et technologique, l'évaluation des langues vivantes A et B est adossée aux niveaux du Cadre européen commun de référence pour les langues (CECRL). Conformément à l'article D. 312-16 du Code de l'éducation, le niveau attendu du CECRL est B2 « niveau avancé ou indépendant » pour la langue choisie en LVA ; B1, « niveau seuil », pour la langue choisie en LVB, à la fin des études du second degré.

Les documents supports de l'évaluation ainsi que les questions posées s'inscrivent dans le cadre des axes du programme étudiés en classes de première et de terminale pour les enseignements communs de langue vivante tels que définis dans l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019.

Les fiches d'évaluation et de notation en annexe permettent d'évaluer les prestations des candidats selon le rang de la langue concernée (LVA ou B).

Structure

Classe de première : évaluation sur les axes à étudier, définis par note de service

Compréhension de l'écrit - Expression écrite

Durée : 1 heure 30 minutes

Niveaux visés : B1-B2 pour la langue A ; A2-B1 pour la langue B

L'évaluation est composée de deux parties.

Les candidats se voient remettre l'intégralité du sujet dès le début de l'évaluation et organisent leur temps individuellement.

- La compréhension de l'écrit est évaluée à partir d'un ou deux documents. Les candidats en rendent compte en français ou en langue cible, selon la consigne indiquée, de manière libre ou guidée. La longueur cumulée des textes est comprise entre 2 300 et 4 000 signes, blancs et espaces compris [1].

- Le sujet d'expression écrite, à traiter en langue cible, se fonde sur une ou deux questions, en lien avec la thématique générale du document support de l'évaluation de la compréhension de l'écrit. Le sujet peut prendre appui sur un document iconographique.

Notation

La note globale est sur 20. Chaque partie est évaluée sur 10 points, à partir des fiches d'évaluation et de notation.

Classe de terminale : évaluation sur les axes à étudier, définis par note de service

Compréhension de l'oral et de l'écrit - Expression écrite et orale

Niveaux visés : B2 pour la langue A ; B1 pour la langue B

L'évaluation se déroule en deux temps.

- **Le premier temps** consiste en une évaluation écrite d'1 h 30 (hors temps d'écoute du document audio ou vidéo). Elle est composée de deux parties, l'une consacrée à l'évaluation des compétences de compréhension de l'oral et de l'écrit, l'autre à l'évaluation des compétences d'expression écrite. Les candidats reçoivent l'intégralité du sujet dès le début de l'évaluation.

La compréhension de l'oral est évaluée à partir d'un document audio ou vidéo dont la durée n'excède pas 1 minute 30. Le document est écouté ou visionné trois fois, les écoutes ou visionnages étant espacés d'une minute. Durant les écoutes ou visionnages, les candidats peuvent prendre des notes.

À l'issue de la troisième écoute, les candidats utilisent le temps dont ils disposent comme ils le souhaitent pour rendre compte du document oral, en français, de manière libre ou guidée, puis pour traiter la compréhension de l'écrit et le sujet d'expression écrite.

La compréhension de l'écrit est évaluée à partir d'un ou deux documents. Les candidats en rendent compte en français ou en langue cible, selon la consigne indiquée, de manière libre ou guidée. Il peut en outre leur être demandé de répondre en français ou en langue cible à une question portant la compréhension de l'ensemble du dossier constitué par les documents supports de l'évaluation de la compréhension de l'oral et de l'écrit. La longueur cumulée des textes est comprise entre 2 500 et 4 300 signes, blancs et espaces compris [2].

Le sujet d'expression écrite, à traiter en langue cible, se fonde sur une ou deux questions, en lien avec la

thématique générale du dossier constitué par les documents supports de l'évaluation de la compréhension de l'oral et de l'écrit.

Le sujet peut prendre appui sur un document iconographique.

- **Le second temps** consiste en une évaluation orale individuelle d'une durée de 10 minutes, avec un temps de préparation de 10 minutes.

Le candidat a le choix entre trois axes culturels du programme proposés par l'examineur.

En tenant compte du choix du candidat, l'examineur propose des pistes de discussion : deux documents iconographiques, ou deux citations, ou un document iconographique et une citation. Le candidat explique en langue cible pendant cinq minutes maximum quel document ou quelle citation illustre à son sens le mieux l'axe qu'il a choisi et pourquoi.

L'entretien est élargi à des questions plus générales, portant par exemple sur le travail réalisé par le candidat sur l'axe choisi.

Notation

La note globale est sur 20. La compréhension (de l'oral et de l'écrit) et l'expression (écrite et orale) comptent à parts égales et sont évaluées à partir des fiches d'évaluation et de notation.

Fin du cycle terminal : évaluation sur les axes à étudier, définis par note de service

Compréhension de l'oral et de l'écrit - Expression écrite et orale

Niveaux visés : B2 pour la langue A ; B1 pour la langue B

L'évaluation se déroule en deux temps.

- **Le premier temps** consiste en une évaluation écrite d'1 h 30 (hors temps d'écoute du document audio ou vidéo). Elle est composée de deux parties, l'une consacrée à l'évaluation des compétences de compréhension de l'oral et de l'écrit, l'autre à l'évaluation des compétences d'expression écrite. Les candidats reçoivent l'intégralité du sujet dès le début de l'évaluation.

La compréhension de l'oral est évaluée à partir d'un document audio ou vidéo dont la durée n'excède pas 1 minute 30. Le document est écouté ou visionné trois fois, les écoutes ou visionnages étant espacés d'une minute. Durant les écoutes ou visionnages, les candidats peuvent prendre des notes.

À l'issue de la troisième écoute, les candidats utilisent le temps dont ils disposent comme ils le souhaitent pour rendre compte du document oral, en français, de manière libre ou guidée, puis pour traiter la compréhension de l'écrit et le sujet d'expression écrite.

La compréhension de l'écrit est évaluée à partir d'un ou deux documents. Les candidats en rendent compte en français ou en langue cible, selon la consigne indiquée, de manière libre ou guidée. Il peut en outre leur être demandé de répondre en français ou en langue cible à une question portant la compréhension de l'ensemble du dossier constitué par les documents supports de l'évaluation de la compréhension de l'oral et de l'écrit. La longueur cumulée des textes est comprise entre 2 500 et 4 300 signes, blancs et espaces compris [2].

Le sujet d'expression écrite, à traiter en langue cible, se fonde sur une ou deux questions, en lien avec la thématique générale du dossier constitué par les documents supports de l'évaluation de la compréhension de l'oral et de l'écrit.

Le sujet peut prendre appui sur un document iconographique.

- **Le second temps** consiste en une évaluation orale individuelle d'une durée de 10 minutes, avec un temps de préparation de 10 minutes.

Le candidat a le choix entre trois axes culturels du programme proposés par l'examineur.

En tenant compte du choix du candidat, l'examineur propose des pistes de discussion : deux documents iconographiques, ou deux citations, ou un document iconographique et une citation. Le candidat explique en langue cible pendant cinq minutes maximum quel document ou quelle citation illustre à son sens le mieux l'axe qu'il a choisi et pourquoi.

L'entretien est élargi à des questions plus générales, portant par exemple sur le travail réalisé par le candidat sur l'axe choisi.

Notation

La note globale est sur 20. La compréhension (de l'oral et de l'écrit) et l'expression (écrite et orale) comptent à parts égales et sont évaluées à partir des fiches d'évaluation et de notation.

Voie technologique

Évaluation de l'enseignement technologique en langue vivante (ETLV)

Objectifs de l'évaluation

L'évaluation permet de mesurer la capacité du candidat à communiquer en langue étrangère sur des travaux effectués au cours du cycle terminal en ETLV, en lien avec l'enseignement de spécialité concerné.

Structure et nature de l'évaluation

Durée : 10 minutes (sans temps de préparation)

L'évaluation de l'enseignement technologique de langue vivante (ETLV) se substitue au second temps

(expression orale) de terminale de la langue vivante à laquelle le candidat a choisi d'adosser l'ETLV. Elle repose sur l'enseignement technologique qui a fait l'objet d'un enseignement d'ETLV au cours de l'année de terminale. Le jury est composé de deux enseignants, l'un pour l'enseignement technologique choisi, l'autre pour la langue vivante.

L'évaluation commence par une prise de parole en continu par le candidat qui dispose d'une durée maximale de 5 minutes. Cette présentation est suivie d'un entretien avec le jury.

Les ressources utilisées pour la prise de parole en continu sont produites par le candidat.

L'évaluation s'appuie sur les différents contextes des enseignements technologiques ou scientifiques du cycle terminal de la voie technologique.

Les contextes sont les suivants : les projets technologiques ou scientifiques conduits en enseignement de spécialité en STL, STI2D et STD2A, une situation technologique du secteur de l'hôtellerie et de la restauration en STHR, une organisation (entreprise, administration ou association) en STMG, un fait social touchant à la santé ou au bien-être des populations en ST2S, un projet artistique en S2TMD.

Pour chaque candidat, les examinateurs conduisent une évaluation conjointe à partir de la fiche d'évaluation et de notation.

[1] En arabe, pour l'EC2 : entre 900 et 2 000 signes, blancs et espaces compris

En chinois, pour l'EC2 : entre 500 et 700 caractères

En hébreu, pour l'EC2 : entre 1 400 et 1 800 signes, blancs et espaces compris

En japonais, pour l'EC2 : entre 600 et 800 signes

[2] En arabe, pour l'EC3 : entre 1 200 et 2 500 signes, blancs et espaces compris

En chinois, pour l'EC3 : entre 600 et 800 caractères

En hébreu, pour l'EC3 : entre 1 700 et 2 200 signes, blancs et espaces compris

En japonais, pour l'EC3 : entre 700 et 900 signes

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,

Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,

La cheffe du service de l'instruction publique et de l'action pédagogique, adjointe au directeur général,

Rachel-Marie Pradeilles-Duval

Annexe

➔ Grilles pour l'évaluation des langues vivantes

Annexe - Grilles pour l'évaluation des langues vivantes

Baccalauréat - Évaluations de langues vivantes Grille pour l'évaluation de la compréhension de l'oral ou de l'écrit

	Identification du contexte ou de la situation d'énonciation	Points Score	Identification des réseaux de sens	Points Score	Identification des stratégies de communication	Points Score
C1	Peut identifier les détails fins ou l'implicite tout en les replaçant dans le contexte.	30	Peut identifier et analyser la logique interne d'un document ou dossier en distinguant le cas échéant ce qui est de l'ordre de la digression.	30	Peut identifier l'articulation de documents. Peut identifier la tonalité d'un propos : ironie, humour, stratégies interpersonnelles, etc.	30
B2	Peut identifier la richesse d'un contexte ou d'une situation d'énonciation, y compris en relevant le cas échéant des éléments implicites.	20	Peut identifier la cohérence globale d'un document ou dossier : identifier les principales raisons pour ou contre une idée ; reconstituer une chronologie d'événements dans un récit ; repérer des sauts ou retours en arrière, etc.	20	Peut repérer une intention en distinguant l'expression d'un point de vue de l'exposé de faits. Peut identifier des éléments implicites de l'articulation entre des documents.	20
B1	Peut relever des informations détaillées sur le contexte (objet, enjeux, perspective narrative, expériences relatées, etc.) et établir des liens entre elles.	10	Peut relever l'essentiel des éléments porteurs de sens d'un document ou dossier : reconstituer le plan général d'un texte ; suivre les points principaux d'une discussion, d'un reportage ; identifier des liens de causalité simples, etc.	10	Peut identifier l'expression de points de vue, souhaits et/ou perspectives. Peut identifier la nature de l'articulation entre les documents (lien chronologique, illustratif, d'opposition, etc.)	10
A2	Peut relever des informations explicites sur le contexte (thème, lieux, personnes, événements, etc.).	5	Peut comprendre globalement un document ou dossier : identifier le sujet principal, regrouper des termes d'un même champ lexical.	5	Peut identifier la nature du (ou des) documents et la mettre en lien avec quelques éléments du contenu.	5
A1	Peut relever des informations isolées simples et les articuler en partie les unes aux autres.	3	Peut construire une amorce de compréhension en relevant des mots ou expressions.	3	Peut relever quelques données ou caractéristiques évidentes d'un document (dates, titres, paragraphes, bande-son, etc.)	3
Pré A1	Peut relever quelques données.	1	Peut relever des mots transparents et/ou familiers.	1	Peut relever quelques informations isolées simples.	1

Tableau de conversion compréhension (A1 à partir de 9 points score ; A2 à partir de 15 points ; B1 à partir de 30 points ; B2 à partir de 60 points ; C1 = 90 points)

LVA	N°1	CO	0	1-5	6-9	10-12	13-15	16-22	23-29	30+	B1 visé													
	N°2	CE	0	1-5	6-13	14-17	18-22	23-29	30-49	50+	B1-B2 visé													
	N°3	CO/CE	0	1-11	12-15	16-20	21-29	30-39	40-59	60+	B2 visé													
Note sur 20			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
LVB	N°1	CO	0	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-22	23+	A2-B1 visé													
	N°2	CE	0	1-5	6-9	10-12	13-15	16-19	20-24	25+	A2-B1 visé													
	N°3	CO/CE	0	1-5	6-9	10-12	13-15	16-22	23-29	30+	B1 visé													

Baccalauréat - Évaluations de langues vivantes
Grille pour l'évaluation de l'expression écrite

	Qualité du contenu	Points Score	Cohérence de la construction du discours	Points Score	Correction de la langue écrite	Points Score	Richesse de la langue	Points Score
C1	Peut traiter le sujet et produire un écrit fluide et convaincant , étayé par des éléments (inter)culturels pertinents.	30	Peut produire un récit ou une argumentation complexe en démontrant un usage maîtrisé de moyens linguistiques de structuration.	30	Peut maintenir tout au long de sa rédaction un bon degré de correction grammaticale , y compris en mobilisant des structures complexes.	30	Peut employer de manière pertinente un vaste répertoire lexical incluant des expressions idiomatiques, des nuances de formulation et des structures variées.	30
B2	Peut traiter le sujet et produire un écrit clair, détaillé et globalement efficace , y compris en prenant appui sur certains éléments (inter)culturels pertinents.	20	Peut produire un récit ou une argumentation en indiquant la relation entre les faits et les idées dans un texte bien structuré.	20	Peut démontrer une bonne maîtrise des structures simples et courantes . Les erreurs sur les structures complexes ne donnent pas lieu à des malentendus.	20	Peut produire un texte dont l'étendue du lexique et des structures sont suffisantes pour permettre précision et variété des formulations .	20
B1	Peut traiter le sujet et produire un écrit intelligible et relativement développé , y compris en faisant référence à quelques éléments (inter)culturels.	10	Peut rendre compte d'expériences en décrivant ses sentiments et réactions. Peut exposer et illustrer un point de vue . Peut raconter une histoire de manière cohérente.	10	Peut démontrer une bonne maîtrise des structures simples et courantes . Les erreurs sur les structures simples ne gênent pas la lecture.	10	Peut produire un texte dont l' étendue lexicale relative nécessite l'usage de périphrases et de répétitions .	10
A2	Peut traiter le sujet, même si la production est courte .	5	Peut exposer une expérience ou un point de vue en utilisant des connecteurs élémentaires.	5	Peut produire un texte immédiatement compréhensible malgré des erreurs fréquentes.	5	Peut produire un texte dont les mots sont adaptés à l'intention de communication, en dépit d'un répertoire lexical limité .	5
A1	Peut simplement amorcer une production écrite en lien avec le sujet.	3	Peut énumérer des informations sur soi-même ou les autres.	3	Peut produire un texte globalement compréhensible mais dont la lecture est peu aisée.	3	Peut produire un texte intelligible malgré un lexique pauvre .	3
Pré A1	Peut rassembler des mots isolés en lien avec le sujet.	1	Peut rassembler des notes non articulées.	1	Peut produire un écrit mais peu intelligible .	1	Peut produire quelques éléments stéréotypés .	1

Tableau de conversion expression écrite (A1 à partir de 12 points score ; A2 à partir de 20 points ; B1 à partir de 40 points ; B2 à partir de 80 points ; C1 = 120 points)

LVA	N°1	EE	0	1-4	5-12	13-18	19-22	23-31	32-39	40+	B1 visé
	N°2	EE	0	1-12	13-17	18-20	21-25	26-39	40-59	60+	B1-B2 visé
	N°3	EE	0	1-12	13-20	21-29	30-39	40-59	60-79	80+	B2 visé

Note sur 20		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
LVB	N°1	EE	0	1-4			5-12			13-16			17-19			20-29			30-34		35+	A2-B1 visé	
	N°2	EE	0	1-4			5-12			13-16			17-20			21-29			30-34		35+	A2-B1 visé	
	N°3	EE	0	1-4			5-12			13-16			17-20			21-31			32-39		40+	B1 visé	

Baccalauréat – Évaluations de langues vivantes
Grille pour l'évaluation de l'expression orale

	Expression orale en continu	Points Score	Interaction orale	Points Score	Correction de la langue orale	Points Score	Richesse de la langue	Points Score
C1	Peut développer une argumentation complexe , fondée sur des références (inter)culturelles, de manière synthétique et fluide tout en s'assurant de sa bonne réception.	30	Peut interagir avec aisance et contribuer habilement à la construction de l'échange , y compris en exploitant des références (inter)culturelles.	30	Peut utiliser avec une assez bonne maîtrise tout l'éventail des traits phonologiques de la langue cible , de façon à être toujours intelligible. Les rares erreurs de langue ne donnent pas lieu à malentendu.	30	Peut employer de manière pertinente un vaste répertoire lexical incluant des expressions idiomatiques, des nuances de formulation et des structures variées.	30
B2	Peut développer un point de vue pertinent et étayé , y compris par des reformulations qui ne rompent pas le fil du discours. Peut nuancer un propos en s'appuyant sur des références (inter)culturelles.	20	Peut argumenter et chercher à convaincre . Peut réagir avec pertinence et relancer la discussion , y compris pour amener l'échange sur un terrain familier ou sur celui d'aspects (inter)culturels.	20	La prononciation et l'accentuation peuvent subir l'influence d'autres langues mais l'impact sur la compréhension est négligeable . Les erreurs de langue ne donnent pas lieu à malentendu.	20	Peut produire un discours et des énoncés assez fluides dont l'étendue du lexique est suffisante pour permettre précision et variété des formulations .	20
B1	Peut exposer un point de vue de manière simple en l'illustrant par des exemples et des références (inter)culturelles. Le discours est structuré (relations de causalité, comparaisons etc.).	10	Peut engager, soutenir et clore une conversation simple sur des sujets familiers . Peut faire référence à des aspects (inter)culturels.	10	Peut s'exprimer en général de manière intelligible malgré l'influence d'autres langues. Bonne maîtrise des structures simples.	10	Peut produire un discours et des énoncés dont l'étendue lexicale relative nécessite l'usage de périphrases et répétitions .	10
A2	Peut exprimer un avis en termes simples . Le discours est bref et les éléments en sont juxtaposés.	5	Peut répondre et réagir de manière simple .	5	Peut s'exprimer de manière suffisamment claire pour être compris mais la compréhension requiert un effort des interlocuteurs .	5	Peut produire un discours et des énoncés dont les mots sont adaptés à l'intention de communication, en dépit d'un répertoire lexical limité .	5

A1	Peut exprimer un avis en termes très simples . Les énoncés sont ponctués de pauses, d'hésitations et de faux démarrages.	3	Peut intervenir simplement mais la communication repose sur la répétition et la reformulation .	3	Peut s'exprimer de façon globalement compréhensible en utilisant un répertoire très limité d'expressions et de mots mémorisés.	3	Peut produire des énoncés globalement intelligibles malgré un lexique pauvre .	3
Pré A1	Peut amorcer un propos avec quelques mots mémorisés.	1	Peut répondre à des questions très simples et ritualisées .	1	Peut prononcer correctement quelques mots simples .	1	Peut produire quelques éléments stéréotypés .	1

Tableau de conversion expression orale (A1 à partir de 12 points score ; A2 à partir de 20 points ; B1 à partir de 40 points ; B2 à partir de 80 points ; C1 = 120 points

LVA	N°3	EO/IO	0	1-12			13-20			21-29			30-39			40-59			60-79			80+	B2 visé	
Note sur 20			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
LVB	N°3	EO/IO	0	1-4			5-12			13-16			17-20			21-31			32-39			40+	B1 visé	

Enseignements primaire et secondaire

Baccalauréat général

Évaluations ponctuelles pour l'enseignement scientifique à compter de la session 2022

NOR : MENE2121385N

note de service du 28-7-2021

MENJS - DGESCO A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; aux vice-recteurs ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux ; aux inspecteurs et inspectrices de l'éducation nationale ; aux cheffes et chefs d'établissement ; aux professeures et professeurs ; aux formateurs et formatrices

La présente note de service définit le format des évaluations ponctuelles prévues en enseignement scientifique au titre du contrôle continu, à compter de la session 2022 du baccalauréat de la voie générale, pour les candidats dits individuels, c'est-à-dire les candidats qui ne suivent les cours d'aucun établissement, les candidats inscrits dans un établissement privé hors contrat, les candidats inscrits dans un établissement français à l'étranger ne bénéficiant pas d'une homologation pour le cycle terminal et les candidats inscrits au Cned en scolarité libre, conformément aux dispositions de l'arrêté du 16 juillet 2018 modifié relatif aux modalités d'organisation du contrôle continu pour l'évaluation des enseignements dispensés dans les classes conduisant au baccalauréat général et au baccalauréat technologique. Elle abroge et remplace la note de service du 23 juillet 2020 relative aux évaluations communes pour l'enseignement scientifique à compter de la session 2021 de l'examen du baccalauréat.

Ces évaluations ponctuelles s'adressent également, sur leur demande, aux candidats sportifs de haut niveau, sportifs espoirs et sportifs des collectifs nationaux inscrits sur les listes mentionnées à l'article L. 221-2 du Code du sport. Enfin, elles peuvent être organisées, à titre d'évaluations de remplacement lorsque leur moyenne annuelle fait défaut, pour les candidats dits scolaires, c'est-à-dire les candidats inscrits dans un établissement public, dans un établissement privé sous contrat, au Cned en scolarité réglementée ou dans un établissement français à l'étranger homologué pour le cycle terminal.

Ces évaluations ponctuelles sont adossées au programme de l'enseignement commun d'enseignement scientifique pour les classes de première et de terminale. Le résultat obtenu par le candidat est pris en compte pour le baccalauréat au titre du contrôle continu, conformément aux dispositions de la note de service du 28 juillet 2021 relative aux modalités d'évaluation des candidats à compter de la session 2022.

Deux modalités d'organisation de ces évaluations ponctuelles sont prévues, selon le choix formulé par le candidat individuel ou le sportif de haut niveau, ou pour répondre à la spécificité de la situation du candidat scolaire n'ayant pu présenter de moyenne annuelle, pour cause de force majeure dûment justifiée :

1. Une modalité d'organisation consistant en une unique évaluation ponctuelle à la fin du cycle terminal, sur le programme des deux années du cycle terminal ;
2. Une modalité d'organisation consistant en deux évaluations ponctuelles, une à la fin de l'année de première sur le programme de première, l'autre à la fin de l'année de terminale sur le programme de terminale.

Les candidats dits individuels, définis dans l'introduction de la présente note de service, formulent leur choix entre ces deux modalités, lors de leur inscription à l'examen. Ce choix est définitif une fois que l'inscription à l'examen est close, sauf en cas de situation exceptionnelle, et sous réserve de l'autorisation du recteur d'académie. Lorsque le candidat choisit d'être successivement évalué en fin de classe de première et en fin de classe de terminale, il ne peut modifier la répartition des évaluations prévues par la réglementation.

Les candidats dits scolaires, définis dans l'introduction de la présente note de service, sont convoqués à une évaluation ponctuelle, à titre d'évaluation de remplacement, au cours du premier trimestre de l'année de terminale sur le programme d'enseignement scientifique de la classe de première si la moyenne annuelle qui leur fait défaut est celle de l'année de première, ou avant la fin de l'année de terminale sur le programme d'enseignement scientifique de la classe de terminale si la moyenne annuelle qui leur fait défaut est celle de l'année de terminale.

La note attribuée est affectée d'un coefficient 3 si l'évaluation porte sur le programme de première ou de terminale, et d'un coefficient 6 si l'évaluation porte sur le programme des deux années du cycle terminal.

Les candidats inscrits à la session 2022 de l'examen, concernés par cette évaluation ponctuelle d'enseignement scientifique, sont impérativement évalués à la fin de l'année 2021-2022 sur le seul programme de l'année de

terminale. S'agissant du programme de l'année de première, les candidats scolaires inscrits à la session 2022 ont fait valoir leur moyenne annuelle en 2020-2021 au titre des évaluations communes annulées et les candidats individuels inscrits à cette même session 2022 ont été convoqués à une évaluation ponctuelle d'enseignement scientifique à la fin de l'année 2020-2021, conformément aux dispositions de la note de service du 19 mars 2021 relative aux modalités d'organisation de l'examen du baccalauréat général et technologique de la session 2022, pour l'année scolaire 2020-2021, dans le contexte de l'épidémie de Covid-19.

Objectif des évaluations

Les évaluations ponctuelles pour l'enseignement scientifique dans la voie générale ont pour objectif d'évaluer les connaissances et les compétences figurant au programme de l'enseignement scientifique pour les classes de première et de terminale, défini par arrêté du 17 janvier 2019 publié au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019 pour la classe de première et par arrêté du 19 juillet 2019 publié au BOEN spécial n° 8 du 25 juillet 2019 pour la classe de terminale, en lien avec ses trois objectifs généraux de formation :

- comprendre la nature du savoir scientifique et ses méthodes d'élaboration ;
- identifier et mettre en œuvre des pratiques scientifiques, notamment à travers l'utilisation de savoirs et des savoir-faire tels que définis dans le programme de l'enseignement scientifique ;
- identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et sur l'environnement.

Structure des évaluations

Durée de chaque évaluation : 2 heures

Les évaluations ponctuelles pour l'enseignement scientifique sont des évaluations écrites constituées par des exercices interdisciplinaires. Chaque exercice présente une cohérence thématique et porte sur un thème du programme. Le sujet évalue les compétences suivantes :

- exploiter des documents ;
- organiser, effectuer et contrôler des calculs ;
- rédiger une argumentation scientifique.

Chaque exercice évalue plus particulièrement une ou deux de ces compétences. Toute formulation des questions est envisageable : de la question ouverte jusqu'au questionnaire à choix multiple. Chaque sujet précise si l'usage de la calculatrice, dans les conditions précisées par les textes en vigueur, est autorisé.

Classe de première : évaluation sur le programme de première

En fin d'année de première, l'évaluation est constituée de deux exercices portant chacun sur un thème différent choisi parmi les quatre thèmes du programme. Le candidat choisit de traiter deux des trois exercices proposés.

Classe de terminale : évaluation sur le programme de terminale

En fin d'année de terminale, l'évaluation est constituée de deux exercices portant sur deux thèmes différents choisis parmi les trois thèmes du programme de terminale.

Fin du cycle terminal : évaluation sur le programme du cycle terminal

En fin de cycle terminal, l'évaluation est constituée :

- de deux exercices portant sur deux thèmes différents du programme de première ;
- d'un exercice portant sur le programme de terminale.

Le candidat traite obligatoirement l'exercice portant sur le programme de terminale et, au choix, un des deux exercices portant sur le programme de première.

Notation

Chaque évaluation est notée sur 20 points. Chaque exercice est noté sur 10 points.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,
La cheffe du service de l'instruction publique et de l'action pédagogique, adjointe au directeur général,
Rachel-Marie Pradeilles-Duval

Enseignements primaire et secondaire

Baccalauréat technologique

Évaluations ponctuelles de mathématiques à compter de la session 2022

NOR : MENE2121387N

note de service du 28-7-2021

MENJS - DGESCO A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; aux vice-recteurs ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux ; aux inspecteurs et inspectrices de l'éducation nationale ; aux cheffes et chefs d'établissement ; aux professeures et professeurs ; aux formateurs et formatrices

La présente note de service définit le format des évaluations ponctuelles prévues en mathématiques au titre du contrôle continu, à compter de la session 2022 du baccalauréat de la voie technologique, pour les candidats dits individuels, c'est-à-dire les candidats qui ne suivent les cours d'aucun établissement, les candidats inscrits dans un établissement privé hors contrat, les candidats inscrits dans un établissement français à l'étranger ne bénéficiant pas d'une homologation pour le cycle terminal et les candidats inscrits au Cned en scolarité libre, conformément aux dispositions de l'arrêté du 16 juillet 2018 modifié relatif aux modalités d'organisation du contrôle continu pour l'évaluation des enseignements dispensés dans les classes conduisant au baccalauréat général et au baccalauréat technologique. Elle abroge et remplace la note de service du 23 juillet 2020 relative aux évaluations communes de mathématiques à compter de la session 2021 de l'examen du baccalauréat. Ces évaluations ponctuelles s'adressent également, sur leur demande, aux candidats sportifs de haut niveau, sportifs espoirs et sportifs des collectifs nationaux inscrits sur les listes mentionnées à l'article L. 221-2 du Code du sport.

Enfin, elles peuvent être organisées, à titre d'évaluations de remplacement lorsque leur moyenne annuelle fait défaut, pour les candidats dits scolaires, c'est-à-dire les candidats inscrits dans un établissement public, dans un établissement privé sous contrat, au Cned en scolarité réglementée ou dans un établissement français à l'étranger homologué pour le cycle terminal.

Pour chacune des séries de la voie technologique, ces évaluations ponctuelles sont adossées au programme de l'enseignement commun de mathématiques pour les classes de première et de terminale. Le résultat obtenu par le candidat est pris en compte pour le baccalauréat au titre du contrôle continu, conformément aux dispositions de la note de service du 28 juillet 2021 relative aux modalités d'évaluation des candidats à compter de la session 2022.

Deux modalités d'organisation de ces évaluations ponctuelles sont prévues, selon le choix formulé par le candidat individuel ou le sportif de haut niveau, ou pour répondre à la spécificité de la situation du candidat scolaire n'ayant pu présenter de moyenne annuelle, pour cause de force majeure dûment justifiée :

1. Une modalité d'organisation consistant en une unique évaluation ponctuelle à la fin du cycle terminal, sur le programme des deux années du cycle terminal ;
2. Une modalité d'organisation consistant en deux évaluations ponctuelles, une à la fin de l'année de première sur le programme de première, l'autre à la fin de l'année de terminale sur le programme de terminale.

Les candidats dits individuels, définis dans l'introduction de la présente note de service, formulent leur choix entre ces deux modalités, lors de leur inscription à l'examen. Ce choix est définitif une fois que l'inscription à l'examen est close, sauf en cas de situation exceptionnelle, et sous réserve de l'autorisation du recteur d'académie. Lorsque le candidat choisit d'être successivement évalué en fin de classe de première et en fin de classe de terminale, il ne peut modifier la répartition des évaluations prévues par la réglementation.

Les candidats dits scolaires, définis dans l'introduction de la présente note de service, sont convoqués à une évaluation ponctuelle, à titre d'évaluation de remplacement, au cours du premier trimestre de l'année de terminale sur le programme de mathématiques de la classe de première si la moyenne annuelle qui leur fait défaut est celle de l'année de première, ou avant la fin de l'année de terminale sur le programme de mathématiques de la classe de terminale si la moyenne annuelle qui leur fait défaut est celle de l'année de terminale.

La note attribuée est affectée d'un coefficient 3 si l'évaluation porte sur le programme de première ou de terminale, et d'un coefficient 6 si l'évaluation porte sur le programme des deux années du cycle terminal.

Les candidats inscrits à la session 2022 de l'examen, concernés par cette évaluation ponctuelle de

mathématiques, sont impérativement évalués à la fin de l'année 2021-2022 sur le seul programme de l'année de terminale. S'agissant du programme de l'année de première, les candidats scolaires inscrits à la session 2022 ont fait valoir leur moyenne annuelle en 2020-2021 au titre des évaluations communes annulées et les candidats individuels inscrits à cette même session 2022 ont été convoqués à une évaluation ponctuelle de mathématiques à la fin de l'année 2020-2021, conformément aux dispositions de la note de service du 19 mars 2021 relative aux modalités d'organisation de l'examen du baccalauréat général et technologique de la session 2022, pour l'année scolaire 2020-2021, dans le contexte de l'épidémie de Covid-19.

Objectifs de l'évaluation

Les évaluations visent à apprécier la maîtrise par le candidat des contenus, compétences et capacités attendues figurant au programme de l'enseignement commun de mathématiques du cycle terminal de la voie technologique défini par arrêté du 17 janvier 2019 publié au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019 pour la classe de première et par arrêté du 19 juillet 2019 publié au BOEN spécial n° 8 du 25 juillet 2019 pour la classe de terminale.

Structure

Évaluation écrite

Durée de chaque évaluation : 2 heures dont 20 minutes pour la première partie

Les évaluations ponctuelles pour l'enseignement de mathématiques dans la voie technologique sont écrites.

Elles peuvent nécessiter, le cas échéant, l'accès à un ordinateur disposant d'un tableur et d'un environnement de programmation en Python.

Elles sont composées de deux parties :

- La première partie consiste en un test de maîtrise des automatismes figurant au programme. Il est composé de questions flash indépendantes et à réponses rapides, le cas échéant sous forme de QCM. Les feuilles-réponses sont ramassées à l'issue des vingt premières minutes de l'évaluation.

La calculatrice est interdite pour la première partie de l'évaluation.

Selon les sujets, le test peut s'appuyer sur un dispositif de visualisation collective (diaporama) et sur un environnement informatique individuel (questionnaire entièrement dématérialisé).

- La seconde partie est composée de trois exercices indépendants les uns des autres. Ils abordent des domaines divers du programme de mathématiques. Certains exercices peuvent requérir l'usage d'un outil numérique (tableur ou environnement de programmation en Python).

Pour la seconde partie, chaque sujet précise si l'usage de la calculatrice, dans les conditions précisées par les textes en vigueur, est autorisé.

Classe de première : évaluation sur le programme de première

L'évaluation de la classe de première évalue une très large part des capacités attendues inscrites dans le programme de la classe de première.

Classe de terminale : évaluation sur le programme de terminale

L'évaluation de la classe de terminale évalue une très large part des capacités attendues inscrites dans le programme de la classe de terminale.

Fin du cycle terminal : évaluation sur le programme du cycle terminal

L'évaluation de fin du cycle terminal évalue une très large part des capacités attendues inscrites dans les programmes des classes de première et de terminale.

Notation

Chaque évaluation est notée sur 20 points. La première partie est notée sur 5 points, la seconde partie est notée sur 15 points.

Candidats de la série technologique STD2A

Pour les candidats de la série technologique Sciences et technologies du design et des arts appliqués (STD2A), la partie du programme de mathématiques propre à cette série peut donner lieu à des sujets spécifiques.

Candidats en situation de handicap

Pour les candidats en situation de handicap, un tiers temps peut être accordé, y compris pour la partie « test des automatismes » d'une durée de 27 minutes au lieu de 20. Pour les déficients visuels, un équipement matériel adapté spécifique (applications logicielles, grand écran, etc.) est fourni.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,
La cheffe du service de l'instruction publique et de l'action pédagogique, adjointe au directeur général,
Rachel-Marie Pradeilles-Duval

Enseignements primaire et secondaire

Baccalauréats général et technologique

Évaluations ponctuelles d'enseignement moral et civique à compter de la session 2022

NOR : MENE2121388N

note de service du 28-7-2021

MENJS - DGESCO A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; aux vice-recteurs ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux ; aux inspecteurs et inspectrices de l'éducation nationale ; aux cheffes et chefs d'établissement ; aux professeures et professeurs ; aux formateurs et formatrices

La présente note de service définit le format des évaluations ponctuelles prévues en enseignement moral et civique au titre du contrôle continu, à compter de la session 2022 du baccalauréat, pour les candidats dits individuels, c'est-à-dire les candidats qui ne suivent les cours d'aucun établissement, les candidats inscrits dans un établissement privé hors contrat, les candidats inscrits dans un établissement français à l'étranger ne bénéficiant pas d'une homologation pour le cycle terminal et les candidats inscrits au Cned en scolarité libre, conformément aux dispositions de l'arrêté du 16 juillet 2018 modifié relatif aux modalités d'organisation du contrôle continu pour l'évaluation des enseignements dispensés dans les classes conduisant au baccalauréat général et au baccalauréat technologique.

Ces évaluations ponctuelles s'adressent également, sur leur demande, aux candidats sportifs de haut niveau, sportifs espoirs et sportifs des collectifs nationaux inscrits sur les listes mentionnées à l'article L. 221-2 du Code du sport.

Enfin, elles peuvent être organisées, à titre d'évaluations de remplacement, lorsque leur moyenne annuelle fait défaut, pour les candidats dits scolaires, c'est-à-dire les candidats inscrits dans un établissement public, dans un établissement privé sous contrat, au Cned en scolarité réglementée ou dans un établissement français à l'étranger homologué pour le cycle terminal.

Pour chacune des voies et séries, ces évaluations ponctuelles sont adossées au programme de l'enseignement commun d'enseignement moral et civique pour les classes de première et de terminale. Le résultat obtenu par le candidat est pris en compte pour le baccalauréat au titre du contrôle continu, conformément aux dispositions de la note de service du 28 juillet 2021 relative aux modalités d'évaluation des candidats à compter de la session 2022.

Deux modalités d'organisation de ces évaluations ponctuelles sont prévues, selon le choix formulé par le candidat individuel ou le sportif de haut niveau, ou pour répondre à la spécificité de la situation du candidat scolaire n'ayant pu présenter de moyenne annuelle, pour cause de force majeure dûment justifiée :

1. Une modalité d'organisation consistant en une unique évaluation ponctuelle à la fin du cycle terminal, sur le programme des deux années du cycle terminal ;
2. Une modalité d'organisation consistant en deux évaluations ponctuelles, une à la fin de l'année de première sur le programme de première, l'autre à la fin de l'année de terminale sur le programme de terminale.

Les candidats dits individuels, définis dans l'introduction de la présente note de service, formulent leur choix entre ces deux modalités, lors de leur inscription à l'examen. Ce choix est définitif une fois que l'inscription à l'examen est close, sauf en cas de situation exceptionnelle, et sous réserve de l'autorisation du recteur d'académie. Lorsque le candidat choisit d'être successivement évalué en fin de classe de première et en fin de classe de terminale, il ne peut modifier la répartition des évaluations prévues par la réglementation.

Les candidats dits scolaires, définis dans l'introduction de la présente note de service, sont convoqués à une évaluation ponctuelle, à titre d'évaluation de remplacement, au cours du premier trimestre de l'année de terminale sur le programme d'enseignement moral et civique de la classe de première si la moyenne annuelle qui leur fait défaut est celle de l'année de première, ou avant la fin de l'année de terminale sur le programme d'enseignement moral et civique de la classe de terminale si la moyenne annuelle qui leur fait défaut est celle de l'année de terminale.

La note attribuée est affectée d'un coefficient 1 si l'évaluation porte sur le programme de première ou de terminale, et d'un coefficient 2 si l'évaluation porte sur le programme des deux années du cycle terminal.

Les candidats inscrits à la session 2022 de l'examen, concernés par cette évaluation ponctuelle d'enseignement moral et civique, sont impérativement évalués à la fin de l'année 2021-2022 sur le seul programme de l'année

de terminale.

Voie générale et technologique

Objectifs de l'évaluation

L'enseignement moral et civique prépare à l'exercice de la citoyenneté et sensibilise les élèves à la responsabilité individuelle et collective. Cet enseignement contribue à transmettre les valeurs de la République à tous les élèves, tout en favorisant l'exercice d'un jugement personnel. Il est au cœur d'un équilibre entre l'autonomie individuelle et l'appartenance à un collectif. Ces capacités sont évaluées dans le souci de cet équilibre. Comme le rappelle le préambule des programmes de lycée, définis par arrêté du 17 janvier 2019 publié au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019 pour la classe de première et par arrêté du 19 juillet 2019 publié au BOEN spécial n° 8 du 25 juillet 2019 pour la classe de terminale, il s'agit de savoir exercer son jugement et de l'inscrire dans une recherche de vérité ; d'être capable de mettre à distance ses propres opinions et représentations, de comprendre le sens de la complexité des choses, d'être capable de considérer les autres dans leur diversité et leurs différences.

Structure

Classe de première : évaluation sur le programme de première

Évaluation orale

Durée : 30 minutes (30 minutes de préparation)

Le candidat présente à l'examineur, au début de l'évaluation, une liste pour laquelle il indique, pour chacun des deux axes du programme de la classe de première, les deux domaines qu'il a étudiés.

L'examineur choisit un domaine parmi les quatre proposés. Le candidat dispose ensuite de 30 minutes de préparation.

Le candidat présente une situation ou un débat ayant trait au domaine choisi et en lien avec le questionnement de l'axe figurant dans le programme. Il identifie les valeurs et principes en jeu dans cette situation ou dans ce débat. Il explique enfin comment l'examen de ce débat ou de cette situation a nourri sa réflexion personnelle.

L'exposé du candidat dure au maximum 10 minutes et il est suivi d'un entretien avec l'examineur.

Classe de terminale : évaluation sur le programme de terminale

Évaluation orale

Durée : 30 minutes (30 minutes de préparation)

Le candidat présente à l'examineur, au début de l'évaluation, une liste pour laquelle il indique, pour chacun des deux axes du programme de la classe de terminale, les deux domaines qu'il a étudiés.

L'examineur choisit un domaine parmi les quatre proposés. Le candidat dispose ensuite de 30 minutes de préparation.

Le candidat présente une situation ou un débat ayant trait au domaine choisi et en lien avec le questionnement de l'axe figurant dans le programme. Il identifie les valeurs et principes en jeu dans cette situation ou dans ce débat. Il explique enfin comment l'examen de ce débat ou de cette situation a nourri sa réflexion personnelle.

L'exposé du candidat dure au maximum 10 minutes et il est suivi d'un entretien avec l'examineur.

Fin du cycle terminal : évaluation sur le programme de cycle terminal

Évaluation orale

Durée : 30 minutes (30 minutes de préparation)

Le candidat présente à l'examineur, au début de l'évaluation, une liste pour laquelle il indique, pour chacun des deux axes du programme de la classe de première et des deux axes du programme de la classe de terminale, les deux domaines qu'il a étudiés.

L'examineur choisit un domaine parmi les huit proposés. Le candidat dispose ensuite de 30 minutes de préparation.

Le candidat présente une situation ou un débat ayant trait au domaine choisi et en lien avec le questionnement de l'axe figurant dans le programme. Il identifie les valeurs et principes en jeu dans cette situation ou dans ce débat. Il explique enfin comment l'examen de ce débat ou de cette situation a nourri sa réflexion personnelle.

L'exposé du candidat dure au maximum 10 minutes et il est suivi d'un entretien avec l'examineur.

Notation

La notation sur 20 correspond à une évaluation globale qui prend en compte l'exposé du candidat et l'entretien avec l'examineur.

Candidats scolaires

Les candidats scolaires qui présentent l'évaluation ponctuelle au titre d'une évaluation de remplacement, sont évalués dans les mêmes conditions que les candidats individuels, à l'exception de la disposition suivante :

- La liste présentée par le candidat au moment de l'évaluation est préalablement visée par le professeur

d'enseignement moral et civique et par le chef d'établissement.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,
La cheffe du service de l'instruction publique et de l'action pédagogique, adjointe au directeur général,
Rachel-Marie Pradeilles-Duval

Enseignements primaire et secondaire

Baccalauréats général et technologique

Évaluation spécifique de contrôle continu organisée pour les candidats au baccalauréat scolarisés dans les sections européennes ou de langues orientales et pour les candidats présentant une discipline non linguistique ayant fait l'objet d'un enseignement en langue vivante, à compter de la session 2022

NOR : MENE2121393N

note de service du 28-7-2021

MENJS - DGESCO A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; au vice-recteur de la Polynésie française ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux ; aux inspecteurs et inspectrices de l'éducation nationale ; aux cheffes et chefs d'établissement ; aux professeures et professeurs ; aux formateurs et formatrices

La présente note de service a pour objet de définir les modalités d'organisation de l'évaluation spécifique de contrôle continu pour les candidats scolarisés en section européenne ou section de langue orientale (Selo) et pour ceux présentant une discipline non linguistique ayant fait l'objet d'un enseignement en langue vivante (DNL). Elle précise les conditions dans lesquelles doivent être appliquées, pour leur organisation, les dispositions de l'arrêté modifié du 20 décembre 2018 relatif aux conditions d'attribution de l'indication section européenne ou section de langue orientale (Selo) et de l'indication discipline non linguistique ayant fait l'objet d'un enseignement en langue vivante (DNL) sur les diplômes du baccalauréat général et du baccalauréat technologique.

