



Annexe 1

Programmes des classes préparatoires aux Grandes Ecoles

Filière : **scientifique**

Voie : **Technologie, physique, chimie (TPC)**

Discipline : **Mathématiques**

Première année

Classe préparatoire TPC première année

Programme de mathématiques

Table des matières

Objectifs de formation	2
Compétences développées	2
Description et prise en compte des compétences	2
Unité de la formation scientifique	3
Usage de la liberté pédagogique	4
Architecture et contenu du programme	4
Organisation du texte	4
 PROGRAMME	 6
Vocabulaire ensembliste et méthodes de raisonnement	6
 Premier semestre	 8
Pratique de calcul	8
Nombres complexes	10
Étude globale d'une fonction d'une variable réelle à valeurs réelles	11
Géométrie élémentaire du plan	13
Géométrie élémentaire de l'espace	14
Équations différentielles linéaires	15
Dénombrement	16
Systèmes linéaires et calcul matriciel	17
A - Systèmes linéaires	17
B - Calcul matriciel	19
Polynômes	20
 Deuxième semestre	 21
Nombres réels et suites numériques	21
Limites, continuité et dérivabilité	23
A - Limites et continuité	23
B - Dérivabilité	24
Intégration sur un segment	25
Développements limités	26
Espaces vectoriels et applications linéaires	27
A - Espaces vectoriels	28
B - Espaces vectoriels de dimension finie	29
C - Applications linéaires	30
Matrices	31
Probabilités sur un univers fini	32
Variables aléatoires sur un univers fini	33

Objectifs de formation

Le programme de mathématiques de TPC s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, et aussi pour leur permettre de se former tout au long de la vie.

Le programme du premier semestre est conçu de façon à viser trois objectifs majeurs :

- assurer la progressivité du passage aux études supérieures, en tenant compte des nouveaux programmes du cycle terminal, dont il consolide et élargit les acquis en prenant appui sur divers chapitres des classes de Terminales STI2D et STL : notations et raisonnement mathématiques, nombres complexes, géométrie dans le plan et dans l'espace, fonctions usuelles, équations différentielles ;
- consolider la formation des étudiants dans les domaines de la logique, du raisonnement et des techniques de calcul, qui sont des outils indispensables tant aux mathématiques qu'aux autres disciplines scientifiques ;
- présenter des notions nouvelles riches, de manière à susciter l'intérêt des étudiants.

Compétences développées

Les étudiants des classes préparatoires doivent acquérir les compétences nécessaires aux scientifiques et technologues, qu'ils soient ingénieurs, chercheurs, enseignants, pour identifier les situations auxquelles ils sont confrontés, dégager les meilleures stratégies pour y faire face, prendre avec un recul suffisant des décisions dans un contexte complexe.

Dans ce cadre, la formation mathématique vise le développement des compétences générales suivantes :

- **s'engager dans une recherche, 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

S'engager dans une recherche, mettre en œuvre des stratégies

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) 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 de l'ingénieur. 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.

De façon générale, par son langage et ses modes de représentation, la géométrie imprègne l'ensemble du programme ; le recours régulier à des figures ou à des croquis est nécessaire, afin de développer une vision géométrique des objets abstraits et de permettre 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 à la fois comme un terrain propice à l'introduction de l'algèbre linéaire, mais aussi comme un champ d'utilisation des concepts développés dans ce domaine du programme ; les équations différentielles sont au cœur des activités de modélisation pour les sciences physiques et les sciences industrielles ; les probabilités permettent d'illustrer certains résultats d'analyse et justifient l'introduction du vocabulaire ensembliste.

C'est ainsi que le programme valorise les interprétations des concepts de l'analyse, de l'algèbre linéaire, de la géométrie et des probabilités en termes de paramètres modélisant l'état et l'évolution de systèmes mécaniques, physiques, chimiques ou industriels (mouvement, vitesse et accélération, signaux continus ou discrets, mesure des grandeurs mécaniques ou physiques...).

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, notamment dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés.

Les professeurs de mathématiques doivent régulièrement accéder aux laboratoires afin de favoriser l'établissement de liens forts entre la formation mathématique et les formations dispensées dans les enseignements scientifiques et technologiques. Cet accès permet de :

- prendre appui sur les situations expérimentales rencontrées dans ces enseignements ;
- connaître les logiciels utilisés et l'exploitation qui peut en être faite pour illustrer les concepts mathématiques ;
- prendre en compte les besoins mathématiques des autres disciplines.

Il importe aussi que le contenu culturel et historique des mathématiques ne soit pas sacrifié au profit de la seule technicité. En particulier, il pourra s'avérer pertinent d'analyser l'interaction entre un problème spécifique et la construction, pour le résoudre, d'outils conceptuels qui, pris ensuite par les mathématiciens comme objets d'étude, ont pu ultérieurement servir au traitement d'autres classes de problèmes.

Usage de la liberté pédagogique

Dans le cadre de la liberté pédagogique qui lui est reconnue par la loi, le professeur choisit ses méthodes, sa progression, ses problématiques. Il peut organiser son enseignement en respectant deux grands principes directeurs :

- pédagogue, il privilégie la mise en activité des étudiants en évitant tout dogmatisme : l'acquisition des connaissances et des capacités est d'autant plus efficace que les étudiants sont acteurs de leur formation. La pédagogie mise en œuvre développe la participation, la prise d'initiative et l'autonomie des étudiants. Le choix des problématiques et des méthodes de résolution favorise cette mise en activité ;
- didacticien, il choisit le contexte favorable à l'acquisition des connaissances et au développement des compétences. La mise en perspective d'une problématique avec l'histoire des sociétés, des sciences et des techniques, mais aussi des questions d'actualité ou des débats d'idées, permet de motiver son enseignement.