Elle entre en application à compter de la session 2022 de l'examen. À compter du 1er septembre 2021, elle abroge et remplace la note de service du 23 juillet 2020 relative à l'évaluation spécifique de contrôle continu organisée pour les candidats aux baccalauréats général et technologique scolarisés dans les sections européennes ou de langues orientales et pour les candidats présentant une discipline non linguistique ayant fait l'objet d'un enseignement en langue vivante à compter de la session 2021.

1. Sections européennes ou de langues orientales (Selo)

Pour obtenir l'indication section européenne ou de langue orientale sur le diplôme de baccalauréat, le candidat, scolarisé dans une section européenne ou de langue orientale, doit satisfaire aux conditions suivantes :

- se prévaloir d'une moyenne sur le cycle terminal (moyenne des moyennes annuelles de première et de terminale) égale ou supérieure à 12 sur 20 en langue vivante A ou B (langue de la section) ;
- avoir obtenu une note égale ou supérieure à 10 sur 20 à une évaluation spécifique de contrôle continu visant à apprécier le niveau de maîtrise de la langue, acquis au cours de la scolarité en section européenne.

L'évaluation spécifique de contrôle continu comprend :

- le résultat d'une interrogation orale en langue, qui a lieu à la fin du cycle terminal, comptant pour 80 % de la note globale ;
- la note sanctionnant la scolarité de l'élève dans sa section au cours de la classe de terminale, qui compte pour 20 % de la note globale. Elle est conjointement attribuée par le professeur de langue et le ou les professeur(s) de la ou les discipline(s) non linguistique(s) ayant fait l'objet d'un enseignement dans la langue de la section. La note globale attribuée à l'évaluation spécifique de contrôle continu pour l'obtention de l'indication Selo ou DNL est prise en compte sans pondération dans le calcul de la moyenne, sur le cycle terminal, de langue vivante A ou B.

1.1 Interrogation orale en langue

Durée de l'épreuve : 20 minutes

Préparation : 20 minutes

Pour la section européenne ou section de langue orientale, l'interrogation orale en langue est organisée par les enseignants de la section. Elle est assurée par un professeur de la langue vivante de la section et, sauf impossibilité, par un professeur de la discipline non linguistique ayant fait l'objet d'un enseignement dans cette langue.

L'interrogation orale comporte deux parties de même durée et d'importance égale dans l'attribution de la

note.

1.1.1 Première partie

La première partie, conduite dans la langue de la section, prend appui sur un ou deux document(s) ou un support d'activités se rapportant à la discipline ou au champ disciplinaire dont l'enseignement a été dispensé en langue étrangère. Le sujet, qui doit être inconnu du candidat, lui est remis par le ou les examinateur(s). Dans le cas de textes, il peut s'agir d'un extrait soit d'œuvre littéraire (nouvelle, roman, pièce de théâtre, poème, essai, etc.), soit de presse écrite (éditorial, analyse d'événements ou de faits de société, etc.), soit de documentation professionnelle d'entreprises et/ou d'autres organisations. Le ou les textes choisis, rédigés dans la langue de la section, ne doivent pas excéder une quinzaine de lignes au total (ligne s'entend au sens de 70 signes y compris les blancs et la ponctuation). Des documents statistiques, iconographiques, sonores ou audiovisuels, peuvent également servir de support à cette première partie de l'interrogation, à titre principal ou accessoire. Toute spécialisation excessive susceptible de mettre le candidat en difficulté doit être évitée. Afin d'assurer la meilleure harmonisation possible dans les choix des différents supports retenus pour cette partie de l'interrogation, il est recommandé que la sélection des documents soit effectuée en commission, académique ou interacadémique, composée de six membres au maximum, professeurs de langues et des disciplines non linguistiques des sections européennes ou de langues orientales.

Lors de cette première partie de l'épreuve, le candidat doit donner la preuve qu'il sait rendre compte du ou des document(s) de manière précise et nuancée, qu'il sait en dégager les idées principales et les enjeux.

Le jury prend en compte :

- la clarté de l'exposé et l'intelligibilité du contenu exprimé par l'élève ;
- l'aptitude à analyser et à argumenter ;
- la qualité de l'information et la culture du candidat, dans le domaine considéré ;
- la richesse et la précision de l'expression et la correction grammaticale de la langue parlée.

1.1.2 Deuxième partie

La deuxième partie de l'interrogation consiste en un entretien, conduit dans la langue de la section, qui porte sur les travaux et activités effectués dans l'année, dans la discipline non linguistique et, de manière plus générale, dans le cadre de la section. La liste des questions étudiées dans cette discipline est fournie à titre d'information par le candidat le jour de l'épreuve. L'entretien peut également porter sur l'ouverture européenne ou orientale et les diverses formes qu'elle a pu prendre dans l'établissement : partenariat, échanges, clubs, journaux, relations Internet, etc.

L'entretien est conduit de manière à valoriser le parcours du candidat et ses acquis au sein de la section. Le candidat doit donner la preuve de son aptitude à interagir avec son interlocuteur sur des sujets relatifs à un domaine connu, à donner un avis, une information, à formuler une appréciation et plus généralement à participer à un échange de manière active.

1.2 Note sanctionnant la scolarité de l'élève au cours de la classe de terminale

La note sanctionne le travail effectué en langue étrangère dans la discipline non linguistique. Cette note est attribuée par le professeur de la discipline non linguistique en liaison avec le professeur de langue.

Elle prend en compte :

- la participation spontanée ou suscitée au travail oral dans la classe ;
- l'implication de l'élève dans la réalisation de certains travaux imposés, oraux ou écrits, réalisés au cours de l'année, et la qualité de ces travaux : brefs comptes rendus de lecture, d'expériences, commentaires de documents, productions personnelles, etc. ;
- la maîtrise de la langue, dans un domaine spécialisé et plus généralement dans une situation de communication.

2. Discipline non linguistique ayant fait l'objet d'un enseignement en langue vivante (DNL)

Pour obtenir l'indication de discipline non linguistique ayant fait l'objet d'un enseignement en langue vivante (DNL hors Selo) sur son diplôme de baccalauréat, le candidat, scolarisé ou non en Selo, doit avoir obtenu une note égale ou supérieure à 10 sur 20 à une évaluation spécifique visant à apprécier le niveau de maîtrise de la langue acquise au cours de la scolarité dans une discipline non linguistique.

Cette évaluation spécifique comprend :

- le résultat d'une interrogation orale en langue, qui a lieu à la fin du cycle terminal, comptant pour 80 % de la note globale ;
- la note sanctionnant la scolarité de l'élève dans la discipline non linguistique au cours de la classe de terminale, qui compte pour 20 % de la note globale. Elle est attribuée par le ou les professeur(s) de la ou les discipline(s) non linguistique(s) ayant fait l'objet d'un enseignement en langue vivante et conjointement, sauf impossibilité, par un professeur de la langue vivante concernée.

La note globale attribuée à l'évaluation spécifique de contrôle continu pour l'obtention de l'indication de la discipline non linguistique ayant fait l'objet d'un enseignement en langue vivante (DNL hors Selo) est prise en

compte dans le calcul de la moyenne, sur le cycle terminal, de la langue vivante choisie pour la discipline non linguistique.

2.1 Interrogation orale en langue

Durée de l'épreuve : 10 minutes

Préparation : 10 minutes

Pour la discipline non linguistique ayant fait l'objet d'un enseignement en langue vivante, l'interrogation orale en langue est organisée par les enseignants de la section. L'évaluateur est un professeur de la discipline non linguistique ayant fait l'objet d'un enseignement dans cette langue et, sauf impossibilité, un professeur de la langue vivante concernée.

L'interrogation permet de mesurer la capacité du candidat à communiquer en langue étrangère sur des travaux effectués au cours de l'année de classe de terminale en DNL. Elle s'appuie sur les différents contextes des enseignements reçus au cours du cycle terminal. Les ressources utilisées sont produites par le candidat et s'ancrent dans l'enseignement reçu en DNL au cours de l'année de terminale. Leur nombre et leur nature sont les mêmes que ceux indiqués en 1.1.1 de la présente note de service.

L'évaluation commence par une prise de parole en continu par le candidat qui dispose d'une durée maximale de 5 minutes pour donner la preuve qu'il sait rendre compte du ou des document(s) de manière précise et nuancée, qu'il sait en dégager les idées principales et les enjeux. Cette présentation est suivie d'un entretien avec le ou les examinateur(s). Les objectifs de la présentation et de l'entretien sont les mêmes que ceux indiqués en 1.1.1 et 1.1.2 de la présente note de service.

2.2 Note sanctionnant la scolarité de l'élève au cours de la classe de terminale

La note sanctionne le travail effectué en langue étrangère dans la discipline non linguistique. Cette note est attribuée par le professeur de la discipline non linguistique, et conjointement, sauf impossibilité, par le professeur de la langue vivante concernée.

Elle prend en compte :

- la participation spontanée ou suscitée au travail oral dans la classe ;
- l'implication de l'élève dans la réalisation de certains travaux imposés, oraux ou écrits, réalisés au cours de l'année, et la qualité de ces travaux : brefs comptes rendus de lecture, d'expériences, commentaires de documents, productions personnelles, etc. ;
- la maîtrise de la langue, dans un domaine spécialisé et plus généralement dans une situation de communication.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,

Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,

La cheffe du service de l'instruction publique et de l'action pédagogique, adjointe au directeur général,
Rachel-Marie Pradeilles-Duval

Enseignements primaire et secondaire

Baccalauréat général

Évaluation ponctuelle dans l'enseignement de spécialité suivi uniquement pendant la classe de première de la voie générale à compter de la session 2023

NOR : MENE2121284N

note de service du 29-7-2021

MENJS - DGESCO – A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; aux vice-recteurs ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux ; aux inspecteurs et inspectrices de l'éducation nationale ; aux cheffes et chefs d'établissement ; aux professeuses et professeurs ; aux formateurs et formatrices

Cette note de service est applicable à compter de la session 2023 du baccalauréat, pour l'évaluation ponctuelle dans l'enseignement de spécialité de la voie générale suivi uniquement pendant la classe de première, telle que définie dans l'arrêté du 16 juillet 2018 modifié relatif aux modalités d'organisation du contrôle continu pour l'évaluation des enseignements dispensés dans les classes conduisant au baccalauréat général et au baccalauréat technologique. Elle abroge et remplace la note de service du 23 juillet 2020 relative aux évaluations communes des enseignements de spécialité suivis uniquement en classe de première de la voie générale à compter de la session 2021.

L'évaluation ponctuelle dans l'enseignement de spécialité suivi uniquement pendant la classe de première est prévue pour les candidats qui ne suivent les cours d'aucun établissement, les candidats inscrits dans un établissement privé hors contrat, les candidats inscrits dans un établissement français à l'étranger ne bénéficiant pas d'une homologation pour le cycle terminal, les candidats inscrits au Cned en scolarité libre, et, sur leur demande, les sportifs de haut niveau, sportifs espoirs et sportifs des collectifs nationaux inscrits sur les listes mentionnées à l'article L. 221-2 du Code du sport. Ces candidats peuvent choisir de présenter l'évaluation ponctuelle soit l'année de l'examen, soit de manière anticipée l'année précédente.

Les candidats inscrits dans un établissement public, dans un établissement privé sous contrat ou au Cned en scolarité réglementée sont également convoqués à cette évaluation ponctuelle lorsque leur moyenne annuelle fait défaut. Dans ce cas, ils présentent l'évaluation ponctuelle au titre d'une évaluation de remplacement, au cours du premier trimestre de leur année de terminale.

Le sujet de cette évaluation ponctuelle est issu de la banque numérique nationale de sujets. Le résultat obtenu par le candidat est pris en compte pour le baccalauréat avec un coefficient 8, au titre du contrôle continu, conformément aux dispositions de la note de service du 28 juillet 2021 relative aux modalités d'évaluation des candidats à compter de la session 2022.

Éducation physique, pratiques et culture sportives

Évaluation orale

Durée : 30 minutes (composée de deux parties de 15 minutes chacune)

Les deux parties se déroulent le même jour.

Première partie : pratique physique et sportive

Le candidat choisit, au moment de son inscription à l'examen, une activité physique, sportive et artistique (Apsa) dans une liste de trois, relevant de trois champs d'apprentissage différents, proposée par l'académie. La prestation physique du candidat est notée à l'aide d'un référentiel établi par les autorités académiques, en référence au cadre national proposé pour l'enseignement de spécialité.

Deuxième partie : compétences et connaissances relatives à la culture sportive

Disposant de cinq minutes maximum, le candidat présente dans un exposé une problématique issue de son carnet de suivi en référence au programme de la spécialité.

Le temps restant, lors de l'entretien, les questions du jury permettent d'approfondir certains éléments de l'exposé du candidat, et d'apprécier sa culture sportive et sa capacité à faire des liens avec sa propre pratique. L'entretien permet au jury de le solliciter sur ses connaissances relatives aux thématiques du programme de première.

Barème et notation

Première partie : 10 points

Deuxième partie : 10 points

Carnet de suivi

Ce carnet est transmis au jury au plus tard quinze jours avant l'évaluation de la partie orale.

Le carnet de suivi, de 30 pages maximum en format papier, est constitué tout au long de l'année. Le candidat y retrace son parcours et ses expériences de pratiquant et des réflexions personnelles.

Composition du jury

L'évaluation est assurée par deux professeurs de l'éducation nationale intervenant régulièrement dans l'enseignement de spécialité éducation physique, pratiques et culture sportives.

Histoire-géographie, géopolitique et sciences politiques

Évaluation écrite

Durée : 2 heures

Objectifs

L'évaluation porte sur la maîtrise des connaissances du programme de l'enseignement de spécialité histoire-géographie, géopolitique et sciences politiques pour la classe de première défini dans l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019. L'évaluation évalue les capacités de réflexion et d'analyse, l'aptitude à articuler différents apports disciplinaires et la qualité de l'expression écrite.

Structure

L'évaluation est une composition qui porte sur le programme de la classe de première.

Elle évalue les capacités d'analyse, la maîtrise des connaissances et la capacité à les organiser, la capacité à rédiger ainsi que la maîtrise de différents langages. Le sujet de la composition porte sur l'un des axes ou sur l'objet de travail conclusif d'un thème.

Notation

L'évaluation est notée sur 20 points.

Humanités, littérature et philosophie

Évaluation écrite

Durée : 2 heures

Objectifs

L'évaluation porte sur la maîtrise par le candidat des attendus du programme de l'enseignement de spécialité humanités, littérature et philosophie pour la classe de première, défini dans l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019.

Structure

L'évaluation est composée de deux questions sur un texte relatif à l'un des thèmes du programme de première. L'une des questions, intitulée Question d'interprétation, appelle un travail portant sur la compréhension et l'analyse d'un enjeu majeur du texte. L'autre, appelée Question de réflexion à partir du texte, conduit le candidat à rédiger une réponse étayée à une question soulevée par le texte.

Chacun de ces deux exercices relève tantôt d'une approche philosophique, tantôt d'une approche littéraire, selon ce qu'indique explicitement l'intitulé du sujet. Leur articulation répond au principe de coopération interdisciplinaire propre à cet enseignement de spécialité. L'ensemble des connaissances acquises est mobilisable à bon escient dans les deux parties de l'examen.

Les deux questions donnent lieu à des développements d'ampleur comparable et font l'objet de corrections distinctes, l'une par un correcteur de français, l'autre par un correcteur de philosophie, selon l'orientation disciplinaire respective des exercices.

Notation

Chaque question est notée sur 10. La somme des deux notes constitue la note globale unique de l'évaluation.

Langues, littératures et cultures étrangères et régionales

Évaluation orale

Durée : 20 minutes (sans préparation)

Objectifs

L'évaluation porte sur la maîtrise par le candidat des attendus du programme de l'enseignement de spécialité langues, littératures et cultures étrangères et régionales pour la classe de première, défini dans l'arrêté modifié du 17 janvier 2019.

Structure

L'évaluation consiste en un oral de 20 minutes qui s'appuie sur un dossier personnel présenté par le candidat. Le candidat remet un exemplaire de son dossier à l'examineur au début de sa prise de parole et en conserve

un qu'il utilise selon ses besoins durant l'évaluation.

Le candidat présente son dossier dans la langue cible pendant 10 minutes au plus pour en justifier les choix et en exprimer la logique interne, puis interagit avec l'examineur dans la langue cible pendant 10 minutes.

Si le candidat ne présente pas de dossier, l'examineur lui remet trois documents de nature différente en lien avec une des thématiques du programme de première. Le candidat commente ces documents.

Le dossier est composé de trois à cinq documents textuels et /ou iconographiques dont le fil conducteur se rattache à l'une des deux thématiques du programme de première. Il est composé de documents choisis parmi les listes suivantes :

- Pour la spécialité LLCER autre que anglais, monde contemporain :
 - une des œuvres intégrales étudiées en classe de première (œuvre matérialisée par un extrait ou une illustration) ;
 - au moins un texte littéraire, sans se limiter au genre romanesque ; le candidat peut prendre appui sur les annexes publiées avec le programme de la classe de première mais peut, s'il le juge pertinent, enrichir son dossier de textes littéraires de son choix ;
 - au plus deux œuvres d'art visuel (affiche, caricature, dessin, extrait de film, peinture, sculpture, etc.) ;
 - au moins un texte non littéraire (article de presse, extrait de discours, d'essai, etc.).
- Pour la spécialité LLCER anglais, monde contemporain :
 - au moins un article de presse ;
 - un texte d'une autre nature ;
 - un document iconographique.

Niveau attendu : B2

Notation

L'évaluation est notée sur 20 points. La grille d'évaluation présente en annexe est fournie aux correcteurs.

Candidats scolaires

Les candidats scolaires qui présentent l'évaluation ponctuelle au titre d'une évaluation de remplacement, en fin de classe de première, sont soumis aux mêmes conditions et doivent présenter un dossier de même format, visé par leur professeur de l'enseignement de spécialité langues, littératures et cultures étrangères et régionales de l'année de première et le chef d'établissement. Les documents du dossier présenté par le candidat ne doivent pas nécessairement avoir été étudiés en classe.

Candidats en situation de handicap

Les dispenses et aménagements de l'évaluation sont accordés conformément à l'arrêté du 22 juillet 2019 modifié relatif aux dispenses et aménagements d'épreuves de langue vivante pour les candidats au baccalauréat général et technologique présentant tout trouble relevant du handicap, publié au JO du 27 août 2019.

Littérature et langues et cultures de l'Antiquité

Évaluation orale

Durée : 15 minutes (précédée d'une préparation de 30 minutes)

Objectifs

L'évaluation apprécie les compétences de traduction et de lecture en prenant en compte :

- les connaissances linguistiques ;
- la capacité à comprendre le texte et à le rendre dans la langue cible ;
- la capacité à proposer une analyse littéraire et interprétative de l'extrait ;
- la capacité à répondre aux questions, à justifier ses choix de traduction et d'interprétation ainsi qu'à revenir, le cas échéant, sur sa traduction ou son commentaire lors de l'entretien.

De manière complémentaire, elle apprécie aussi les points suivants :

- la capacité à mobiliser les autres textes étudiés durant l'année scolaire ;
- la culture générale sur les autres objets d'étude étudiés durant l'année scolaire ;
- les lectures personnelles ;
- les connaissances dans l'autre langue ancienne éventuellement étudiée par le candidat durant sa scolarité dans les classes du lycée.

Structure

Le candidat fournit à l'examineur la liste des textes étudiés pendant l'année, organisés selon les trois objets d'étude qui ont été traités durant l'année parmi ceux définis dans l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019. L'objet d'étude « Méditerranée : conflits, influences et échanges » fait l'objet d'un traitement obligatoire. La liste comporte un minimum de douze textes (latins ou grecs suivant l'enseignement auquel est inscrit le candidat), avec un minimum de trois textes par objet d'étude. Chaque texte a une longueur minimale d'une quinzaine de lignes ou vers.

Le candidat est tenu de présenter deux exemplaires, sans traduction, de chacun des textes étudiés durant

L'année. Chaque texte devra comporter les mentions obligatoires suivantes : titre du passage, auteur, œuvre, références du passage retenu. Le texte peut, éventuellement, être accompagné d'un court paratexte. L'examineur choisit, dans la liste des extraits présentée par le candidat, un texte. Le candidat dispose d'un dictionnaire latin-français ou grec-français pendant le temps de préparation.

Préparation (30 minutes)

- L'examineur propose au candidat un passage représentant environ un tiers de l'extrait retenu (cinq lignes ou vers) ; le candidat doit traduire ce segment en veillant à en proposer une traduction à la fois élégante et fidèle au texte en langue ancienne.
- Le candidat doit préparer un commentaire de l'ensemble de l'extrait retenu en le mettant en perspective avec l'objet d'étude du programme correspondant.

Interrogation (10 minutes)

- Le candidat situe l'extrait ; il lit et traduit les lignes ou vers choisis par l'examineur.
- Le candidat commente l'ensemble du texte en le mettant en perspective avec l'objet d'étude du programme correspondant.

Entretien (5 minutes)

Un temps d'entretien permet alors à l'examineur de revenir sur quelques points de la traduction et/ou du commentaire.

Notation

L'épreuve est notée sur 20 points.

Candidats scolaires

Les candidats scolaires qui présentent l'évaluation ponctuelle au titre d'une évaluation de remplacement, en fin de classe de première, sont évalués dans les mêmes conditions que les candidats individuels, à l'exception de la disposition suivante :

- la liste des textes fournie à l'examineur est visée par le professeur de l'enseignement de spécialité littérature et langues et cultures de l'Antiquité de l'année de première et le chef d'établissement.

Mathématiques

Évaluation écrite

Durée : 2 heures

Objectifs

L'évaluation porte sur la maîtrise par le candidat des contenus, compétences et capacités attendues figurant au programme de l'enseignement de spécialité mathématiques de la classe de première, défini dans l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019.

Structure

L'évaluation est composée de deux à quatre exercices indépendants qui abordent une grande variété de contenus et de capacités figurant dans le programme.

Notation

L'évaluation est notée sur 20 points. Chaque exercice est noté entre 5 et 12 points. La note finale est composée de la somme des points obtenus à chaque exercice.

Numérique et sciences informatiques

Évaluation écrite

Durée : 2 heures

Objectifs

L'évaluation porte sur la maîtrise par le candidat des attendus du programme de l'enseignement de spécialité numérique et sciences informatiques pour la classe de première, défini dans l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au Bulletin officiel spécial de l'éducation nationale n° 1 du 22 janvier 2019.

Structure

L'évaluation consiste en un questionnaire à choix multiples divisé en 7 parties, une pour chaque thématique du programme. Chaque partie comporte 6 questions. Pour chaque question, 4 réponses sont proposées dont une seule est correcte.

L'usage de la calculatrice est interdit.

Notation

Pour chacune des 42 questions, le candidat gagne 1 point pour la réponse correcte et obtient un résultat nul pour une réponse fautive, une absence de réponse ou une réponse multiple.

Le résultat obtenu est transformé en note sur 20 selon la formule : nombre de points obtenus \times 20/42.

Physique-chimie

Évaluation écrite

Durée : 2 heures

Objectifs

L'évaluation porte sur les notions et contenus, capacités exigibles et compétences figurant dans le programme de l'enseignement de spécialité physique-chimie de la classe de première, défini dans l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019. Les capacités expérimentales identifiées dans le programme précité sont incluses dans le périmètre de l'évaluation.

Structure

L'évaluation comporte deux parties indépendantes d'importances voisines, d'une durée d'un peu moins d'une heure chacune. L'évaluation accorde un poids équivalent aux deux composantes physique et chimie de la discipline, aborde plusieurs thèmes du programme et accorde une place notable à la modélisation et à la résolution de tâches complexes. Les sujets traités lors de cette évaluation portent sur des situations contextualisées, peuvent contenir des documents et inclure des questions relatives aux aspects expérimentaux de la discipline et aux capacités numériques identifiées dans le programme.

Le sujet précise si l'usage de la calculatrice, dans les conditions précisées par les textes en vigueur, est autorisé.

Notation

L'évaluation est notée sur 20 points. Chaque partie compte pour 10 points. La note finale est composée de la somme des points obtenus à chacune des parties.

Sciences de la vie et de la Terre

Évaluation écrite

Durée : 2 heures

Objectifs

L'évaluation porte sur les notions, contenus et compétences, y compris expérimentales, figurant dans le programme de l'enseignement de spécialité sciences de la vie et de la Terre de la classe de première défini par l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019.

Structure

L'évaluation écrite s'appuie sur la totalité du programme en sciences de la vie et en sciences de la Terre. Elle est constituée de deux exercices, qui ne peuvent pas porter sur les mêmes parties du programme.

L'exercice 1 permet d'évaluer la maîtrise des connaissances acquises et la manière dont le candidat les mobilise et les organise pour répondre à une question scientifique. Le questionnement peut se présenter sous forme d'une question scientifique et/ou de QCM, en appui ou non sur un ou plusieurs documents.

L'exercice 2 permet d'évaluer la pratique du raisonnement scientifique du candidat. Il permet de tester sa capacité à pratiquer une démarche scientifique dans le cadre d'un problème scientifique, à partir de l'exploitation d'un document ou d'un ensemble de documents et en mobilisant ses connaissances. Le questionnement amène le candidat à choisir et exposer sa démarche personnelle, à élaborer son argumentation et à proposer une conclusion.

L'usage de la calculatrice est interdit.

Notation

L'évaluation est notée sur 20 points, chaque exercice est noté sur 10 points. La note finale est composée de la somme des points obtenus à chacune des parties.

Sciences de l'ingénieur

Évaluation écrite

Durée : 2 heures

Objectifs

L'évaluation porte sur le niveau de maîtrise par les candidats des compétences et connaissances associées au programme de l'enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur de la classe de première défini par l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019.

Structure

Le sujet comporte deux exercices indépendants l'un de l'autre, équilibrés en durée et en difficulté, qui s'appuient sur un produit unique.

Un premier exercice s'intéresse à l'étude d'une performance du produit. Les candidats doivent mobiliser leurs compétences et les connaissances associées pour qualifier et/ou quantifier cette performance, à partir de l'analyse, de la modélisation de tout ou partie du produit ou de relevés expérimentaux.

Le second exercice porte sur la commande du fonctionnement d'un produit ou la modification de son comportement. L'étude s'appuie sur l'algorithmique et de la programmation, à partir de ressources fournies au candidat qu'il devra exploiter, compléter ou modifier.

L'usage de la calculatrice est autorisé dans les conditions précisées par les textes en vigueur.

Notation

L'évaluation est notée sur 20 points, chaque exercice est noté sur 10 points. La note finale est composée de la somme des points obtenus à chacune des parties.

L'évaluation fait l'objet d'une fiche individuelle d'évaluation, établie selon le modèle fourni dans la banque nationale de sujets.

Sciences économiques et sociales

Évaluation écrite

Durée : 2 heures

Objectifs

L'évaluation porte sur les notions et contenus, capacités et compétences figurant dans l'ensemble du programme de l'enseignement de spécialité sciences économiques et sociales de la classe de première défini par l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019.

Structure

L'évaluation est constituée de deux parties.

La première partie repose sur la mobilisation des connaissances et le traitement de l'information. Elle comporte soit un exercice conduisant à une résolution graphique (sans formalisation mathématique), soit une étude d'un document de nature statistique comportant une ou plusieurs questions (tableau, graphique, carte, radar, etc.) de 120 données chiffrées au maximum. Il est demandé au candidat de répondre aux questions en mobilisant les connaissances acquises dans le cadre du programme, en adoptant une démarche méthodologique rigoureuse de collecte et d'exploitation de données quantitatives, et en ayant recours le cas échéant à des résolutions graphiques.

La seconde partie demande un raisonnement appuyé sur un dossier documentaire. Le candidat est invité à développer un raisonnement de l'ordre d'une page en exploitant les documents du dossier et en mobilisant les connaissances acquises dans le cadre du programme. Le dossier documentaire comprend deux documents ; ils sont de nature différente : texte de 2 000 signes au maximum, document de nature statistique de 65 données au maximum.

L'évaluation est construite de façon à couvrir plusieurs dimensions du programme : les deux parties de l'évaluation portent sur deux champs différents du programme (sciences économiques, sociologie et sciences politiques, regards croisés).

Notation

L'évaluation est notée sur 20 points avec une première partie sur 10 points et une seconde sur 10 points. La note finale est composée de la somme des points obtenus à chacune des parties. Il est tenu compte, dans la notation, de la clarté de l'expression et du soin apporté à la présentation.

Arts

Évaluation orale

Durée : 30 minutes (sans préparation)

Objectifs

L'évaluation porte sur la capacité du candidat à mobiliser des acquis relevant de la pratique et de la culture dans l'enseignement artistique dans la spécialité choisie lors de son inscription à l'examen du baccalauréat, conformément au programme de l'enseignement de spécialité arts de la classe de première défini par l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019.

Elle doit lui permettre de manifester des compétences pratiques dans le domaine artistique, d'exprimer sa sensibilité, de faire état d'une culture personnelle, de témoigner de sa maîtrise d'un vocabulaire spécifique et de recul critique ainsi que de son aptitude à argumenter et à dialoguer avec le jury.

Structure

Pour chacun des enseignements artistiques, l'évaluation se déroule en deux parties consécutives :

- première partie : compétences pratiques (15 min) ;
- deuxième partie : connaissances et compétences culturelles (15 min).

Chaque partie de l'évaluation fait se succéder une présentation par le candidat et un entretien avec le jury dont les durées sont définies pour chacune des parties selon leur spécificité.

Déroulement et notation pour chaque enseignement artistique

Arts du cirque

Première partie : compétences relatives à la pratique circassienne

Dans un premier temps, le jury et le candidat disposent de 5 à 7 minutes maximum. Le candidat propose au jury une composition circassienne originale qui n'excède pas 5 minutes. Puis, le candidat expose et justifie les

intentions et les choix qui ont présidé à la composition et à l'interprétation. Cette proposition de numéro doit permettre au candidat de témoigner de ses compétences artistiques et de sa pratique d'une discipline de cirque.

Le temps restant, lors de l'entretien, les questions du jury amènent le candidat à compléter et approfondir ses réponses. Elles visent à apprécier ses capacités d'analyse et sa réflexion sur sa propre pratique en lien avec sa culture circassienne.

Deuxième partie : connaissances et compétences relatives à la culture circassienne

Disposant de cinq minutes maximum, dans un premier temps, le candidat présente sommairement les différents éléments de son parcours de formation en enseignement de spécialité d'arts du cirque, éléments consignés dans son carnet de bord, de travail ou de création. Puis, ayant choisi une notion, un spectacle, une expérience qui ont particulièrement retenu son attention et nourri sa réflexion, il en donne les raisons dans un exposé.

Le temps restant, lors de l'entretien, les questions du jury permettent au candidat de compléter et d'approfondir certains éléments de son exposé, d'apprécier sa culture circassienne et sa capacité à faire des liens avec sa propre pratique. Le jury l'interroge sur ses connaissances relatives aux autres thématiques consignées dans le carnet de bord.

Barème et notation

L'évaluation porte sur les compétences travaillées et les attendus figurant au programme de l'enseignement de spécialité d'arts du cirque en classe de première. Un carnet de bord, de création ou de travail sert de point d'appui à la prestation orale et à l'interrogation, il n'est pas évalué en lui-même. Chaque partie de l'évaluation est notée sur 10 points.

Document de synthèse et carnet de bord

Le carnet de bord, de 30 pages maximum en format papier, est constitué tout au long de l'année de première. Le candidat y retrace ses expériences d'artiste, de spectateur, de critique et de chercheur selon les visées du programme. Le document de synthèse présente, de manière sommaire en une page, l'organisation du travail de l'année.

Candidats scolaires

Les candidats scolaires qui présentent l'évaluation ponctuelle au titre d'une évaluation de remplacement, en fin de classe de première, sont évalués dans les mêmes conditions que les candidats individuels, à l'exception des dispositions suivantes :

- la composition circassienne présentée en première partie de l'évaluation est préparée au cours de l'année scolaire, et interprétée seul ou avec plusieurs partenaires, exclusivement partenaires habituels de l'enseignement au lycée ;
- lors de l'entretien prévu en deuxième partie de l'évaluation, le jury interroge le candidat sur ses connaissances relatives aux autres thématiques étudiées durant l'année scolaire ;
- le document de synthèse et le carnet de bord sont visés par les professeurs de la classe et le chef d'établissement. Le carnet de bord est constitué tout au long de l'année de première par le candidat ;
- les professeurs rédigent un document de synthèse présentant sommairement, en une page, le travail de la classe.

Arts plastiques

Première partie : compétences relatives à la pratique plastique

Disposant de cinq à sept minutes maximum, s'appuyant également sur son carnet de travail, le candidat présente deux réalisations plastiques abouties qu'il a choisies et qu'il apporte le jour de l'évaluation. Elles sont issues du travail conduit dans le cadre du travail de l'année. Il justifie son choix au regard des questionnements plasticiens abordés.

Le temps restant, dans un dialogue avec le jury, le candidat est amené à compléter et argumenter sa présentation, préciser ses démarches et projets, témoigner de la maîtrise des compétences plasticiennes qu'il a mobilisées.

Indications :

Les réalisations présentées doivent pouvoir être transportées par le candidat dans la salle d'examen sans aide extérieure et installées sans nécessiter ni temps additionnel ni dispositif particulier d'accrochage ou de présentation. Elles ne sont pas manipulées par le jury. La photographie et la vidéo sont employées pour restituer les réalisations bidimensionnelles et tridimensionnelles de très grand format ou de très gros volume, ainsi que celles impliquant la durée ou le mouvement, celles en relation à un espace architectural ou naturel, à un dispositif de présentation ou à la réalisation d'une exposition. La restitution des pratiques strictement numériques comme les visualisations nécessitant la vidéo ou l'infographie est conduite avec du matériel informatique. Le visionnement de ces documents doit s'inclure dans le temps de présentation. Le candidat est responsable du matériel informatique requis et de son bon fonctionnement. Il prévoit des versions imprimées à présenter en cas d'une éventuelle panne.

Le carnet de travail est un objet personnel ; il témoigne des projets, des démarches, des aboutissements, des

expériences, des références ayant jalonné l'année. Sa forme et ses données matérielles sont libres, dans les limites d'un format qui ne peut excéder 45 x 60 cm et 5 cm d'épaisseur. Il peut être numérique. Dans ce cas, il doit pouvoir être consulté par le jury avec un matériel informatique et utilisé rapidement durant l'évaluation. Ce carnet de travail doit permettre au jury d'établir un dialogue plus fécond avec le candidat, une meilleure compréhension de ses démarches, d'apprécier ses capacités de travail et les recherches qu'il a menées, qu'elles soient abouties ou non. Sans s'y limiter, il vient en complément ou en appui des réalisations présentées.

Deuxième partie : connaissances et compétences relatives à la culture plastique et artistique

Disposant de cinq minutes maximum, le candidat présente une œuvre choisie par le jury parmi un corpus de 5 œuvres accompagnant le document de synthèse. Il en énonce sommairement les données (plastiques, sémantiques, iconiques, etc.) et les met en relation avec des questionnements, compétences et connaissances travaillés en classe.

Le temps restant, dans une forme dialoguée, le jury permet au candidat de compléter certains des aspects qu'il a exposés. Il l'amène à préciser sa compréhension des langages et des pratiques plastiques, à mobiliser des références culturelles pertinentes. Le candidat peut, autant que nécessaire, prendre appui sur le corpus d'œuvres ainsi que sur son carnet de travail pour établir des liens avec son parcours de formation, avec des questionnements et connaissances travaillés ou bien avec des expériences vécues, des lieux culturels visités, des rencontres artistiques pendant l'année.

Barème et notation

L'évaluation porte sur les compétences travaillées et les attendus figurant au programme de l'enseignement de spécialité d'arts plastiques en classe de première. Les réalisations plastiques et le carnet de travail servent de point d'appui à la prestation orale, ils ne sont pas évalués. Chaque partie de l'évaluation est notée sur 10 points.

Document de synthèse et carnet de travail

Le document de synthèse incluant un corpus de 5 œuvres et le carnet de travail sont rapportés par le candidat et remis au jury au moment de l'épreuve.

Le document de synthèse décrit sommairement en une page l'organisation du travail de l'année.

Le corpus, défini par le candidat, est constitué de reproductions imprimées en couleur de 5 œuvres travaillées durant l'année et en correspondance avec les questionnements du programme. Chaque reproduction est revêtue d'informations présentées comme suit : Prénom Nom de l'artiste, Titre de l'œuvre, date, matériaux, dimensions en cm. Lieu de conservation/de présentation (selon le cas).

Candidats scolaires

Les candidats scolaires qui présentent l'évaluation ponctuelle au titre d'une évaluation de remplacement, en fin de classe de première, sont évalués dans les mêmes conditions que les candidats individuels, à l'exception des dispositions suivantes :

- dans la première partie de l'évaluation, les deux réalisations plastiques présentées par le candidat sont issues du travail conduit dans le cadre de l'enseignement suivi en première. L'une d'entre elles peut être collective ;
- le carnet de travail témoigne des projets, des démarches, des aboutissements, des expériences, des références ayant jalonné l'année scolaire ;
- le document de synthèse, rédigé par le professeur, décrit sommairement en une page le travail de la classe. Défini par le professeur, le corpus est constitué de reproductions imprimées en couleur de 5 œuvres travaillées en classe et en correspondance avec les questionnements du programme ;
- le document de synthèse et le carnet de travail sont visés par le professeur de la classe et le chef d'établissement.

Cinéma-audiovisuel

Première partie : compétences relatives à la pratique du cinéma-audiovisuel

Disposant de cinq à sept minutes maximum, le candidat présente son projet de création en mettant en lumière ses intentions, sa démarche et son engagement personnel. Il s'appuie sur les documents consignés dans son carnet de création et sur des extraits de sa réalisation audiovisuelle.

Le temps restant, dans une forme dialoguée, le jury invite le candidat à développer et approfondir sa réflexion sur la démarche créative engagée. Le jury peut lui proposer de varier l'un des paramètres de son projet (à l'échelle d'un plan, d'une séquence ou d'un parti pris global) et d'en apprécier les conséquences artistiques et cinématographiques.

Indications :

La réalisation audiovisuelle est enregistrée sur un support (DVD, fichier audiovisuel sur clé USB).

Deuxième partie : connaissances et compétences relatives à la culture du cinéma-audiovisuel

Disposant de cinq minutes maximum, le candidat présente l'une des œuvres cinématographiques, sélectionnée par le jury dans la liste transmise avant l'évaluation et accompagnant le document de synthèse.

Le temps restant, dans une forme dialoguée, le jury invite le candidat à développer et approfondir sa réflexion sur l'œuvre cinématographique présentée. Il l'amène à affiner sa compréhension de celle-ci, à caractériser son écriture et son contexte de création, à mobiliser des références culturelles pertinentes et sa connaissance des

questionnements du programme de première.

Barème et notation

L'évaluation porte sur les compétences travaillées et les attendus figurant au programme de l'enseignement de spécialité de cinéma-audiovisuel en classe de première. La réalisation audiovisuelle et le carnet de création servent de point d'appui à la prestation orale, ils ne sont pas évalués. Chaque partie de l'évaluation est notée sur 10 points.

Document de synthèse et carnet de création

Le carnet de création et le document de synthèse, ainsi que la réalisation audiovisuelle, sont transmis au jury au plus tard quinze jours avant l'évaluation. Le document de synthèse décrit sommairement, en une page, l'organisation du travail de l'année. Il est accompagné de la liste des œuvres cinématographiques retenues par le candidat (de 4 à 6) en lien avec les questionnements du programme de première.

Candidats scolaires

Les candidats scolaires qui présentent l'évaluation ponctuelle au titre d'une évaluation de remplacement, en fin de classe de première, sont évalués dans les mêmes conditions que les candidats individuels, à l'exception des dispositions suivantes :

- le document de synthèse, rédigé par les professeurs de la classe, décrit sommairement, en une page, le travail conduit en première ;
- le carnet de création et le document de synthèse, ainsi que la réalisation audiovisuelle, sont visés par le professeur de la classe et le chef d'établissement.

Danse

Première partie : compétences relatives à la pratique de la danse

Dans un premier temps, le candidat présente au jury une composition chorégraphique originale, de deux à quatre minutes, qu'il interprète seul.

Le temps restant, lors de l'entretien suivant cette interprétation, les questions du jury amènent le candidat à exposer et à justifier les intentions et les choix qui ont présidé à la composition et à l'interprétation. Elles visent à apprécier ses capacités d'analyse et sa réflexion sur sa propre pratique en lien avec sa culture chorégraphique.

Deuxième partie : connaissances et compétences relatives à la culture chorégraphique et artistique

Disposant de cinq minutes maximum, le candidat présente dans un exposé une problématique issue de son carnet de bord en référence au programme limitatif et à l'un des thèmes d'étude du programme de première de l'enseignement de spécialité.

Le temps restant, lors de l'entretien les questions du jury permettent d'approfondir certains éléments de l'exposé du candidat, et d'apprécier sa culture chorégraphique et sa capacité à faire des liens avec sa propre pratique. L'entretien permet au jury de le solliciter sur ses connaissances relatives aux autres thématiques étudiées durant l'année et identifiées par le document de synthèse initialement transmis au jury.

Barème et notation

L'évaluation porte sur les compétences travaillées et les attendus figurant au programme de l'enseignement de spécialité en danse en classe de première. Le carnet de bord sert de point d'appui à la prestation orale, il n'est pas évalué. Chaque partie de l'évaluation est notée sur 10 points. Pour la première partie, 5 points portent sur les compétences de danseur.

Document de synthèse et carnet de bord

Ces documents sont transmis au jury au plus tard quinze jours avant l'évaluation.

Le carnet de bord, de 30 pages maximum en format papier, est constitué tout au long de l'année. Le candidat y retrace ses expériences de danseur, de chorégraphe, de spectateur, de critique et de chercheur selon les visées du programme.

Le candidat rédige un document de synthèse présentant la liste des questionnements relatifs aux deux thèmes d'étude définis par le programme et étudiés durant l'année.

Candidats scolaires

Les candidats scolaires qui présentent l'évaluation ponctuelle au titre d'une évaluation de remplacement, en fin de classe de première, sont évalués dans les mêmes conditions que les candidats individuels, à l'exception des dispositions suivantes :

- dans la première partie de l'évaluation, la composition chorégraphique est préparée au cours de l'année scolaire dans le cadre de l'enseignement de spécialité ;
- dans la deuxième partie de l'évaluation, l'entretien permet au jury de solliciter le candidat sur ses connaissances relatives aux autres thématiques étudiées durant l'année scolaire et identifiées par le document de synthèse initialement transmis au jury ;
- le document de synthèse, le carnet de bord et l'enregistrement de la composition chorégraphique sont visés par les professeurs de la classe et le chef d'établissement ;
- le carnet de bord, de 30 pages maximum en format papier, est constitué tout au long de l'année par le candidat ;

- les professeurs rédigent le document de synthèse présentant la liste des questionnements relatifs aux deux thèmes d'étude définis par le programme et étudiés durant l'année scolaire.

Histoire des arts

Première partie : compétences pratiques

Le candidat présente au jury le projet qu'il a développé au cours de l'année en lien avec un lieu ou un partenaire patrimonial ou culturel local. Sa présentation, de cinq à sept minutes maximum, témoigne de l'expérience que, dans le cadre du projet, il a acquise du patrimoine de proximité. Elle valorise son action au regard des objectifs de la classe de première. Elle peut s'appuyer sur tout travail personnel susceptible d'aider le jury à apprécier le projet et son lien au patrimoine de proximité : photographies, captations, enregistrements, diaporama, éléments d'exposition, et toute forme de document numérique apporté par le candidat.

Le temps restant, l'entretien permet au jury d'approfondir certains aspects de l'exposé du candidat ; il vise également à le mettre en relation avec son parcours de formation, notamment en histoire des arts, avec des expériences vécues, des lieux culturels visités, des rencontres artistiques. Le jury apprécie la qualité de la présentation et de la prestation orale du candidat, ainsi que l'investissement dont il a fait preuve, ainsi que la familiarité dont il témoigne avec le patrimoine de proximité et les structures patrimoniales et culturelles.

Indications :

Pour intégrer des supports et documents numériques à sa présentation, le candidat peut utiliser s'il le désire un ordinateur personnel et, si la salle d'examen en dispose, un vidéoprojecteur.

Deuxième partie : connaissances et compétences culturelles

Le candidat présente au jury une des œuvres constituant son dossier d'œuvres, par un exposé qui n'excède pas 5 minutes, argumenté, appuyé sur des éléments précis d'analyse reliés à sa connaissance de la thématique correspondante. À l'appui de son raisonnement, il fait référence à d'autres œuvres présentes ou non dans le dossier d'œuvres, qu'il sait situer et convoquer à bon escient, ainsi que relier à la thématique du programme. S'il s'agit d'une œuvre musicale ou audiovisuelle, il peut appuyer son exposé sur la diffusion d'un ou plusieurs brefs extraits de l'œuvre.

Le temps restant, l'entretien permet au jury de solliciter le candidat sur ses connaissances relatives aux différentes thématiques du programme étudiées durant l'année. En appui à cet entretien, le jury peut l'engager à s'exprimer sur une autre œuvre du dossier d'œuvres, comme à mettre en perspective sa connaissance des œuvres étudiées durant l'année, listées dans le document de synthèse, avec d'autres, supposées inconnues, proposées par le jury. Outre les compétences d'expression orale, le jury apprécie la cohérence de l'argumentation et le bien-fondé de la mise en relation, l'exactitude des éléments d'analyse, la connaissance des thématiques du programme, l'approche personnelle que le candidat montrera des œuvres et sa capacité à les questionner au-delà de la description.

Barème et notation

L'évaluation porte sur les compétences travaillées et les attendus figurant au programme de l'enseignement de spécialité d'histoire des arts en classe de première. Les supports présentés par le candidat dans la première partie de l'évaluation ne sont pas évalués pour eux-mêmes, mais seulement dans l'usage qu'il en fait dans le cadre de sa présentation. Chaque partie de l'évaluation est notée sur 10 points.

Document de synthèse et dossier d'œuvres

Ces documents sont remis par le candidat le jour de l'épreuve. Le document de synthèse présente, de manière sommaire, un résumé du projet mené dans le cadre du programme de première et un récapitulatif des principaux voyages, sorties, partenariats, rencontres avec des œuvres ou des professionnels effectués par le candidat au cours de l'année. Il comprend la liste des œuvres principales et des œuvres complémentaires étudiées dans le cadre des six thématiques du programme de première.

Le dossier d'œuvres qui l'accompagne contient, sous forme numérique et, pour les œuvres visuelles, imprimée, un corpus de huit à douze œuvres de natures, d'époques et d'expressions artistiques diverses, parmi celles citées dans le document de synthèse à l'appui de quatre thématiques au moins du programme de première ; chacune des œuvres est référencée et reliée à une thématique du programme.

Candidats scolaires

Les candidats scolaires qui présentent l'évaluation ponctuelle au titre d'une évaluation de remplacement, en fin de classe de première, sont évalués dans les mêmes conditions que les candidats individuels, à l'exception des dispositions suivantes :

- dans la première partie de l'évaluation, le candidat présente au jury la part qu'il a prise au projet collectif mené par sa classe au cours de l'année. Sa présentation valorise son action et la situe au regard de celle de ses camarades et des objectifs de la classe. Durant l'entretien, le jury apprécie la qualité de la présentation et de la prestation orale du candidat, l'investissement dont il a fait preuve dans le projet de classe, ainsi que la familiarité dont il témoigne avec le patrimoine de proximité et les structures patrimoniales et culturelles ;
- dans la deuxième partie de l'évaluation, l'entretien permet au jury de solliciter le candidat sur ses connaissances relatives aux différentes thématiques du programme étudiées durant l'année scolaire ;

- le document de synthèse et le dossier d'œuvres sont visés par les professeurs de la classe et le chef d'établissement ;
- le document de synthèse présente de manière sommaire un résumé du projet collectif mené dans le cadre du programme de première et un récapitulatif des principaux voyages, sorties, partenariats, rencontres avec des œuvres ou des professionnels vécus par la classe au cours de l'année.

Musique

Première partie : compétences relatives à la pratique musicale

Disposant de cinq à sept minutes maximum, le candidat présente et diffuse l'enregistrement audio-vidéo d'une pièce musicale qui peut être une création originale, un arrangement ou une interprétation d'une œuvre préexistante. Elle est issue du travail mené avec d'autres instrumentistes et/ou chanteurs (sans excéder 5 musiciens en tout) durant l'année. La présentation initiale, adossée à une ou plusieurs thématiques issues du programme du cycle terminal, souligne les caractéristiques musicales, techniques, esthétiques de la pièce interprétée, présente la démarche de travail mise en œuvre et le rôle qu'y tient le candidat.

Le temps restant, l'entretien permet au jury d'interroger le candidat sur certains aspects de l'interprétation proposée, d'approfondir certains points de la présentation initiale et de mettre en lien le travail présenté avec au moins une des thématiques issues du programme du cycle terminal et étudiée pendant l'année et dont témoigne le document de synthèse transmis au jury en amont de l'épreuve.

Deuxième partie : connaissances et compétences relatives à la culture musicale et artistique

L'exposé s'appuie sur le document de synthèse transmis au jury en amont de l'épreuve. Disposant de cinq minutes maximum, le candidat présente une problématique particulière issue d'un choix d'éléments figurant dans son document de synthèse qu'il présente brièvement en soulignant les liens qu'ils entretiennent d'une part entre eux et d'autre part avec une ou plusieurs des thématiques issues des champs de questionnement du programme du cycle terminal et étudiées durant l'année. En complément, au départ d'une œuvre de son choix, le candidat en fait une présentation personnelle approfondie pouvant être illustrée par de brefs extraits, soit diffusés durant l'évaluation, soit chantés, soit joués sur un piano mis à sa disposition ou sur un instrument qu'il aura apporté. Il est amené à mettre en lien cette œuvre choisie avec d'autres pièces ne figurant pas dans son document de synthèse, mais qui lui semblent entretenir avec elle des liens particuliers. Dans cette perspective, il a la possibilité d'en faire écouter de brefs extraits préparés sur un support numérique adapté.

Le temps restant, l'entretien permet au jury d'approfondir certains aspects de l'exposé du candidat comme de le solliciter sur ses connaissances relatives aux autres thématiques étudiées durant l'année scolaire et identifiées par le document de synthèse transmis au jury. En appui à cet entretien, le jury peut proposer l'écoute de brefs extraits musicaux engageant le candidat à mettre en perspective sa connaissance des œuvres étudiées durant l'année avec celles, supposées inconnues, proposées par le jury. Ce second entretien permet également au jury d'interroger le candidat sur les apports de son parcours de formation musicale dans la perspective de la poursuite de ses études en classe terminale puis dans l'enseignement supérieur.

Barème et notation

L'évaluation porte sur les compétences travaillées et les attendus figurant au programme de l'enseignement de spécialité en musique en classe de première. Chaque partie de l'évaluation est notée sur 10 points.

Document de synthèse

Le document de synthèse est transmis au jury au plus tard quinze jours avant l'évaluation. Élaboré par le candidat, il présente les œuvres principales chantées, jouées et étudiées, les thématiques issues des champs de questionnement particulièrement travaillés, les projets d'interprétation et/ou de création mis en œuvre, les concerts suivis et donnés, les rencontres de professionnels de la musique, etc.

Candidats scolaires

Les candidats scolaires qui présentent l'évaluation ponctuelle au titre d'une évaluation de remplacement, en fin de classe de première, sont évalués dans les mêmes conditions que les candidats individuels, à l'exception des dispositions suivantes :

- dans la première partie de l'évaluation, la pièce musicale diffusée et présentée par le candidat est issue du travail mené en classe durant l'année scolaire et au moins deux élèves de la classe, dont le candidat, en sont les interprètes. La présentation initiale est adossée à une ou plusieurs thématiques étudiées pendant l'année scolaire ;
- dans la deuxième partie de l'évaluation, le candidat fait une présentation personnelle approfondie d'une des œuvres au cœur du travail de l'année scolaire ;
- le document de synthèse est visé par le professeur de la classe et le chef d'établissement.

Théâtre

Première partie : compétences relatives à la pratique théâtrale

Dans un premier temps, le jury et le candidat disposent de cinq à sept minutes maximum. Le candidat interprète une scène. À l'issue de sa prestation, le candidat expose les caractéristiques dramaturgiques, techniques, esthétiques de la scène interprétée et présente la démarche de travail et les choix artistiques qui ont présidé à sa réalisation. Le jury peut ensuite proposer au candidat une consigne de re-jeu (changement

d'espace ou d'intention par exemple).

Le temps restant, l'entretien qui suit permet au jury d'interroger le candidat sur certains aspects de l'interprétation proposée et sur les effets éventuels du re-jeu. Il permet d'approfondir certains points de la proposition initiale et de mettre en lien l'interprétation proposée avec des thèmes d'étude de l'année et les spectacles vus.

Deuxième partie : connaissances et compétences relatives à la culture théâtrale et artistique

Dans un premier temps, le candidat dispose de cinq minutes maximum. Il présente sommairement les différents éléments de son parcours de formation en enseignement de spécialité de théâtre, éléments consignés dans un carnet de bord, de création et de travail et choisit une notion, un spectacle, un texte, une expérience qui ont particulièrement retenu son attention et nourri sa réflexion. Puis, dans un exposé, il en donne les raisons.

Le temps restant, à l'issue de cette présentation et en prenant appui sur le carnet de bord, le jury interroge le candidat pour évaluer ses connaissances et la qualité de sa réflexion dramaturgique.

Barème et notation

L'évaluation porte sur les compétences travaillées et les attendus figurant au programme de l'enseignement de spécialité de théâtre en classe de première. Le carnet de bord sert de point d'appui à la prestation orale et à l'interrogation, il n'est pas évalué en lui-même. Chaque partie de l'évaluation est notée sur 10 points.

Document de synthèse et carnet de bord

Le carnet de bord, en format papier ou numérique, est constitué par le candidat tout au long de l'année. Le document de synthèse présente, de manière sommaire en une page, l'organisation du travail de l'année.

Candidats scolaires

Les candidats scolaires qui présentent l'évaluation ponctuelle au titre d'une évaluation de remplacement, en fin de classe de première, sont évalués dans les mêmes conditions que les candidats individuels, à l'exception des dispositions suivantes :

- dans la première partie de l'évaluation, si la scène est jouée avec des partenaires, ces derniers sont des élèves de la classe ;
- dans la deuxième partie de l'évaluation, le candidat présente sommairement les différents éléments de son parcours de formation en enseignement de spécialité théâtre suivi en classe de première, éléments consignés dans son carnet de bord ;
- le carnet de bord est rédigé par le candidat tout au long de l'année de première ;
- un document de synthèse est rédigé par les professeurs qui présente sommairement, en une page, le travail de la classe ;
- le document de synthèse et le carnet de bord sont visés par les professeurs de la classe et le chef d'établissement.

Composition du jury

- arts plastiques, musique : l'évaluation est assurée conjointement par deux professeurs de la discipline, dont un au moins assure tout ou partie de son service en enseignement de spécialité ;
- histoire des arts : l'évaluation est assurée conjointement par deux professeurs de l'éducation nationale, de deux disciplines différentes, tous deux titulaires de la certification complémentaire en histoire de l'art ;
- arts du cirque, cinéma-audiovisuel, danse, théâtre : l'évaluation est assurée conjointement par un professeur de l'éducation nationale et par un partenaire artistique professionnel qui intervient régulièrement dans l'enseignement. Sauf pour les arts du cirque qui ne sont pas concernés par cette disposition, les enseignants sont titulaires de la certification complémentaire dans le domaine artistique qu'ils enseignent. Si le partenaire est dans l'impossibilité de participer à l'évaluation, le jury est constitué par un autre professeur et peut délibérer valablement.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,
La cheffe du service de l'instruction publique et de l'action pédagogique, adjointe au directeur général,
Rachel-Marie Pradeilles-Duval

Annexe

➔ Grille pour l'évaluation de l'expression orale de l'enseignement de spécialité de première

Enseignements primaire et secondaire

Baccalauréat technologique

Évaluation ponctuelle dans l'enseignement de spécialité suivi uniquement pendant la classe de première de la voie technologique à compter de la session 2023

NOR : MENE2121285N

note de service du 29-7-2021

MENJS - DGESCO A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; aux vice-recteurs ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux ; aux inspecteurs et inspectrices de l'éducation nationale ; aux cheffes et chefs d'établissement ; aux professeures et professeurs ; aux formateurs et formatrices

Cette note de service est applicable à compter de la session 2023 du baccalauréat, pour l'évaluation ponctuelle dans l'enseignement de spécialité de la voie générale suivi uniquement pendant la classe de première, telle que définie dans l'arrêté du 16 juillet 2018 modifié relatif aux modalités d'organisation du contrôle continu pour l'évaluation des enseignements dispensés dans les classes conduisant au baccalauréat général et au baccalauréat technologique. Elle abroge et remplace la note de service du 23 juillet 2020 relative aux évaluations communes des enseignements de spécialité suivis uniquement en classe de première de la voie technologique à compter de la session 2021.

L'évaluation ponctuelle dans l'enseignement de spécialité suivi uniquement pendant la classe de première est prévue pour les candidats qui ne suivent les cours d'aucun établissement, les candidats inscrits dans un établissement privé hors contrat, les candidats inscrits dans un établissement français à l'étranger ne bénéficiant pas d'une homologation pour le cycle terminal, les candidats inscrits au Cned en scolarité libre, et, sur leur demande, les sportifs de haut niveau, sportifs espoirs et sportifs des collectifs nationaux. Ces candidats peuvent choisir de présenter l'évaluation ponctuelle soit l'année de l'examen, soit de manière anticipée l'année précédente.

En cas de force majeure ayant empêché l'obtention d'une moyenne annuelle dans cet enseignement, les candidats inscrits dans un établissement public, dans un établissement privé sous contrat ou au Cned en scolarité réglementée sont également convoqués à cette évaluation ponctuelle. Dans ce cas, ils présentent l'évaluation ponctuelle au titre d'une évaluation de remplacement, au cours du premier trimestre de leur année de terminale.

Le sujet de cette évaluation ponctuelle est issu de la banque nationale de sujets. Le résultat obtenu par le candidat est pris en compte pour le baccalauréat avec un coefficient 8, au titre du contrôle continu, conformément aux dispositions de la note de service du 28 juillet 2021 relative aux modalités d'évaluation des candidats à compter de la session 2022.

Physique-chimie pour la santé (série sciences et technologies de la santé et du social)

Évaluation écrite

Durée : 2 heures maximum

Objectifs

L'évaluation a pour objectif l'évaluation des compétences acquises grâce à l'enseignement de spécialité physique-chimie pour la santé en classe de première ST2S définies dans l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019.

Structure

L'évaluation comprend notamment une ou des questions sur la démarche expérimentale, une ou des questions appelant à la rédaction d'un argumentaire, une ou des questions reposant sur des aspects quantitatifs simples. Le sujet est composé de 4 exercices indépendants, 2 à dominante chimie, 2 à dominante physique.

L'évaluation accorde un poids équivalent aux deux domaines de la physique et de la chimie.

L'énoncé du sujet repose sur des supports variés (texte, photos, graphes, schémas, tableaux, etc.) et appelle des réponses écrites dont la forme est multiple (texte, schémas, graphes, etc.).

Le sujet précise si l'usage de la calculatrice, dans les conditions précisées par la réglementation en vigueur, est autorisé.

Notation

Cette évaluation est notée sur 20 points.

Candidats en situation de handicap

S'agissant des réponses sous une forme schématique ou graphique, les candidats présentant un trouble moteur ou visuel et bénéficiant d'un aménagement pour cette épreuve peuvent proposer un texte où ils indiquent de façon détaillée quels éléments ils auraient fait figurer.

Biochimie-biologie (série sciences et technologies de laboratoire)

Évaluation écrite

Durée : 2 heures maximum

Objectifs

L'évaluation a pour objectif de valider la compréhension des concepts clés et la maîtrise des compétences visées par l'enseignement de spécialité biochimie-biologie de la classe de première STL définies dans l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019, en exploitant les documents scientifiques et technologiques fournis. Les concepts visés sont ceux indiqués dans les modules thématiques et les modules transversaux. Ils seront mobilisés lors de l'évaluation des compétences.

Celles-ci seront systématiquement évaluées dans tous les sujets :

- analyser un document scientifique ou technologique ;
- interpréter des données biochimiques ou biologiques ;
- argumenter un choix et/ou faire preuve d'esprit critique ;
- développer un raisonnement scientifique construit et rigoureux ;
- élaborer une synthèse sous forme de schéma ou d'un texte rédigé ;
- communiquer à l'écrit à l'aide d'une syntaxe claire et d'un vocabulaire scientifique approprié.

Structure

Le sujet pourra comporter une ou deux parties portant sur un seul ou sur les deux modules thématiques du programme de première (fonction de nutrition et fonction de reproduction) et doit permettre de valider l'acquis de certains items (savoir-faire et concepts clés) des modules thématiques et également de certains items des modules transversaux. Chaque partie présente une problématique ou un questionnement auquel le candidat doit répondre à partir de l'analyse et de l'interprétation de données scientifiques et technologiques présentées dans les documents. Il est conduit à élaborer au moins une synthèse sur l'ensemble du sujet. Dans cette évaluation scientifique, la rédaction doit mettre en évidence la logique et la rigueur du raisonnement du candidat.

L'énoncé se présente sous forme de consignes en appui sur plusieurs documents scientifiques et technologiques portant sur :

- les mécanismes moléculaires au niveau cellulaire ;
- la physiologie intégrée au niveau de l'organisme humain.

Au total, 6 à 8 documents sont à analyser pour répondre à une douzaine de questions (entre 10 et 13) qui ne mobilisent que des calculs simples.

La calculatrice n'est pas autorisée.

Notation

L'évaluation est réalisée à l'aide d'une grille d'évaluation des compétences avec trois niveaux de maîtrise (insuffisant-acceptable-maîtrisé). Le modèle de grille figurant en annexe 1 est à utiliser systématiquement par les évaluateurs.

Chaque compétence est pondérée entre 2 et 5 points, cette pondération est indiquée aux candidats sur la première page du sujet, la somme faisant un total de 20 points. Les descripteurs des trois niveaux « insuffisant », « acceptable » et « maîtrisé » sont définis par l'enseignant évaluateur. L'item « non traité » permet à l'évaluateur de distinguer ce cas de celui caractérisant une réponse « insuffisante » au regard des attendus.

Physique-chimie (série sciences et technologies du design et des arts appliqués)

Évaluation écrite

Durée : 2 heures maximum

Objectifs

L'évaluation vise à évaluer le niveau de maîtrise des notions et contenus, capacités exigibles et compétences figurant dans le programme de l'enseignement de spécialité physique-chimie de la classe de première STD2A définis dans l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019. Les capacités expérimentales identifiées dans le programme précité sont incluses dans le périmètre de l'évaluation.

Structure

L'évaluation comporte deux parties indépendantes d'importance voisine. L'évaluation accorde également un

poids voisin aux deux composantes physique et chimie de la discipline et aborde plusieurs thématiques du programme.

L'énoncé du sujet repose sur des supports variés (texte, photos, graphes, schémas, tableaux, etc.) et appelle des réponses écrites dont la forme peut être multiple (texte, graphes, schémas, tableaux, etc.).

Chaque sujet précise si l'usage de la calculatrice, dans les conditions précisées par les textes en vigueur, est autorisé.

Notation

Cette évaluation est notée sur 20 points. Le nombre de points dédié à chaque partie est précisé sur le sujet.

Candidats en situation de handicap

S'agissant des réponses sous une forme schématique ou graphique, les candidats présentant un trouble moteur ou visuel et bénéficiant d'un aménagement pour cette épreuve peuvent proposer un texte où ils indiquent de façon détaillée quels éléments ils auraient fait figurer.

Innovation technologique (série sciences et technologies de l'industrie et du développement durable)

Évaluation orale

Durée : 20 minutes

Objectifs

En fin de classe de première, les élèves, répartis en groupes de trois à cinq élèves maximum, réalisent un projet pluritechnologique collaboratif de 36 heures de conception-réalisation, d'amélioration ou d'optimisation d'un produit.

La nature de ce projet conduit les élèves à imaginer et matérialiser tout ou partie d'une solution originale pour répondre à un besoin. Les démarches de créativité, d'ingénierie collaborative et d'éco-conception ainsi que l'approche design et innovation sont mises en œuvre permettant ainsi à chacun de faire preuve d'initiative et d'autonomie.

L'évaluation porte sur la présentation du projet.

Les compétences évaluées sont celles décrites dans le programme de l'enseignement de spécialité innovation technologique de la classe de première STI2D définies dans l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019.

L'évaluation orale vise à évaluer les compétences suivantes :

- décoder le cahier des charges d'un produit, participer, si besoin, à sa modification ;
- évaluer la compétitivité d'un produit d'un point de vue technique et économique ;
- décrire une idée, un principe, une solution, un projet en utilisant des outils de représentation adaptés ;
- identifier et justifier un problème technique à partir de l'analyse globale d'un produit (approche matière - énergie - information) ;
- planifier un projet (diagramme de Gantt, chemin critique) en utilisant les outils adaptés et en prenant en compte les données technico-économiques ;
- proposer des solutions à un problème technique identifié en participant à des démarches de créativité, choisir et justifier la solution retenue ;
- réaliser et valider un prototype ou une maquette obtenu(e) en réponse à tout ou partie du cahier des charges initial.

Structure

L'évaluation est réalisée par un enseignant de sciences industrielles de l'ingénieur qui n'a pas encadré le candidat pendant l'année scolaire.

L'évaluation, d'une durée globale de 20 minutes, se décompose en deux parties :

- elle débute par la présentation orale du projet mené en fin d'année scolaire, d'une durée de 10 minutes maximum. L'élève s'appuie sur un support numérique de présentation qu'il a constitué, qui peut inclure des cartes heuristiques, diaporamas, sites Internet, poster, fichiers CAO, etc. Il présente son travail personnel, issu de la répartition des tâches à l'intérieur du groupe de projet. Il peut s'appuyer sur les choix collectifs effectués et les résultats globaux obtenus par l'équipe ;
- cette présentation est suivie d'un dialogue argumenté avec l'interrogateur d'une durée de 10 minutes maximum.

Notation

Cette évaluation est notée sur 20. Elle fait l'objet d'une fiche individuelle d'évaluation des compétences, établie selon le modèle fourni dans la banque nationale de sujets.

Les éléments contenus dans le projet présenté sont les seuls supports possibles de questionnement.

Candidats individuels

Pour les candidats individuels, l'évaluation porte sur une étude de dossier technique qui est remis au candidat cinq semaines avant la date de l'épreuve. Le candidat doit réaliser un support numérique de présentation pouvant inclure des cartes heuristiques, diaporamas, sites Internet, poster, fichiers CAO, etc. qui présente des

éléments de conception et les choix techniques opérés, les difficultés rencontrées et les pistes envisagées pour les résoudre.

L'évaluation débute par la présentation orale, de dix minutes maximum, à partir du support numérique élaboré par le candidat. Il s'ensuit un dialogue argumenté avec l'interrogateur.

L'évaluation fait l'objet d'une fiche individuelle d'évaluation des compétences, établie selon le modèle fourni dans la banque nationale de sujets.

Sciences de gestion et numérique (série sciences et technologies du management et de la gestion)

Évaluation orale

Durée : 20 minutes

Objectifs

L'évaluation vise à évaluer, au travers de l'étude d'une thématique de gestion choisie par le candidat et relevant du programme de l'enseignement de spécialité sciences de gestion et numérique de la classe de première STMG défini dans l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019, les compétences suivantes :

- dégager une problématique de gestion ;
- mobiliser des sources documentaires variées pour traiter la problématique retenue ;
- sélectionner les informations pertinentes au regard de cette problématique ;
- interpréter et exploiter les informations sélectionnées pour répondre à la problématique ;
- rédiger une synthèse dégageant les conclusions de l'étude ;
- présenter oralement le travail effectué ;
- préciser et argumenter les choix effectués.

Structure

Le dossier

Le candidat réalise au cours de l'année de première une étude personnelle et individuelle qui vise à traiter la problématique qu'il a choisie. La problématique du dossier du candidat est tirée d'une ou de plusieurs questions de gestion figurant dans le programme d'enseignement de spécialité sciences de gestion et numérique de la classe de première, appliquée à une ou plusieurs organisations choisies par le candidat. Cette étude se concrétise par la rédaction d'un dossier d'étude de gestion, document d'une dizaine de pages qui précise les raisons du choix de la problématique, les caractéristiques de la (ou des) organisation(s) observée(s) en lien avec la problématique, les sources utilisées, la démarche d'analyse et les conclusions. Ce document produit par le candidat ne fait pas l'objet d'une évaluation, mais sert de support à la présentation de l'évaluation. Il est remis au responsable de l'établissement qui organise l'évaluation, dans un délai de 5 jours avant la date de passage de l'évaluation.

L'évaluation

L'environnement numérique de travail utilisé dans le cadre de l'enseignement est requis pour la réalisation et la présentation de l'évaluation. Le candidat est responsable des documents et supports numériques qu'il juge utiles à sa présentation.

L'évaluation est conduite par un professeur ayant assuré l'enseignement de sciences de gestion et numérique en classe de première et qui n'est pas le professeur du candidat.

L'évaluation s'appuie sur le dossier d'étude de gestion du candidat, qui est fourni à l'examineur avant le passage de l'évaluation par le responsable de l'établissement où se déroule l'évaluation. Elle est composée d'un exposé du candidat (dans la limite de dix minutes maximum), suivi d'un entretien.

Notation

L'évaluateur renseigne une grille d'évaluation conforme au modèle défini nationalement (voir annexe 2) et propose une note sur 20 points.

Candidats individuels

Pour les candidats individuels, l'évaluation prend appui sur le dossier constitué par le candidat au cours de l'étude qu'il a conduite. L'évaluation se déroule selon les mêmes modalités que pour les candidats scolaires.

Enseignement scientifique alimentation-environnement (série sciences et technologies de l'hôtellerie et de la restauration)

Évaluation écrite

Durée : 2 heures maximum

Objectifs

L'évaluation porte sur le programme de l'enseignement de spécialité enseignement scientifique alimentation-environnement de la classe de première STHR défini dans l'arrêté du 17 janvier 2019 paru au BOEN spécial n° 1 du 22 janvier 2019.

Elle a pour objectif de vérifier :

- les connaissances scientifiques fondamentales et appliquées en Esae de la classe de première ;
- les capacités d'analyse, de synthèse et de raisonnement scientifique ;
- la clarté et la rigueur de l'expression écrite.

Structure

Le sujet comporte deux parties :

- la partie 1 porte sur tout ou partie du programme de la classe de première ;
- la partie 2 porte sur un des thèmes du programme de la classe de première.

La partie 1 permet d'évaluer la maîtrise par le candidat des connaissances acquises. Le questionnement peut se présenter sous forme de questions et/ou de QCM.

La partie 2 permet d'évaluer la capacité du candidat à analyser, à synthétiser, à argumenter en appui sur l'exploitation de documents. Dans le cadre d'une analyse de situation problème, les questions appellent des réponses rédigées, structurées et argumentées, qui intègrent la mobilisation des connaissances dans une démarche de réflexion.

Notation

Cette évaluation est notée sur 20 points. Chaque partie est notée sur 10.

Cette évaluation est corrigée par un professeur qui a en charge l'enseignement scientifique alimentation-environnement (Esae) qui n'est pas l'enseignant de l'élève.

Économie, droit et environnement du spectacle vivant (série sciences et techniques du théâtre, de la musique et de la danse)

Épreuve orale

Durée : 20 minutes

Objectifs

En lien avec les objectifs généraux des enseignements de spécialité de la série S2TMD, l'évaluation vise à évaluer la capacité des élèves à mobiliser des connaissances et compétences acquises dans le cadre du programme de l'enseignement de spécialité Édesv défini dans l'arrêté du 31 juillet 2019 publié au BOEN du 29 août 2019, pour comprendre les spécificités de cet environnement et les mettre en relation avec la formation artistique et le projet d'orientation des élèves.

Structure

L'évaluation repose sur la soutenance d'un projet en lien avec le domaine artistique étudié et pratiqué par le candidat et mobilisant les connaissances acquises dans le cadre du programme. Si le projet peut être collectif, l'évaluation par le jury est individuelle.

Le candidat se présente à l'entretien muni d'un dossier papier qui synthétise son projet. Celui-ci, d'une longueur d'environ cinq pages (hors annexes), sert uniquement de support à l'évaluation commune et n'est pas évalué en tant que tel.

Les projets peuvent être de nature diverse : recherche documentaire sur un domaine particulier du spectacle vivant ; enquête sur le public d'une salle de spectacle ; étude du fonctionnement et de l'organisation d'un lieu culturel (musée, salle de spectacle, etc.) ; conduite d'un projet (par exemple, production et réalisation d'un spectacle vivant), etc. Le candidat veille à inscrire son projet dans son parcours d'orientation.

L'évaluation est organisée en deux parties d'une même durée de 10 minutes chacune :

- première partie - présentation : le candidat effectue une présentation orale de son projet pendant laquelle il n'est pas interrompu. Il s'appuie pour cela sur le dossier qu'il a remis au jury. Il peut se munir de documents annexes pour illustrer sa présentation ;
- seconde partie - entretien : le jury interroge le candidat sur différents aspects de son projet et sur son lien avec quelques notions du programme, puis élargit ce questionnement aux autres connaissances et compétences spécifiées dans le programme.

Notation

L'évaluation commune est notée sur 20 points, chaque partie étant notée sur 10 points.

L'évaluation commune est évaluée à l'aide de la grille d'évaluation des compétences figurant en annexe 3.

Le jury est composé d'un enseignant de sciences économiques et sociales intervenant en Édesv et d'un professeur de l'éducation nationale en charge d'un des enseignements de spécialité artistique de la série S2TMD. Le cas échéant, un professionnel du spectacle vivant peut être sollicité en appui des deux examinateurs du jury.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,

Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,

La cheffe du service de l'instruction publique et de l'action pédagogique, adjointe au directeur général,
Rachel-Marie Pradeilles-Duval

Annexe 1

↳ Grille d'évaluation des compétences pour l'évaluation de biochimie-biologie (série STL)

Annexe 2

↳ Grille d'évaluation des compétences pour l'épreuve de sciences de gestion et numérique (série STMG)

Annexe 3

↳ Grille d'évaluation pour l'évaluation commune d'économie, droit et environnement du spectacle vivant (série S2TMD)

Annexe 1 - Grille d'évaluation des compétences pour l'évaluation de biochimie-biologie (série STL)

Référence copie :					Niveaux de maîtrise :															
Référence sujet de biochimie-biologie :					NT= non traité															
					I = insuffisant															
Nom du professeur ayant établi la grille :					A = acceptable															
					M =maîtrisé															
Attendus pour un niveau maîtrisé	Compétences évaluées																			
	C1		C2		C3		C4		C5		C6									
	Analyser un document scientifique ou technologique		Interpréter des données de biochimie ou de biologie		Argumenter un choix - Faire preuve d'esprit critique		Développer un raisonnement scientifique construit et rigoureux		Élaborer une synthèse sous forme de schéma ou d'un texte rédigé		Communiquer à l'aide d'une syntaxe claire et d'un vocabulaire scientifique adapté									
	NT	I	A	M	NT	I	A	M	NT	I	A	M	NT	I	A	M	NT	I	A	M
Q1 :																				
Q2 :																				
Q3 :																				
....																				
Q13 :																				
Pondération	3		5		3		5		2		2									
Note obtenue par le candidat																				
Total /20 et commentaire																				

Annexe 2 - Grille d'évaluation des compétences pour l'évaluation de sciences de gestion et numérique (série STMG)

Session :	Problématique :			
Nom du candidat :				
Prénom du candidat :				
Établissement :				
Académie :				
Critères d'évaluation	Très insuffisant	Insuffisant	Satisfaisant	Très satisfaisant
Pertinence et validité des informations mobilisées				
Rigueur de la démarche d'analyse				
Intérêt des conclusions au regard de la problématique choisie				
Intégration de la dimension numérique				
Structuration de l'exposé				
Cohérence de l'argumentation				
Clarté du propos				
Note sur 20 :				
Commentaire :				
Nom et prénom de l'examineur :				
Date et signature :				

Annexe 3 - Grille d'évaluation pour l'évaluation commune d'économie, droit et environnement du spectacle vivant (série S2TMD)

Nom du candidat :								
Prénom du candidat :								
Établissement :								
Académie :								
Critères d'évaluation	Présentation				Entretien			
	Très insuffisant	Insuffisant	Satisfaisant	Très satisfaisant	Très insuffisant	Insuffisant	Satisfaisant	Très satisfaisant
Pertinence des informations mobilisées								
Qualité de la démarche d'analyse								
Maîtrise des connaissances d'économie, droit et environnement du spectacle vivant								
Qualité de la présentation orale								
Note sur 10								
Commentaire d'ensemble :								
Note sur 20 :								
Nom et prénom de l'examineur 1 :								
Signature :								
Nom et prénom de l'examineur 2 :								
Signature :								

Enseignements primaire et secondaire

Sections binationales Bachibac

Évaluations spécifiques d'histoire-géographie et de langue et littérature espagnoles pour la délivrance simultanée du baccalauréat général et du diplôme du Bachillerato

NOR : MENE2121389N

note de service du 29-7-2021

MENJS - DGESCO A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux directeurs et directrices académiques des services de l'éducation nationale ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux d'espagnol et d'histoire-géographie ; aux proviseurs et proviseurs des lycées ayant une section Bachibac ; aux professeures et professeurs d'espagnol et d'histoire-géographie des sections Bachibac

Cette note de service concerne les évaluations d'histoire-géographie et de langue et littérature espagnoles pour la délivrance simultanée du baccalauréat général et du diplôme du Bachillerato, dans le cadre des sections binationales Bachibac. Elle précise et complète les dispositions de l'arrêté du 5 juin 2019 modifié relatif à la double délivrance du diplôme du baccalauréat et du diplôme du Bachillerato. En dehors des définitions d'évaluations décrites dans la présente note, l'organisation de l'examen du dispositif Bachibac fait l'objet d'instructions complémentaires publiées par note de service. La présente note de service entre en application à compter de la session 2022 de l'examen. À compter de sa publication, elle abroge et remplace la note de service du 4 septembre 2020 relative aux évaluations spécifiques d'histoire-géographie et de langue et littérature espagnoles pour la délivrance simultanée du baccalauréat général et du diplôme du Bachillerato.

1. Rappel de la réglementation en vigueur

Les élèves qui ont suivi en classes de première et de terminale les enseignements d'une section Bachibac peuvent, s'ils le souhaitent, se présenter au titre du Bachibac. Dans ce cas, ils font l'objet d'évaluations spécifiques, à la fin de la classe de terminale.

L'élève effectue le choix de se présenter à la section binationale Bachibac dans laquelle il est scolarisé, au moment de son inscription à l'examen du baccalauréat, en classe de première.

Si, pour des raisons légitimes dues à sa scolarité et après autorisation du recteur d'académie, le candidat renonce, en classe de terminale, à se présenter à la section binationale dans laquelle il était inscrit, seules sont prises en compte les notes obtenues au titre de la moyenne annuelle figurant sur le livret scolaire de la classe de terminale pour la langue vivante A et pour l'enseignement correspondant à la discipline non linguistique (histoire-géographie) au titre de la moyenne annuelle figurant sur le livret scolaire pour la langue vivante A et pour l'enseignement concerné par la DNL de première (histoire-géographie).

Pour les candidats ayant fait le choix de se présenter au titre du Bachibac :

- le contrôle continu de droit commun en langue vivante A est remplacé par une évaluation spécifique de langue et littérature espagnoles, comportant une composition écrite et une interrogation orale, organisée à la fin du cycle terminal. Cette évaluation spécifique donne lieu à l'attribution d'une note pour la partie écrite et d'une note pour la partie orale. En vue de l'obtention du baccalauréat, la moyenne des notes obtenues aux parties écrite et orale est affectée d'un coefficient 15 ;
- le contrôle continu de droit commun en histoire-géographie est remplacé par une évaluation spécifique de contrôle continu en histoire-géographie, enseignement suivi en tant que discipline non linguistique, qui porte sur le programme aménagé d'histoire-géographie enseigné dans la section Bachibac dont est issu le candidat. Cette évaluation en langue espagnole se déroule à la fin du cycle terminal. Une note globale, affectée du coefficient 15, est prise en compte en vue de l'obtention du baccalauréat au titre de l'évaluation d'histoire-géographie et, en vue de l'obtention du Bachillerato, pour la seule partie histoire de l'évaluation spécifique.

À l'exception des dispositions particulières qui font l'objet de la présente note de service, demeurent applicables les dispositions réglementaires et instructions relatives à l'organisation du baccalauréat général. Conformément à l'article D. 334-9 du Code de l'éducation, les enseignants ne peuvent évaluer leurs élèves de l'année en cours. Dans la mesure du possible, les évaluations sont conduites par des professeurs exerçant en section Bachibac.

Conformément à la réglementation du baccalauréat général, ces évaluations spécifiques ne peuvent être

choisies comme épreuves de contrôle au second groupe.

2. Évaluation spécifique d'histoire-géographie

a. Nature

L'évaluation spécifique écrite d'histoire-géographie pour la double délivrance du baccalauréat et du Baccillerato porte sur le programme spécifique de la classe de terminale des sections Bachibac. Elle est rédigée en espagnol. Sa durée totale est de cinq heures.

b. Objectifs

L'évaluation spécifique d'histoire-géographie du baccalauréat a pour objectif d'évaluer l'aptitude du candidat à mobiliser les savoirs et les notions des programmes, qui représentent des connaissances fondamentales pour la compréhension du monde contemporain et la formation civique et culturelle du citoyen.

Elle permet aussi d'évaluer les compétences acquises tout au long de la scolarité secondaire, en particulier la capacité du candidat à traiter et hiérarchiser des informations, à développer un raisonnement historique ou géographique, selon les formes d'exposition écrites ou graphiques proposées par les différentes parties de l'évaluation.

En cela, l'évaluation spécifique d'histoire-géographie permet également d'apprécier la qualité de l'expression écrite du candidat, ainsi que la maîtrise de son jugement par l'exercice critique de lecture, analyse et interprétation de documents de sources et de natures diverses.

c. Structure

L'évaluation spécifique comprend deux parties, l'une portant sur l'histoire et l'autre sur la géographie. Dans la première partie, le candidat rédige une composition en réponse à un sujet d'histoire ou de géographie. Dans la deuxième partie, le candidat réalise une étude critique de document(s) ou une production graphique. En histoire comme en géographie, les sujets portent sur un ou plusieurs thèmes et questions du programme d'enseignement. En histoire, les sujets doivent privilégier une période longue mais ils peuvent porter aussi sur un tableau à un moment de l'évolution historique.

Si un sujet ne portant que sur les dix dernières années du programme est exclu, des sujets envisageant une chronologie plus large, allant jusqu'à nos jours, sont possibles.

d. Nature des exercices

1. La composition

Le candidat traite un sujet au choix parmi deux proposés dans la même discipline.

Pour traiter le sujet choisi, en histoire comme en géographie :

- il montre qu'il sait analyser un sujet, qu'il maîtrise les connaissances nécessaires et qu'il sait les organiser ;
- il rédige un texte comportant une introduction (dégageant les enjeux du sujet et comportant une problématique), plusieurs parties structurées et une conclusion ;
- il peut y intégrer une (ou des) production(s) graphique(s).

Le libellé du sujet peut prendre des formes diverses : reprise partielle ou totale d'intitulés du programme, question ou affirmation ; la problématique peut être explicite ou non.

2. L'étude critique de document(s) ou production graphique (réalisation d'un croquis ou d'un schéma d'organisation spatiale d'un territoire)

Le candidat traite un sujet au choix parmi deux proposés dans la même discipline.

L'exercice d'étude critique de document(s), en histoire comme en géographie, comporte un titre, un ou deux document(s) et, si nécessaire, des notes explicatives. Il est accompagné d'une consigne visant à orienter le travail du candidat.

En géographie, un exercice d'un autre type peut être proposé : la réalisation d'un croquis ou d'un schéma d'organisation spatiale d'un territoire.

2.1. En histoire, l'étude critique d'un ou de deux document(s)

Cette étude doit permettre au candidat de rendre compte du contenu du ou des document(s) proposé(s) et d'en dégager ce qu'il(s) apporte(nt) à la compréhension des situations, des phénomènes ou des processus historiques évoqués.

Le candidat doit mettre en œuvre les démarches de l'étude de document en histoire :

- en dégagant le sens général du ou des document(s) en relation avec la question historique à laquelle il(s) se rapporte(nt) ;
- en montrant l'intérêt et les limites éventuelles du ou des document(s) pour la compréhension de cette question historique et en prenant la distance critique nécessaire ;
- en montrant, le cas échéant, l'intérêt de la confrontation des documents.

2.2. En géographie, deux types d'exercices peuvent être proposés

- Soit l'étude critique d'un ou de deux document(s) ; cette étude doit permettre au candidat de rendre compte du contenu du ou des document(s) proposé(s) et d'en dégager ce qu'il(s) apporte(nt) à la compréhension des situations, des phénomènes ou des processus géographiques évoqués.

Le candidat doit mettre en œuvre les démarches de l'étude de document(s) en géographie :

- en dégagant le sens général du ou des document(s) en relation avec l'objet géographique auquel il(s) se rapporte(nt) ;
- en faisant apparaître les enjeux spatiaux et territoriaux qu'il(s) représente(nt) et la manière dont il(s) en rend(ent) compte ;
- en mettant en évidence l'intérêt et les limites éventuelles du ou des document(s) pour la compréhension de cette question géographique et en prenant la distance critique nécessaire ;
- en montrant, le cas échéant, l'intérêt de la confrontation des documents.

- Soit la réalisation d'un croquis ou d'un schéma d'organisation spatiale d'un territoire en réponse à un sujet.

e. Notation

En vue de la délivrance du baccalauréat, l'épreuve est notée sur 20.

L'évaluation de la copie du candidat est globale et doit utiliser tout l'éventail des notes de 0 à 20.

En vue de la délivrance du Baccalauréat, chacune des deux parties est notée sur 10.

f. Matériel

L'usage d'un dictionnaire est interdit. Les mots ou expressions qui seraient jugés techniques ou difficiles par les professeurs sont expliqués dans le sujet.

L'usage des calculatrices électroniques est interdit.

3. Partie écrite de l'évaluation spécifique de langue et littérature espagnoles

a. Nature

La partie écrite de l'évaluation spécifique de langue et littérature espagnoles pour la double délivrance du baccalauréat et du Baccalauréat porte sur le programme d'enseignement spécifique des sections Bachibac. Elle est rédigée en espagnol.

Le candidat traite un sujet au choix parmi deux proposés dans la même discipline.

b. Objectif

La partie écrite de l'évaluation spécifique de langue et littérature espagnoles a pour objectif d'évaluer les connaissances et compétences acquises correspondant, d'une part au niveau B2 du cadre européen commun de référence pour les langues (CECRL) pour la langue, d'autre part au programme d'enseignement de langue et littérature espagnoles en vigueur dans les sections Bachibac.

c. Structure

La durée totale de la partie écrite est de quatre heures. Le candidat traite deux sujets : le commentaire d'un texte et un essai.

Commentaire d'un texte

Durée : deux heures.

Le commentaire porte sur un texte, littéraire ou non, des XXe ou XXIe siècles, choisi parmi les œuvres des auteurs figurant au programme d'enseignement susmentionné. Ce texte est choisi en fonction de la richesse de son contenu et de la qualité de la langue qu'il offre.

Le texte peut être assorti d'un ou plusieurs documents iconographiques, auquel cas il est d'une longueur moindre. Si nécessaire, on peut y ajouter des notes de vocabulaire en se limitant au nombre de cinq. Il comporte environ 500 mots. S'il s'agit d'un poème, il peut être plus court.

Le commentaire d'un texte se décompose en deux exercices, qui sont la compréhension du texte et une production écrite :

1. Compréhension du texte

L'exercice se compose de deux ou trois questions permettant de vérifier de façon progressive la compréhension du document, en partant de l'explicite pour aller vers l'implicite, et de mettre en lumière son organisation ainsi que les traits caractéristiques du genre dont il relève.

2. Production écrite de 250 mots au maximum

L'exercice consiste à exprimer une opinion argumentée sur le contenu du texte proposé ou à commenter une opinion émise à son sujet.

Essai

Durée : deux heures.

Le programme limitatif prévu par le programme d'enseignement de langue et littérature espagnoles pour les sections Bachibac est publié par note de service du ministre chargé de l'éducation. Il prévoit un thème d'étude illustré par deux œuvres littéraires. Ce programme limitatif est établi à partir du programme de littérature des XIXe, XXe et XXIe siècles. Il ne concerne que les élèves de terminale.

Les deux œuvres littéraires susmentionnées servent de support à l'essai. Le sujet porte sur ces deux œuvres ou sur l'une d'entre elles.

À partir d'une ou de deux questions, il s'agit d'analyser et de développer un aspect du thème d'étude proposé.

d. Critères d'évaluation

Pour le commentaire, le correcteur évalue :

- la compréhension du texte ;
- la capacité à organiser une argumentation cohérente ;
- la maîtrise de l'expression écrite correspondant au niveau B2 du CECRL.

Pour l'essai, le correcteur évalue :

- la compréhension des documents ;
- la capacité à analyser ;
- la capacité à répondre à la problématique en une réflexion personnelle argumentée ;
- la maîtrise de l'expression écrite correspondant au niveau B2 du CECRL.

L'évaluation de la maîtrise de la langue écrite (dans le commentaire ou dans l'essai) prend en compte :

- l'étendue et la précision du lexique : le vocabulaire mobilisé est suffisamment large pour varier les formulations et éviter de fréquentes répétitions, malgré quelques lacunes ou confusions. Il est suffisamment précis pour permettre une expression personnelle nuancée ;
- la correction grammaticale : le degré de contrôle grammatical est tel que les erreurs sur les structures simples et courantes sont occasionnelles et ne conduisent pas à des malentendus ;
- la cohérence et la cohésion : l'utilisation pertinente d'un nombre suffisant de connecteurs permet de marquer clairement les relations entre les idées ou les faits ;
- l'orthographe et la ponctuation : l'orthographe courante doit être maîtrisée, les erreurs doivent être peu fréquentes. L'usage de la ponctuation doit être approprié.

e. Matériel

L'usage d'un dictionnaire est interdit. Les mots ou expressions qui seraient jugés techniques ou difficiles par les professeurs seront expliqués dans le sujet.

4. Partie orale de l'évaluation spécifique de langue et littérature espagnoles

a. Nature et structure

Le candidat traite un sujet au choix parmi deux proposés dans la même discipline.

La partie orale de l'évaluation spécifique est d'une durée de vingt minutes. Elle est précédée d'un temps de préparation de vingt minutes. Elle se déroule en langue espagnole.

Le temps de préparation individuelle porte sur un texte ou un document iconographique en rapport avec les contenus étudiés pendant le cycle terminal.

La partie orale débute par un exposé de l'élève d'une durée de dix minutes. Il consiste en une présentation du document proposé. Il est suivi d'une discussion avec le jury. Il s'agit de rendre compte de la compréhension du document et de dégager une problématique en le mettant en relation avec les questions étudiées pendant le cycle terminal.

b. Critères d'évaluation

Au cours de la partie orale, l'examineur évalue la capacité à :

- organiser une présentation structurée et cohérente mettant en valeur les points importants et les détails pertinents du document ;
- élargir la réflexion et interagir de manière efficace durant l'entretien.

L'évaluation de la qualité de la langue orale prend en compte :

- la phonologie : la prononciation et l'intonation sont claires et naturelles ;
- la correction grammaticale : le degré de contrôle grammatical est tel que les erreurs sur les structures simples et courantes sont occasionnelles et ne conduisent pas à des malentendus ;
- la cohérence et la cohésion : l'utilisation pertinente d'un nombre suffisant de connecteurs permet de marquer clairement les relations entre les idées ou les faits ;
- l'étendue et la précision du lexique : le vocabulaire mobilisé est suffisamment large pour éviter de fréquentes répétitions, malgré quelques lacunes ou confusions. Il est suffisamment précis pour permettre une expression personnelle nuancée.

L'aisance :

- lors de l'exposé le débit est assez régulier ; malgré quelques hésitations l'on remarque peu de longues pauses ;
- lors de l'entretien le candidat argumente, cherche à convaincre, réagit avec vivacité et pertinence.

c. Matériel

L'usage d'un dictionnaire est interdit. Les mots ou expressions qui seraient jugés techniques ou difficiles par les professeurs seront expliqués dans le sujet.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,

Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,

La cheffe du service de l'instruction publique et de l'action pédagogique, adjointe au directeur général,

Rachel-Marie Pradeilles-Duval

Enseignements primaire et secondaire

Sections binationales Esabac

Évaluations spécifiques pour la délivrance simultanée du baccalauréat général et du diplôme de l'Esame di Stato

NOR : MENE2121390N

note de service du 29-7-2021

MENJS - DGESCO A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux directeurs et directrices académiques des services de l'éducation nationale ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux d'italien et d'histoire-géographie ; aux proviseurs et proviseurs des lycées ayant une section Esabac ; aux professeures et professeurs d'italien et d'histoire-géographie des sections Esabac

La présente note de service concerne les évaluations spécifiques d'histoire-géographie et de langue et littérature italiennes pour les sections binationales Esabac du baccalauréat général ainsi que les évaluations spécifiques d'enseignement technologique spécifique et de langue, culture et communication italiennes dans la série sciences et technologies du management et de la gestion (STMG) du baccalauréat technologique. Elle précise et complète les dispositions de l'arrêté du 5 juin 2019 modifié relatif à la double délivrance du diplôme du baccalauréat et du diplôme de l'Esame di Stato.

En dehors des définitions d'épreuves décrites dans la présente note, l'organisation de l'examen du dispositif Esabac fait l'objet d'instructions complémentaires publiées par note de service.

La présente note de service entre en application à compter de la session 2022 de l'examen. À compter du 1er septembre 2021, elle abroge et remplace la note de service du 4 septembre 2020.

1. Sections européennes ou de langues orientales (Selo)

Les élèves qui ont suivi en classes de première et de terminale (dès la classe de seconde pour les élèves de la voie générale) les enseignements d'une section Esabac peuvent être présentés au titre de l'Esabac. Dans ce cas, ils font l'objet d'évaluations spécifiques, à la fin de la classe de terminale.

L'élève effectue le choix de se présenter à la section binationale Esabac dans laquelle il est scolarisé, au moment de son inscription à l'examen du baccalauréat, en classe de première.

Si, pour des raisons légitimes dues à sa scolarité et après autorisation du recteur d'académie, le candidat renonce, en classe de terminale, à se présenter à la section binationale dans laquelle il était inscrit, seules sont prises en compte les notes obtenues au titre de la moyenne annuelle figurant sur le livret scolaire de la classe de terminale pour la langue vivante A et pour l'enseignement correspondant à la discipline non linguistique qu'il avait choisie (histoire-géographie ou enseignement scientifique) au titre de la moyenne annuelle figurant sur le livret scolaire pour la langue vivante A et pour l'enseignement concerné par la DNL de première (histoire-géographie ou enseignement scientifique).

Pour les candidats de la voie générale ayant fait le choix de se présenter au titre de l'Esabac :

- le contrôle continu de droit commun en langue vivante A est remplacé par une évaluation spécifique de langue et littérature italiennes, comportant une composition écrite et une interrogation orale. Cette évaluation se déroule à la fin du cycle terminal. Elle donne lieu à l'attribution d'une note pour la partie écrite et d'une note pour la partie orale. En vue de l'obtention du baccalauréat, la moyenne des notes obtenues aux parties écrite et orale est affectée d'un coefficient 15 ;
- le contrôle continu de droit commun en histoire-géographie est remplacé par une évaluation spécifique d'histoire-géographie, enseignement suivi en tant que discipline non linguistique, qui porte sur le programme aménagé d'histoire-géographie enseigné dans la section Esabac dont est issu le candidat. Cette évaluation en langue italienne se déroule à la fin du cycle terminal. Une note globale, affectée du coefficient 15, est prise en compte pour l'obtention du baccalauréat au titre de l'évaluation d'histoire-géographie, pour l'obtention de l'Esame di Stato, seule la note de la partie relative à l'histoire est prise en compte.

Pour les candidats de la série STMG de la voie technologique ayant fait le choix de se présenter au titre de l'Esabac :

- le contrôle continu de droit commun en langue vivante A est remplacé par une évaluation spécifique de langue, culture et communication italiennes, comportant une composition écrite et une interrogation orale.

Cette évaluation se déroule à la fin du cycle terminal. Elle donne lieu à l'attribution d'une note pour la partie écrite et d'une note pour la partie orale. En vue de l'obtention du baccalauréat, la moyenne des notes obtenues aux parties écrite et orale est affectée d'un coefficient 15 ;

- l'évaluation portant sur l'enseignement technologique spécifique consiste en une interrogation orale en langue italienne organisée en classe de terminale. En vue de l'obtention du baccalauréat, la note obtenue à cette évaluation spécifique, affectée du coefficient 10, s'ajoute au coefficient global relatif aux enseignements obligatoires de droit commun.

À l'exception des dispositions particulières qui font l'objet de la présente note de service, demeurent applicables les dispositions réglementaires et instructions relatives à l'organisation du baccalauréat général et du baccalauréat technologique.

Dans la mesure du possible, les évaluations spécifiques sont conduites par des professeurs exerçant en section Esabac.

Conformément à la réglementation du baccalauréat général et du baccalauréat technologique, ces évaluations spécifiques ne peuvent être choisies comme épreuves de contrôle au second groupe.

2. Évaluations spécifiques dans les sections binationales de la voie générale

A. Évaluation spécifique d'histoire-géographie

a. Nature

L'évaluation spécifique d'histoire-géographie pour la double délivrance du baccalauréat général et de l'Esame di Stato porte sur le programme d'enseignement spécifique au dispositif Esabac de la classe terminale. Elle est rédigée en italien. Sa durée totale est de 5 heures.

b. Objectifs

L'évaluation spécifique d'histoire-géographie du baccalauréat a pour objectif d'évaluer l'aptitude du candidat à mobiliser les savoirs et les notions des programmes, qui représentent les connaissances fondamentales pour la compréhension du monde contemporain, la formation civique et culturelle du citoyen.

Elle permet aussi d'évaluer les compétences acquises tout au long de la scolarité secondaire, en particulier la capacité du candidat à traiter et hiérarchiser des informations, à développer un raisonnement historique ou géographique, selon les formes d'exposition écrites ou graphiques proposées par les différentes parties de l'évaluation.

En cela, l'évaluation spécifique d'histoire-géographie concourt également à apprécier la qualité de l'expression écrite du candidat, ainsi que la maîtrise de l'exercice critique de lecture, analyse et interprétation de documents de sources et de natures diverses.

c. Structure

L'épreuve comprend deux parties, l'une portant sur l'histoire et l'autre sur la géographie.

Dans la première partie, le candidat rédige une composition en réponse à un sujet d'histoire ou de géographie. La deuxième partie, évaluée et notée exclusivement dans le cadre de l'obtention du baccalauréat, se compose d'un exercice portant sur la discipline qui ne fait pas l'objet de la composition :

- en histoire, une étude critique d'un ou de deux document(s) ;
- en géographie, soit une étude critique d'un ou de deux document(s), soit une production graphique (réalisation d'un croquis ou d'un schéma d'organisation spatiale d'un territoire).

L'utilisation du temps imparti à l'épreuve est laissée à la liberté du candidat.

En histoire comme en géographie, les sujets portent sur un ou plusieurs thèmes ou questions du programme d'enseignement. En histoire, les sujets doivent privilégier une période longue, mais ils peuvent porter aussi sur un tableau à un moment de l'évolution historique.

Si un sujet ne portant que sur les dix dernières années du programme est exclu, des sujets envisageant une chronologie plus large, allant jusqu'à nos jours, sont possibles.

En histoire comme en géographie, les productions graphiques (schéma(s), etc.) que le candidat peut réaliser à l'appui de son raisonnement, en fonction du sujet et de ses choix, sont valorisées.

d. Nature des exercices

1. La composition

Le candidat traite un sujet au choix parmi deux proposés dans la même discipline.

Pour traiter le sujet choisi, en histoire comme en géographie :

- il montre qu'il sait analyser un sujet, qu'il maîtrise les connaissances nécessaires et qu'il sait les organiser ;
- il rédige un texte comportant une introduction (dégageant les enjeux du sujet et comportant une problématique), plusieurs parties structurées et une conclusion ;
- il peut y intégrer une (ou des) production(s) graphique(s).

Le libellé du sujet peut prendre des formes diverses : reprise partielle ou totale d'intitulés du programme, question ou affirmation ; la problématique peut être explicite ou non.

2. L'étude critique de document(s) ou production graphique (réalisation d'un croquis ou d'un schéma)

d'organisation spatiale d'un territoire)

L'exercice d'étude critique de document(s), en histoire comme en géographie, comporte un titre, un ou deux document(s) et, si nécessaire, des notes explicatives. Il est accompagné d'une consigne visant à orienter le travail du candidat.

En géographie, un exercice d'un autre type peut être proposé : la réalisation d'un croquis ou d'un schéma d'organisation spatiale d'un territoire.

2.1. En histoire, l'étude critique d'un ou de deux document(s)

Cette étude doit permettre au candidat de rendre compte du contenu du ou des document(s) proposé(s) et d'en dégager ce qu'il(s) apporte(nt) à la compréhension des situations, des phénomènes ou des processus historiques évoqués.

Le candidat doit mettre en œuvre les démarches de l'étude de document en histoire :

- en dégagant le sens général du ou des document(s) en relation avec la question historique à laquelle il(s) se rapporte(nt) ;
- en montrant l'intérêt et les limites éventuelles du ou des document(s) pour la compréhension de cette question historique et en prenant la distance critique nécessaire ;
- en montrant, le cas échéant, l'intérêt de la confrontation des documents.

2.2. En géographie, deux types d'exercices peuvent être proposés

- Soit l'étude critique d'un ou de deux document(s) ; cette étude doit permettre au candidat de rendre compte du contenu du ou des document(s) proposé(s) et d'en dégager ce qu'il(s) apporte(nt) à la compréhension des situations, des phénomènes ou des processus géographiques évoqués.

Le candidat doit mettre en œuvre les démarches de l'étude de document(s) en géographie :

- en dégagant le sens général du ou des document(s) en relation avec l'objet géographique auquel il(s) se rapporte(nt) ;
- en faisant apparaître les enjeux spatiaux et territoriaux qu'il(s) représente(nt) et la manière dont il(s) en rend(ent) compte ;
- en mettant en évidence l'intérêt et les limites éventuelles du ou des document(s) pour la compréhension de cette question géographique et en prenant la distance critique nécessaire ;
- en montrant, le cas échéant, l'intérêt de la confrontation des documents.

- Soit la réalisation d'un croquis ou d'un schéma d'organisation spatiale d'un territoire en réponse à un sujet.

e. Notation

En vue de la délivrance du baccalauréat, l'épreuve est notée sur 20. L'évaluation de la copie du candidat est globale et doit utiliser tout l'éventail des notes de 0 à 20.

En vue de la délivrance de l'Esame di Stato, chacune des deux parties est notée sur 10.

f. Matériel

L'usage d'un dictionnaire est interdit. Les mots ou expressions qui seraient jugés techniques ou difficiles par les professeurs sont expliqués dans le sujet.

L'usage des calculatrices électroniques est interdit.

B. Partie écrite de l'évaluation spécifique de langue et littérature italiennes

a. Nature

La partie écrite de l'évaluation spécifique de langue et littérature italiennes pour la double délivrance du baccalauréat général et de l'Esame di Stato porte sur le programme d'enseignement spécifique au dispositif Esabac dans le cadre du parcours de formation intégrée défini à l'article 2 de l'arrêté du 5 juin 2019 susmentionné. Elle est rédigée en italien.

b. Objectif

La partie écrite de l'évaluation spécifique de langue et littérature italiennes a pour objectif d'évaluer les connaissances et compétences acquises correspondant d'une part au niveau B2 du cadre européen commun de référence pour les langues (CECRL) pour la langue, d'autre part, aux itinéraires littéraires de formation intégrée pour la littérature tels que définis par l'annexe 2 du programme d'enseignement de langue et littérature italiennes pour les sections Esabac de l'arrêté du 2 juin 2010 relatif aux programmes d'enseignement d'histoire et de langue et littérature italiennes dans les sections Esabac.

c. Structure

La durée totale de la partie écrite de l'évaluation spécifique est de 4 heures. Le candidat a le choix entre deux sujets de difficulté équivalente : un commentaire dirigé ou un bref essai à partir de l'étude d'un ensemble de documents.

Le commentaire dirigé

Le commentaire dirigé porte sur les œuvres littéraires de 1850 à nos jours. Il permet au candidat de faire la preuve de sa capacité à lire un texte de façon personnelle, à le questionner, à l'interpréter et à rendre compte de sa signification et de son intérêt, dans une expression écrite structurée, cohérente et correcte.

L'essai à partir d'un corpus

L'essai à rédiger doit être bref. Il permet au candidat de faire preuve de sa capacité à construire une réflexion

cohérente en réponse au thème proposé, à partir d'un corpus de documents à analyser et de ses connaissances. Afin de se situer dans la perspective de la formation intégrée, il est proposé un corpus comprenant deux ou trois textes littéraires italiens, un texte littéraire français à la fois dans sa version originale et en traduction et un document iconographique. Les documents peuvent porter sur l'ensemble du parcours de formation intégrée. Ils sont choisis dans la période allant du Moyen Âge à nos jours pour ce qui concerne les textes littéraires ; les documents iconographiques peuvent être choisis dans toutes les époques.

d. Les critères d'évaluation

Le commentaire dirigé

Le correcteur évalue :

- la compréhension du texte ;
- la capacité à formuler une interprétation en se fondant sur une analyse précise et une utilisation pertinente des connaissances acquises ;
- la capacité à organiser une argumentation cohérente ;
- la maîtrise de l'expression écrite correspondant au niveau B2 du CECRL.

L'essai à partir d'un corpus

La problématique est donnée dans le sujet.

Le correcteur évalue :

- la compréhension des documents ;
- la capacité à mettre en relation les différents documents du corpus afin de dégager une problématique ;
- la capacité à analyser et interpréter l'ensemble documentaire en fonction de la problématique indiquée, à identifier, croiser, hiérarchiser, contextualiser les éléments dégagés des différents documents ;
- la capacité à répondre à la problématique en une réflexion personnelle argumentée, associant de façon pertinente les éléments résultant de l'analyse des documents et les connaissances acquises ;
- la maîtrise de l'expression écrite correspondant au niveau B2 du CECRL.

L'évaluation de la maîtrise de la langue écrite (dans le commentaire dirigé ou dans l'essai)

Elle prend en compte :

- l'étendue et la précision du lexique : le vocabulaire mobilisé est suffisamment large pour varier les formulations et éviter de fréquentes répétitions, malgré quelques lacunes ou confusions. Il est suffisamment précis, pour permettre une expression personnelle nuancée ;
- la correction grammaticale : le degré de contrôle grammatical est tel que les erreurs sur les structures simples et courantes sont occasionnelles et ne conduisent pas à des malentendus ;
- la cohérence et la cohésion : l'utilisation pertinente d'un nombre suffisant de connecteurs permet de marquer clairement les relations entre les idées ou les faits ;
- l'orthographe et la ponctuation : l'orthographe courante doit être maîtrisée, les erreurs doivent être peu fréquentes. L'usage de la ponctuation doit être approprié.

e. Matériel

L'usage d'un dictionnaire unilingue (non encyclopédique) est autorisé.

C. Partie orale de l'évaluation spécifique de langue et littérature italiennes

a. Nature

La partie orale de l'évaluation spécifique est d'une durée de vingt minutes. Elle est précédée d'un temps de préparation de vingt minutes. Elle se déroule en langue italienne. Le sujet de l'interrogation est tiré au sort par le candidat parmi au moins 4 sujets proposés par l'examineur.

Le sujet consiste en une problématique présentée à travers deux ou trois documents dont l'un peut être de forme iconographique. Les textes sont courts et extraits des auteurs prévus au programme d'enseignement, de 1850 à nos jours.

La partie orale de l'évaluation débute par 10 minutes de présentation libre par le candidat, et se poursuit par 10 minutes de réponse aux questions de l'examineur, entretien qui s'appuie sur l'exposé du candidat et qui est élargi au programme d'enseignement, de 1850 à nos jours.

b. Critères d'évaluation

Durant la partie orale, l'examineur évalue la capacité à :

- comprendre et traiter la problématique en s'appuyant sur les documents proposés et sur l'utilisation appropriée des connaissances acquises ;
- organiser un exposé de type argumentatif, structuré et cohérent mettant en valeur les points importants et les détails pertinents ;
- élargir la réflexion et interagir de manière efficace durant l'entretien.

Il vérifie également que la compétence de la production orale (prise de parole en continu et interaction) correspond au niveau B2 du CECRL, conformément à l'annexe 2 Programme d'enseignement de langue et littérature italiennes pour les sections Esabac de l'arrêté du 2 juin 2010 susmentionné.

L'évaluation de la qualité de la langue orale prend en compte :

- l'aisance :

- lors de l'exposé le débit est assez régulier ; malgré quelques hésitations, on remarque peu de longues pauses ;
- lors de l'entretien le candidat argumente, cherche à convaincre, réagit avec vivacité et pertinence ;
- la phonologie : la prononciation et l'intonation sont claires et naturelles, proches de l'authenticité ;
- l'étendue et la précision du lexique : le vocabulaire mobilisé est suffisamment large pour éviter de fréquentes répétitions, malgré quelques lacunes ou confusions. Il est suffisamment précis, pour permettre une expression personnelle nuancée ;
- la correction grammaticale : le degré de contrôle grammatical est tel que les erreurs sur les structures simples et courantes sont occasionnelles et ne conduisent pas à des malentendus ;
- la cohérence et la cohésion : l'utilisation pertinente d'un nombre suffisant de connecteurs permet de marquer clairement les relations entre les idées ou les faits.

c. Matériel

L'usage d'un dictionnaire unilingue (non encyclopédique) est autorisé.

3. Évaluations spécifiques dans les sections Esabac de la série STMG

A. Évaluation spécifique d'enseignement technologique

L'évaluation spécifique porte sur le programme de l'enseignement technologique en italien du cycle terminal de la série STMG de l'Esabac technologique défini en annexe à l'arrêté du 26 décembre 2019 modifiant l'arrêté du 4 juillet 2016 fixant les programmes d'enseignement de management des organisations et de langue, culture et communication dans les sections Esabac de la série sciences et technologies du management et de la gestion (STMG).

a. Nature

Évaluation orale

Durée : vingt minutes maximum (sans préparation)

Coefficient 10

b. Objectifs

L'évaluation vise à évaluer la capacité du candidat à analyser des pratiques managériales et de gestion d'entreprise, mobilisant les capacités et notions figurant dans le programme spécifique susmentionné, c'est-à-dire :

- analyser une entreprise par l'appréhension des éléments constitutifs de son identité propre (contexte, histoire, évolution, acteurs, pratiques managériales, pratiques de gestion, etc.)
- identifier des problématiques, des choix stratégiques ou de management et/ou de gestion et en proposer une analyse raisonnée et argumentée.

c. Support

Le candidat constitue pendant sa formation un dossier documenté d'une dizaine de pages qui présente une ou plusieurs entreprise(s) réelle(s) répondant aux objectifs du programme de l'enseignement technologique en italien.

Le dossier est personnel et se compose d'au moins trois parties :

- présentation du contexte général de l'entreprise ou des entreprises choisie(s) ;
- analyse de problématique(s) ou de choix organisationnels ou stratégiques spécifique(s) à l'entreprise ;
- présentation de spécificité(s) managériale(s) d'un point de vue culturel et/ou interculturel.

Le dossier doit couvrir au moins une question de chacun des thèmes du programme de l'enseignement technologique en italien.

Chaque partie est composée de document(s) choisis par le candidat et des rédactions personnelles en italien pour illustrer son analyse.

Dans un premier temps, le candidat dispose de 10 minutes maximum pour présenter le contenu et l'analyse de son dossier. Dans un second temps, l'examineur demande d'explicitier, d'approfondir ou de justifier les analyses et les argumentations présentées par le candidat. Le candidat prendra appui sur les connaissances acquises dans le cadre du programme spécifique.

d. Notation

L'évaluation spécifique est notée sur 20 points.

L'examineur est un professeur ayant en charge l'enseignement technologique en italien.

B. Évaluation spécifique de langue, culture et communication

L'évaluation spécifique de langue, culture et communication fait l'objet de deux parties en langue italienne, l'une écrite, l'autre orale. Ces parties d'évaluation donnent lieu à l'attribution d'une note pour la partie écrite et d'une note pour la partie orale.

Conformément à l'arrêté modifié du 4 juillet 2016 relatif aux programmes d'enseignement de management des organisations et de langue, culture et communication, le programme est constitué des 4 notions du programme du cycle terminal du baccalauréat de droit commun :

- Espaces et échanges ;

- Richesses patrimoniales ;
- Lieux et formes de pouvoir ;
- Idée de progrès.

Conformément à l'arrêté du 5 juin 2019 relatif à la double délivrance du diplôme du baccalauréat et du diplôme de l'Esame di Stato, le niveau de compétence visé est B2 (utilisateur indépendant - niveau avancé).

a. Partie écrite de l'évaluation spécifique de langue, culture et communication

Durée : quatre heures

Le sujet de la partie écrite de l'évaluation spécifique de langue, culture et communication en série STMG comporte deux parties.

Partie 1 : compréhension de l'écrit notée sur 10 points

Le corpus est constitué de quatre documents dont un iconographique mais se prêtant à la compréhension.

Partie 2 : expression écrite notée sur 10 points

Le candidat traitera deux sujets requérant une rédaction de 400 mots (40 lignes) au total.

b. Partie orale de l'évaluation spécifique de langue, culture et communication

À l'instar de l'évaluation de langue et littérature des candidats Esabac de la voie générale, la partie orale de l'évaluation spécifique est d'une durée de 20 minutes. Elle est précédée d'un temps de préparation de 20 minutes. Elle se déroule en langue italienne.

L'examineur propose un dossier constitué d'un ou plusieurs document(s) de natures diverses relatifs aux contenus culturels et civilisationnels du programme de la section.

Le candidat devra d'abord s'exprimer en continu sur ce dossier pendant 10 minutes maximum puis interagir au cours d'un entretien avec l'examineur.

c. Grilles d'évaluation

Des grilles d'évaluation correspondant au niveau visé seront fournies aux correcteurs et examinateurs.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,

Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,

La cheffe du service de l'instruction publique et de l'action pédagogique, adjointe au directeur général,
Rachel-Marie Pradeilles-Duval

Enseignements primaire et secondaire

Sections binationales Abibac

Évaluations spécifiques d'histoire géographie et de langue et littérature allemandes pour la délivrance simultanée du baccalauréat général et du diplôme de l'Abitur

NOR : MENE2121392N

note de service du 29-7-2021

MENJS - DGESCO A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux directeurs et directrices académiques des services de l'éducation nationale ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux d'allemand et d'histoire-géographie ; aux proviseurs et proviseurs des lycées ayant une section Abibac ; aux professeures et professeurs d'allemand et d'histoire-géographie des sections Abibac

La présente note de service concerne les évaluations spécifiques d'histoire-géographie et de langue et littérature allemandes pour les sections binationales Abibac du baccalauréat général. Elle précise et complète les dispositions de l'arrêté du 5 juin 2019 modifié relatif à la double délivrance du diplôme du baccalauréat et du diplôme de la Allgemeine Hochschulreife (ou Abitur). En dehors des définitions d'évaluations décrites dans la présente note, l'organisation de l'examen du dispositif Abibac fait l'objet d'instructions complémentaires. Elle entre en application à compter de la session 2022 de l'examen. À compter de sa publication, elle abroge et remplace la note de service du 4 septembre 2020 relative aux évaluations spécifiques d'histoire-géographie et de langue et littérature allemandes pour la délivrance simultanée du baccalauréat général et du diplôme de l'Abitur.

1. Rappel de la réglementation en vigueur

Les élèves qui ont suivi en classes de première et de terminale les enseignements d'une section Abibac peuvent, s'ils le souhaitent, se présenter au titre de l'Abibac. Dans ce cas, ils font l'objet d'évaluations spécifiques, à la fin de la classe de terminale.

L'élève effectue le choix de se présenter à la section binationale Abibac dans laquelle il est scolarisé, au moment de son inscription à l'examen du baccalauréat, en classe de première.

Si, pour des raisons légitimes dues à sa scolarité et après autorisation du recteur d'académie, le candidat renonce, en classe de terminale, à se présenter à la section binationale dans laquelle il était inscrit, seules sont prises en compte les notes obtenues au titre de la moyenne annuelle figurant sur le livret scolaire de la classe de terminale pour la langue vivante A et pour l'enseignement correspondant à la discipline non linguistique (histoire-géographie).

Pour les candidats ayant fait le choix de se présenter au titre de l'Abibac :

- le contrôle continu de droit commun de langue vivante A est remplacé par une évaluation spécifique de langue et littérature allemandes, comportant une composition écrite et une interrogation orale. La composition écrite et l'interrogation orale se déroulent à la fin du cycle terminal. Ces évaluations donnent lieu à l'attribution d'une note pour la partie écrite et d'une note pour la partie orale. En vue de l'obtention du baccalauréat, la note obtenue à l'évaluation spécifique écrite de langue et littérature allemandes est affectée d'un coefficient 15 ;
- le contrôle continu de droit commun d'histoire-géographie est remplacé par une évaluation spécifique d'histoire-géographie, qui porte sur le programme aménagé d'histoire-géographie enseigné dans la section Abibac dont est issu le candidat. Cette évaluation consiste en une unique évaluation spécifique, organisée à la fin du cycle terminal en langue allemande. Une note globale, affectée du coefficient 15, est prise en compte en vue de l'obtention du baccalauréat au titre de l'évaluation d'histoire-géographie et, en vue de l'obtention de l'Abitur, la note obtenue en première partie de l'évaluation spécifique et la moyenne des notes recueillies dans le cadre du contrôle continu comptent respectivement pour moitié dans le calcul de la note globale d'histoire-géographie.

À l'exception des dispositions particulières qui font l'objet de la présente note de service, demeurent applicables les dispositions réglementaires et instructions relatives à l'organisation du baccalauréat général. Dans la mesure du possible, les évaluations sont conduites par des professeurs exerçant en section Abibac. Conformément à la réglementation du baccalauréat général, ces évaluations spécifiques ne peuvent être choisies comme épreuves de contrôle au second groupe.

2. Évaluation spécifique d'histoire-géographie

a. Nature

L'évaluation écrite d'histoire-géographie pour la double délivrance du baccalauréat et de la Allgemeine Hochschulreife porte sur le programme d'enseignement spécifique au dispositif Abibac de la classe de terminale. Elle est rédigée en allemand. Sa durée totale est de cinq heures.

b. Objectifs

L'évaluation spécifique d'histoire-géographie du baccalauréat a pour objectif d'évaluer l'aptitude du candidat à mobiliser les savoirs et les notions des programmes, qui représentent les connaissances fondamentales pour la compréhension du monde contemporain et la formation civique et culturelle du citoyen.

Elle permet aussi d'évaluer les compétences acquises tout au long de la scolarité secondaire, en particulier la capacité du candidat à traiter et hiérarchiser des informations, à développer un raisonnement historique ou géographique, selon les formes d'exposition écrites ou graphiques proposées par les différentes parties de l'évaluation.

En cela, l'évaluation spécifique d'histoire-géographie concourt également à apprécier la qualité de l'expression écrite du candidat, ainsi que la maîtrise de l'exercice critique de lecture, d'analyse et d'interprétation de documents de sources et de natures diverses.

c. Structure

L'évaluation spécifique comprend deux parties, l'une portant sur l'histoire et l'autre sur la géographie.

Dans la première partie, le candidat rédige une composition en réponse à un sujet d'histoire ou de géographie. La deuxième partie, évaluée et notée exclusivement dans le cadre de l'obtention du baccalauréat, se compose d'un exercice portant sur la discipline qui ne fait pas l'objet de la composition :

- en histoire, une étude critique d'un ou de deux document(s) ;
- en géographie, soit une étude critique d'un ou de deux document(s), soit une production graphique (réalisation d'un croquis ou d'un schéma d'organisation spatiale d'un territoire).

L'utilisation du temps imparti à l'évaluation est laissée à la liberté du candidat.

En histoire comme en géographie, les sujets portent sur un ou plusieurs thèmes ou questions du programme d'enseignement. En histoire, les sujets doivent privilégier une période longue, mais ils peuvent porter aussi sur un tableau à un moment de l'évolution historique.

Si un sujet ne portant que sur les dix dernières années du programme est exclu, des sujets s'inscrivant dans une chronologie plus large, allant jusqu'à nos jours, sont possibles.

En histoire comme en géographie, les productions graphiques (schéma(s), etc.) que le candidat peut réaliser à l'appui de son raisonnement, en fonction du sujet et de ses choix, sont valorisées.

d. Nature des exercices

1. La composition

Le candidat traite un sujet au choix parmi deux proposés dans la même discipline.

Pour traiter le sujet choisi, en histoire comme en géographie :

- il montre qu'il sait analyser un sujet, qu'il maîtrise les connaissances nécessaires et qu'il sait les organiser ;
- il rédige un texte comportant une introduction (dégageant les enjeux du sujet et comportant une problématique), plusieurs parties structurées et une conclusion ;
- il peut y intégrer une (ou des) production(s) graphique(s).

Le libellé du sujet peut prendre des formes diverses : reprise partielle ou totale d'intitulés du programme, question ou affirmation ; la problématique peut être explicite ou non.

2. L'étude critique de document(s) ou production graphique (réalisation d'un croquis ou d'un schéma d'organisation spatiale d'un territoire)

L'exercice d'étude critique de document(s), en histoire comme en géographie, comporte un titre, un ou deux document(s) et, si nécessaire, des notes explicatives. Il est accompagné d'une consigne visant à orienter le travail du candidat.

En géographie, un exercice d'un autre type peut être proposé : la réalisation d'un croquis ou d'un schéma d'organisation spatiale d'un territoire.

2.1. En histoire, l'étude critique d'un ou de deux document(s)

Cette étude doit permettre au candidat de rendre compte du contenu du ou des document(s) proposé(s) et d'en dégager ce qu'il(s) apporte(nt) à la compréhension des situations, des phénomènes ou des processus historiques évoqués.

Le candidat doit mettre en œuvre les démarches de l'étude de document en histoire :

- en dégageant le sens général du ou des document(s) en relation avec la question historique à laquelle il(s) se rapporte(nt) ;
- en montrant l'intérêt et les limites éventuelles du ou des document(s) pour la compréhension de cette question historique et en prenant la distance critique nécessaire ;
- en montrant, le cas échéant, l'intérêt de la confrontation des documents.

2.2. En géographie deux types d'exercices peuvent être proposés

- Soit l'étude critique d'un ou de deux document(s) ; cette étude doit permettre au candidat de rendre compte du contenu du ou des document(s) proposé(s) et d'en dégager ce qu'il(s) apporte(nt) à la compréhension des situations, des phénomènes ou des processus géographiques évoqués.

Le candidat doit mettre en œuvre les démarches de l'étude de document(s) en géographie :

- en dégageant le sens général du ou des document(s) en relation avec l'objet géographique auquel il(s) se rapporte(nt) ;
- en faisant apparaître les enjeux spatiaux et territoriaux qu'il(s) représente(nt) et la manière dont il(s) en rend(ent) compte ;
- en montrant l'intérêt et les limites éventuelles du ou des document(s) pour la compréhension de cette question géographique et en prenant la distance critique nécessaire ;
- en mettant en évidence, le cas échéant, l'intérêt de la confrontation des documents.

- Soit la réalisation d'un croquis ou d'un schéma d'organisation spatiale d'un territoire en réponse à un sujet ; pour la réalisation d'un croquis, un fond de carte est fourni au candidat.

e. Notation

En vue de la délivrance du baccalauréat :

En vue de la délivrance du baccalauréat, l'évaluation est notée sur 20. L'évaluation de la copie du candidat est globale et doit utiliser tout l'éventail des notes de 0 à 20.

En vue de la délivrance de l'Abitur :

En vue de la délivrance de l'Abitur, seule la première partie d'évaluation écrite, la composition, qu'elle soit d'histoire ou de géographie, est évaluée et notée sur 20.

Une seconde note sur 20 est le résultat du calcul de la moyenne de 2 notes obtenues, dans le cadre d'un contrôle continu, dans la discipline autre que celle qui a fait l'objet de l'évaluation de composition et portant uniquement sur les exercices de la deuxième partie (étude critique d'un ou deux documents en histoire et en géographie, croquis en géographie).

L'organisation de ce contrôle continu est placée sous la responsabilité du chef d'établissement qui s'assure :

- que les élèves de classe de terminale passent au moins deux secondes parties d'évaluation dans chacune des disciplines évaluées ;
- que les élèves sont avertis suffisamment en amont de l'organisation de ces parties d'évaluation comptant pour le contrôle continu ;
- que les notes à ces contrôles sont conservées jusqu'à la délibération du jury présidé par le représentant de l'autorité allemande ;
- que les sujets sur lesquels ont été interrogés les élèves lors de ces parties d'évaluation sont mis à disposition du jury présidé par le représentant de l'autorité allemande.

f. Évaluation

1. Critères d'évaluation en vue de la délivrance du baccalauréat

L'évaluation d'histoire-géographie évalue l'aptitude du candidat à :

- mobiliser, au service d'une réflexion historique et géographique, les connaissances fondamentales pour la compréhension du monde et la formation civique et culturelle du citoyen ;
- exploiter, hiérarchiser et mettre en relation des informations ;
- analyser et interpréter des documents de sources et de natures diverses ;
- rédiger des réponses construites et argumentées, montrant une maîtrise correcte de la langue ;
- comprendre, interpréter et pratiquer différents langages graphiques.

2. Critères d'évaluation en vue de la délivrance de l'Abitur

Le correcteur articule son évaluation autour des trois critères suivants :

- les connaissances ;
- la méthode ;
- la réflexion.

Le correcteur rédige un protocole de correction par candidat, selon le modèle figurant en annexe de la présente note de service. Ce protocole est une fiche d'évaluation qui permet d'explicitier la notation selon les critères d'obtention de l'Abitur susmentionnés. Le correcteur veille à compléter la fiche de manière détaillée. En particulier, il donne une appréciation pour chacun des critères.

g. Matériel

L'usage d'un dictionnaire allemand monolingue est autorisé. Les mots ou expressions qui seraient jugés techniques ou difficiles sont expliqués dans le sujet.

L'usage des calculatrices électroniques est interdit.

h. Modalités particulières pour les candidats présentant tout trouble relevant d'un handicap

En application des articles D. 351-27 et D. 351-28 du Code de l'éducation, le recteur d'académie peut accorder aux candidats présentant tout trouble relevant d'un handicap, sur proposition du médecin désigné par la commission des droits et de l'autonomie des personnes handicapées, un aménagement de l'épreuve.

Dans ce cadre, les candidats présentant un trouble moteur ou visuel peuvent demander à bénéficier pour les

exercices de géographie de la deuxième partie de l'épreuve, de l'adaptation suivante : le candidat remplace l'exercice de réalisation d'un croquis ou d'un schéma d'organisation spatiale d'un territoire par une rédaction d'une page environ portant sur le même sujet.

Cette possibilité d'aménagement de l'épreuve n'exclut pas les autres aménagements (temps majoré, assistance d'un secrétaire, utilisation d'un ordinateur, etc.) dont ces candidats peuvent faire la demande pour la totalité de l'épreuve d'histoire-géographie.

3. Partie écrite de l'évaluation spécifique de langue et littérature allemandes

a. Nature

La partie écrite de l'évaluation spécifique de langue et littérature allemandes pour la double délivrance du baccalauréat et de l'Abitur porte sur le programme d'enseignement spécifique au dispositif Abibac défini par l'annexe 2 de l'arrêté relatif aux programmes d'enseignement d'histoire et de langue et littérature allemandes dans les sections Abibac.

b. Objectifs

L'évaluation écrite de langue et littérature allemandes a pour objectif d'évaluer les compétences linguistiques, interculturelles et méthodologiques que le candidat a acquises au cours du cursus par l'ensemble des entraînements mis en œuvre. L'évaluation permet d'évaluer le niveau de compétence du cadre européen commun de référence pour les langues (CECRL) en production écrite prévu par l'article 2 de l'arrêté du 5 juin 2019 modifié relatif à la double délivrance du diplôme du baccalauréat et du diplôme de la Allgemeine Hochschulreife.

c. Structure

La durée totale de l'évaluation est de 5 heures. Le candidat a le choix entre deux sujets de difficulté équivalente :

- à partir d'un texte ou d'un dossier composé de textes littéraires d'un total de 1 000 mots maximum en fonction de la nature et de la difficulté du (des) texte(s) : un commentaire dirigé, comportant 4 (éventuellement 3) questions ;
- à partir d'un texte ou d'un dossier composé de textes d'information et/ou de réflexion d'un total de 1 000 mots maximum en fonction de la nature et de la difficulté du (des) texte(s) : un commentaire dirigé ou une explication-discussion (Erörterung), comportant 4 (éventuellement 3) questions.

Au(x) texte(s) pourra s'ajouter un document iconographique en lien avec la thématique du dossier.

Les supports de l'évaluation n'ont pas été étudiés en classe. Ils sont soit des extraits d'une œuvre abordée en classe, empruntés à des passages non étudiés, soit des documents en relation avec des thématiques étudiées en classe.

d. Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation prennent en compte les compétences définies par le CECRL aux niveaux visés par l'article 2 de l'arrêté du 5 juin 2019 susmentionné.

En particulier, le correcteur évalue :

- la cohérence et la fluidité de la rédaction ;
- le respect des paramètres propres à une typologie de texte imposée ;
- l'adaptation du propos au destinataire ;
- l'utilisation de moyens linguistiques pertinents ;
- la structuration en paragraphes cohérents ;
- le développement et les enchaînements du propos ;
- le respect des règles d'emploi du lexique, de la grammaire et de l'orthographe.

e. Matériel

L'usage d'un dictionnaire allemand monolingue est autorisé.

4. Partie orale de l'évaluation spécifique de langue et littérature allemandes

a. Nature et structure

Le candidat est évalué par un jury composé des professeurs des deux évaluations spécifiques, sous la présidence du représentant de l'autorité allemande. Les professeurs d'histoire-géographie sont présents mais n'interrogent pas le candidat lors de l'évaluation orale de langue et littérature allemandes. La partie orale de l'évaluation spécifique est d'une durée de 30 minutes. Elle est précédée d'un temps de préparation de 30 minutes. Elle se déroule en langue allemande.

Au début du temps de préparation, l'examineur remet un sujet au candidat. Ce sujet est un document de nature littéraire ou non, en relation avec une œuvre ou un thème de civilisation abordé au cours de l'année scolaire. L'évaluation comporte dans un premier temps un exposé du candidat sur le sujet qu'il a préparé. La durée de cet exposé est de 10 minutes environ. L'exposé est suivi dans un deuxième temps d'un entretien de 10 minutes environ avec l'examineur désigné par la partie française, auquel se joint le responsable d'examen

désigné par la partie allemande. Cet entretien permet d'approfondir et d'élargir le sujet de l'évaluation. Puis le responsable d'examen désigné par la partie allemande aborde d'autres aspects de la discipline lors d'un entretien de 10 minutes environ.

b. Objectifs

La partie orale de l'évaluation spécifique de langue et littérature allemandes a pour objectif d'évaluer les compétences linguistiques, interculturelles et méthodologiques que le candidat a acquises au cours du cursus par l'ensemble des entraînements mis en œuvre. Elle permet d'évaluer les niveaux de compétence du CECRL en compréhension de l'écrit et en production orale (expression orale en continu et interaction orale) prévus par l'article 2 de l'arrêté du 5 juin 2019 susmentionné.

c. Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation prennent en compte les compétences définies par le CECRL aux niveaux visés par l'arrêté du 5 juin 2019 susmentionné.

En particulier, l'examineur évalue la capacité du candidat à :

- comprendre le texte ;
- l'analyser progressivement ;
- l'interpréter ;
- en faire le commentaire ;
- interagir à l'oral.

d. Matériel

L'usage d'un dictionnaire allemand monolingue et/ou d'un dictionnaire bilingue allemand-français/français-allemand est autorisé

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,
La cheffe du service de l'instruction publique et de l'action pédagogique, adjointe au directeur général,
Rachel-Marie Pradeilles-Duval

Annexe

Protocole de correction pour l'Abitur - Évaluation spécifique d'histoire-géographie

Abibac					
Protocole de correction pour l'Abitur					
Évaluation spécifique d'histoire-géographie					
Académie :			Lycée :		
Correcteur :					
Nom du candidat :			Prénom du candidat :		
Évaluation*: histoire ou géographie					
Première partie d'évaluation					
Connaissances	U	A	B	G	SG
Méthode	U	A	B	G	SG
Réflexion	U	A	B	G	SG
Note:	/ 20				
Appréciation pour l'évaluation spécifique d'histoire ou de géographie					

Date :

Signature :

Évaluation* : U = unbefriedigend (insuffisant), A = ausreichend (passable), B = befriedigend (assez bien), G = gut (bien), SG = sehr gut (très bien)

Cocher pour chaque critère d'évaluation l'appréciation correspondante.

Enseignements primaire et secondaire

Sections internationales

Évaluations spécifiques de contrôle continu organisées pour les candidats au baccalauréat, scolarisés dans les sections internationales du cycle terminal et préparant l'option internationale du baccalauréat, à compter de la session 2022

NOR : MENE2121396N

note de service du 29-7-2021

MENJS - DGESCO A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; au vice-recteur de la Polynésie française ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux ; aux inspecteurs et inspectrices de l'éducation nationale ; aux cheffes et chefs d'établissement ; aux professeures et professeurs ; aux formateurs et formatrices

La présente note de service définit les évaluations spécifiques de l'option internationale du baccalauréat (OIB) et précise les conditions dans lesquelles doivent être appliquées, pour leur organisation, les dispositions de l'arrêté du 20 décembre 2018 modifié relatif aux sections internationales de lycée ainsi que les dispositions de la note de service n° 2005-167 du 24 octobre 2005 modifiée relative à l'organisation des épreuves spécifiques de l'option internationale du baccalauréat, et de la note de service du 23 juillet 2020 relative au choix et à l'évaluation des langues vivantes étrangères et régionales et des disciplines non linguistiques à compter de la session 2021.

Elle abroge et remplace la note de service du 23 juillet 2020 relative aux évaluations spécifiques de l'option internationale du baccalauréat (langue et littérature et histoire-géographie) à compter de la session 2021 et la note de service du 23 juillet 2020 relative à l'évaluation spécifique de l'option internationale - sections internationales chinoises (discipline non linguistique : mathématiques) à compter de la session 2021. Elle entre en application à compter de la session 2022.

1. Rappel de la réglementation en vigueur

1.1 Conditions de participation aux évaluations de l'option internationale au baccalauréat

Les élèves qui ont suivi en classes de première et de terminale les enseignements d'une section internationale de lycée peuvent, s'ils le souhaitent, se présenter à l'option internationale du baccalauréat général qui sanctionne les études spécifiques qu'ils ont effectuées. Dans ce cas, ils font l'objet d'évaluations spécifiques à l'option internationale du baccalauréat, à la fin du cycle terminal.

L'élève effectue le choix de se présenter à l'option internationale du baccalauréat (à compter de la session 2024 de l'examen du baccalauréat, l'option internationale du baccalauréat devient « option internationale du baccalauréat, intitulée baccalauréat français international ») dans laquelle il est scolarisé, au moment de son inscription à l'examen du baccalauréat, en classe de première.

Si, pour des raisons légitimes dues à sa scolarité et après autorisation du recteur d'académie, le candidat renonce, en classe de terminale, à se présenter à l'option internationale du baccalauréat général dans laquelle il était inscrit, seules sont prises en compte, au titre de la moyenne annuelle de la classe de première pour la langue vivante A et pour l'enseignement concerné par la discipline non linguistique suivie en première (histoire-géographie ou enseignement scientifique), les moyennes annuelles figurant sur le livret scolaire de la classe de terminale pour ces enseignements.

1.2 Évaluations spécifiques et coefficients

Pour les candidats ayant fait le choix de se présenter à l'option internationale du baccalauréat, le contrôle continu de droit commun en langue vivante A est remplacé par une évaluation spécifique de langue vivante A qui porte sur la langue et la littérature du ou des pays où est parlée la langue de la section internationale. Cette évaluation spécifique est organisée à la fin du cycle terminal et comporte une composition écrite dans la langue de la section, d'une durée de quatre heures, affectée du coefficient 10, et une interrogation orale affectée du coefficient 5.

Lorsque la discipline non linguistique faisant l'objet d'un aménagement est l'histoire-géographie, pour les candidats ayant fait le choix de se présenter à l'option internationale du baccalauréat, le contrôle continu de droit commun en histoire-géographie est remplacé par une évaluation spécifique d'histoire-géographie, qui porte sur le programme aménagé d'histoire-géographie, enseigné dans la section internationale dont est issu le

candidat. Cette évaluation est organisée à la fin du cycle terminal et comporte une évaluation écrite rédigée, au choix du candidat, en français ou dans la langue de la section, d'une durée de quatre heures et affectée du coefficient 10, et une évaluation orale dans la langue de la section, affectée du coefficient 5. À l'évaluation écrite, le candidat traite un des sujets d'histoire et un des sujets de géographie proposés à son choix. Il compose sur le sujet d'histoire et sur le sujet de géographie dans la même langue.

Lorsque la discipline non linguistique faisant l'objet d'un aménagement est les mathématiques, un enseignement complémentaire de mathématiques s'ajoute à l'enseignement de mathématiques de droit commun, en classe de seconde, et à l'enseignement scientifique en classes de première et de terminale. Cet enseignement complémentaire a une durée moyenne de 1,5 heure hebdomadaire. Il est dispensé dans la langue de la section. Il fait l'objet d'une évaluation spécifique, affectée du coefficient 10, qui se déroule dans la langue de la section.

À l'exception des dispositions particulières qui font l'objet de la présente note de service, demeurent applicables, pour l'organisation des évaluations spécifiques de l'option internationale du baccalauréat, les dispositions réglementaires et instructions relatives à l'organisation du baccalauréat général. Conformément à l'article D. 334-9 du Code de l'éducation, les enseignants ne peuvent évaluer leurs élèves de l'année en cours. Dans la mesure du possible, les évaluations sont conduites par des professeurs exerçant en section internationale. Conformément à la réglementation du baccalauréat général, ces évaluations spécifiques ne peuvent être choisies comme épreuves de contrôle au second groupe.

2. Définition des évaluations spécifiques

2.1 Langue et littérature

2.1.1 Dispositions générales relatives à l'évaluation spécifique de langue et littérature

Les sujets sont rédigés et traités dans la langue de la section. Les évaluations écrites et orales portent sur le programme d'enseignement de la classe de terminale à l'exception des sections internationales britanniques, américaines, de langue allemande, néerlandaises, et chinoises pour lesquelles les évaluations portent sur le programme d'enseignement du cycle terminal.

2.1.1.1 Partie écrite

Durée : 4 heures

Le candidat choisit entre plusieurs sujets qui peuvent, en fonction notamment de la langue de la section, revêtir les formes suivantes :

- compte rendu d'un texte suivi d'une discussion argumentée ;
- résumé d'un texte, suivi de questions de vocabulaire et d'une discussion ;
- commentaire composé d'un texte littéraire ;
- composition ou essai sur un sujet littéraire.

Les dictionnaires sous forme électronique sont interdits quelle que soit la section internationale. L'utilisation d'un dictionnaire papier unilingue dans la langue de la section est autorisée sauf pour les sections :

- britanniques ;
- américaines ;
- espagnoles ;
- japonaises ;
- portugaises.

2.1.1.2 Partie orale

Durée : 30 minutes (sauf sections britanniques)

Préparation : 30 minutes (sauf sections britanniques)

Selon les sections, le sujet de l'oral peut faire l'objet d'un tirage au sort ou être proposé par l'examineur. La partie orale de l'évaluation est conduite par des professeurs de langue et littérature enseignant dans cette langue. L'inspecteur général étranger, ou la personne désignée qui en tient lieu, peut assister à l'interrogation. Une fiche d'évaluation individuelle est établie pour chaque candidat, conformément au modèle figurant en annexe 1. Cette fiche d'évaluation a le statut de copie d'examen.

L'usage d'un dictionnaire est interdit sauf pour les sections suédoises, danoises et de langue allemande dans lesquelles l'utilisation du dictionnaire unilingue papier est autorisée. Les mots ou expressions qui seraient jugés techniques ou difficiles par les professeurs sont expliqués dans le sujet.

2.1.2 Dispositions relatives à l'évaluation spécifique de langue et littérature applicables à certaines sections internationales

2.1.2.1 Sections internationales britanniques

L'évaluation porte sur le programme d'enseignement du cycle terminal (enseignement des classes de première et de terminale).

Partie écrite

La partie écrite de l'évaluation comprend deux sous-parties.

Dans la première sous-partie, le candidat traite obligatoirement deux questions parmi plusieurs propositions en rapport avec la liste des œuvres figurant au programme et relevant de différents genres littéraires. Chacune des questions choisies par le candidat porte sur un genre différent et donne lieu à une composition littéraire sous la forme d'un développement structuré, argumenté et permettant une analyse littéraire.

Dans la seconde sous-partie, pour la session 2022, le candidat rédige un commentaire d'un texte extrait d'une pièce de Shakespeare étudiée par le candidat au cours de sa formation ; en complément de ce commentaire, le candidat est invité à conduire une réflexion thématique sur la base de l'extrait, replacé pour cela dans l'économie générale de l'œuvre.

Partie orale

Durée : 15 minutes à compter de la session 2022

Préparation : 20 minutes à compter de la session 2022

La partie orale de l'évaluation porte sur le thème ou le mouvement littéraire étudié par le candidat au cours de sa formation. D'une durée de 15 minutes maximum, elle prend la forme d'une discussion entre le candidat et les examinateurs qui s'appuie, pour aborder ce thème ou ce mouvement, sur des textes littéraires étudiés au cours du cycle terminal.

2.1.2.2 Sections internationales américaines

L'évaluation porte sur le programme d'enseignement du cycle terminal (enseignement des classes de première et de terminale).

Partie écrite

Dans la partie écrite, le candidat a le choix entre :

- rédiger deux essais ;
- rédiger un essai ainsi qu'un commentaire composé sur un texte inconnu.

Le candidat choisit le sujet de l'essai ou des essais parmi quatre propositions. Le sujet de l'essai est généralement formulé sous forme de question, mais il peut également prendre la forme d'une citation. Les propositions de sujets prennent appui sur les œuvres figurant au programme.

Le commentaire composé porte sur un texte indépendant des œuvres au programme qui peut être, au choix du candidat, soit un poème soit un extrait de prose.

Partie orale

L'examineur propose un sujet prenant appui sur l'une des œuvres inscrites au programme et étudiées par le candidat au cours de sa formation. Il peut s'agir de l'extrait (de 35 à 40 vers) d'une pièce de Shakespeare, d'un extrait de roman, d'un conte ou d'un poème d'au moins 14 vers. Le candidat dispose de 10 minutes pour présenter le sujet, durée pendant laquelle il n'est pas interrompu. À la suite de cette présentation, le candidat évoque durant 5 minutes les liens existant entre le sujet traité et deux autres œuvres du programme. Dans le cas où le candidat ne propose pas de liens, l'examineur les lui suggère et l'invite à les commenter. La suite prend la forme d'une discussion entre le candidat et l'examineur portant sur le programme.

2.1.2.3 Sections internationales de langue allemande

L'évaluation porte sur le programme du cycle terminal (enseignement des classes de première et de terminale).

Partie écrite

Le candidat traite un sujet choisi parmi trois propositions pouvant revêtir une des formes suivantes :

- analyse d'un texte de fiction ou analyse comparée de plusieurs textes de fiction ;
- analyse d'un texte argumentatif, analyse comparée de plusieurs textes argumentatifs ou analyse comparée d'un texte de fiction et d'un texte argumentatif ;
- analyse d'une problématique à partir de textes ou d'autres supports.

Pour cette évaluation, les candidats ont accès aux œuvres figurant au programme.

Partie orale

Le candidat est interrogé à l'oral sur d'autres parties du programme d'enseignement que celles qui ont fait l'objet d'une interrogation à l'écrit.

À partir d'un texte assez court, de fiction ou argumentatif, le candidat doit faire la preuve qu'il est capable d'analyser, interpréter et porter un jugement sur ce texte avec méthode et en fonction des questions posées. Dans un premier temps, le candidat doit s'efforcer d'apporter, à l'aide d'un exposé cohérent, une réponse personnelle à la problématique posée. Dans un second temps, les examinateurs peuvent élargir le débat en fonction de cette problématique.

2.1.2.4 Sections internationales chinoises

L'évaluation porte sur le programme du cycle terminal (enseignement des classes de première et de terminale).

Partie écrite

Le candidat traite un sujet choisi entre deux propositions pouvant revêtir une des formes suivantes :

- analyse d'un texte de fiction ou analyse comparée de plusieurs textes de fiction ;
- analyse d'un texte argumentatif, analyse comparée de plusieurs textes argumentatifs ou analyse comparée d'un texte de fiction et d'un texte argumentatif ;
- analyse d'un problème à partir de textes ou d'autres supports.

Partie orale

Le candidat est interrogé à l'oral sur d'autres parties du programme d'enseignement que celles qui ont fait l'objet d'une interrogation à l'écrit.

À partir d'un texte assez court, de fiction ou argumentatif, le candidat doit faire la preuve qu'il est capable d'analyser, d'interpréter et de porter un jugement sur ce texte avec méthode et en fonction des questions posées.

Dans un premier temps, le candidat doit s'efforcer d'apporter, en construisant un exposé cohérent, une réponse personnelle au problème posé. Dans un second temps, les examinateurs peuvent élargir le débat en fonction de la problématique formulée dans le sujet.

2.2 Histoire-géographie

2.2.1. Dispositions générales relatives à l'évaluation spécifique d'histoire-géographie

Sauf dispositions contraires prévues par les sections internationales, l'évaluation porte sur le programme d'enseignement de la classe de terminale. Les sujets sont rédigés dans la langue de la section, les mots ou expressions qui seraient jugés techniques ou difficiles par les professeurs sont expliqués dans le sujet.

L'usage d'un dictionnaire est interdit, sauf pour les sections internationales portugaises et de langue allemande dans lesquelles l'usage d'un dictionnaire unilingue papier est autorisé.

Objectifs de l'évaluation

Il s'agit d'évaluer l'aptitude du candidat à :

- mobiliser, au service d'une réflexion historique et géographique, des connaissances fondamentales pour la compréhension du monde et la formation civique et culturelle du citoyen ;
- rédiger des réponses construites et argumentées, montrant une maîtrise correcte de la langue ;
- exploiter, organiser et confronter des informations ;
- analyser des documents de sources et de nature diverses et à en faire une étude critique ;
- comprendre, interpréter et analyser différents langages graphiques.

2.2.1.1 Partie écrite

Durée : 4 heures

Le candidat rédige sa copie, soit dans la langue de la section, soit en langue française. Il fait connaître son choix au moment de son inscription à l'examen. La langue choisie est la même pour l'ensemble de la partie écrite de l'évaluation (histoire et géographie).

L'utilisation des 4 heures est laissée à la liberté du candidat. Il lui est conseillé de consacrer environ 2 heures 30 minutes à la première sous-partie. Les sujets sont élaborés dans cette perspective.

La partie écrite de l'évaluation est composée de deux sous-parties.

Dans la première sous-partie, le candidat rédige une composition en réponse à un sujet d'histoire ou de géographie. La deuxième sous-partie comporte un exercice portant sur la discipline qui ne fait pas l'objet de la composition.

Composition

Le candidat traite un sujet au choix parmi deux proposés dans la même discipline. Pour traiter le sujet choisi, en histoire comme en géographie :

- il montre qu'il sait analyser un sujet, qu'il maîtrise les connaissances nécessaires et qu'il sait les organiser ;
- il rédige un texte comportant une introduction (dégageant les enjeux du sujet et comportant une problématique), plusieurs parties structurées et une conclusion ;
- il peut y intégrer une ou des productions graphiques.

Le libellé du sujet peut prendre des formes diverses : question ou affirmation ; la problématique peut être explicite ou non.

Exercice

L'exercice peut être, soit une étude critique de documents, en histoire ou en géographie, soit une réalisation de croquis ou d'un schéma d'organisation spatiale d'un territoire, en géographie uniquement. L'exercice comporte un titre et, si nécessaire, des notes explicatives. Il est accompagné d'une consigne visant à orienter le travail du candidat.

Le sujet d'étude critique de documents comporte un ou deux documents, qui, en géographie, peuvent être des cartes. Pour la réalisation d'un croquis, un fond de carte est fourni au candidat.

a) Étude critique d'un ou de deux documents en histoire

Cette étude doit permettre au candidat de rendre compte du contenu du ou des documents proposés et de dégager ce qu'ils apportent à la compréhension des situations, des phénomènes ou des processus historiques évoqués.

Le candidat doit mettre en œuvre les démarches de l'étude de document(s) en histoire :

- en dégageant le sens général du ou des documents en relation avec la question historique à laquelle ils se rapportent ;
- en montrant l'intérêt et les limites éventuelles du ou des document(s) pour la compréhension de cette question historique et en prenant la distance critique nécessaire ;

- en montrant, le cas échéant, l'intérêt de la confrontation des documents.

b) Étude critique d'un ou de deux documents en géographie

Cette étude doit permettre au candidat de rendre compte du contenu du ou des documents proposés et de dégager ce qu'ils apportent à la compréhension des situations, des phénomènes ou des processus géographiques évoqués.

Le candidat doit mettre en œuvre les démarches de l'étude de document(s) en géographie :

- en dégagant le sens général du ou des documents en relation avec l'objet géographique auquel ils se rapportent ;
- en faisant apparaître les enjeux spatiaux qu'ils expriment et la manière dont ils en rendent compte ;
- en montrant l'intérêt et les limites éventuelles du ou des documents pour la compréhension de cette question géographique et en prenant la distance critique nécessaire ;
- en montrant, le cas échéant, l'intérêt de la confrontation des documents.

c) Réalisation d'un croquis en géographie

Pour la réalisation d'un croquis, un fond de carte et un document d'une nature différente (texte, photographie) sont fournis au candidat.

L'exercice est réalisé en deux temps :

- dans un premier temps, le candidat réalise sur le fond de carte fourni un croquis répondant au sujet avec sa légende organisée ;
- dans un deuxième temps, à partir du croquis réalisé, du document fourni et de ses connaissances, le candidat rédige une réponse synthétique au sujet posé.

En application des articles D. 351-27 et D. 351-28 du Code de l'éducation, les candidats en situation de handicap peuvent être dispensés de la réalisation d'une production graphique et d'un croquis, par décision du recteur d'académie, à leur demande et sur proposition du médecin désigné par la commission des droits et de l'autonomie des personnes handicapées.

Correction et notation

Lorsque les candidats ont composé dans la langue de la section, les correcteurs sont des professeurs d'histoire-géographie enseignant dans cette langue.

L'évaluation de la copie du candidat est globale. Les correcteurs doivent utiliser tout l'éventail des notes de 0 à 20, en points entiers.

2.2.1.2 Partie orale

Durée : 15 minutes (sauf sections américaines et allemandes : 20 minutes)

Temps de préparation : 20 minutes

La partie orale de l'évaluation est obligatoirement passée dans la langue de la section. Le candidat tire au sort un sujet, soit d'histoire, soit de géographie. Les sujets proposés à ce tirage au sort sont également répartis entre les deux disciplines. Ils portent sur l'ensemble des questions inscrites au programme d'enseignement de la classe de terminale.

La partie orale de l'évaluation est conduite par des professeurs d'histoire-géographie enseignant dans cette langue. L'inspecteur général étranger, ou la personne désignée qui en tient lieu, peut assister à l'interrogation. Une fiche d'évaluation individuelle est établie pour chaque candidat, conformément au modèle figurant en annexe 2. Cette fiche d'évaluation a le statut de copie d'examen.

2.2.2 Dispositions relatives à l'évaluation spécifique d'histoire-géographie applicables à certaines sections internationales

2.2.2.1 Sections internationales de langue allemande

Partie écrite

La partie écrite de l'évaluation, d'une durée de 4 heures, comprend deux sous-parties distinctes : l'une d'histoire, l'autre de géographie. L'évaluation porte sur le programme d'enseignement d'histoire-géographie du cycle terminal (enseignement des classes de première et terminale), y compris le complément spécifique aux sections allemandes.

Dans chaque sous-partie, histoire et géographie, le candidat traite l'un des deux sujets au choix. Ces sujets prennent la forme d'une étude, d'un commentaire ou d'une composition avec, le cas échéant, l'utilisation d'un ou plusieurs documents.

Partie orale

La partie orale de l'évaluation est obligatoirement subie dans la langue de la section. L'évaluation porte sur l'ensemble des questions inscrites au programme d'enseignement du cycle terminal (enseignement des classes de première et de terminale), y compris le complément spécifique aux sections de langue allemande. Le candidat est interrogé à l'oral sur d'autres parties du programme d'enseignement que celles sur lesquelles la partie écrite a porté.

Dans un premier temps, le candidat doit s'efforcer d'apporter à l'aide d'un exposé cohérent une réponse personnelle au problème posé. Dans un second temps, les examinateurs peuvent élargir le débat en fonction du problème à traiter.

Lors de l'évaluation, le candidat doit démontrer qu'il a appris, dans les limites correspondant à son âge, à comprendre et juger de façon critique le monde actuel avec son enracinement historique, ses conditions sociales, économiques et géographiques, ses structures et tendances politiques.

2.2.2.2. Sections américaines, britanniques, danoises, espagnoles, italiennes, néerlandaises, norvégiennes, polonaises, portugaises et suédoises

Partie écrite

La partie écrite de l'évaluation, d'une durée de 4 heures, propose au candidat le choix entre deux groupes de sujets qui comprennent chacun deux sous-parties.

Pour l'un des groupes de sujets, dans la première sous-partie, le candidat rédige une composition en histoire parmi deux propositions au choix et dans la seconde sous-partie, il traite un exercice de géographie à partir de documents. Pour l'autre groupe de sujets, dans la première sous-partie, le candidat rédige une composition en géographie parmi deux propositions au choix et dans la seconde sous-partie, il traite un exercice d'histoire à partir de documents. Chacune des deux disciplines compte pour la moitié des points dans la note finale.

Partie orale

La partie orale de l'évaluation est conforme aux dispositions communes des sections internationales (cf. 2. 2. 1. 2.).

2.3 Mathématiques

Les dispositions générales relatives à l'évaluation spécifique de mathématiques sont les suivantes.

2.3.1 Objectifs de l'évaluation

L'évaluation spécifique de mathématiques est destinée à évaluer la façon dont le candidat a acquis les compétences inscrites dans le programme d'enseignement pour la classe de première et la classe de terminale, selon qu'il suit ou non l'enseignement de spécialité mathématiques en première ou en terminale :

- maîtriser les connaissances exigibles ;
 - mettre en œuvre une recherche de façon autonome ;
 - mener des raisonnements ;
 - favoriser le développement d'une pensée analytique, indépendante et critique qui amène à une plus grande autonomie, pour raisonner, démontrer, trouver des résultats partiels et les mettre en perspective ;
 - utiliser les outils logiciels pour résoudre des problèmes de mathématiques ;
 - développer les compétences interculturelles de l'élève notamment par la découverte de différentes modélisations ;
 - mobiliser les outils mathématiques et scientifiques dans des situations culturelles, historiques ou de la vie courante en Chine ;
 - communiquer à l'écrit et à l'oral en langue chinoise dans un registre de langue pertinent et une langue précise.
- Les sujets sont conçus par le professeur de mathématiques en chinois de la section. Ainsi, ces sujets correspondent exactement au contenu et à l'esprit de ce qui a été étudié en classe. En particulier, la ou les questions faisant appel aux technologies de l'information et de la communication sont en adéquation avec le matériel que les candidats utilisent pendant le temps de formation.

2.3.2 Forme et modalités de l'évaluation

Durée : 1 heure 30 minutes en première et 1 heure 30 minutes en terminale

A. Déroulement

L'évaluation spécifique est organisée en deux temps, d'abord à la fin de la classe de première, puis à la fin de la classe de terminale, chacun de ces temps d'évaluation étant suivi d'une harmonisation par une commission nationale. Les examinateurs sont le professeur de mathématiques en chinois de la section et un professeur de langue qui n'est pas le professeur de la classe. Chacune de ces deux parties de l'évaluation spécifique est placée au cours du troisième trimestre de l'année scolaire.

Chaque situation d'évaluation annuelle porte essentiellement sur des capacités et des connaissances du programme d'enseignement de l'année scolaire concernée, première ou terminale.

Les élèves sont évalués par groupe d'environ quatre ou cinq dans le cadre d'un calendrier déterminé par les deux examinateurs et le chef d'établissement.

Chaque situation d'évaluation fait l'objet d'une convocation individuelle des élèves établie par le chef d'établissement. Les élèves ayant justifié leur absence lors de l'évaluation sont convoqués à nouveau.

Chaque situation d'évaluation est organisée dans une salle informatique et dure 1 heure 30 minutes. Les élèves y sont évalués à l'écrit comme à l'oral. L'évaluation se déroule en langue chinoise. Le même sujet est proposé à tous les élèves du groupe. Chaque élève rédige sa réponse sur une fiche distribuée par l'examineur ou, à défaut, sur papier libre. Cette fiche-réponse est remise aux examinateurs à la fin de l'épreuve. Elle comporte le nom de l'élève et de l'établissement, ainsi qu'une indication de date et d'année scolaire. Une fiche d'évaluation individuelle est établie pour chaque candidat, conformément au modèle figurant en annexe 3. Cette fiche d'évaluation a le statut de copie d'examen.

Chaque évaluation spécifique comporte deux parties, l'une culturelle et historique et l'autre constituée d'exercices.

Les parties culture mathématique et histoire des mathématiques en Chine, fonctions, géométrie et statistiques et probabilités sont organisées en quatre rubriques :

- contenus mathématiques ;
- capacités attendues ;
- vocabulaire ;
- commentaires.

a) Partie culturelle et historique

Cette partie est consacrée aux éléments de culture mathématique et d'histoire des mathématiques en Chine effectivement traités pendant l'année scolaire. Elle peut être présentée sous la forme d'un bref questionnaire à choix multiples (QCM) rédigé en langue chinoise : le candidat est interrogé à l'oral sur une des questions.

b) Exercices

L'autre partie est constituée d'un ou de deux exercices de mathématiques. Les exercices portent sur le programme d'enseignement spécifique de la classe concernée de première ou de terminale. Leurs énoncés, écrits en langue chinoise, comportent des questions de difficulté progressive. Une ou deux questions font appel à l'utilisation d'un logiciel informatique ou d'une calculatrice. Leur énoncé prévoit explicitement que le candidat donne oralement quelques explications. Ensuite, il poursuit la résolution et la rédaction en langue chinoise sur la fiche-réponse. Ce type de question permet d'évaluer les capacités à expérimenter, à simuler, à émettre des conjectures ou à contrôler leur vraisemblance.

Les situations d'évaluation doivent permettre à tout candidat de traiter les questions, d'appeler les deux examinateurs pour s'exprimer à l'oral lorsque l'énoncé l'y invite et de rédiger les réponses dans le temps imparti. Le nombre de points affectés à chaque partie ou chaque exercice est indiqué sur le sujet.

Si des QCM sont proposés, leurs modalités de notation sont précisées dans le sujet. Pour chaque question, un choix de trois ou quatre réponses est proposé ; une seule de ces réponses est exacte ; aucun point n'est enlevé pour les choix de réponses fausses. Il s'agit de prendre en compte, dans l'appréciation de la réponse du candidat, la démarche critique, la cohérence globale des réponses, ainsi que les capacités de communication en langue chinoise.

B. Correction et notation

Le professeur de mathématiques est plus particulièrement attentif à la validité et à la cohérence des explications mathématiques ; le professeur de langue est plus particulièrement attentif aux compétences de communication en langue chinoise. La clarté des raisonnements oraux ou écrits intervient dans l'appréciation de la prestation du candidat. Les deux examinateurs évaluent les productions orales et écrites des candidats de façon positive. Ils prêtent notamment une attention particulière aux démarches engagées, aux tentatives pertinentes, aux résultats partiels, et à l'usage fait par le candidat du logiciel utilisé.

Pour chaque candidat, à l'issue de chaque situation d'évaluation, les deux professeurs proposent séparément une note sur 20 ; si la note du professeur de mathématiques est la plus élevée, c'est cette note qui est retenue par les examinateurs. Dans le cas contraire, les deux examinateurs font la moyenne des deux notes.

C. Harmonisation de la notation

Un dossier d'évaluation est constitué au nom de chaque candidat. Il comporte, pour chaque année de formation du cycle terminal, l'énoncé du sujet de la situation d'évaluation, la fiche-réponse du candidat corrigée par le professeur de mathématiques et la fiche d'évaluation individuelle complétée et signée par les deux examinateurs.

À l'issue de la classe de terminale, le dossier d'évaluation complet est transmis par le recteur d'académie afin d'être examiné par la commission nationale d'harmonisation et de validation de l'épreuve placée sous la responsabilité de la direction générale de l'enseignement scolaire (Dgesco).

La commission est composée d'inspecteurs généraux du groupe des langues et du groupe des mathématiques, ou leurs représentants, et de professeurs enseignant dans les sections internationales en langue chinoise. Un représentant du pays partenaire et un représentant de la délégation aux relations européennes et internationales et à la coopération sont invités. La réunion de cette commission est placée sous la responsabilité du directeur général de l'enseignement scolaire.

La commission d'harmonisation rend un avis sur la proposition de note, arrondie au point supérieur, pour chaque candidat.

Les dossiers et avis sont envoyés aux services académiques pour mise à disposition du jury d'examen, qui arrête la note de l'épreuve.

Matériel

L'emploi des calculatrices apportées par les candidats ou d'ordinateurs fournis par l'établissement est nécessaire. Il n'y a pas de formulaire de mathématiques pour cette évaluation. En revanche, le professeur de mathématiques en chinois peut inclure certaines formules dans le corps du sujet ou les donner en annexe 3, en fonction de la nature des questions.

L'usage d'un dictionnaire est interdit. Les mots ou expressions qui seraient jugés techniques ou difficiles par les professeurs seront expliqués dans le sujet.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,
La cheffe du service de l'instruction publique et de l'action pédagogique, adjointe au directeur général,
Rachel-Marie Pradeilles-Duval

Annexe 1a

↳ Fiche d'évaluation pour l'évaluation orale de langue et littérature de l'OIB

Annexe 1b

↳ Fiche d'évaluation pour l'évaluation orale de langue et littérature de section internationale italienne

Annexe 2

↳ Fiche d'évaluation pour l'évaluation orale d'histoire-géographie de l'OIB

Annexe 3

↳ Fiche d'évaluation d'un candidat à l'OIB - épreuve de mathématiques en chinois

Annexe 1a - Fiche d'évaluation pour l'évaluation orale de langue et littérature de l'OIB (sauf italien)

Langue de la section :

Session :

Académie :

Nom de l'élève :

Prénom de l'élève :

Nom de l'établissement :

Ville :

Pour chacune des trois colonnes, situer la prestation du candidat à l'un des cinq degrés de réussite et attribuer à cette prestation le nombre de points indiqué (sans le fractionner en décimales) de 0 à 6 ou 7.

Niveau de lecture du ou des textes		Culture littéraire		Expression orale	
Explication partielle ou confuse de la nature et de l'intérêt du ou des textes.	0 ou 1 pt	Aucune référence à l'environnement littéraire du ou des textes (genre, courant, figures emblématiques, etc.).	0 ou 1 pt	Exposé hésitant, vocabulaire pauvre, syntaxe erronée. Interaction difficile.	0 ou 1 pt
Explication acceptable du sens et de l'intérêt du ou des textes.	2 pts	Références sommaires à l'environnement littéraire du ou des textes.	2 pts	Exposé clair mais vocabulaire simple, syntaxe élémentaire. Comprend les questions simples et peut répondre.	2 pts
Explication nuancée du sens et de l'intérêt du ou des textes, avec recours à des outils méthodologiques pertinents.	4 pts	Tentative de mise en perspective du ou des textes dans son / leur environnement littéraire.	3 ou 4 pts	Exposé clair, vocabulaire précis, syntaxe courante maîtrisée. Interaction satisfaisante.	3 ou 4 pts
Explication nuancée du sens et de l'intérêt du ou des textes, avec recours à des outils méthodologiques pertinents; perception de l'implicite.	5 pts	Mise en perspective pertinente du ou des textes dans son/leur environnement littéraire.	5 ou 6 pts	Exposé très clair, vocabulaire précis, étendu et varié, syntaxe complexe. Bonne interaction.	5 ou 6 pts
Analyse fine bien conduite. Argumentation convaincante.	6 pts	Mise en perspective originale et personnelle du ou des textes dans son/leur environnement littéraire et dans son/leur contexte culturel.	7 pts	Interaction riche et aisée qui tire le meilleur parti des interventions de l'interlocuteur.	7 pts
Note A sur 6	/ 6	Note B sur 7	/ 7	Note C sur 7	/ 7
Appréciation					
Note totale de l'élève (A+ B+ C) = / 20					

Date de l'évaluation :	Examineur
	Nom : Prénom :
	Signature :

Annexe 1b - Fiche d'évaluation pour l'évaluation orale de langue et littérature de section internationale italienne

Langue de la section :

Session :

Académie :

Nom de l'élève :

Prénom de l'élève :

Nom de l'établissement :

Ville :

Pour chacune des trois colonnes, situer la prestation du candidat à l'un des trois degrés de réussite et attribuer à cette prestation le nombre de points indiqué (sans le fractionner en décimales) de 1 à 4 ou de 1 à 6.

Première partie de l'évaluation : présentation du parcours thématique		Deuxième partie de l'évaluation : entretien avec l'examineur		Culture littéraire		Expression orale	
Degré 1 Discours simple et bref à partir des documents du corpus mais le lien avec la thématique du parcours n'est pas explicite. Explication partielle ou confuse de la nature et de l'intérêt des documents.	1-2 pts	Degré 1 Répond et réagit de façon simple, mais sans prendre l'initiative de l'échange.	1 pt	Degré 1 Aucune référence ou références sommaires à l'environnement littéraire du ou des documents (genre, courant, figures emblématiques, etc.).	1 pt	Degré 1 Expression recevable malgré un vocabulaire simple et une syntaxe élémentaire. Comprend les questions simples et peut répondre.	1-2 pts
Degré 2 Exposé structuré. La thématique du parcours est explicitée. Explication convenable du sens et de l'intérêt des documents. Tentative de mise en résonance des documents du corpus.	3-4 pts	Degré 2 Parvient à s'impliquer dans l'échange, avec une maîtrise suffisante des connaissances requises. Sait se référer aux documents pour répondre. Sait se reprendre et reformuler si nécessaire.	2 pts	Degré 2 Essai de mise en perspective du ou des documents dans son/leur environnement littéraire.	2 pts	Degré 2 Expression claire, vocabulaire précis, syntaxe courante maîtrisée. Interaction satisfaisante.	3-4 pts
Degré 3 Exposé structuré et cohérent. Exposition riche et précise de la thématique du parcours. Explication nuancée du sens et de l'intérêt des documents, avec recours à des outils méthodologiques pertinents ; perception de l'implicite.	5-6 pts	Degré 3 Réagit à bon escient et exprime de façon convaincante un point de vue pertinent. Sait se référer aux textes et s'appuyer sur les textes pour répondre. Réagit avec vivacité et pertinence.	3-4 pts	Degré 3 Mise en perspective pertinente et personnelle du ou des documents dans son/leur environnement littéraire et dans son/leur contexte culturel.	3-4 pts	Degré 3 Expression très claire, vocabulaire précis, étendu et varié, syntaxe complexe. Interaction riche et aisée qui tire le meilleur parti des interventions de l'interlocuteur.	5-6 pts

Note A sur 6	/ 6	Note B sur 4	/ 4	Note C sur 4	/ 4	Note D sur 6	/ 6
Appréciation							
Note totale de l'élève (A+ B+ C +D) = / 20							

Date de l'évaluation :	Examineur Nom : Prénom : Signature :
-------------------------------	---

Annexe 2 - Fiche d'évaluation pour l'évaluation orale d'histoire-géographie de l'OIB

Langue de la section :

Session :

Académie :

Nom de l'élève :

Prénom de l'élève :

Nom de l'établissement :

Ville :

Capacités	Observations
Compréhension du sujet	
Maîtrise des connaissances	
Compréhension d'ensemble de la question étudiée et du programme	
Clarté de l'exposé et des réponses	

Appréciation

Note / 20

Date de l'évaluation :	<p style="text-align: center;">Examineur</p> <p style="text-align: center;">Nom :</p> <p style="text-align: center;">Prénom :</p> <p style="text-align: center;">Signature :</p>
-------------------------------	--

Annexe 3 - Fiche d'évaluation d'un candidat à l'OIB 国际班学生专业考试成绩单

Épreuve de mathématiques en chinois 中文数学考试

À remplir en français 用法文填写

Nom du candidat 考生 姓 : Prénom 名 : Sexe 性别:

Établissement 学校 :
.....

Classe 年级 :
.....

Date de l'épreuve 考试日期 :
.....

Parties du sujet 题目部分	Notes 分数 (1)	
	Professeur de chinois 中文教师	Professeur de mathématiques 数学教师
<p>Partie culturelle 文化部分</p> <p>Questions à choix multiples et/ou questions à trous (sur la copie remise aux examinateurs) 选择题 (在交给主考教师的卷子上)</p> <p>Exposé oral de 3 à 6 min 3到6分钟的口头解答题</p>	/ 3	/ 3
	/ 2	/ 2
<p>Partie résolution d'un problème 解答题部分</p> <p>Réponses orales aux questions signalées par la mention « appeler l'examineur » et réponses sur la copie remise aux examinateurs. “向主考解释”部分要求的口头回答及在交给主考教师的卷子上的书面回答</p> <p>Utiliser les TIC pour expérimenter ou simuler, pour émettre des conjectures et contrôler la vraisemblance de ces conjectures. 使用软件进行试验或模拟, 提出假设并测验该假设的正确性。</p> <p>Trouver et organiser l'information. Choisir et exécuter une méthode de résolution. Reasonner, argumenter. Contrôler la validité d'un résultat. 找到信息。选择解题方法并解题。进行推理、推论。测验结果的正确性。讲述结果。</p>	/ 4	/ 4
	/ 11	/ 11
<p>Totaux de chaque examinateur 每个主考教师给出的总分数</p>	/ 20	/ 20
<p>Note finale entière 总分数 (须为整数)</p> <p>Si la note du professeur de mathématiques est la plus élevée, c'est cette note qui est retenue par les examinateurs. Dans le cas contraire les deux examinateurs font la moyenne des deux notes. 若数学分高于语言分, 数学分为该考生的成绩。若数学分低于语言分, 则两者的平均分数为该考生的成绩。</p>	/ 20	
<p>Appréciation écrite en français du professeur de mathématiques en chinois du candidat 考生的中文数学教师以法文书写的评语 :</p>		

Appréciation écrite en français du professeur de chinois titulaire de l'éducation nationale
法国教育部委任的中文教师用法文书写的评价：

Examineurs 主考教师:

<p>Professeur de mathématiques en chinois du candidat 考生中文数学教师</p> <p>Nom 姓 : Prénom 名 :</p> <p>Signature 签名 :</p>	<p>Professeur de chinois reconnu par l'éducation nationale (n'a pas le candidat comme élève) 法国教育部认可的中文教师 (非考生任课教师)</p> <p>Nom 姓 : Prénom 名 :</p> <p>Signature 签名 :</p>
--	---

(1) Comme le QCM sur 3 points est un exercice mathématique et non linguistique, le professeur de chinois attribue la même note que celle du professeur de mathématiques. Pour les autres items les notes des deux examinateurs peuvent différer.

因为选择题是数学题而不是语言题，所以中文教师对选择题的打分应与数学教师相同。对题目其他部分打分则可以不同。

Enseignements primaire et secondaire

Baccalauréats général et technologique

Choix et évaluation des langues vivantes étrangères et régionales et des disciplines non linguistiques à compter de la session 2022

NOR : MENE2121395N

note de service du 29-7-2021

MENJS - DGESCO A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; au vice-recteur de la Polynésie française ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux ; aux inspecteurs et inspectrices de l'éducation nationale ; aux cheffes et chefs d'établissement ; aux professeures et professeurs ; aux formateurs et formatrices

La présente note de service entre en vigueur à compter de la session 2022 de l'examen du baccalauréat général et technologique. Elle abroge et remplace la note de service relative aux choix et évaluation des langues vivantes étrangères et régionales et des disciplines non linguistiques à compter du 1er septembre 2021 pour la session 2021.

I. Modalités du choix et de l'évaluation des langues vivantes et des disciplines non linguistiques

1. Langues vivantes

Pour les candidats dits scolaires, c'est-à-dire les candidats inscrits dans un établissement d'enseignement public, un établissement d'enseignement privé sous contrat, un établissement scolaire français homologué à l'étranger pour le cycle terminal, au Centre national d'enseignement à distance en scolarité réglementée, dans une unité pédagogique d'établissement de soin, ou dans un service d'enseignement pour personnes détenues, le choix des langues vivantes étrangères pour les langues vivantes étrangères LV A, B ou C et des langues vivantes régionales pour les LV B ou C est effectué par le candidat au moment de l'inscription à l'examen, à condition qu'il ait suivi l'enseignement correspondant au niveau concerné, dans un établissement d'enseignement scolaire public ou privé sous contrat ou auprès du Centre national d'enseignement à distance (Cned) [1].

Pour les candidats définis dans l'alinéa précédent, les langues vivantes A et B, enseignements obligatoires, sont évaluées au cours du cycle terminal dans le cadre du contrôle continu. La note du contrôle continu prend en compte, à hauteur de 40 %, la moyenne annuelle des enseignements en classes de première et de terminale, attribuée par les professeurs et renseignée dans le livret scolaire [2]. La langue vivante C, enseignement optionnel, est évaluée dans le cadre du contrôle continu donnant lieu à une moyenne annuelle (moyennes des notes de bulletin) en première et en terminale, renseignée dans le livret scolaire.

Dans la voie technologique, l'enseignement technologique en langue vivante est adossé à l'enseignement de langue vivante A ou B (ETLVA ou ETLVB). Il n'y a qu'une seule note moyenne annuelle dans le livret scolaire au titre de la LV et de l'ETLV.

Les élèves s'inscrivent en LVA et LVB, en LVC le cas échéant, dès le début de la classe de première. Le choix des langues vivantes pour les évaluations de LVA et B au moment de l'inscription à l'examen du baccalauréat s'en déduit directement (même langue et même ordre).

Après l'inscription de l'élève au baccalauréat, une permutation entre la LVA et la LVB n'est plus possible.

Cependant, si, pour des raisons exceptionnelles de discontinuité de scolarité [3] et après autorisation du recteur d'académie, le candidat est contraint de changer son choix de langues vivantes obligatoires ou optionnelles, alors les dispositions suivantes pour l'évaluation des résultats de l'élève [4] s'appliquent :

- pour un changement en cours d'année : pour chaque classe, la moyenne annuelle définitive est fixée par le conseil de classe de fin d'année, elle ne doit concerner qu'une seule langue ;
- pour un changement entre la première et la terminale : la moyenne annuelle de chacune des deux années peut concerner deux langues vivantes différentes ; dans ce seul dernier cas, les notes de moyennes annuelles peuvent concerner des langues différentes, à condition qu'elles soient conformes à l'inscription du candidat au baccalauréat aux différentes étapes de sa scolarité.

Les candidats qui ne suivent les cours d'aucun établissement, les candidats inscrits dans les établissements d'enseignement privés hors contrat, les établissements d'enseignement technique reconnus par l'État, les établissements d'enseignement français à l'étranger ne disposant pas d'une homologation pour le cycle

terminal, ou au Centre national d'enseignement à distance en scolarité libre, se présentent à des évaluations ponctuelles en langues vivantes dans les conditions fixées par la note de service du 28 juillet 2021 relative aux modalités d'évaluation des candidats à compter de la session 2022. Ceux de ces candidats inscrits au baccalauréat technologique présentent l'enseignement technologique en langue vivante (ETLV) dans l'une des langues suivantes : allemand, anglais, espagnol, italien.

2. Disciplines non linguistiques

L'élève, qu'il soit scolarisé ou non en section européenne, peut choisir de suivre une discipline non linguistique (DNL), c'est-à-dire dont l'enseignement est dispensé dans une langue vivante. La DNL peut être choisie en rapport avec les enseignements obligatoires : les enseignements communs ou de spécialité. L'élève doit suivre cette DNL dans un établissement d'enseignement scolaire public ou privé sous contrat.

L'élève qui suit une DNL fait connaître son intention de passer l'évaluation spécifique au moment de son inscription à l'examen du baccalauréat [5].

Le candidat peut changer son choix de DNL entre la classe de première et la classe de terminale : l'épreuve spécifique concerne la DNL suivie en classe de terminale.

Les résultats obtenus par l'élève dans chaque discipline non linguistique (DNL) font l'objet d'une moyenne annuelle, qui figure dans son livret scolaire, pour chaque année scolaire. Cette moyenne est distincte des moyennes de langue vivante et des moyennes des enseignements auxquels correspondent les DNL.

Lorsque l'un des enseignements dont la moyenne annuelle est prise en compte pour le baccalauréat (histoire-géographie, enseignement scientifique en voie générale, mathématiques en voie technologique) est suivi en discipline non linguistique, la moyenne de DNL correspondante est prise en compte pour l'examen, en lieu et place de l'enseignement, avec le coefficient prévu par la réglementation pour cet enseignement.

3. Sections internationales et sections binationales

L'élève effectue le choix de se présenter ou non à l'option internationale du baccalauréat [6], (à compter de la session 2024 de l'examen du baccalauréat, l'option internationale du baccalauréat devient « option internationale du baccalauréat, dite baccalauréat français international ») ou à la section binationale (Abibac, Bachibac ou Esabac) [7] dans laquelle il est scolarisé, au moment de son inscription à l'examen du baccalauréat, en classe de première.

Si, pour des raisons légitimes dues à sa scolarité et après autorisation du recteur d'académie, le candidat renonce, en classe de terminale, à se présenter à l'option internationale du baccalauréat général ou à la section binationale dans laquelle il était inscrit, seules sont prises en compte, au titre de la moyenne annuelle de la classe de première pour la langue vivante A et pour l'enseignement concerné par la discipline non linguistique suivie en première (histoire-géographie ou enseignement scientifique), les moyennes annuelles figurant sur le livret scolaire de la classe de terminale pour ces enseignements.

II. Liste des langues pouvant être choisies

Les candidats dits scolaires, tels que listés à la partie 1 de la présente note, formulent leurs choix de langues vivantes A, B ou C s'agissant des langues vivantes étrangères, ou de langues vivantes B ou C s'agissant des langues régionales, au moment de leur inscription à l'examen, à condition qu'ils aient suivi un enseignement dans cette langue, correspondant au niveau concerné, dans un établissement d'enseignement scolaire public ou privé sous contrat ou auprès du Cned [8], sous réserve que l'enseignement de la langue choisie soit proposé dans l'académie de résidence du candidat ou au Cned.

1. Langues vivantes étrangères

Peuvent être choisies au titre de la langue vivante A, B ou C, les langues vivantes étrangères suivantes : allemand, anglais, arabe, arménien, cambodgien, chinois, coréen, danois, espagnol, finnois, grec moderne, hébreu, italien, japonais, néerlandais, norvégien, persan, polonais, portugais, russe, suédois, turc et vietnamien [9].

Peuvent être choisies, au titre de la langue vivante C, les langues vivantes étrangères suivantes : albanais, amharique, bambara, berbère chleuh, berbère kabyle, berbère rifain, bulgare, croate, estonien, haoussa, hindi, hongrois, indonésien-malais, laotien, lituanien, macédonien, malgache, peul, roumain, serbe, slovaque, slovène, swahili, tamoul, tchèque.

2. Langues vivantes régionales

Peuvent être choisies au titre de la langue vivante B ou C uniquement les langues vivantes régionales suivantes : basque, breton, catalan, corse, créole, langues mélanésiennes (aij'e, drehu, nengone, païci), occitan-langue d'oc (auvergnat, gascon, languedocien, limousin, nissart, provençal, vivaro-alpin), tahitien, wallisien-et-futunien [10].

Peuvent être choisies, au titre de la langue vivante C, les langues régionales suivantes : le gallo, les langues régionales d'Alsace, les langues régionales des pays mosellans.

[1] Arrêtés du 16 juillet 2018 modifiés relatifs aux épreuves des baccalauréats général et technologique à compter de la session 2021.

[2] Note de service du 28 juillet 2021 relative aux modalités d'évaluation des candidats aux baccalauréats général et technologique à compter de la session 2022.

- [3] Par exemple un déménagement en cours d'année ou d'une année sur l'autre.
- [4] Arrêté du 16 juillet 2018 modifié relatif aux modalités d'organisation du contrôle continu pour l'évaluation des enseignements dispensés dans les classes conduisant au baccalauréat général et au baccalauréat technologique.
- [5] Arrêté du 20 décembre 2018 modifié relatif aux conditions d'attribution de l'indication section européenne ou section de langue orientale (Selo) et de l'indication DNL ayant fait l'objet d'un enseignement en langue vivante sur les diplômes du baccalauréat général et du baccalauréat technologique.
- [6] Arrêté du 20 décembre 2018 modifié relatif aux sections internationales de lycée.
- [7] Arrêté du 5 juin 2019 modifié relatif à la double délivrance du diplôme du baccalauréat et du diplôme de la Allgemeine Hochschulreife ; arrêté du 5 juin 2019 modifié relatif à la double délivrance du diplôme du baccalauréat et du diplôme du Bachillerato ; arrêté du 5 juin 2019 modifié relatif à la double délivrance du diplôme du baccalauréat et du diplôme de l'Esame di Stato.
- [8] Arrêtés du 16 juillet 2018 modifiés relatifs aux épreuves des baccalauréats général et technologique à compter de la session 2021.
- [9] Arrêté du 16 juillet 2018 modifié relatif aux épreuves du baccalauréat général à compter de la session 2021 ; arrêté du 16 juillet 2018 modifié relatif aux épreuves du baccalauréat technologique à compter de la session 2021.
- [10] Arrêté du 16 juillet 2018 modifié relatif aux épreuves du baccalauréat général à compter de la session 2021 ; arrêté du 16 juillet 2018 modifié relatif aux épreuves du baccalauréat technologique à compter de la session 2021.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,
La cheffe du service de l'instruction publique et de l'action pédagogique, adjointe au directeur général,
Rachel-Marie Pradeilles-Duval

Enseignements primaire et secondaire

Baccalauréats général et technologique

Programmes pour les évaluations ponctuelles de langues vivantes - années 2022 à 2027

NOR : MENE2123569N

note de service du 16-8-2021

MENJS - DGESCO C1-3

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; au directeur du Siec d'Île-de-France ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux de langues vivantes ; aux cheffes et chefs d'établissement ; aux professeures et professeurs de langues vivantes

Références : arrêté du 16-7-2018 modifié (JO du 17-7-2018) ; arrêté du 17-1-2019 (JO du 20-1-2019 et BOEN spécial n° 1 du 22-1-2019)

Pour les candidats prévus aux articles 9 et 10 de l'arrêté du 16 juillet 2018 modifié relatif aux modalités d'organisation du contrôle continu pour l'évaluation des enseignements dispensés dans les classes conduisant au baccalauréat général et au baccalauréat technologique qui choisissent de se présenter aux **évaluations ponctuelles à la fin du cycle terminal**, ces évaluations peuvent porter, pour les langues vivantes A et B, sur les **huit axes** définis par le programme de langues vivantes de première et terminale générales et technologiques arrêté le 17 janvier 2019.

Pour les candidats prévus aux articles 9 et 10 de l'arrêté du 16 juillet 2018 modifié relatif aux modalités d'organisation du contrôle continu pour l'évaluation des enseignements dispensés dans les classes conduisant au baccalauréat général et au baccalauréat technologique qui choisissent de se présenter aux **évaluations ponctuelles en fin de chaque année du cycle terminal** et les candidats prévus à l'article 1er du même arrêté ne disposant pas d'une moyenne annuelle pour l'année de première ou l'année de terminale dans les enseignements de langues vivantes A et B, les évaluations ponctuelles de langues vivantes A et B en première ou en terminale peuvent porter sur **six des huit axes** définis par le programme de langues vivantes de première et terminale générales et technologiques arrêté le 17 janvier 2019.

Pour les **années 2022, 2023 et 2024**, les six axes sur lesquels peuvent porter les évaluations ponctuelles sont :

- en **classe de première** :

- Identités et échanges
- Espace privé et espace public
- Art et pouvoir
- Citoyenneté et mondes virtuels
- Fictions et réalités
- Innovations scientifiques et responsabilité

- en **classe terminale** :

- Art et pouvoir
- Citoyenneté et mondes virtuels
- Fictions et réalités
- Innovations scientifiques et responsabilité
- Diversité et inclusion
- Territoire et mémoire

Pour les **années 2025, 2026 et 2027**, les six axes sur lesquels peuvent porter les évaluations ponctuelles sont :

- en **classe de première** :

- Art et pouvoir
- Citoyenneté et mondes virtuels
- Fictions et réalités
- Innovations scientifiques et responsabilité
- Diversité et inclusion
- Territoire et mémoire

- en **classe terminale** :

- Identités et échanges
- Espace privé et espace public
- Fictions et réalités
- Innovations scientifiques et responsabilité

- Diversité et inclusion
- Territoire et mémoire

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,
Le chef du service de l'accompagnement des politiques éducatives, adjoint au directeur général,
Didier Lacroix

Personnels

Diplôme de directeur d'établissement d'éducation adaptée et spécialisée

Ouverture de la session 2022 de l'examen

NOR : MENE2121642A

arrêté du 10-7-2021

MENJS - DGESCO A1-3

Vu arrêté du 19-2-1988 modifié

Article 1 - Une session d'examen en vue de l'obtention du diplôme de directeur d'établissement d'éducation adaptée et spécialisée s'ouvrira le 13 juin 2022.

Article 2 - L'examen est ouvert aux personnels mentionnés à l'article 2 de l'arrêté du 19 février 1988 relatif à la création du diplôme.

Article 3 - Les épreuves se dérouleront à la Maison des examens, Service interacadémique des examens et concours (Siec), à Arcueil.

Article 4 - La procédure d'inscription est en partie dématérialisée. Les inscriptions auront lieu du 1er septembre au 15 octobre 2021 à l'adresse suivante : <http://inscritnetpro.siec.education.fr>

À la clôture des inscriptions, les candidats recevront leur dossier d'inscription par courrier. Ils devront retourner les pièces justificatives et le sujet de mémoire avant le 15 novembre.

Article 5 - L'épreuve écrite de législation, administration, gestion aura lieu le 13 juin 2022, de 9 heures à 13 heures. Les candidats sont autorisés à utiliser le Code de l'éducation et le Code de l'action sociale et des familles.

Les épreuves orales se dérouleront à partir du 14 juin 2022.

Les mémoires préparés par les candidats devront être déposés avant le 12 mai 2022 sur la plateforme <https://dexco.siec.education.fr/login>

Article 6 - Le directeur général de l'enseignement scolaire est chargé de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au Bulletin officiel de l'éducation nationale, de la jeunesse et des sports.

Fait le 10 juillet 2021

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Pour le directeur général de l'enseignement scolaire, et par délégation,
La cheffe du service de l'instruction publique et de l'action pédagogique, adjointe au directeur général,
Rachel-Marie Pradeilles-Duval

Personnels

Établissements publics locaux d'enseignement

Charte des pratiques de pilotage en EPLE

NOR : MEND2125219X

charte du 24-8-2021

MENJS - DE MPES

Préambule

Clé de voûte du système éducatif et unité de base du service public d'éducation, l'établissement public local d'enseignement (EPL) montre depuis sa création en 1985 sa capacité à être le lieu de mise en œuvre des politiques éducatives et de leurs transformations successives. Vecteur essentiel de la transmission des connaissances et de la construction des compétences, du partage des valeurs de la République, de la compréhension et du respect du principe de laïcité, de la préparation à l'orientation et à l'insertion professionnelle, l'EPL contribue pleinement à l'égalité des chances et à la lutte contre les inégalités sociales et territoriales en matière de réussite scolaire. Il œuvre également à la réussite de tous les élèves, à l'inclusion scolaire et à la mixité des publics scolarisés. Lieu privilégié de socialisation et d'apprentissage individuel et collectif de la citoyenneté, l'EPL vise aussi le développement de compétences socio-comportementales, morales et civiques qui constituent des objectifs éducatifs clairement établis. À ce titre, il a une responsabilité particulière dans la formation de l'élève en tant que personne et futur citoyen.

Espace autonome de pilotage pédagogique et éducatif, l'EPL a vu ses missions s'enrichir et s'élargir depuis trente-cinq ans. Au-delà de ses missions primordiales d'enseignement et d'éducation, l'EPL assume aujourd'hui une diversité de fonctions qu'il convient à la fois d'identifier et de clarifier, dans un souci de priorisation et de régulation. Conjointement, plusieurs dispositions normatives majeures ont eu ces dernières années un impact direct sur le pilotage de l'EPL et ont fait évoluer à la fois ses missions et ses relations, tant avec les services académiques déconcentrés qu'avec les collectivités territoriales de rattachement. Au-delà du corpus réglementaire global annexé à la présente charte (cf. annexe 1), il importe ici de mentionner :

- la loi n° 2013-595 du 8 juillet 2013 d'orientation et de programmation pour la refondation de l'École de la République qui renforce la place du numérique à l'école en créant un service public du numérique éducatif, modifie le nombre et la durée des cycles scolaires et instaure le conseil école-collège, favorise le déploiement des parcours éducatifs, renforce le rôle de la collectivité territoriale de rattachement avec la mise en place possible des contrats d'objectifs tripartites ;
- la loi n° 2019-791 du 26 juillet 2019 Pour une École de la confiance qui pose les bases d'un service public de l'École inclusive et engage une transformation profonde de l'accompagnement des élèves en situation de handicap, renforce la place de l'évaluation à tous les échelons du système éducatif et crée pour cela le Conseil d'évaluation de l'École chargé de la mise en cohérence des évaluations de l'enseignement scolaire et de la mise en place de l'évaluation des EPL à l'échelle nationale.

Les personnels de direction qui exercent en EPL sont régis par le décret n° 2001-1174 du 11 décembre 2001 modifié portant statut particulier du corps des personnels de direction d'établissement d'enseignement ou de formation relevant du ministre de l'Éducation nationale dont les dispositions précisent leurs modalités de nomination, d'avancement, d'évaluation et de mutation. Les missions des personnels de direction demeurent quant à elles toujours précisées par le référentiel annexé au Protocole d'accord relatif aux personnels de direction du 16 novembre 2000 (annexe 1 : référentiel des personnels de direction).

Dans le contexte des réflexions et des travaux menés dans le cadre du Grenelle de l'éducation et de l'agenda social avec le ministère, les représentants des personnels de direction ont exprimé le besoin de préciser à la fois le périmètre des missions de l'EPL et son cadre d'exercice, dans un schéma de gouvernance académique renouvelé. De ce point de vue, il s'agit de rappeler en quel sens les services académiques peuvent aider au pilotage des EPL, dans une logique de confiance, de proximité, d'écoute et d'appui. Cet accompagnement doit également permettre d'améliorer les conditions de travail des personnels de direction et, par là-même, leur qualité de vie au travail. En ce sens, l'objet de cette charte - qui actualise la précédente datée de 2007 - est d'explicitier les missions de l'EPL, ses modalités de pilotage et de fonctionnement en lien étroit avec les autorités académiques et l'ensemble des partenaires institutionnels constitutifs de son environnement. Elle est complétée par trois annexes : le cadre réglementaire de référence de l'EPL, l'infographie relative aux missions

de l'EPLE et le schéma de pilotage et d'évaluation de l'EPLE.

I. Les missions de l'EPLE

(cf. annexe 2 : infographie relative aux missions de l'EPLE).

L'EPLE est une entité dynamique dont la mission d'enseignement - comprise au sens large du terme - est la vocation essentielle. Celle-ci comprend des composantes indissociables : transmettre des connaissances, des compétences et une culture commune, former des citoyens ouverts et responsables, préparer à une insertion professionnelle réussie. Dans la continuité et la complémentarité de ces missions, l'EPLE assume également des responsabilités élargies dans la sphère éducative. Dévolues à des enjeux majeurs étroitement articulés aux programmes d'enseignement, les actions éducatives nourrissent les parcours éducatifs des élèves, valorisent les initiatives individuelles ou collectives, encouragent les approches pédagogiques transversales et contribuent à développer les partenariats avec l'établissement. Si l'ampleur de ces missions atteste aujourd'hui l'importance de l'EPLE pour la formation globale des élèves, des étudiants, des apprentis, des stagiaires de la formation continue, il convient de souligner qu'elles doivent être priorisées et mises en cohérence - à l'aune des orientations fixées au niveau national et après un diagnostic partagé avec les autorités académiques - dans le cadre du projet d'établissement par lequel l'EPLE définit ses objectifs propres et les moyens qu'il se donne pour y parvenir.

1. Réaffirmer l'EPLE comme un espace autonome de pilotage pédagogique et éducatif

L'autonomie de l'EPLE est inscrite juridiquement dans son statut et désigne, de manière générale, la capacité de l'établissement à mobiliser différents moyens et leviers pour concevoir une politique pédagogique et éducative adaptée à ses caractéristiques et aux besoins du public scolaire qu'il accueille, tout en tenant compte de son environnement propre. D'un point de vue réglementaire, l'autonomie en matière éducative et pédagogique se décline dans de nombreux domaines qui sont décrits et codifiés dans l'article R. 421-2 du Code de l'éducation. Cette autonomie marque la confiance accordée aux équipes de direction et aux équipes éducatives pour mettre en place l'action pédagogique nécessaire à la réussite des élèves en tenant compte des spécificités locales de l'EPLE.

Pour faire vivre l'autonomie au sein de l'EPLE et permettre l'exercice effectif de ses compétences, les différentes instances jouent un rôle clé sous l'égide et l'impulsion de l'équipe de direction. Parmi ces instances, le conseil pédagogique constitue un organe consultatif essentiel qui permet notamment de construire un diagnostic partagé au sein de l'établissement, d'identifier les besoins des élèves et de définir des priorités en matière d'action pédagogique. Compris comme un lieu privilégié au sein duquel les personnels peuvent exposer leurs pratiques, en débattre et les mettre en cohérence, le conseil pédagogique joue donc un rôle essentiel de concertation et de régulation. Sa tenue régulière, en lien avec d'autres instances (conseils d'enseignement et conseils de classe notamment), contribue à l'instauration d'une dynamique pédagogique au sein de l'établissement.

Pour donner son plein effet, l'autonomie pédagogique de l'EPLE doit en effet s'appuyer sur un collectif qu'il revient au chef d'établissement de susciter et de faire vivre, en impliquant les personnels dans le pilotage afin de partager avec eux les diagnostics, de les faire participer à la conception et à la mise en œuvre du projet de l'établissement et de développer ainsi une culture commune. Pour faire vivre l'intelligence pédagogique collective au sein de l'établissement, le chef d'établissement et l'équipe de direction favorisent le travail d'équipe entre les professeurs et avec la vie scolaire. Ils peuvent également encourager l'exercice de responsabilités particulières et s'appuyer sur des personnes-ressources, investies dans leurs missions, dans la classe mais aussi au-delà, et reconnues par leurs collègues. L'identification de ces personnels (professeurs principaux, coordinateurs de discipline, responsables de dispositifs ou de projets, professeurs référents, membres du conseil pédagogique, etc.) et la mobilisation de ces fonctions relais sont essentielles pour étayer le pilotage pédagogique et éducatif du chef d'établissement et en étendre la portée au sein de l'établissement. Compte tenu de l'importance de ce réseau pour l'exercice de l'autonomie pédagogique de l'EPLE, il convient de conforter sa dynamique collective et de renforcer sa coordination.

En appui à la constitution du collectif au sein de l'EPLE, le développement d'actions de formation en direction des équipes pédagogiques et éducatives constitue un levier majeur pour les aider à mieux percevoir l'établissement en tant qu'unité globale. À cet égard, il est nécessaire de conforter les dispositifs de formation dédiés à la connaissance du fonctionnement de l'EPLE (rôle des instances, compréhension des documents de pilotage, environnement de l'EPLE, cadre institutionnel académique, etc.). Conjointement, le renforcement de la formation initiale et continue des personnels de direction aux compétences managériales (animation d'équipes, accompagnement au changement, méthodologie de projet, conduite du dialogue social, gestion de crise, etc.) constitue le complément logique de la formation des personnels d'enseignement et d'éducation. Les services académiques veilleront donc à accompagner les EPLE dans ce double objectif.

2. Renforcer l'accompagnement des EPLE par les académies

Dans le respect du principe d'autonomie des EPLE et de la liberté pédagogique des acteurs locaux,

l'accompagnement des établissements par les autorités académiques s'opère sous diverses modalités et possiblement à différents échelons : académique, départemental et infradépartemental (bassins d'éducation et de formation, districts, réseaux d'établissements). De manière générale, cet accompagnement peut et doit s'entendre comme l'ensemble des dispositifs et des actions qui permettent, dans une logique d'appui, de répondre aux besoins diversifiés des établissements et de faciliter à la fois leur pilotage et leur fonctionnement global.

Les réformes pédagogiques successives - en collège comme en lycée - ont introduit des marges de manœuvre dans le pilotage de l'action pédagogique au sein des établissements. Cette part croissante d'initiative induit un besoin renforcé d'accompagnement des équipes de direction et des équipes pédagogiques ; elle se traduit ainsi par une mobilisation accrue des corps d'inspection auprès des EPLE. En collaboration avec le chef d'établissement, les inspecteurs apportent leur expertise disciplinaire et transversale pour l'élaboration de la politique pédagogique des EPLE et peuvent être associés aux travaux des différentes instances, en lien étroit avec les équipes éducatives qu'ils connaissent et accompagnent en proximité tant sur le plan individuel que collectif.

Dans ce contexte, les inspecteurs jouent un rôle essentiel auprès des établissements et assurent une fonction de conseil auprès de l'équipe de direction, notamment en ce qui concerne l'organisation pédagogique des enseignements, en cohérence avec les marges de manœuvre dont l'établissement dispose. Lors de la mise en place des réformes, ils facilitent le dialogue entre le chef d'établissement et les équipes pédagogiques, aident à la compréhension des enjeux, accompagnent les équipes dans la mise en œuvre des nouveaux programmes et des dispositifs transversaux. Au-delà de l'accompagnement des réformes pédagogiques qui scandent l'évolution du système éducatif, les inspecteurs constituent des interlocuteurs de proximité dont l'expertise constitue un soutien permanent pour l'analyse des problématiques locales des établissements, à la lumière d'un regard académique et en cohérence avec les objectifs des politiques éducatives nationales. Dans les académies qui ont fait le choix de mettre en place des inspecteurs référents auprès des bassins d'éducation et de formation et/ou des établissements, ce positionnement territorial de l'inspecteur s'avère précieux pour accompagner en proximité les chefs d'établissement et leurs équipes. Dans tous les cas, il s'agit pour les inspecteurs de conseiller les établissements pour la mise en œuvre des politiques éducatives et d'éclairer les choix stratégiques qui relèvent de la responsabilité et du rôle du chef d'établissement.

En lien étroit avec les corps d'inspection, les autorités académiques organisent et assurent à leur niveau des dialogues de proximité avec les établissements. Dans la diversité de leurs formules (dialogues de pilotage, dialogues stratégiques, dialogues de gestion, etc.), ces temps d'échanges privilégiés entre les autorités académiques, les équipes de direction - parfois élargies - et les corps d'inspection permettent aux chefs d'établissement d'explicitier leur stratégie pédagogique, d'exprimer et d'analyser les réussites et les points forts de l'établissement mais aussi les difficultés éventuelles rencontrées. Ils permettent également aux autorités académiques de venir en soutien à certains projets et de faire évoluer, le cas échéant, la marge d'allocation de leurs moyens. Dans tous les cas, ces temps de dialogue menés avec et par l'autorité académique constituent des points d'appui pour les équipes de direction et se veulent au service du pilotage et de la stratégie de l'EPLE. Au-delà de ces temps spécifiques, les autorités académiques apportent un soutien quotidien et constant aux équipes de direction pour les aider dans la mise en œuvre de leurs missions.

3. De l'autonomie à l'évaluation de l'EPLE : renouveler et simplifier le cadre méthodologique

(cf. annexe 3 : schéma de pilotage et d'évaluation de l'EPLE).

La création du [Conseil d'évaluation de l'École](#) et la mise en place d'un dispositif d'évaluation des établissements dans le cadre de la loi n° 2019-791 du 26 juillet 2019 Pour une École de la confiance (article 40) souligne que l'évaluation, indissociable de l'autonomie des EPLE, est un levier essentiel du pilotage interne de l'établissement. L'évaluation a en effet vocation à aider les établissements à remplir la mission confiée par l'État en termes de qualité et d'efficacité de l'éducation et de la formation dispensées et a pour but d'améliorer, pour l'ensemble de la communauté éducative et de ses acteurs, les conditions de réussite collective, d'exercice des différents métiers et de bien-être dans l'établissement. En ce sens, l'enjeu majeur de l'évaluation est d'accroître la capacité de l'établissement à observer son propre fonctionnement - notamment dans sa dimension systémique - et à enrichir la connaissance qu'il a de sa dynamique collective.

Le Conseil d'évaluation de l'École a défini le [cadre méthodologique](#) ainsi que la [charte de déontologie](#) des évaluateurs externes et mis à disposition des équipes académiques et des établissements différents outils pour la conduite et l'analyse des auto-évaluations et des évaluations des établissements. Les guides et ressources mis à disposition des EPLE n'ont pas vocation à normer la démarche des acteurs mais bien plutôt à aider ces derniers en proposant des pistes susceptibles d'alimenter leur propre réflexion. Tout au long de la démarche, l'évaluation est bien conçue comme un mécanisme d'apprentissage collectif qui aide l'établissement à faire émerger ses caractéristiques propres, à analyser son fonctionnement, les résultats de ses élèves et la qualité de leur parcours, à valoriser l'investissement des équipes pédagogiques et éducatives et à dégager des pistes d'action.

Dans un souci de cohérence et de simplification des procédures pour les équipes de direction, la mise en

œuvre désormais régulière et systématique de l'évaluation des établissements doit nécessairement s'articuler avec les autres dispositifs ou instruments de pilotage existants : diagnostic d'établissement, projet d'établissement, contrat d'objectifs, rapport annuel sur le fonctionnement pédagogique. Par le diagnostic qu'il pose, les perspectives qu'il ouvre et les stratégies qu'il dessine, le travail conduit et formalisé dans le cadre de l'auto-évaluation et de l'évaluation externe a vocation à nourrir directement le projet d'établissement, que ce soit pour l'actualiser ou le renouveler. De même, la démarche diagnostique ainsi que les conclusions de l'évaluation peuvent et doivent être exploitées lors des opérations de contractualisation avec les autorités académiques, voire de rattachement.

Dans ce contexte renouvelé, il apparaît nécessaire que le dispositif d'évaluation puisse se substituer à toute démarche similaire au sein de l'EPLE et que les documents de pilotage qui structurent actuellement l'action de l'établissement gagnent en cohérence, notamment par un alignement de leurs temporalités. Une circulaire dédiée précisera donc l'articulation et le phasage entre ces différents dispositifs afin de simplifier les procédures au sein de l'établissement et de renforcer l'appropriation et la mobilisation des équipes autour d'un texte synthétique et fédérateur, porteur de sens.

II. Le fonctionnement de l'EPLE

Le ministère est engagé dans un chantier de transformation en profondeur de sa gestion des ressources humaines (GRH), avec l'objectif de développer en particulier une GRH de proximité permettant une gestion plus qualitative de ses personnels à l'appui d'un accompagnement fondé sur l'écoute, l'information, le conseil et l'accompagnement individualisé. Dans ce contexte, il convient de développer les compétences de tous les personnels d'encadrement, en particulier ceux de la filière administrative qui sont en poste dans les services académiques et au sein des EPLE. Cette montée en compétences est également nécessaire pour répondre aux enjeux de modernisation de la gestion budgétaire, financière et comptable. Parallèlement, et pour répondre aux besoins convergents exprimés par les équipes de direction, le ministère souhaite améliorer de manière significative le fonctionnement des systèmes d'information et leurs applications dédiées dans la mesure où elles permettent l'exercice des missions de tous les personnels au sein de l'établissement scolaire et, in fine, de mieux répondre aux besoins de ses usagers.

1. Tenir compte de l'évolution de la fonction administrative dans les EPLE

Membre de l'équipe de direction, l'adjoint gestionnaire joue un rôle majeur et remplit une fonction incontournable sous l'autorité du chef d'établissement qu'il seconde dans ses fonctions matérielles, financières et administratives ainsi que dans le champ de la gestion des ressources humaines. Il est une personne-ressource sur laquelle le chef d'établissement s'appuie au quotidien pour assumer le pilotage de l'EPLE dont les fonctions administratives se transforment, en particulier sous l'effet :

- du déploiement d'une gestion des ressources humaines qualitative et personnalisée, qui induit que l'adjoint gestionnaire puisse délivrer des informations sur les ressources humaines de premier niveau à toutes catégories de personnel ;
- de la modernisation de la fonction financière et comptable des EPLE avec la constitution d'agences comptables regroupant un nombre critique d'établissements et le déploiement de deux applications informatiques ministérielles (Op@le et Opér@) ;
- le cas échéant, du déploiement des Cités éducatives, organisant l'action de l'État et des collectivités autour d'un collège - chef de file - et de son équipe pédagogique, éducative et administrative ;
- de la mise en place du dispositif d'évaluation des établissements ;
- de l'implication des collectivités territoriales de rattachement.

Du fait de sa polyvalence et de son expertise large, l'adjoint gestionnaire joue donc un rôle primordial dans le pilotage global de l'EPLE. Adjoint à part entière du chef d'établissement, il est également chargé sous son égide des relations avec les collectivités territoriales de rattachement et plus largement avec de nombreux partenaires extérieurs avec lesquels il sait bâtir des liens confiants et structurés au service de l'EPLE.

Dans les EPLE qui ont une charge de gestion plus lourde en raison de différentes caractéristiques (effectifs, offre et modalités de formation, internat, agence comptable, etc.), l'adjoint gestionnaire peut être secondé d'un gestionnaire délégué, fonctionnaire de catégorie A, sur les questions budgétaires, financières et comptables (fonction pouvant donner lieu à délégation de fondé de pouvoir) ou par un gestionnaire délégué sur les questions juridiques, logistique et de travaux. De même, la sensibilité des relations que les personnels de direction entretiennent avec leurs partenaires et la complexité accrue des missions dévolues à l'EPLE font appel, en particulier dans les établissements complexes, à des compétences d'assistant de direction davantage que de simple secrétariat.

Le plan de requalification de la filière administrative prévoit également un renforcement de l'accompagnement des parcours professionnels avec la généralisation du tutorat et, pour les attachés, l'organisation d'entretiens de carrière. Il incite de même les académies à déployer une offre de formation d'adaptation à l'emploi et continue pour les personnels administratifs.

Enfin, le renforcement de l'accompagnement des EPLE par les académies se traduira par la création de nouveaux pôles d'expertise ayant notamment vocation à apporter un appui aux EPLE pour :

- l'accompagnement individualisé des personnels et le développement du bien-être au travail dans le cadre du développement de la GRH de proximité et des missions académiques de l'encadrement ;
- des missions dans les domaines budgétaire, comptable et financier, impactées par une évolution des outils et l'évolution des fonctions de contrôle de gestion et de contrôle interne comptable ;
- la numérisation croissante des services, ainsi que des relations avec les personnels et les familles, qui nécessite de renforcer les capacités de maîtrise d'ouvrage et de maîtrise d'usage des systèmes d'information.

2. Améliorer l'environnement numérique de travail des personnels de direction

Pour mener à bien leurs missions, les personnels de direction utilisent quotidiennement une pluralité d'outils numériques. Leur développement progressif, qui répond aux besoins de pilotage de nombreux domaines d'activités au sein des EPLE, a pu alourdir et complexifier l'environnement numérique de travail des équipes de direction. C'est pourquoi il apparaît aujourd'hui nécessaire de les améliorer en visant à la fois une meilleure ergonomie, une plus grande interopérabilité entre les différents systèmes d'information et une qualité de service renouvelée pour l'ensemble des usagers. Dans cette perspective, le ministère prend pleinement en compte la situation des personnels de direction et leurs besoins spécifiques dans le cadre des feuilles de route annuelles d'évolution des outils numériques par des actions significatives.

Une attention particulière doit notamment être portée à la simplification des tâches en veillant à limiter les ressaisies d'informations et en développant davantage les échanges de données entre les différentes applications utilisées au sein des EPLE. En ce sens, l'environnement de travail numérique sera modernisé en apportant des améliorations tant à l'ergonomie des applications qu'aux parcours utilisateurs. Pour mener à bien cet objectif, le ministère s'appuiera - sur le plan méthodologique - sur les remontées des utilisateurs depuis l'expression du besoin jusqu'aux phases d'expérimentation et d'évaluation. Dans cette logique, tout nouvel outil numérique, avant d'être déployé, devra pouvoir satisfaire aux exigences nécessaires à un usage professionnel : fonctionnalité, rapidité d'exécution, facilité d'utilisation.

Par ailleurs, les nouveaux projets numériques susceptibles d'être déployés pour accompagner la mise en œuvre des réformes (construction d'un système d'information pour l'École inclusive, par exemple) ou pour proposer des services aux familles (mise en place de nouvelles démarches en ligne dédiées à la scolarité) prendront en compte leurs besoins et les attentes des personnels de direction en favorisant l'intégration de ces nouveaux services aux outils déjà existants.

Parallèlement, les liens entre les applications ministérielles et les outils proposés par les partenaires du système éducatif (espaces numériques de travail, logiciels de vie scolaire) seront consolidés et développés. La collaboration avec les collectivités territoriales de rattachement sera également renforcée, notamment en ce qui concerne la question des infrastructures et des matériels informatiques.

L'ensemble de ces démarches visant à améliorer l'environnement numérique de travail des personnels de direction repose sur une méthodologie claire et partagée qui les associe systématiquement à la conception, au suivi et à l'évaluation des outils numériques mis à leur disposition. Un comité de suivi et des groupes de travail dédiés seront donc installés dans la durée afin de garantir la prise en compte de la dimension utilisateur. Enfin, pour accompagner les personnels de direction dans la pratique et la maîtrise des outils numériques, forcément évolutifs, le ministère mettra en place une politique de formation adaptée en lien avec les services académiques.

3. Réguler les procédures d'enquêtes et maîtriser les flux d'informations

Le ministère mène une action continue afin de réguler le volume des textes réglementaires, les circuits de communication ainsi que la diffusion des enquêtes à destination des EPLE. À chaque niveau - national, académique et départemental - l'administration doit en effet veiller à la meilleure explicitation du droit et des procédures, à l'unicité d'origine des instructions ainsi qu'à la bonne coordination des demandes et instructions chaque fois que cela est nécessaire.

Lors de la conception du programme annuel d'enquêtes, indexé sur l'année scolaire depuis la rentrée 2019, le ministère attache une attention particulière à la conception du calendrier des opérations, tant du point de vue de la disponibilité des informations que de la capacité des interlocuteurs à se mobiliser pour répondre : plages d'ouverture des enquêtes suffisantes, espacement des lancements, prise en compte des périodes de congés scolaires, etc. Lorsqu'ils paraissent pertinents et faisables, des regroupements d'opérations sont réalisés.

Le déploiement de la plateforme d'enquête Orchestra a permis de rationaliser les pratiques en sécurisant les processus d'enquête notamment autour de deux axes : la visibilité pour tous les acteurs des enquêtes à venir et le travail partenarial avec les référents techniques académiques. La maîtrise de l'impact des enquêtes sur les acteurs de terrain, en particulier les personnels de direction, continue à ce titre de constituer un enjeu majeur de progrès.

Par ailleurs, l'usage du courrier électronique entre les services centraux et déconcentrés du ministère et les EPLE implique la priorisation et la structuration des informations par leurs émetteurs afin de limiter cette communication aux seuls éléments utiles. Tout autre outil d'échange peut être utilisé, après concertation avec

les représentants des personnels concernés au niveau académique et en fonction des situations locales, afin de faciliter l'accès des chefs d'établissement à l'information.

Enfin, pour garantir aux personnels de direction une meilleure qualité de vie au travail, il apparaît nécessaire de mieux prendre en compte les impacts liés aux technologies de l'information et de la communication sur les conditions d'exercice de leurs fonctions. De ce point de vue, le respect des nécessités de service et des permanences inhérentes aux missions du corps ne saurait conduire à exiger des personnels de direction de devoir répondre aux sollicitations en dehors de leur temps de travail, sauf pour faire face à des urgences manifestes.

III. L'EPLÉ dans son environnement

L'EPLÉ est un établissement local dont l'action s'inscrit sur un territoire, en interaction avec d'autres unités d'enseignement et en synergie avec de nombreux partenaires institutionnels. La mise en œuvre des politiques éducatives repose en effet sur une stratégie partenariale qui souligne l'importance de l'ouverture de l'EPLÉ à son environnement pour le déploiement de ses missions. Par ailleurs, l'organisation décentralisée de l'enseignement du second degré repose sur un partage et une complémentarité des compétences entre l'État et les collectivités territoriales qui induisent des rapports étroits et structurés entre la collectivité de rattachement et les EPLÉ.

1. Les relations avec les collectivités territoriales de rattachement

Collectivités de rattachement des EPLÉ, les départements et les régions ont respectivement la charge des collèges et des lycées dont ils assurent la construction, la reconstruction, l'extension, les grosses réparations, l'équipement et le fonctionnement, l'accueil, la restauration et l'hébergement ainsi que l'entretien général et technique. Les collectivités assurent en outre le recrutement et la gestion des personnels ATTEE (adjoints techniques territoriaux des établissements d'enseignement) exerçant leurs missions dans les collèges et les lycées. Bien qu'agents territoriaux, les personnels ATTEE n'en demeurent pas moins soumis à une double autorité : autorité hiérarchique du président de la collectivité et autorité fonctionnelle du chef d'établissement.

La relation entre la collectivité de rattachement et l'EPLÉ est actuellement régie par l'article L. 421-23 du Code de l'éducation. Dans le cadre d'un dialogue avec le chef d'établissement, la collectivité lui fait connaître les objectifs qu'elle fixe à l'établissement et les moyens qu'elle alloue à cet effet. Le chef d'établissement est quant à lui chargé de mettre en œuvre ces objectifs et de rendre compte de l'utilisation de ces moyens. Pour ce faire, il est assisté des services d'intendance et d'administration encadrés par l'adjoint gestionnaire tel que défini au paragraphe II-1. Une convention dite bilatérale, passée entre l'établissement et la collectivité, précise les modalités d'exercice de leurs compétences respectives. Il convient ici de rappeler que le cadre législatif en vigueur (article L. 421-4 du Code de l'éducation) permet également à la collectivité territoriale de rattachement, si elle le souhaite, d'être cosignataire du contrat d'objectifs conclu entre les services académiques et les établissements publics locaux d'enseignement.

Au-delà des compétences déléguées par la loi, les collectivités territoriales peuvent aussi apporter un soutien précieux aux politiques éducatives mises en œuvre au sein des établissements. Ces actions d'accompagnement viennent en appui des projets portés par les équipes dans différents domaines (éducatifs, culturels, sportifs) et se déclinent autour de diverses thématiques : éducation à la santé, éducation au développement durable, engagement citoyen, voyages scolaires, etc. Cet engagement des collectivités auprès des établissements scolaires vise à favoriser la réussite éducative et l'épanouissement des élèves. Chaque collectivité conduisant une politique spécifique en la matière, il appartient à la direction de l'établissement d'identifier les aides possibles et de les mobiliser, le cas échéant, dans le cadre du projet d'établissement.

À la faveur des lois successives de décentralisation, les relations entre l'EPLÉ et les collectivités territoriales de rattachement évoluent. Si les mesures qui en découlent visent à accroître les responsabilités conférées aux collectivités territoriales, elles n'ont pas pour objet ni pour effet de restreindre ou de remettre en cause l'autonomie de l'EPLÉ ni les prérogatives des chefs d'établissement. Dans ce cadre décentralisé et évolutif, il importe pour le ministère, les rectorats et les directions des services départementaux de l'éducation nationale d'être des interlocuteurs réguliers auprès des représentants des collectivités territoriales. C'est pourquoi ils s'attacheront à conduire auprès d'elles des phases régulières de dialogue et de concertation.

2. Le travail en réseau des établissements

La mise en place, sous des terminologies diverses (« bassins d'éducation et de formation », « réseaux d'unités d'enseignement », « zones d'animation pédagogique », etc.), d'un cadre d'animation de proximité au niveau territorial permet d'avancer collectivement sur des sujets essentiels pour les EPLÉ : offre de formation, dispositifs pédagogiques et éducatifs, gestion des ressources humaines, partenariats institutionnels, etc. Le bassin ou réseau constitue un espace de réflexion, d'impulsion et de concertation pertinent au sein duquel les unités d'enseignement et EPLÉ du territoire et les services académiques peuvent s'associer pour l'élaboration et la mise en œuvre de projets communs, au service de la cohérence du parcours de l'élève et de la lisibilité de

l'action pédagogique et éducative. Bâti notamment autour de la notion de parcours de l'élève, le bassin d'éducation coiffe l'ensemble du champ de l'enseignement scolaire (premier degré, second degré, enseignement postbaccalauréat). Il favorise en particulier la recherche d'une meilleure continuité pédagogique et, à ce titre, le renforcement des liaisons (école-collège, collège-lycée, lycée-enseignement supérieur). Cadre privilégié de coopération entre les différents acteurs de terrain, au premier rang desquels les personnels de direction, le bassin ou réseau est aussi un espace où peut se construire une politique de ressources humaines de proximité et de premier niveau, dans une logique de mutualisation : amélioration des fonctions d'accueil, d'aide ou de soutien aux personnels, identification et couverture des besoins de remplacement, élaboration et conduite de plans de formation communs à plusieurs établissements et adossés aux besoins et aux projets locaux, etc. Ainsi compris, le bassin ou réseau ne constitue pas un niveau administratif ou hiérarchique supplémentaire qui modifierait les principes et les règles de la gouvernance académique mais bien un cadre d'animation au service du pilotage des EPLE.

S'agissant des fonctions administratives et budgétaires au sein des établissements, le développement du travail en réseau doit également être encouragé afin de mieux gérer certaines spécialités et gagner ainsi en expertise dans plusieurs domaines (juridique, logistique, santé et sécurité au travail, etc.). Tout en conservant un volant d'activités communes inhérentes à leur fonction, les adjoints gestionnaires d'un bassin d'éducation peuvent détenir une spécialité et la mettre à profit dans le cadre d'un réseau. Cette mise en réseau bénéficiera d'une impulsion nationale et académique, sera encouragée et accompagnée, afin de gagner en pérennité tout en prenant des formes variables selon les initiatives locales.

3. L'EPLE et ses partenaires

Inscrit dans son territoire et ouvert à son environnement, l'EPLE déploie sa mission pédagogique et éducative en lien étroit avec de nombreux partenaires (culturels, économiques, associatifs agréés, sportifs, sociaux, etc.) et avec les autres services de l'État. Conçue à l'aune des besoins définis au niveau local et des priorités identifiées dans le cadre du projet d'établissement, la politique partenariale de l'EPLE permet de nourrir les parcours éducatifs des élèves et constitue un levier essentiel de leur mise en œuvre. Quels que soient les domaines envisagés (éducation artistique et culturelle, éducation à la citoyenneté, éducation à la santé, parcours Avenir, etc.), ces partenariats s'inscrivent dans la complémentarité des enseignements et viennent en appui aux apprentissages, au service du projet global de formation de l'élève et de sa réussite. Au sein de la classe, de l'établissement mais aussi au-delà, ces partenariats alimentent et donnent forme aux différents projets portés par les équipes pédagogiques et éducatives sous l'égide des équipes de direction. Ainsi comprise, la politique partenariale des EPLE s'inscrit pleinement dans la logique des parcours éducatifs qui ont notamment pour finalité de mettre en cohérence la diversité des expériences d'enseignement et d'apprentissage des élèves au sein et en dehors de l'établissement, en lien avec l'environnement, le territoire et les partenaires.

La présente charte est le fruit d'une concertation engagée par le ministère avec les représentants des personnels de direction et fait l'objet d'une publication au Bulletin officiel de l'éducation nationale, de la jeunesse et des sports. Conçue au service du pilotage des établissements scolaires, elle fera l'objet d'une appropriation par l'ensemble des acteurs académiques afin de garantir sa mise en œuvre concrète et effective. En ce sens, l'application de la charte des pratiques de pilotage en EPLE sera suivie et évaluée périodiquement dans le cadre du groupe national des personnels de direction (GNPD).

Le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports,
Jean-Michel Blanquer

Le secrétaire général du Syndicat national des personnels de direction de l'éducation nationale-Unsa,
Bruno Bobkiewicz

Le secrétaire général d'Indépendance et direction-FO,
Franck Antraccoli

La secrétaire générale du Syndicat général de l'éducation nationale-CFDT,
Catherine Nave-Bekhti

Annexe 1

➔ [Cadre réglementaire de référence de l'EPLE](#)

Annexe 2

↳■ Infographie relative aux missions de l'EPLE

Annexe 3

↳■ Schéma de pilotage et d'évaluation de l'EPLE

Annexe n° 1 :**Cadre réglementaire de référence de l'EPLE****(évolutions normatives ayant un impact sur l'environnement institutionnel et administratif des EPLE)**

Le corpus réglementaire présenté ci-après ne vise pas l'exhaustivité mais a pour objet de souligner l'importance de l'évolution de la réglementation depuis 2007 dans différents domaines qui ont trait au pilotage et au fonctionnement de l'EPLE.

1. Organisation institutionnelle et administrative▪ **Éléments de contexte :**

- En application des dispositions de la loi du 13 août 2004 relative aux libertés et responsabilités locales, l'ensemble des personnels techniciens, ouvriers et de service (TOS) ont rejoint la collectivité territoriale de rattachement, sous forme d'intégration ou de détachement sans limitation de durée, à l'horizon 2009 ;
 - La loi n° 2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles (loi « MAPTAM ») renforce la place des métropoles dans le paysage institutionnel français, en ouvrant juridiquement la possibilité juridique à une métropole de devenir la collectivité de rattachement, en lieu et place du département ou de la région, des EPLE de son territoire ;
 - La loi n° 2015-29 du 16 janvier 2015 relative à la délimitation des régions, aux élections régionales et départementales et modifiant le calendrier électoral, en fusionnant certaines régions au 1^{er} janvier 2016, a modifié les interlocuteurs régionaux des lycées mais a aussi pu contribuer à modifier les rapports entre les nouvelles collectivités régionales et les EPLE dont elles ont la charge ;
 - Parallèlement à la réforme des périmètres régionaux de 2016, il existe depuis quelques années, tant en métropole qu'en outre-mer, une reconfiguration des périmètres des collectivités locales (création des collectivités uniques de Martinique, de Guyane, de Corse ; fusion des deux conseils départementaux alsaciens ; création de la métropole de Lyon et scission du département du Rhône) qui modifient les interlocuteurs des EPLE.
- Décret n° 2011-1716 du 1^{er} décembre 2011 relatif à l'organisation et au fonctionnement des établissements publics locaux d'enseignement (codifié) : ce décret confère aux gestionnaires des EPLE le statut d'adjoint du chef d'établissement, et lui confie un rôle d'interlocuteur de la collectivité de rattachement.
 - Décret n° 2012-16 du 5 janvier 2012 relatif à l'organisation académique (codifié) : ce décret réforme en profondeur l'organisation administrative des services déconcentrés du ministère en positionnant systématiquement les directeurs académiques des services de l'éducation nationale (DASEN) sous l'autorité du recteur d'académie. Les DASEN agissent par délégation du recteur d'académie.
 - Décret n° 2015-1616 du 10 décembre 2015 relatif aux régions académiques et décret n° 2019-1200 du 20 novembre 2019 relatif à l'organisation des services déconcentrés des ministres chargés de l'éducation nationale et de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation (codifiés) : ces deux décrets réforment en profondeur l'organisation administrative des services déconcentrés du ministère, en créant un nouvel échelon : la région académique. Au 1^{er} janvier 2020, les recteurs de région académique se voient attribuer notamment des compétences exclusives sur des champs de politiques publiques partagées avec les partenaires régionaux (conseil régional, préfet de région). Si la mission de pilotage

des EPLE demeure académique, d'une part le cadre de l'action administrative évolue considérablement, d'autre part de nombreux domaines concernant l'EPLE (orientation, lutte contre le décrochage scolaire, carte des formations professionnelles, service public du numérique éducatif, etc.) relèvent désormais du niveau régional. Ces deux décrets s'accompagnent de plusieurs décrets en 2019, 2020 et 2021 (codifiés) qui modifient la répartition des compétences entre recteurs de région académique et recteurs d'académie.

2. Compétences et missions

2.1. Lois programmatiques portant sur l'éducation

- Loi n° 2013-595 du 8 juillet 2013 d'orientation et de programmation pour la refondation de l'école de la République et son annexe programmatique :

Dispositions portant sur de nombreux champs de l'éducation : enseignement moral et civique ; orientation des élèves ; service éducatif du numérique ; apprentissage des langues vivantes ; parcours d'éducation artistique et culturelle des élèves ; renforcement de la continuité pédagogique et de la cohérence éducative entre l'école et le collège ; ouverture à la collectivité de rattachement des contrats d'objectifs signés entre l'État et l'EPLE ; clarification (sur le volet numérique) et renforcement des attributions des collectivités de rattachement, etc.

- Loi n° 2019-791 du 26 juillet 2019 pour une école de la confiance :

Dispositions portant sur de nombreux champs de l'éducation : formation obligatoire pour tout jeune jusqu'à 18 ans (sous différentes formes : scolarité, apprentissage, stage de formation, etc.) ; service public de l'école inclusive ; éducation au développement durable ; renforcement de l'ouverture internationale des EPLE (création des EPLEI) ; mise en place de l'évaluation au service des établissements et création du Conseil d'évaluation de l'École, etc.

2.2. Dispositions législatives renforçant les compétences des collectivités territoriales en matière éducative

- Loi n° 2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République - loi « NOTRÉ » (codifié)

Partage de la compétence de sectorisation des lycées entre le conseil régional et le recteur ; transfert de la compétence en matière de transports scolaires des départements aux régions ; possibilités d'actions communes et de mutualisation des services entre régions et départements pour la gestion des EPLE.

2.3. Dispositions relatives à l'égalité des chances dont le premier maillon est l'EPLE : amélioration de l'orientation des élèves et de l'offre de formation à destination des élèves, renforcement de la lutte contre le décrochage scolaire, renforcement de la mixité sociale, etc.

- Loi n° 2014-288 du 5 mars 2014 relative à la formation professionnelle, à l'emploi et à la démocratie sociale : renforcement du droit à la formation des jeunes et des décrocheurs ; mise en place d'un service public régional de l'orientation (SPRO).
- Loi n° 2018-166 du 8 mars 2018 relative à l'orientation et à la réussite des étudiants : amélioration de l'orientation des élèves vers l'accès au 1^{er} cycle universitaire ; création de la plateforme *Parcoursup* pour l'orientation des élèves.

- Loi n° 2018-771 du 5 septembre 2018 pour la liberté de choisir son avenir professionnel : renforcement de la compétence des régions en matière d'orientation des publics scolaires (art. 18, mission d'information sur les métiers à destination des élèves des collèges et des lycées, au sein des EPLE), en complément de l'action de l'État.

Décrets d'application :

- Décret n° 2014-1453 du 5 décembre 2014 relatif à la durée complémentaire de formation qualifiante prévue à l'article L. 122-2 du code de l'éducation ;
- Décret n° 2014-1454 du 5 décembre 2014 relatif à la formation professionnelle des jeunes sortant sans qualification professionnelle du système éducatif ;
- Décret n° 2017-791 du 5 mai 2017 relatif au certificat de professionnalisation en matière de lutte contre le décrochage scolaire ;
- Décret n° 2019-218 du 21 mars 2019 relatif aux nouvelles compétences des régions en matière d'information sur les métiers et les formations ;
- Décret n° 2020-978 du 5 août 2020 relatif à l'obligation de formation des jeunes de seize à dix-huit ans ;
- Décret n° 2014-800 du 15 juillet 2014 relatif à la coopération entre les services de l'Etat et le conseil général en vue de favoriser la mixité sociale dans les collèges publics.

2.3. Au-delà, l'EPLE a connu des évolutions significatives depuis quinze ans dont les textes ici mentionnés ne représentent qu'un échantillon : réforme de la voie professionnelle en 2008 et sa transformation en 2018, réforme du collège en 2016, réformes du lycée (voies générale et technologique en 2010 et en 2018) qui introduisent des marges d'autonomie dans l'action pédagogique mise en œuvre au sein de l'EPLE, notamment par la mise à disposition de 20 % du temps d'enseignement pour l'organisation d'enseignements complémentaires, sous forme d'accompagnement personnalisé ou de parcours interdisciplinaires.

3. Mesures portant sur la gouvernance, le pilotage et le fonctionnement des EPLE

Gouvernance des EPLE :

- Décret n° 2013-852 du 24 septembre 2013 relatif aux groupements d'établissements constitués en application de l'article L. 423-1 du code de l'éducation (codifié) : ce décret prévoit les modalités d'organisation et de fonctionnement des groupements d'établissements (GRETA) constitués par les établissements publics locaux d'enseignement (EPLE) pour l'exercice de leurs missions de formation continue des adultes.
- Décret n° 2013-895 du 4 octobre 2013 relatif à la composition et aux compétences du conseil d'administration des établissements publics locaux d'enseignement (codifié) : ce décret modifie la composition du conseil d'administration des lycées professionnels pour y renforcer la représentation du monde économique, tire les conséquences de la participation de la collectivité de rattachement au contrat d'objectifs des établissements publics locaux d'enseignement et articule les compétences du conseil d'administration des établissements publics locaux d'enseignement avec celles du conseil école-collège.

Simplification du contrôle des actes des EPLE :

- Décret n° 2015-749 du 24 juin 2015 relatif aux modalités de transmission du budget des établissements publics locaux d'enseignement ;
- Décret n° 2015-750 du 24 juin 2015 relatif au traitement dématérialisé d'actes des établissements publics locaux d'enseignement du ministère de l'éducation nationale et modifiant les dispositions

réglementaires du code de l'éducation relatives à l'organisation et au fonctionnement de ces établissements ;

- Décret n° 2019-838 du 19 août 2019 portant diverses mesures de simplification pour le ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse ;
- Décret n° 2016-1228 du 16 septembre 2016 relatif aux modalités d'élection des représentants des lycéens au sein du conseil d'administration et du conseil de discipline des établissements publics locaux d'enseignement relevant du ministre chargé de l'éducation ;

Pilotage des EPLE :

- Décret n° 2010-99 du 27 janvier 2010 relatif à l'organisation et au fonctionnement des établissements publics locaux d'enseignement ;
- Décret n° 2014-522 du 22 mai 2014 relatif aux procédures disciplinaires dans les établissements d'enseignement du second degré ;
- Décret n° 2016-1631 du 29 novembre 2016 instituant les conseils de la vie collégienne.

Prise en charge des élèves en situation de handicap / école inclusive :

- Décret n° 2014-724 du 27 juin 2014 relatif aux conditions de recrutement et d'emploi des accompagnants des élèves en situation de handicap.

Bourses des élèves :

- Décret n° 2016-328 du 16 mars 2016 relatif aux bourses nationales de collège et aux bourses nationales d'études du second degré de lycée.

Restauration scolaire :

- Décret n° 2011-1227 du 30 septembre 2011 relatif à la qualité nutritionnelle des repas servis dans le cadre de la restauration scolaire.

ANNEXE 2

Les missions de l'EPLÉ

3 PILIERS



AUTONOMIE



PROJET D'ÉTABLISSEMENT



INSTANCES



LES ACTEURS

- Équipe de direction
- Communauté éducative
- Collectivités territoriales
- Partenaires institutionnels

4 MISSIONS

1



MISSION D'ENSEIGNEMENT

- Mise en œuvre des programmes
- Examens, évaluations, certifications, concours
- Orientation, insertion et préparation à la vie professionnelle
- Inclusion scolaire
- Formation continue et apprentissage tout au long de la vie
- Dispositifs d'accompagnement

2



MISSION ÉDUCATIVE

- Laïcité et valeurs de la République
- Éducation à la citoyenneté
- Démocratie scolaire
- Actions de prévention

3



GESTION DES RESSOURCES HUMAINES

- Organisation des services et des emplois du temps
- Accompagnement des personnels
- Actions de formation
- Recrutement de certains personnels (AED, AESH, assistants pédagogiques, etc.)

4



GESTION MATÉRIELLE, FINANCIÈRE ET ADMINISTRATIVE

- Sécurité des biens et des personnes
- Accueil, restauration et hébergement
- Entretien et maintenance
- Action sociale en faveur des élèves
- Budget, compte financier, contrôle de gestion



ZOOM SUR LES PARCOURS ÉDUCATIFS

QU'EST-CE QUE C'EST ?

Un **projet de formation globale** de l'élève qui prend appui sur :

- les programmes d'enseignement ;
- les dispositifs pédagogiques et éducatifs mis en place au sein de l'établissement et en dehors.

QUELLES SPÉCIFICITÉS ?

- Une **approche pluridisciplinaire**
- Une **logique partenariale** qui ouvre l'EPLÉ à son environnement
- Un **cheminement** dont l'élève est lui-même acteur
- Une **pédagogie de projet** qui conjugue apprentissages scolaires et expériences extrascolaires

4 PARCOURS MIS EN ŒUVRE DEPUIS 2015

- Parcours Avenir
- Parcours d'éducation artistique et culturelle
- Parcours éducatif de santé
- Parcours citoyen

LES EPLE EN CHIFFRES

7 791 EPLE ⁽¹⁾

→ **5 289** collèges et **2 502** lycées et Eréa
dont 1 528 lycées qui accueillent des lycéens professionnels

13 589 PERSONNELS DE DIRECTION ⁽²⁾

→ **7 325** chefs et **6 264** adjoints

51,6 %
de femmes



48,4 %
d'hommes

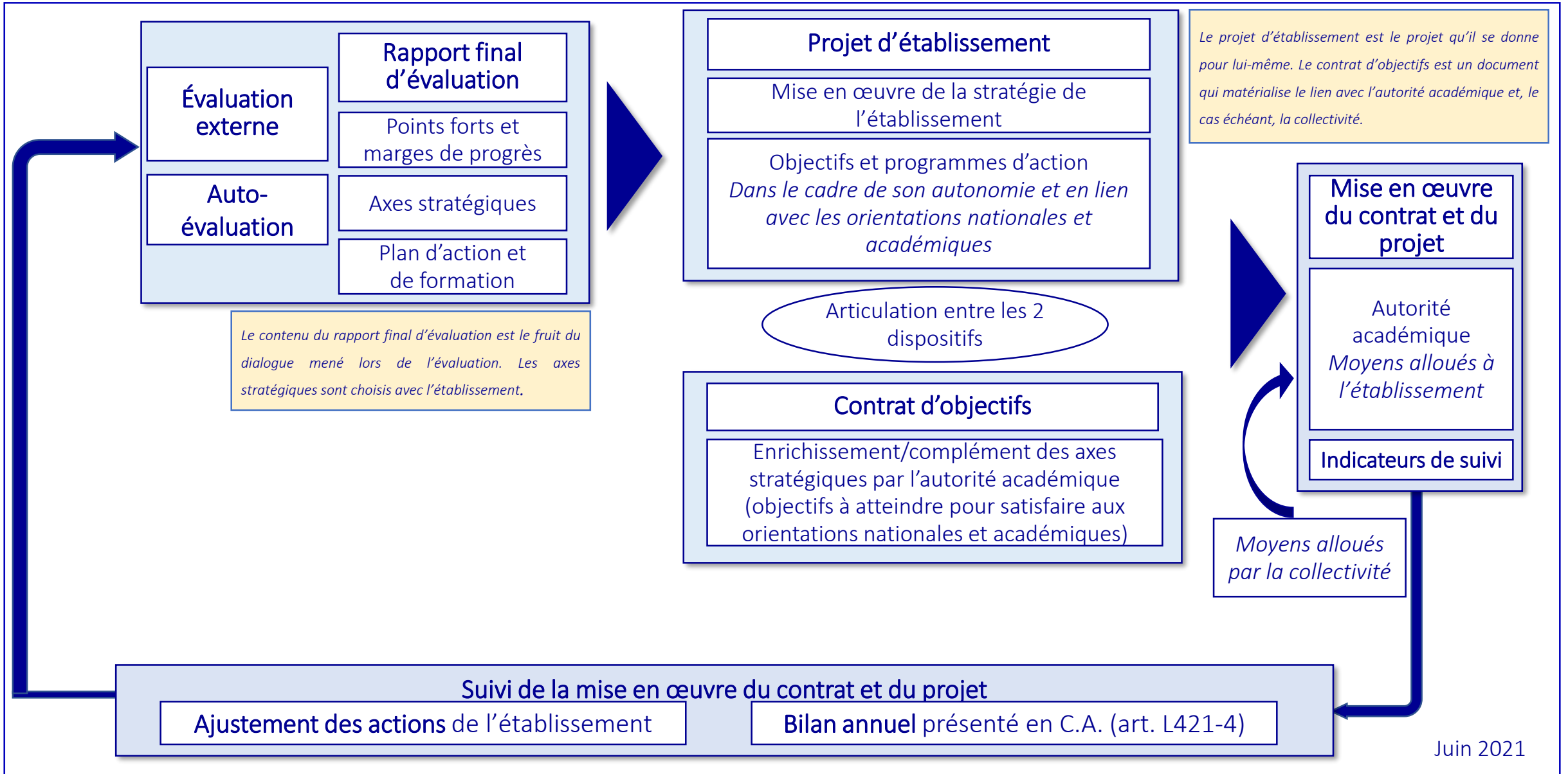
(1) Source : Repères et références statistiques 2020, MENJS-DEPP.

(2) Source : Les chiffres clés de l'encadrement, édition 2021, Secrétariat général – DGRH, Service de l'encadrement.

NB : le chiffre de 13 589 renvoie uniquement aux personnels de direction en EPLE mais n'intègre pas les personnels de direction affectés hors EPLE (détachement sur emploi fonctionnel, réseau AEFÉ, disponibilité, etc.).



Simplification du pilotage des établissements



Personnels

Tableaux d'avancement

Accès à l'échelon spécial du grade de personnel de direction hors classe et à la hors-classe du corps des personnels de direction - année 2022

NOR : MEND2121445N

note de service du 19-7-2021

MENJS - DE 2-1

Texte adressé aux personnels de direction ; aux recteurs et rectrices d'académie ; aux vice-recteurs ; au chef de service de l'éducation nationale à Saint-Pierre-et-Miquelon ; aux autorités compétentes à l'égard des personnels détachés

Références : décret n° 2001-1174 du 11-12-2001 modifié ; arrêté du 10-5-2017 ; arrêté du 10-5-2017 pris pour l'application du 2° et du 3° de l'article 17 du décret n° 2001-1174 du 11-12-2001 modifié ; arrêté du 17-11-2020 ; lignes directrices de gestion ministérielles du 22-10-2020

La présente note de service a pour objet de compléter les lignes directrices de gestion ministérielles citées en référence pour l'établissement des tableaux d'avancement à la hors-classe et à l'échelon spécial de la hors-classe du corps des personnels de direction, au titre de l'année 2022.

I. Date d'examen des conditions requises

Les tableaux d'avancement sont établis au titre de l'année civile.

1. Échelon spécial

Les conditions d'accès à l'échelon spécial s'apprécient au 31 décembre de l'année précédant l'année au titre de laquelle est établi le tableau d'avancement, soit au 31 décembre 2021 pour l'accès à l'échelon spécial au titre de l'année 2022.

2. Hors classe

Tous les personnels remplissant les conditions réglementaires au cours de l'année 2022 peuvent être promus au titre de cette année, à la date de leur éligibilité.

II. Établissement des tableaux d'avancement

Dans le cadre de la préparation des tableaux d'avancement, les recteurs doivent prendre en compte :

- la situation des personnels affectés à la rentrée 2021 dans l'académie, suite à une mobilité inter-académique, un retour d'une collectivité d'outre-mer ou une réintégration après une période de détachement ;
- les propositions adressées, le cas échéant, par le directeur général du Centre national d'enseignement à distance et les directeurs d'établissements nationaux ;
- les personnels de direction en position statutaire de mise à disposition sortante qui relèvent de l'académie qui assure leur rémunération ;
- les personnels de direction en position statutaire de détachement dans un autre corps de l'éducation nationale qui relèvent de l'académie dans laquelle ils sont affectés ;
- les personnels en position de disponibilité depuis le 7 septembre 2018, sous réserve qu'ils aient transmis les pièces justifiant de l'exercice d'une activité professionnelle.

1. Échelon spécial

Au titre de l'année 2022, l'accès à l'échelon spécial se fait dans la limite de 9 % des effectifs du corps. Sont comptabilisés dans les effectifs du corps tous les personnels de direction, quelle que soit leur position statutaire ou le congé dont ils pourraient bénéficier. Ces effectifs sont observés au 31 décembre 2021. L'attention des personnels est attirée sur le fait que les dispositions de l'article 8 du décret n° 88-342 du 11 avril 1988 fixant le régime de rémunération, ont pour conséquence de plafonner l'avantage résultant de l'attribution de la bonification indiciaire prévue au même décret pour la rémunération brute soumise à retenue pour pension civile des chefs d'établissement de 4e catégorie et 4e catégorie exceptionnelle. Il en résulte que leur promotion à l'échelon spécial est sans effet sur leur rémunération et, s'ils sont en fin de carrière, sur leur pension de retraite.

De plus, pour donner sa pleine valeur à la promotion à l'échelon spécial, il est souhaitable de passer au moins 2 ans au grade hors classe avant de bénéficier de cette promotion. Une exception pourra être admise pour les personnels âgés de 62 ans au 1er janvier 2022.

2. Hors classe

Le taux de promotion permettant de déterminer le nombre maximum des avancements de grade pouvant être prononcés dans le corps des personnels de direction est fixé à 11 % pour l'année 2022.

III. Publication des tableaux d'avancement

Les arrêtés collectifs d'inscription aux deux tableaux d'avancement seront publiés le **vendredi 17 décembre 2021** sur le site ministériel.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
La sous-directrice de la gestion des carrières des personnels d'encadrement,
Martine Gauthier

Personnels

Création d'une fonction de professeur référent de groupe d'élèves de lycée d'enseignement général et technologique

Rôle du professeur référent de groupe d'élèves

NOR : MENE2121269N

note de service du 23-8-2021

MENJS - DGESCO A2-1

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; aux vice-recteurs ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-directeurs et directrices académiques des services de l'éducation nationale ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-inspecteurs et inspectrices pédagogiques régionaux ; aux inspecteurs et inspectrices de l'éducation nationale chargés de l'information et de l'orientation ; aux cheffes et chefs d'établissement des lycées d'enseignement général et technologique publics et privés sous contrat, et des établissements d'enseignement français à l'étranger ; aux professeures et professeurs des établissements publics et privés sous contrat et des établissements d'enseignement français à l'étranger

La réforme du lycée d'enseignement général et technologique, et du baccalauréat, implique de mettre en place de nouvelles modalités d'accompagnement personnalisé des élèves. L'enjeu de cet accompagnement personnalisé est que chaque élève puisse gagner en autonomie pour progressivement définir son propre parcours, ce qui lui est nécessaire dans sa démarche d'apprentissage pour réussir son projet de poursuite d'études supérieures.

Dès la fin de la classe de seconde générale et technologique, chaque lycéen est appelé à consolider son projet d'études en procédant au choix de ses spécialités dans la voie générale ou d'une série dans la voie technologique. Sa réflexion se poursuit et s'intensifie pendant les deux années du cycle terminal en parallèle, et grâce au travail mené dans les enseignements de spécialité, pour préparer les deux questions que l'élève présente au jury lors de l'épreuve terminale du Grand oral.

La possibilité donnée aux élèves de choisir leurs spécialités a également conduit les établissements à mettre en place de nouvelles organisations des enseignements du cycle terminal, en particulier, les élèves peuvent désormais appartenir à des groupes différents entre les enseignements communs partagés et les enseignements de spécialité choisis.

Dans ce nouveau cadre, la création d'une fonction de « professeur référent de groupe d'élèves » dans les établissements, publics et privés sous contrat, qui le souhaitent, vise à faciliter l'accompagnement pédagogique et l'orientation de l'élève dans une logique de suivi individualisé de l'élève.

Les professeurs référents de groupe d'élèves interviennent, lorsqu'un établissement en fait le choix, selon une organisation qu'il détermine en fonction de son profil, de son projet et des besoins des élèves qu'il accueille.

Les professeurs référents peuvent exercer leurs missions en complément de celles des professeurs principaux, ou peuvent s'y substituer. Ils peuvent être mis en place uniquement au niveau de la classe de première, uniquement à celui de la classe de terminale, ou aux deux niveaux. Dans tous les cas, l'établissement veille à la complémentarité des activités et s'assure que l'ensemble des missions prévues pour le suivi pédagogique des élèves et leur accompagnement à l'orientation soient prises en charge.

Le dispositif d'organisation du suivi des élèves, porté par l'ensemble de la communauté éducative, s'intègre pleinement au projet d'établissement. À cet effet, ce dispositif est soumis au conseil d'administration dans les établissements publics, ou fait l'objet d'une concertation au sein de l'équipe pédagogique dans les établissements privés sous contrat.

Une fois formalisé, il est communiqué à l'ensemble de la communauté éducative afin d'être connu et compris de tous : des équipes pédagogiques et administratives, des élèves et de leur famille.

Les missions du professeur référent auprès des élèves qui lui sont confiés

Un suivi individualisé renforcé de chaque élève du groupe, prenant en compte leurs besoins

Le professeur référent encadre un groupe de 12 à 18 élèves. Il suit le parcours individuel de chaque élève du groupe qui lui est confié : sa scolarité comme son projet d'orientation. Il propose conseil et tutorat à ces élèves, et pose des jalons d'accompagnement individualisé permettant de les aider à construire leur démarche d'apprentissage et d'orientation. Dans la mesure du possible, afin de favoriser la cohérence du suivi, un même professeur assure les missions de référent auprès des mêmes élèves durant les deux années du cycle terminal.

Le cas échéant, pour assurer cette continuité, la mission de professeur référent peut être confiée à un enseignant qui ne dispense pas de cours aux élèves de son groupe. Toutefois, le choix du professeur référent parmi les enseignants de ces élèves demeure privilégié.

Un accompagnement pédagogique adapté à chaque élève du groupe, en fonction de leurs résultats et de leur progression

Le professeur référent organise un accompagnement pédagogique adapté à chacun des élèves du groupe dont il a la charge, en articulation avec les actions menées par le professeur principal. Il identifie avec chacun des élèves les compétences qu'ils doivent renforcer au vu de leurs résultats et de l'analyse qu'ils font de leurs difficultés éventuelles, et leur propose les conseils méthodologiques utiles à leur progression, en lien avec le professeur chargé de l'enseignement. Le cas échéant, il apporte une réponse aux besoins éducatifs particuliers que les élèves du groupe peuvent formuler. En vue d'assurer ce suivi individualisé renforcé des élèves dont il a la charge, et adapter au mieux son accompagnement aux besoins des élèves, il peut organiser des entretiens individuels ou des séances collectives.

Une aide à l'orientation, concertée avec l'équipe pédagogique, les familles et le psychologue de l'éducation nationale rattaché à son établissement

En collaboration avec le psychologue de l'éducation nationale rattaché à son établissement et dans le cadre d'un dialogue avec les parents des élèves, le professeur référent accompagne les élèves dont il a la charge dans la conception de leur projet d'orientation, les guide dans leurs recherches sur les attendus des formations de l'enseignement supérieur et les débouchés professionnels des différents cursus. Il les accompagne pendant les deux années du cycle terminal dans leur démarche de réflexion sur leur projet de poursuite d'études et leur apporte un suivi dans le cadre de leur préparation de l'épreuve du Grand oral. Le cas échéant, il organise le lien entre les deux enseignants de spécialité concernés lorsque l'élève opte pour une question transversale à ses deux enseignements de spécialité pour cette épreuve orale terminale. Dans la voie générale, le professeur référent accompagne les élèves de première du groupe dont il a la charge, dans leur choix d'enseignements de spécialité pour la classe de terminale, au vu de leur projet de poursuite d'études. En classe de terminale, il suit avec chacun d'eux les démarches à mettre en œuvre sur la plateforme nationale d'accès à l'enseignement supérieur Parcoursup en vue de leur préinscription en première année dans l'enseignement supérieur. Il contribue à la mise en œuvre des procédures d'orientation, d'affectation et d'admission des élèves de son groupe.

Les missions du professeur référent au sein de la communauté éducative

En vue du conseil de classe, le professeur référent participe à des temps d'échanges formalisés avec les autres membres de la communauté éducative, au cours desquels il partage ses observations sur le groupe d'élèves dont il a la charge. Durant le conseil de classe, il expose les résultats obtenus par les élèves qu'il suit et formule ses observations concernant les conseils en orientation formulés par l'équipe en ce qui concerne les élèves de son groupe. En cas d'absence au conseil de classe, le professeur référent transmet ses observations au professeur principal.

Lorsque le dispositif choisi par l'établissement prévoit uniquement un professeur référent et pas de professeur principal en classe de première ou de terminale, le professeur référent assure, outre les missions précisées ci-dessus, celles du professeur principal telles que définies par la circulaire n° 2018-108 du 10 octobre 2018 relative au rôle du professeur principal dans les collèges et les lycées.

En particulier, il veille à transmettre aux familles des élèves de son groupe les informations concernant les démarches de demande de bourses nationales d'études ou les possibilités de sollicitation du fonds social lycéen (financement des dépenses liées à la cantine ou aux vêtements de sport, aux manuels et aux fournitures scolaires, aux transports et sorties scolaires, aux achats de lunettes, appareils auditifs ou dentaires). Il communique également aux familles des élèves de son groupe des informations sur la vie scolaire, susceptibles de les intéresser, telles que l'offre d'activités culturelles dans l'établissement (club théâtre, association sportive, etc.), l'organisation d'actions éducatives (Stages de réussite, Vacances apprenantes/École ouverte), ou le rôle et les horaires de permanence de l'infirmière scolaire dans l'établissement, etc.

S'agissant du conseil de classe, il en coordonne alors la préparation, avec le ou les autres professeurs référents de la classe, avec lesquels il rédige l'avis formulé sur les fiches d'orientation après concertation lors du conseil de classe au premier trimestre ou semestre. Il réunit les éléments permettant au conseil de classe de se prononcer sur les vœux de poursuite d'études des élèves afin d'éclairer le chef d'établissement appelé à émettre un avis sur chacun de ces vœux.

Formation

Dans le cadre du plan académique de formation, les professeurs référents d'un groupe d'élèves bénéficient de dispositifs leur permettant d'acquérir de nouveaux outils, de partager leurs pratiques avec leurs pairs et de

disposer d'une expertise sur les actions qu'ils mettent en œuvre dans le cadre de leur mission.

Les formations académiques peuvent porter sur une ou plusieurs missions du professeur référent d'un groupe d'élèves citées ci-dessus. La mission d'accompagnement à l'orientation peut faire l'objet de formations dédiées, compte tenu de son caractère transdisciplinaire et de la nécessité de travail de coordination qu'elle implique avec différents partenaires de l'éducation nationale. Les services académiques d'information et d'orientation (SAIO) peuvent en définir les objectifs, les contenus ainsi que les modalités d'organisation. Au niveau de chaque bassin, district ou établissement, le recours aux formations d'initiative locale doit également être envisagé.

Un ensemble de ressources contribuant à la formation des professeurs est également mis à disposition via la plateforme de l'éducation nationale M@gistère et les sites ministériels et académiques.

Reconnaissance financière

La reconnaissance financière des fonctions de professeur référent d'un groupe d'élèves se traduit par le versement d'une part modulable de l'indemnité de suivi et d'orientation des élèves (Isoe), telle que définie par le décret n° 93-55 du 15 janvier 1993 modifié, au titre du groupe d'élèves dont il a la charge sur l'année scolaire. À chaque part modulable de professeur principal peuvent être substituées deux parts modulables de professeur référent dans les classes de première et de terminale des lycées d'enseignement général et technologique, selon l'organisation définie par l'établissement.

Quelles que soient la modalité d'organisation choisie et la répartition des missions entre les professeurs principaux et les professeurs référents de groupe d'élèves, cette répartition est circonscrite à un plafond fixé pour une année scolaire, qui est déterminé par la somme des parts modulables résultant du nombre de divisions de cycle terminal au sein de ces établissements.

Dans les établissements où l'exercice des fonctions de professeur principal ou de professeur référent de groupe d'élèves comporte des difficultés particulières tenant à l'environnement socioéconomique et culturel de l'établissement, le plafond est fixé selon la même règle, mais en tenant compte du fait que deux professeurs par division perçoivent chacun une part modulable de professeur principal.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Édouard Geffray

Mouvement du personnel

Nomination

Administrateur provisoire de l'Institut national supérieur du professorat et de l'éducation de l'académie de Nice au sein de l'université Côte d'Azur

NOR : ESRS2123045A

arrêté du 26-8-2021

MENJS - MESRI - DGESIP A1-3

Par arrêté du ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports et de la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation en date du 26 août 2021, il est mis fin, à sa demande, aux fonctions de directrice de l'Institut national supérieur du professorat et de l'éducation de l'académie de Nice au sein de l'université Côte d'Azur exercées par Catherine Blaya, à compter du 1er août 2021.

Monsieur Emmanuel Tric, professeur des universités, est nommé en qualité d'administrateur provisoire de l'Institut national supérieur du professorat et de l'éducation de l'académie de Nice au sein de l'université Côte d'Azur, à compter du 1er août 2021, jusqu'à la date de nomination d'un nouveau directeur.

Mouvement du personnel

Intégration

Inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche

NOR : MENI2119085D

décret du 19-7-2021 - JO du 21-7-2021

MENJS - MESRI - SG

Par décret du président de la République en date du 19 juillet 2021, Hervé Tilly, administrateur général, est intégré dans le corps des inspecteurs généraux de l'éducation, du sport et de la recherche, dans le grade d'inspecteur général de 1re classe.

Informations générales

Appel à manifestation d'intérêt

Dispositif Accueil langues

NOR : MENE2124898X

appel à manifestation d'intérêt du 16-8-2021

MENJS - DGESCO C1-3

Texte adressé aux recteurs et rectrices d'académie ; aux inspecteurs et inspectrices d'académie-directeurs et directrices académiques des services de l'éducation nationale ; aux inspecteurs et inspectrices de l'éducation nationale en charge du dossier langues vivantes

Les missions liées aux politiques de jeunesse, d'éducation populaire, de vie associative, de sport et d'engagement sont désormais rattachées au ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et les personnels qui y concourent exercent ces missions dans les services académiques.

Dans ce contexte, le ministère participe désormais activement au développement des dispositifs proposés aux élèves et aux familles dans le cadre du temps périscolaire. Sa politique volontariste de diffusion des langues et d'amélioration des apprentissages des élèves en langues vivantes étrangères et régionales se trouve potentiellement renforcée par un dispositif appelé Accueil langues, qui consiste à mettre en œuvre des activités culturelles, artistiques et sportives en langues étrangères et régionales dans le cadre du temps périscolaire. Ces activités s'articulent aux enseignements dispensés dans le cadre du temps scolaire, les complètent et les enrichissent.

Ces activités peuvent être développées par le biais d'un partenariat entre l'État, les collectivités territoriales et les fédérations d'éducation populaire. Les modalités de l'offre périscolaire retenue peuvent être ensuite décrites dans le cadre d'une convention relative à la mise en place d'un projet éducatif territorial entre les collectivités territoriales et les autorités académiques de l'éducation nationale telle que proposée dans le cadre du Plan mercredi.

L'autorité éducative locale de référence est la direction des services départementaux de l'éducation nationale (DSDEN).

La DSDEN sollicite l'inspecteur de l'éducation nationale (IEN) en charge du dossier langues vivantes, qui apporte son expertise et travaille à l'articulation entre l'enseignement scolaire et les activités périscolaires. La DSDEN mobilise également le groupe d'appui départemental (GAD) et le service départemental à la jeunesse, à l'engagement et aux sports (SJES), qui assurent l'étude des candidatures, le suivi et l'évaluation du dispositif. Les DSDEN sont également sollicitées dans la réception et l'analyse des dossiers de candidature, qui seront téléchargeables depuis leur site officiel.

Le dépôt des dossiers aura lieu **du 6 septembre au 11 octobre 2021**.

Le dossier de présentation du dispositif Accueil langues ainsi que le dossier de candidature sont annexés au présent document.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,

Le directeur général de l'enseignement scolaire,

Édouard Geffray

Annexe 1

➔ Dossier de présentation du dispositif Accueil langues

Annexe 2

➔ Dossier de candidature Accueil langues

Annexe 1

Accueil langues : un dispositif pour développer les activités en langues vivantes dans le périscolaire

Appel à manifestation d'intérêt

Auprès des collectivités territoriales et des fédérations
d'éducation populaire en charge de l'accueil collectif des
mineurs



Direction générale
de l'enseignement
scolaire

Table des matières

Résumé.....	2
1. Contexte et objectifs.....	2
1.1 Éléments de contexte.....	2
1.2 Objectifs pédagogiques et linguistiques.....	3
1.3 Appel à manifestation d'intérêt pour le déploiement d'un accueil langues.....	4
2. Cahier des charges.....	5
3. Procédure de candidature.....	6
4. Calendrier.....	6

Résumé

Les missions liées aux politiques de jeunesse, d'éducation populaire, de vie associative, de sport et d'engagement sont désormais rattachées au ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et les personnels qui y concourent exercent ces missions dans les services académiques.

Dans ce contexte, le ministère participe désormais activement au développement des dispositifs proposés aux élèves et aux familles dans le cadre du temps périscolaire. Sa politique volontariste de diffusion des langues et d'amélioration des apprentissages des élèves en langues vivantes étrangères et régionales se trouve potentiellement renforcée par un dispositif appelé Accueil langues, qui consiste à mettre en œuvre des activités culturelles, artistiques et sportives en langues étrangères et régionales dans le cadre du temps périscolaire. Ces activités s'articulent aux enseignements dispensés dans le cadre du temps scolaire, les complètent et les enrichissent.

Ces activités, proposées dans le cadre périscolaire, peuvent être développées par le biais d'un partenariat entre l'État, les collectivités territoriales et les fédérations d'éducation populaire. Les modalités de l'offre périscolaire retenue peuvent être ensuite décrites dans le cadre d'une convention relative à la mise en place d'un projet éducatif territorial entre les collectivités territoriales et les autorités académiques de l'éducation nationale telle que proposée dans le cadre du Plan mercredi.

La collectivité, ou par délégation la fédération d'éducation populaire, assure la bonne coordination du projet Accueil langues et veille, dans la mesure du possible, à la stabilité et à la permanence de l'équipe constituée pour assurer ces activités sur un temps de loisir périscolaire dédié et régulier.

1. Contexte et objectifs

1.1 Éléments de contexte

Le Plan langues vivantes pour les langues vivantes étrangères

Le Plan langues vivantes encourage une précocité de l'exposition aux langues vivantes étrangères ainsi qu'une ouverture à la diversité linguistique. Il enrichit l'offre linguistique de l'École et soutient les initiatives qui visent une articulation de l'exposition aux langues vivantes des élèves sur le temps scolaire et dans les activités périscolaires.

La maîtrise des langues vivantes étrangères est une compétence essentielle pour la réussite des élèves. C'est en ce sens que le Plan langues vivantes vise à renforcer les acquis des élèves dès le primaire en renforçant les enseignements de langue et en langue vivante. Dans le secondaire, les classes bilingues au collège, les sections européennes et de langues orientales (Selo) ainsi que les enseignements de disciplines non linguistiques en langues vivantes (hors Selo) au collège et au lycée poursuivent leur développement. La conception de modalités innovantes d'enseignement des langues, la création d'outils d'évaluation et de positionnement ainsi que la dynamique de renforcement des enseignements internationaux attestent d'une politique volontariste en faveur des langues vivantes étrangères.

Le cas particulier des langues vivantes régionales (LVR) : cadre législatif et réglementaire de leur enseignement

L'apprentissage précoce des langues vivantes régionales et l'exposition précoce à ces langues, notamment par la fréquentation d'œuvres et de ressources pédagogiques en langue régionale dès l'école primaire, participe de la réussite des élèves, au même titre que ceux des langues vivantes étrangères. L'article L. 216-1 du Code de l'éducation précise que les activités éducatives, sportives et culturelles complémentaires organisées par les collectivités territoriales dans les établissements

scolaires pendant leurs heures d'ouverture peuvent porter sur la connaissance des langues et des cultures régionales.

Par ailleurs, la circulaire n° 2017-072 du 12 avril 2017 relative à l'enseignement des langues et cultures régionales indique que l'apprentissage des LVR peut en outre être précédé par des actions de sensibilisation et d'initiation à l'école maternelle, sous la conduite d'un enseignant et/ou d'un intervenant extérieur.

Plan mercredi

Cette offre linguistique peut s'inscrire dans le cadre du Plan mercredi, qui repose sur un partenariat renouvelé entre les collectivités territoriales et les services de l'État pour répondre à des besoins éducatifs identifiés sur le territoire. Le Plan mercredi est mis en place à la suite d'un constat : pour que tous les enfants puissent bénéficier le mercredi d'activités propices à leur épanouissement et à leur réussite, il est indispensable de penser ce temps éducatif en articulation avec les enseignements. Le Plan mercredi est le cadre de confiance pour encourager et consolider les projets portés par les collectivités, et améliorer encore la qualité des activités proposées aux enfants le mercredi. La mise en œuvre du Plan mercredi relève des initiatives locales que l'État accompagne.

Une collectivité qui choisit de s'engager dans la dynamique du Plan mercredi est accompagnée dans l'organisation d'activités périscolaires diversifiées de grande qualité. Le cadre juridique, sécurisé, relève du Code de l'action sociale et des familles, notamment avec le contrôle de l'honorabilité des intervenants. Le Plan mercredi procède d'un effort conjoint de l'État, des organismes sociaux et du secteur associatif pour accompagner les collectivités volontaires.

Dans ce contexte, le ministère encourage une offre d'activités culturelles, artistiques et sportives en langues vivantes dans le cadre périscolaire, au sein de laquelle l'ensemble des langues vivantes étrangères et régionales enseignées dans le cadre du système éducatif a vocation à trouver sa place. L'objectif est d'encourager les collectivités territoriales à proposer ces activités en langues vivantes dans le cadre des accueils collectifs de mineurs pour lesquels elles ont compétence et responsabilité.

Cette offre serait en adéquation avec les 4 grands principes de [la charte de qualité du Plan mercredi](#) :

- la complémentarité et la cohérence éducatives des différents temps de l'enfant ;
- l'accueil de tous les publics (enfants et leurs familles) ;
- la mise en valeur de la richesse des territoires (notamment en lien avec le contexte sociolinguistique) ;
- le développement d'activités éducatives de qualité.

L'appel à manifestation d'intérêt s'inscrit dans le cadre du développement des coordinations des actions de l'État, des collectivités et des organismes œuvrant dans le champ éducatif, décrites en particulier dans l'article L. 551-1 du Code de l'éducation relatif aux activités périscolaires et au projet éducatif territorial.

1.2 Objectifs pédagogiques et linguistiques

L'objectif du dispositif Accueil langues est d'encourager et accompagner les collectivités territoriales, en leur apportant un appui en termes de sélection des intervenants, de garantie de leur niveau de compétence et de ressources pédagogiques. Ce dispositif présente de nombreux avantages :

- encourager les collectivités territoriales et les fédérations d'éducation populaire à proposer des activités culturelles, artistiques et sportives en langues étrangères ou régionales dans le cadre des accueils collectifs de mineurs dont elles ont compétence et responsabilité ;

- cibler les collectivités effectivement intéressées et engagées : l'État apporte son soutien aux activités, qui, dans le périscolaire, exposent les élèves aux langues et aux cultures étrangères et régionales. Le périscolaire peut être le lieu et le temps d'un renforcement de l'exposition à la langue étrangère ou régionale ;
- inscrire ces modalités dans le cadre d'une convention relative à la mise en place d'un projet éducatif territorial (dans le cadre notamment des conventions État/Région/offices publics) ;
- proposer un label de qualité qui garantisse la pertinence pédagogique du dispositif, son intérêt pour les élèves, ce qui permettrait de rendre le dispositif attractif pour les familles.

Une démarche de découverte de la langue et de sa culture peut être proposée aux enfants de l'âge de la classe de grande section (cycle 1) sous la forme d'ateliers ludiques et d'activités créatives pour être poursuivie et développée pour les enfants de l'âge du cycle 2, puis du cycle 3 jusqu'à la classe de CM2. Ce sont les compétences de l'oral qui sont alors privilégiées, à travers l'écoute et la mémorisation, la mise en voix, la conversation et les jeux. L'usage de documents authentiques dans les langues concernées, tel que la littérature de jeunesse, les contes, comptines et chansons pour enfants, permet d'éduquer l'oreille à de nouvelles sonorités et d'éveiller le regard à un environnement visuel différent. Une découverte de l'alphabet arabe, de l'alphabet cyrillique pour le russe ou des caractères chinois est possible, à la condition d'être mise en œuvre de façon très progressive et ludique en prenant appui sur des ressources et supports adaptés.

1.3 Appel à manifestation d'intérêt pour le déploiement d'un accueil langues

Le ministère lance donc un appel à manifestation d'intérêt (AMI) à l'attention des collectivités territoriales et des fédérations d'éducation populaire. Le cahier des charges exposé ci-dessous fixe les modalités de mise en œuvre, d'accompagnement et de suivi des dispositifs linguistiques qui seraient proposées dans les accueils collectifs de mineurs.

Afin de décrire les modalités de l'offre périscolaire, deux types de conventionnement entre les collectivités territoriales et les autorités académiques de l'éducation nationale sont proposés :

- une [convention relative à la mise en place d'un projet éducatif territorial](#) entre les collectivités territoriales et les autorités académiques de l'éducation nationale, telle que proposée dans le cadre du Plan mercredi, décrit les modalités de l'offre périscolaire retenue ;
- dans le cas d'un accueil langues en langue régionale, un cahier des charges inscrit dans le cadre des conventions État/Région/office public de langue régionale. Ces conventions visent à établir des dispositifs en faveur de la promotion et du développement de l'enseignement des langues vivantes régionales sur un territoire.

La collectivité, ou par délégation la fédération d'éducation populaire, assure la bonne coordination du projet Accueil langues et veille, dans la mesure du possible, à la stabilité et à la permanence de l'équipe constituée pour assurer ces activités sur un temps de loisir périscolaire dédié et régulier. La collaboration entre les différents acteurs visera à construire un projet pérenne, reposant sur un recrutement adapté (personnel natif ou locuteur de la langue, ou personnel qualifié). Cette collaboration permet également de valoriser la langue vivante étrangère ou régionale et son lien étroit avec le territoire dans lequel elle est pratiquée ou enseignée, en donnant un rôle actif aux collectivités, ou par délégation aux fédérations, dans la mise en place d'activités de découverte de la langue et de sa culture.

L'autorité éducative locale de référence est la direction des services départementaux de l'éducation nationale. L'inspecteur de l'éducation nationale en charge du dossier langue vivante apporte son expertise et travaille aux liens entre le scolaire et le périscolaire. Le suivi et l'évaluation sont assurés par le groupe d'appui départemental (GAD) et le service départemental à la jeunesse, à l'engagement

et aux sports (SDJES). Le ministère propose un accompagnement sur le plan de l'expertise pédagogique et met à disposition des acteurs des ressources pédagogiques. Dans la mesure du possible, les personnels recrutés pour l'accueil langues sont associés aux formations pédagogiques d'écoles ou départementales selon des conditions à définir localement. Les conseillers pédagogiques peuvent accompagner les intervenants sur le terrain et mettre à disposition des collectivités les ressources pédagogiques nationales et académiques.

La direction générale de l'enseignement scolaire et l'Inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche mettent à disposition une mallette de ressources destinées à former les intervenants à l'approche didactique des langues vivantes et à les outiller en supports authentiques adaptés aux âges des enfants concernés. Pour les langues régionales, les ressources didactiques pourront être celles que partagent les académies et les offices. Les partenaires institutionnels (comme l'IMA, l'Inalco, Réseau Canopé, les offices publics de langues régionales, etc.) participent à la mise à disposition de ressources et sont sollicités pour produire des modules d'accompagnement à distance. Un module de formation M@gistère peut être développé et mis à disposition des collectivités candidates.

2. Cahier des charges

L'AMI propose un cahier des charges fixant les contours d'une labellisation Accueil langues dont les axes sont les suivants :

- le choix de la langue retenue parmi l'ensemble des langues vivantes étrangères enseignées sur le territoire éducatif ciblé et/ou parmi les langues vivantes régionales suivantes : basque, breton, catalan, corse, créole, gallo, occitan-langue d'oc, langues régionales d'Alsace, langues régionales des pays mosellans, tahitien, langues mélanésiennes (drehu, nengone, paicî, ajië), wallisien, futunien, kibushi et shimaoré ;
- la nature des projets : les projets présentés devront décrire précisément leur manière de répondre aux attendus nationaux (décrits dans la partie 1 contexte et objectifs) et aux besoins spécifiques territoriaux ;
- le champ des bénéficiaires directs et indirects potentiels devra être décrit et justifié avec précision ;
- la configuration des lieux et de l'infrastructure et les éventuels aménagements devront être anticipés afin d'offrir un cadre fonctionnel correspondant aux exigences citées plus haut. Les besoins en ressources humaines et structurelles pour justifier d'horaires d'ouverture adaptés et d'un accès satisfaisant aux services (en interaction avec un intervenant ou par voie numérique) devront être anticipés ;
- la démarche qualité de la procédure de recrutement des intervenants : profilage des candidats, niveau de langue exigé, candidats natifs/locuteurs, personnels qualifiés ou certifiés, etc. ;
- la formation des intervenants à la conception et à l'animation d'ateliers d'activités culturelles, artistiques et sportives en langue vivante ;
- le recours à des ressources pédagogiques institutionnelles et des supports linguistiques authentiques ;
- le lien avec le projet éducatif mis en place dans l'école de rattachement, le cas échéant (continuité avec les langues enseignées notamment et/ou avec les projets pédagogiques linguistiques) ;

- la mise à disposition d'équipements numériques et audiovisuels adaptés à la pratique des langues (diffusion, enregistrement, communication, etc.) ;
- la valorisation et la diffusion des actions et des réalisations accomplies dans le cadre des accueils langues ;
- le recours à des intervenants ponctuels valorisant l'ouverture et la découverte culturelle (compagnie de théâtre, auteurs, artistes, etc.) ;
- l'information de ces modalités de découverte et d'enseignement de la langue auprès des familles potentiellement intéressées (déterminer à quel niveau : local/régional/autre) ;
- les données à caractère personnel : les porteurs de projet s'engagent à se conformer au règlement général sur la protection des données (règlement UE 2016/679 du 27 avril 2016) ;
- le suivi et l'évaluation de l'accueil langues sont assurés par le SDJES et le GAD.

3. Procédure de candidature

DOSSIERS DE CANDIDATURE

Le dossier de candidature est téléchargeable sur le site de la direction des services départementaux de l'éducation nationale de votre département (DSDEN).

DÉPÔT DES DOSSIERS

Les dossiers de candidature doivent être déposés sous forme électronique à compter du 6 septembre 2021 et jusqu'au 11 octobre minuit (heure de Paris, la date et l'heure de réception faisant foi).

DOSSIER DE CANDIDATURE SIGNÉ

Les personnes habilitées à représenter les établissements partenaires du projet devront signer une lettre d'engagement qui confirmera les apports (financiers, humains, locaux, etc.) sur la durée du projet tels que précisés dans les documents de soumission. Cet élément devra impérativement être scanné et déposé sur le site mentionné ci-dessus.

Les modalités de soumission sont précisées et détaillées dans le dossier de candidature.

DEMANDE DE RENSEIGNEMENTS

Vous pouvez poser vos questions directement sur le site de votre DSDEN.

4. Calendrier

- Lancement de l'appel à manifestation d'intérêt : 26 août 2021.
- Clôture des inscriptions : 11 octobre 2021.
- Lancement de l'accueil langues : 8 novembre 2021.

Annexe 2

Dossier de manifestation d'intérêt

**Dossier de manifestation d'intérêt à compléter et à renvoyer avant le
11 octobre 2021 :**

- à la DSDEN concernée

**Mentionner en objet du message :
« AMI – ACCUEIL LANGUES »**

Dossier de candidature

Accueil langues : un dispositif pour développer les activités en langues vivantes dans le périscolaire

Réponse à l'appel à manifestation d'intérêt

Première demande

Renouvellement d'une demande

Cadre réservé à la DSDEN

Date d'arrivée :

Transmis à :

Date de transmission :

Demande de précision/complément/document :

Suite donnée :

I. Présentation de la structure

Nom :

Sigle :

Objet :

Activités principales réalisées :

Adresse :

Téléphone :

Code postal :

Commune :

Courriel :

Site Internet :

Personne morale Personne physique

Précisez :

Identification de la personne référente

Nom :

Prénom :

Fonction :

Téléphone :

Courriel :

Votre structure dispose-t-elle d'agrément(s) administratif(s) ? oui non

Si oui, lesquels ?

II. Éléments généraux du projet

Zone d'intervention proposée (noms et communes des écoles)	
Publics visés	<input type="checkbox"/> Maternelle <input type="checkbox"/> Primaire <input type="checkbox"/> Préciser le niveau si souhaité :
Offre linguistique	Langues vivantes étrangères : <input type="checkbox"/> Allemand <input type="checkbox"/> Anglais <input type="checkbox"/> Arabe <input type="checkbox"/> Chinois <input type="checkbox"/> Espagnol <input type="checkbox"/> Italien <input type="checkbox"/> Portugais <input type="checkbox"/> Autre, à préciser : Langues vivantes régionales : <input type="checkbox"/> Basque <input type="checkbox"/> Breton <input type="checkbox"/> Catalan <input type="checkbox"/> Corse <input type="checkbox"/> Créole <input type="checkbox"/> Gallo <input type="checkbox"/> Occitan-langue d'oc <input type="checkbox"/> Langues régionales d'Alsace <input type="checkbox"/> Langues régionales des pays mosellans <input type="checkbox"/> Tahitien <input type="checkbox"/> Langues mélanésiennes (drehu, nengone, paicî, ajië) <input type="checkbox"/> Wallisien ou futunien <input type="checkbox"/> Kibushi ou shimaoré <input type="checkbox"/> Autre, à préciser :

Typologie des activités	<input type="checkbox"/> Artistiques <input type="checkbox"/> Culturelles <input type="checkbox"/> Initiation à la langue <input type="checkbox"/> Ludiques <input type="checkbox"/> Sportives <input type="checkbox"/> Autre, à préciser :
Date estimée du début de l'intervention	
Fréquence	
Nombre d'interventions envisagées dans l'année	
Présentation globale du projet (vidéo, plaquette, témoignage, etc.)	
Modalités de mise en œuvre (durée de l'action, nombre de séquences, possibilité de co-construction avec l'équipe pédagogique/ éducative)	
Coût éventuel pour l'établissement	<input type="checkbox"/> Oui (sur devis) <input type="checkbox"/> Non

III. Articulation scolaire/périscolaire

Lien avec les programmes	
Lien avec le Plan mercredi	

Évaluation des besoins en ressources	
Articulation et continuité avec le scolaire	
Articulation éventuelle avec les axes du projet éducatif	
Objectif à court/moyen terme	

IV. Besoins et suivi de l'opération

Besoin interne d'accompagnement	
Aspect RH (bénévoles, animateurs, évaluation des compétences linguistiques des intervenants/diplômés)	
Valorisation des productions	
Communication auprès des familles	

Quelles sont, le cas échéant, les modalités d'échanges envisagées avec les partenaires (collectivité territoriale, DSDEN) participant à l'opération ?

Commentaires libres

IV. Pièces à joindre au dossier

Les pièces ci-dessous sont nécessaires à l'instruction du dossier :

- le présent dossier ;
- les statuts de la structure ;
- l'état des partenariats (attestés par les conventions correspondantes le cas échéant) (facultatif) ;
- une lettre de motivation où figurent :
 - les territoires de mise en œuvre de l'activité ;
 - les réponses aux différents critères de l'offre d'intervention ;
 - l'engagement à participer à des échanges avec les autres structures participant à l'offre d'intervention.

V. Attestation de la structure ou de la personne physique

Je soussigné....., en qualité de signataire et représentant légal de la structure (ou signataire avec délégation du représentant légal de la structure), sollicite d'intervenir sur le dispositif Accueil langues.

- J'atteste sur l'honneur l'exactitude des renseignements mentionnés ci-dessus.
- Je m'engage au nom de la structure dont je suis le représentant légal à respecter les différents critères liés à toute offre d'intervention.
- Je m'engage à transmettre un bilan synthétique des actions conduites en fin d'année scolaire (début juin).

Fait à le :

Fonction du signataire :

Cachet et signature de la structure (représentant légal ou délégué) ou de la personne physique

Informations générales

Conseils, comités, commissions

Liste nominative des représentants à la commission centrale d'action sociale : modification

NOR : MENA2125038A

arrêté du 29-7-2021

MENJS - MESRI - SAAM A1

Vu arrêtés du 7-3-2013, du 27-12-2018, du 25-1-2019, du 2-5-2019, du 9-9-2019, du 15-1-2020 et du 14-9-2020 ; sur proposition des représentants de la MGEN

Article 1 - L'article 2 de l'arrêté du 25 janvier susvisé est modifié ainsi qu'il suit :

En qualité de représentants titulaires :

Au lieu de :

- Catherine Florentin
- Stéfan Gouzouguec

Lire :

- Caroline Garcia
- Muriel Zamord

En qualité de représentants suppléants :

Au lieu de :

- Véronique Signoret
- Muriel Zamord

Lire :

- Blanche Lochmann
- Patricia Ourcival

Article 2 - La secrétaire générale est chargée de l'exécution du présent arrêté qui sera publié aux bulletins officiels de l'éducation nationale, de la jeunesse et des sports et de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation.

Fait le 29 juillet 2021

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Pour la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et par délégation,
La secrétaire générale,
Marie-Anne Lévêque

Informations générales

Services régionaux académiques

Création d'un service régional académique des études et des statistiques dans la région académique Hauts-de-France

NOR : MENG2123261A

arrêté du 20-7-2021

MENJS - MESRI - SG

Vu Code de l'éducation, notamment articles R. 222-16-4 et R. 222-24-6 ; avis du comité régional académique des 19-12-2019, 29-1-2020 et 15-6-2020 ; avis des comités techniques spéciaux académiques des académies de Lille et d'Amiens réunis conjointement le 23-6-2021 ; avis des comités techniques académiques des académies de Lille et d'Amiens réunis conjointement le 5-7-2021 ; sur proposition de la rectrice de la région académique Hauts-de-France

Article 1 - En application des dispositions de l'article R. 222-24-6 du Code de l'éducation, il est créé dans la région académique Hauts-de-France un service régional académique chargé des études et des statistiques, dénommé « service régional académique des études et des statistiques (Sraes) ». Ce service est placé sous l'autorité hiérarchique du recteur de région académique.

Le service régional académique a pour objectif, en termes de statistiques et d'aide au pilotage, de mieux répondre aux enjeux de la région académique et de construire une réponse régionale comportant un haut niveau d'ingénierie tout en maintenant les capacités de répondre aux besoins académiques.

Article 2 - Le service régional académique des études et des statistiques (Sraes) exerce des missions de collecte et de contrôle de la qualité de l'information statistique, de valorisation et de diffusion des données d'étude et de conduite des démarches d'évaluation. À ce titre :

- 1° il assure la production statistique dans le cadre du programme national de travail de la direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance (Depp), des diverses enquêtes nationales à la demande d'autres directions et services de l'administration centrale et des besoins régionaux et académiques ;
- 2° il propose des outils et des indicateurs d'aide à la décision et d'appui statistique au pilotage pour les acteurs régionaux et académiques aux différents niveaux (région académique, académies, départements, circonscriptions, établissements, écoles) ;
- 3° il est chargé de la collecte et du contrôle de la qualité de l'information statistique ;
- 4° il établit des études, des analyses, des recherches et des publications pour appuyer et valoriser la mise en œuvre des politiques publiques aux différents échelons territoriaux ;
- 5° il assure les travaux d'étude et de recherche qui sont menés entre le service régional académique et d'autres partenaires.

Le programme de travail du service régional académique est validé chaque année en comité régional académique. Il détermine notamment l'articulation entre les besoins statistiques régionaux et académiques.

Article 3 - Le service de région académique des études et des statistiques est organisé en bi-site, sur les deux sites des rectorats de Lille et d'Amiens.

Le service de région académique des études et des statistiques est constitué :

- de deux pôles de dimension régionale répartis l'un et l'autre sur les deux sites rectoraux :
 - le pôle « collecte de données et ingénierie d'enquêtes » ;
 - le pôle « études et valorisation de l'information statistique » ;
- de deux cellules académiques, implantées l'une au rectorat de Lille, l'autre au rectorat d'Amiens.

Les pôles régionaux développent leur action sur le niveau régional pour ce qui concerne les besoins des services régionaux et sur le niveau académique pour ce qui concerne les besoins des services académiques en prenant appui sur les référents académiques mentionnés à l'article 6.

Les deux cellules académiques garantissent les traitements de données spécifiques à chacune des deux académies, afin de préserver, outre une action en proximité, une capacité académique de travail sur les prévisions et constats d'effectifs, notamment dans le cadre de la préparation de la rentrée scolaire.

La coordination du Sraes avec les autres services régionaux est assurée sous l'autorité du secrétaire général de région académique.

Article 4 - Le service de région académique des études et des statistiques est dirigé par un responsable régional, chef de service de région académique, qui coordonne l'action des deux sites d'implantation dudit service. Le chef du Sraes est assisté d'un adjoint placé sous son autorité hiérarchique.

Le chef du Sraes est placé sous l'autorité hiérarchique du recteur de région académique. Il est, ainsi que son adjoint et l'ensemble des personnels du service régional académique, rattaché administrativement au secrétaire général de région académique.

Indépendamment de leur lieu d'exercice ainsi que de la nature de leurs fonctions, qu'elles relèvent du champ des compétences académiques au sein des deux cellules académiques, ou des compétences de la région académique au sein des deux pôles régionaux académiques, les personnels affectés dans le service régional académique des études et des statistiques sont placés, pour l'exercice de leurs fonctions, sous l'autorité hiérarchique du chef du Sraes.

Le responsable du Sraes établit un projet de service pluriannuel et remet chaque année au recteur de région académique un rapport d'activité du service régional dressant le bilan de l'année écoulée.

Article 5 - L'emploi de chef de service de région académique des études et des statistiques est implanté au rectorat de l'académie d'Amiens ; celui de son adjoint est implanté au rectorat de l'académie de Lille.

Article 6 - Chaque pôle régional académique mentionné à l'article 3 compte un responsable de pôle assisté d'un adjoint.

Les deux cellules académiques comptent chacune trois référents :

- un responsable de site, qui, selon l'académie d'implantation de la cellule, est soit le chef du service régional académique des études et des statistiques, soit son adjoint ;
- deux adjoints au responsable de site : un chef de pôle et un adjoint au chef de pôle.

En leur qualité de responsables de site et de référents académiques, le chef du Sraes et son adjoint sont respectivement placés sous l'autorité fonctionnelle du recteur de l'académie d'Amiens et du recteur de l'académie de Lille, par délégation du recteur de région académique, pour l'exécution des missions relevant du champ des compétences académiques.

Article 7 - Le présent arrêté entre en vigueur le 1er septembre 2021.

Article 8 - La rectrice de région académique des Hauts-de-France, rectrice de l'académie de Lille, est chargée de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Bulletin officiel de l'éducation nationale, de la jeunesse et des sports et au Bulletin officiel de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation.

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, et par délégation,
Pour la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et par délégation,
La secrétaire générale,
Marie-Anne Lévêque

Informations générales

Vacance de postes

Conseillers en formation continue - rentrée scolaire 2021

NOR : MENE2122664K

liste

MENJS - DGESCO A2-2

En application des dispositions de la note de service n° 90-129 du 14 juin 1990, la liste des postes de conseillers en formation continue qui seront vacants ou susceptibles de l'être dans les académies, à compter de la rentrée scolaire 2021, est publiée ci-après. Quelques postes figurant dans ce tableau seront vacants en cours d'année scolaire.

Il est demandé aux candidats à un changement d'académie de faire acte de candidature auprès du recteur de l'académie souhaitée qui, s'il décide de les recruter, procédera à l'opération de mobilité afférente à cette décision.

Académie	Postes vacants	Postes susceptibles d'être vacants
Aix-Marseille	0	2 à 4
Amiens	3	0
Besançon	2	0
Bordeaux	9	1
Clermont-Ferrand	4	1
Corse	1	1
Créteil	8	3
Dijon	5	3
Grenoble	3	0 à 3
Guadeloupe	1	0
Guyane	2	0
La Réunion	1	1
Lille	3	1
Limoges	3	1
Lyon	0	8 à 10
Martinique	1	1
Mayotte	1	0
Montpellier	2	1
Nancy-Metz	2	2
Nantes	3	0
Nice	6	37
Normandie	5	5
Nouvelle-Calédonie	0	0
Orléans-Tours	0	2
Paris	8	1
Poitiers	5	5
Polynésie française	-	-
Reims	3	0
Rennes	2	0
Strasbourg	3	1

Toulouse	4	5
Versailles	7	2
Total	97	84 à 91

Informations générales

Vacance de postes

Postes spécifiques d'enseignants du second degré à pourvoir en Nouvelle-Calédonie et modalités de candidature - rentrée scolaire de février 2022

NOR : MENH2125062V

avis

MENJS - DGRH B2-2

Les vacances de poste suivantes concernent **des postes au mouvement spécifique et à profil particulier** d'enseignants du second degré à pourvoir en Nouvelle-Calédonie à compter de février 2022.

Voir liste des postes.

Modalités de dépôt des candidatures :

Les dossiers de candidature, revêtus de l'avis du chef d'établissement, devront être transmis, dans les quinze jours suivant la date de la publication de cet avis, à l'adresse suivante : ce.dp@ac-noumea.nc en précisant en objet « MOUVEMENT SPÉCIFIQUE RS 2022 - NOM PRÉNOM - DISCIPLINE »

Le dossier de candidature devra être accompagné des pièces suivantes, en un seul document au format PDF :

- une lettre de motivation ;
- un curriculum vitae ;
- une copie des deux derniers rapports d'inspection ou comptes rendus de rendez-vous de carrière ;
- une fiche de synthèse de moins d'un mois à demander à votre gestionnaire académique.

Annexe 1

↗ Liste des postes spécifiques susceptibles d'être vacants à la rentrée scolaire de février 2022

Annexe 2

↗ Dossier de candidature

Annexe 1 - Postes spécifiques susceptibles d'être vacants à la rentrée scolaire 2022

Code établissement	Établissement	Corps	Code discipline du support	Discipline	Profil
9830002K	Lycée Lapérouse - Nouméa	Agrégé	L0100	Philosophie	L'intéressé(e) aura en charge l'enseignement de philosophie en CPGE littéraire (khâgne et hypokhâgne).
9830002K	Lycée Lapérouse - Nouméa	Agrégé	L0201	Lettres classiques	L'intéressé(e) aura en charge l'enseignement de lettres classiques en CPGE littéraire (khâgne et hypokhâgne).
9830002K	Lycée Lapérouse - Nouméa	Agrégé/Certifié	L8530	Hôtellerie option tourisme	L'intéressé(e) aura principalement en charge l'enseignement de l'élaboration de l'offre touristique en BTS tourisme.
9830003L	Lycée Jules Garnier - Nouméa	Agrégé	L0202	Lettres modernes	L'intéressé(e) aura en charge l'enseignement en CPGE PTSI, PT, PSI, ATS.
9830003L	Lycée Jules Garnier - Nouméa	Agrégé	L1300	Mathématiques	L'intéressé(e) aura en charge l'enseignement en CPGE ATS (adaptation technicien supérieur).
9830003L	Lycée Jules Garnier - Nouméa	Agrégé	L1300	Mathématiques	L'intéressé(e) aura en charge l'enseignement en CPGE PTSI.
9830003L	Lycée Jules Garnier - Nouméa	Agrégé	L1500	Sciences physiques chimie	L'intéressé(e) aura en charge l'enseignement en CPGE PTSI.
9830003L	Lycée Jules Garnier - Nouméa	Agrégé	L4010	SII sciences techniques industrielles	L'intéressé(e) aura en charge l'enseignement en CPGE PTSI. Une expertise dans le domaine de l'informatique pédagogique et de la maintenance des réseaux constituerait un atout.
9830003L	Lycée Jules Garnier - Nouméa	Agrégé/Certifié	L8013	Économie-gestion option marketing	L'intéressé(e) aura en charge l'enseignement en BTS technico-commercial : développement clientèle, communication et négociation, gestion de projet.
9830306R	Lycée professionnel Pétro Attiti - Nouméa	Agrégé/Certifié/PLP	P3010	Génie civil construction et économie	L'intéressé(e) aura en charge l'enseignement en BTS ERA (étude et réalisation d'agencement) et EEC (études et économie de la construction) - Modeleur BIM et logiciels professionnels. Une expérience en STS est attendue.
9830006P	Lycée professionnel commercial et hôtelier Auguste Escoffier - Nouméa	PLP	P8512	Pâtisserie	L'intéressé(e) aura en charge la totalité des enseignements professionnels de la spécialité en CAP pâtisserie, une expérience déjà acquise en responsabilité dans cette formation sera appréciée.
9830418M	Collège de Wani - Houailou	Certifié	L1400 L1300	Technologie Mathématiques	Poste bivalent : technologie et mathématiques
9830357W	Collège Laura Boula - Lifou	Agrégé/Certifié	L1900	Éducation physique et sportive	L'intéressé(e) assurera l'enseignement et la coordination de la section voile (5h en 2021 + UNSS). Il sera obligatoirement en possession au moins du BE1 de voile (option multi-supports). Il doit avoir une expérience d'encadrement d'une section sportive scolaire voile ou tout autre dispositif (option voile, sport de haut niveau).
9830483H	Lycée William Haudra - Lifou	Agrégé/Certifié	L1300	Mathématiques	L'intéressé(e) aura en charge l'enseignement de spécialité NSI (numérique et sciences informatiques) en classes de première et de terminale générales ainsi que l'enseignement SNT (sciences numériques et technologie) en classe de seconde.
9830483H	Lycée William Haudra - Lifou	Agrégé/Certifié/PLP	L2020 L2080 L2085	DDFPT	L'intéressé(e) exercera également les missions et responsabilités de proviseur adjoint. Il est attendu un personnel expérimenté, issu du secteur industriel, hôtelier ou tertiaire. Compte tenu de la localisation de l'établissement, de son environnement et de sa large carte des formations (voie générale, voie technologique et voie professionnelle dans les domaines industriel, tertiaire et de hôtellerie-restauration), ce poste de DDFPT requiert une très grande ouverture d'esprit, une excellente connaissance des formations et de réelles capacités d'adaptation. Adjoint et conseiller du proviseur, le DDFPT a une double mission d'encadrement et d'expertise pédagogique. L'intéressé(e) devra faire preuve d'initiative pour intégrer les contraintes liées à l'environnement et assurer au quotidien le fonctionnement des différents secteurs de l'établissement (emploi du temps, organisation, moyens techniques, gestion des ressources humaines, etc.) et ce en lien avec le monde professionnel. Le candidat devra être doté de qualités managériales et relationnelles avérées.
9830483H	Lycée William Haudra - Lifou	Agrégé/Certifié	L1000	Histoire-géographie	L'intéressé(e) devra posséder la certification DNL anglais. Il sera capable d'enseigner tout ou partie du programme d'histoire-géographie dans la langue anglaise en opérant des choix pertinents et en articulant l'enseignement dispensé en français et en langue étrangère. Il contribuera aux actions d'ouverture internationale de l'établissement.

9830507J	Lycée Antoine Kéla - Poindimié	Agrégé/Certifié	L1000	Histoire-géographie	L'intéressé(e) devra posséder la certification DNL anglais. Il sera capable d'enseigner tout ou partie du programme d'histoire-géographie dans la langue anglaise en opérant des choix pertinents et en articulant l'enseignement dispensé en français et en langue étrangère. Il contribuera aux actions d'ouverture internationale de l'établissement.
9830507J	Lycée Antoine Kéla - Poindimié	Agrégé/Certifié	L8011 ou L8012	Économie-gestion option communication et GRH ou Économie-gestion option finance (L8012)	L'intéressé(e) exercera principalement en STS gestion de la PME : fonctionnement et gestion de la PME, gestion du personnel et contribution à la GRH, communication, ateliers de professionnalisation.
9830507J	Lycée Antoine Kéla - Poindimié	Agrégé/Certifié	L8012	Économie-gestion option finance	L'intéressé(e) exercera principalement en STS gestion de la PME : relation clients et fournisseurs, fonctionnement et développement de la PME, culture économique, juridique et managériale, ateliers de professionnalisation.
9830507J	Lycée Antoine Kéla - Poindimié	Agrégé/Certifié	L1412	SII Électrique (EL)	L'intéressé(e), seul enseignant de cette discipline, aura en charge l'option facultative en seconde, l'enseignement de spécialité SI en première et terminale, éventuellement l'enseignement de spécialité NSI. Une mise en réseau d'établissements est envisagée.
9830557N	Lycée Dick Ukeiwë - Dumbéa	Agrégé	L0100	Philosophie	L'intéressé(e) aura en charge l'enseignement en CPGE ECG (économique et commerciale, voie générale) et ECT (économique et commerciale option technologique).
9830557N	Lycée Dick Ukeiwë - Dumbéa	Agrégé	L1300	Mathématiques	L'intéressé(e) aura en charge l'enseignement en CPGE ECG (économique et commerciale, voie générale), avec un complément de service dans le secondaire (éventuellement en SNT, sciences numériques et technologie).
9830557N	Lycée Dick Ukeiwë - Dumbéa	Agrégé/Certifié/PLP	L2080	DDFPT	Fonctions usuellement assignées au DDFPT : organisation des enseignements technologiques (STMG-ST2S), suivi des post-bac (SIO-SP3S-ESF-DCG-CPGE), coordination et animation des équipes d'enseignants, conseil auprès du chef d'établissement, relations avec les partenaires extérieurs. Une grande capacité de travail, des qualités relationnelles, une capacité à s'adapter rapidement sont attendues.
9830557N	Lycée Dick Ukeiwë - Dumbéa	Agrégé/ Certifié	L8031	Économie-gestion option système informatique	L'intéressé(e) aura en charge l'enseignement d'informatique en BTS SIO option réseau. Des compétences en développement d'applications seront appréciées.
9830557N 9830002K	Lycée Dick Ukeiwë - Dumbéa Lycée La Pérouse - Nouméa	Agrégé/Certifié	L0422	Anglais : langue et littérature australienne	L'intéressé(e) aura en responsabilité l'enseignement spécifique en section internationale australienne (SIA). Il assurera également la coordination du recrutement des élèves en classe de seconde SIA ainsi que la préparation de l'option internationale du baccalauréat (première session de l'OIB en 2023). Il est attendu une maîtrise avérée de la culture australienne. Le poste se partage entre deux établissements, le lycée Lapérouse et le lycée Dick Ukeiwë.
9830616C	Collège de Païta Sud	Agrégé/Certifié	L1000	Histoire-géographie	L'intéressé(e) devra être titulaire de la certification DNL anglais afin d'enseigner certaines heures du programme d'histoire-géographie en langue anglaise. Il contribuera aux actions d'ouverture internationale de l'établissement.
9830616C	Collège de Païta Sud	Agrégé/Certifié	L1400	Technologie	L'intéressé(e) devra être titulaire de la certification DNL anglais. Il contribuera à l'ouverture internationale de l'établissement.
9830635Y	Lycée Michel Rocard - Pouembout	Agrégé/Certifié	L4200	SII mécanique (ME) (L1414) ou STI génie mécanique (L4200) ou Génie mécanique maintenance des systèmes mécaniques automatisés (MSMA) (P4550)	L'intéressé(e) aura en charge l'enseignement en BTS pilotage des procédés. Une expérience dans le domaine du génie industriel est nécessaire. Une polyvalence est souhaitée dans des domaines d'application divers : mécanique, électrique, automatisme. Des compétences sont attendues en ingénierie mécanique et électrique ainsi qu'une connaissance des opérations unitaires du génie des procédés ; mise en oeuvre des savoirs associés à la physique-chimie dans un contexte professionnel. Le poste (situé en province Nord) et la section nécessitent une grande autonomie et des capacités d'adaptation.
9830635Y	Lycée Michel Rocard - Pouembout	PLP	P4500	Génie mécanique maintenance véhicules	L'intéressé(e) enseignera en bac professionnel maintenance des matériels de construction et de manutention ainsi qu'en CAP maintenance des matériels où sont apportées des compétences liées aux spécialités travaux publics et maintenance des matériels des mines et carrières. Une expérience d'enseignement dans la filière maintenance des matériels est souhaitée. Situé en province Nord, le poste nécessite une grande autonomie et des capacités d'adaptation.
9830635Y	Lycée Michel Rocard - Pouembout	PLP	P4550	Génie mécanique maintenance des systèmes mécaniques automatisés (MSMA)	L'intéressé(e) enseignera en bac professionnel pilote de ligne de production. Une expérience d'enseignement dans la filière pilotage est souhaitée. Un complément de service en construction est possible. Situé en province Nord, le poste nécessite une grande autonomie et des capacités d'adaptation.
9830635Y	Lycée Michel Rocard - Pouembout	PLP	P2400	GIS MET	L'intéressé(e) enseignera en baccalauréat professionnel ouvrages du bâtiment-spécialité métallerie. Une expérience d'enseignement dans cette filière est souhaitée. Des compétences en construction sont nécessaires. Situé en province Nord, le poste nécessite une grande autonomie et des capacités d'adaptation.
9830635Y	Lycée Michel Rocard - Pouembout	PLP	P7200	Biotechnologie : santé environnement	L'intéressé(e) devra enseigner la PSE (prévention-santé-environnement), former les élèves de la voie professionnelle à être des sauveteurs secouristes du travail. Le titre de SST est souhaité. Situé en province Nord, le poste nécessite une grande autonomie et des capacités d'adaptation.

9830681Y	Collège de Dumbéa-sur-Mer	Agrégé/Certifié	L1300	Mathématiques	L'intéressé(e) sera en charge de la DNL anglais pour la section internationale australienne et pour la section européenne. La certification DNL anglais est un prérequis.
9830681Y	Collège de Dumbéa-sur-Mer	Agrégé/Certifié	L1000	Histoire-géographie	L'intéressé(e), titulaire de la certification DNL, enseignera le programme de la section internationale australienne contenant des adaptations à l'histoire et à la géographie de l'Australie. Il préparera les élèves au DNBI. Il contribuera aux actions d'ouverture internationale de l'établissement et sera associé aux opérations de recrutement des élèves candidats à l'entrée en section internationale.
9830693L	Lycée du Mont-Dore	Agrégé/Certifié	L1411 / L1412	SII option ingénierie des constructions / ingénierie électrique	L'intéressé(e) enseignera les sciences et technologies des systèmes en BTS MSE (métiers des services de l'environnement) en apportant des compétences liées à une approche pluri-technologique des systèmes mis en œuvre en contexte professionnel. Un complément de service est possible en STI2D ou SI. Le poste suppose d'avoir des connaissances en énergétique, en maintenance, en gestion des stocks ; de maîtriser les éléments des chaînes d'information, d'action et d'énergie (interface IHM, capteurs, actionneurs et préactionneurs électriques, hydrauliques, pneumatiques, etc.) ; de savoir modéliser des assemblages (solidworks), des circuits électriques, pneumatiques, hydrauliques. Être formateur PRE (prévention des risques électriques) sera un atout supplémentaire.
9830693L	Lycée du Mont-Dore	Agrégé/Certifié	L1413	SII information et numérique (IN)	L'intéressé(e) assurera l'enseignement en BTS systèmes numériques en apportant les compétences liées à la spécialité électronique et communication (EC) dans des classes à double option EC et IR (informatique et réseaux). Un complément de service est possible en STI2D ou SI.
9830693L	Lycée du Mont-Dore	Agrégé/Certifié	L8011	Économie-gestion option communication et GRH	L'intéressé(e) enseignera en BTS MSE (métiers des services de l'environnement) les sciences de gestion et les concepts économiques, juridiques et managériaux, Il doit être capable d'accompagner les étudiants dans leurs projets professionnels. Un complément de service est possible en STMG ou en classe de seconde en management et gestion.
9830693L	Lycée du Mont-Dore	PLP	P5100	Génie électrique (option électronique)	L'intéressé(e) enseignera en baccalauréat professionnel systèmes numériques option SSIHT (sûreté et sécurité des infrastructures, de l'habitat et du tertiaire) avec un complément possible en RISC (réseaux informatiques et systèmes communicants) dans des classes à double option A et C. Possibilité de complément de service en BTS systèmes numériques, option IR (informatique et réseaux) ou EC (électronique et communication).
9830693L	Lycée du Mont-Dore	PLP	P5100	Génie électrique (option électronique)	L'intéressé(e) enseignera en baccalauréat professionnel systèmes numériques dans des classes à double option SSIHT (sûreté et sécurité des infrastructures, de l'habitat et du tertiaire) et RISC (réseaux informatiques et systèmes communicants). Une expérience d'enseignement dans ces deux options est souhaitée. Possibilité de complément de service en BTS systèmes numériques, option IR (informatique et réseaux) ou EC (électronique et communication),
9830474Y	Collège de Koutio	Agrégé/Certifié	L0430	Japonais	L'intéressé(e) sera sollicité(e) pour accompagner et former les professeurs contractuels.
9830538T	Collège de Normandie - Nouméa	Certifié	L1700	Éducation musicale	L'intéressé(e), titulaire de la certification DNL anglais, enseignera en section bilingue.
9830538T	Collège de Normandie - Nouméa	Certifié	L1400	Technologie	L'intéressé(e), titulaire de la certification DNL anglais, enseignera en section bilingue.
	Vice-rectorat localisé à La Foa			MLDS	Titulaire du certificat de professionnalisation en matière de lutte contre le décrochage scolaire (CPLDS), l'intéressé(e) aura en charge le dispositif de lutte contre le décrochage scolaire installé à La Foa ainsi que la coordination des dispositifs d'accompagnement à la rescolarisation de Nouvelle-Calédonie.
9830493U	Collège Essaü Voudjo - Poya	Certifié	L0202	Lettres modernes	Poste bivalent : une expérience dans l'enseignement de l'histoire-géographie est attendue

Annexe 2 – Dossier de candidature

République française

**Ministère de l'Éducation nationale,
de la Jeunesse et des Sports**

Secrétariat général

Direction générale des ressources humaines
Service des personnels enseignants de l'enseignement scolaire
Sous-direction de la gestion des carrières
Bureau des affectations et des mutations des personnels du second degré
Bureau DGRH B2-2
72, rue Regnault - 75243 Paris Cedex 13

Dossier à transmettre à l'adresse suivante : ce.dp@ac-noumea.nc

Demande de poste spécifique ou à profil particulier en Nouvelle-Calédonie

Situation administrative

Grade	Discipline	Fonctions exercées
-------	------------	--------------------

Affectation actuelle

Date	Établissement	Commune	Département ou pays	Classe enseignée
------	---------------	---------	---------------------	------------------

Situation de famille

Vous

Nom de naissance	Prénoms	Nom marital
------------------	---------	-------------

Date de naissance	Lieu
-------------------	------

Célibataire - Marié(e) - Veuf(ve) - Divorcé(e) - Séparé(e) - Concubinage - Pacsé(e) (1)

Photo

(1) Rayer les mentions inutiles

Votre conjoint ou concubin :

Nom de naissance

Prénoms

Nom marital

Date de naissance

Lieu

Date du mariage :

Profession :

Discipline (si enseignant) :

Enfants et personnes à charge qui accompagneront ou suivront le candidat :

Nom	Prénoms	Date et lieu de naissance	Niveau scolaire des enfants
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Adresse principale :

Adresse

.....
.....

Code postal Ville.....

Pays si résidence à l'étranger

Adresse e-mail **personnelle**

.....

Adresse e-mail **professionnelle**

.....

États des services en qualité de titulaire de l'éducation nationale					
Corps/grade	Fonctions	Classes enseignées	Établissements Commune Département	Périodes	
				du	au

Vœux (classés par ordre de préférence)

Ordre du vœu	Intitulé du vœu (code et établissement)	Code discipline	Spécialité demandée (BTS, DDFPT ou autre, etc.)

Observations éventuelles du candidat

Fait à, le

Signature :

**Avis du chef d'établissement ou de service
sur la valeur professionnelle et la manière de servir du candidat**

À, le

Le Chef d'établissement,
(ou de service)

Rappel des pièces à joindre :

- lettre de motivation ;
- curriculum vitae ;
- copie des deux dernières évaluations ou comptes rendus de rendez-vous de carrière ;
- fiche de synthèse de moins d'un mois à demander à votre gestionnaire académique.