Architecture et contenu du programme

Le programme s'en tient à un cadre et à un vocabulaire théorique bien délimités, mais suffisamment efficaces pour l'étude de situations usuelles, et assez riches pour servir de support à une formation solide.

Il a été conçu pour s'adapter aux intentions de la réforme de la série STL. Les étudiants de cette série ont désormais pour vocation d'entrer dans un cycle long de formation supérieure : le programme de mathématiques se doit d'être d'une ambition réaliste.

Les grands équilibres du programme n'ont pas été modifiés. C'est ainsi que les deux grands axes « Analyse et géométrie » et « Algèbre et géométrie » demeurent présents. S'y ajoute une introduction limitée d'un enseignement de probabilités visant à consolider les notions figurant dans le programme de Terminale STL et à préparer celles qui seront ultérieurement introduites dans les grandes écoles. Les probabilités permettent de développer des aptitudes au raisonnement et à la modélisation, d'établir des ponts avec les autres disciplines, et d'enrichir les thèmes susceptibles d'être abordés lors du TIPE.

En cohérence avec l'introduction d'un enseignement d'algorithmique au lycée, le programme encourage la démarche algorithmique et le recours à l'outil informatique (calculatrices, logiciels). Il identifie un certain nombre d'algorithmes qui doivent être connus et pratiqués par les étudiants. Ceux-ci doivent également savoir utiliser les fonctionnalités graphiques des calculatrices et des logiciels.

La géométrie, en tant qu'outil de modélisation et de représentation, est intégrée à l'ensemble du programme, qui préconise le recours à des figures pour aborder l'algèbre linéaire ou les fonctions de variable réelle. En introduction à l'algèbre linéaire, le chapitre sur les systèmes linéaires permet de rappeler les propriétés élémentaires relatives aux droites du plan, aux droites et plans de l'espace, donnant du sens au volet affine de l'algèbre linéaire et s'appuyant sur les acquis du lycée.

Le choix a été fait d'introduire assez tôt dans l'année un module substantiel visant à consolider ou à introduire des pratiques de calcul (dérivation des fonctions, calcul de primitives, résolution de certains types d'équations différentielles) avant d'introduire les théories sous-jacentes, afin d'en faciliter l'assimilation.

Ces aménagements devraient permettre de constituer un programme cohérent autour de quelques notions essentielles, en dégageant les idées majeures et leur portée, en fournissant des outils puissants et efficaces, en évitant toute technicité gratuite, et en écartant les notions qui ne pourraient être traitées que de façon superficielle.

Le volume global du programme a été conçu pour libérer des temps dédiés à une mise en activité effective des étudiants. Cela doit être notamment la règle lors des séances de travaux dirigés et de travaux pratiques d'informatique.

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 que des épreuves d'évaluation, y compris par les opérateurs de concours. À l'intérieur de chaque semestre, le professeur conduit en toute liberté, dans le respect de la cohérence de la formation globale, l'organisation de son enseignement et le choix de ses méthodes. En particulier, la chronologie retenue dans la présentation des différents chapitres du programme **ne doit pas être interprétée comme un modèle de progression** : afin de faciliter l'organisation du travail des étudiants et de montrer l'intérêt des notions étudiées, il convient d'en aborder l'enseignement **en coordination avec les disciplines scientifiques et technologiques**.

Les liens avec les autres disciplines scientifiques sont identifiés avec le symbole \Leftrightarrow PC pour les liens avec la physique et la chimie, \Leftrightarrow I pour les liens avec l'informatique.

PROGRAMME

Vocabulaire ensembliste et méthodes de raisonnement

Cette partie regroupe les différents points de vocabulaire, notations et raisonnement nécessaires aux étudiants pour la conception et la rédaction efficace d'un raisonnement mathématique. Ces notions sont introduites de manière progressive et trouvent naturellement leur place dans les autres chapitres en vue d'être acquises en fin de premier semestre. Dans tous les cas, cette partie ne doit pas se traduire par un cours de logique, au sens classique du terme. Plusieurs groupes classiques étant rencontrés dans le cadre du programme, la terminologie associée peut être utilisée mais aucune connaissance théorique n'est exigible

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Rudiments de logique

Quantificateurs.

Passer du langage naturel au langage formalisé en utilisant les quantificateurs.

Formuler une négation.

Les étudiants doivent savoir employer les quantificateurs pour formuler de façon précise certains énoncés et leur négation. En revanche, l'emploi des quantificateurs en guise d'abréviations est exclu.

Connecteurs logiques : disjonction (ou), conjonction (et), implication, équivalence.

Passer du langage naturel au langage formalisé en utilisant des connecteurs. Formuler une négation.

b) Ensembles

Cette partie trouvera, entre autres, des applications dans le chapitre sur le dénombrement. On se limite à une approche naïve. Aucun développement n'est fait sur la théorie des ensembles.

Appartenance, inclusion.

Démontrer une égalité, une inclusion de deux ensembles.

Sous-ensemble (ou partie) de E . Ensemble vide.

Opérations sur les parties d'un ensemble : réunion, intersection, complémentaire.

Maîtriser le lien entre connecteurs logiques et opérations ensemblistes.

Notations $\mathbb{C}_E A$, \overline{A} , $E \setminus A$.

\Leftrightarrow I

Produit cartésien de deux ensembles, d'un nombre fini d'ensembles.

Un élément de E^p sera appelé p -liste ou p -uplet d'éléments de E .

Ensemble des parties d'un ensemble.

c) Propriétés de \mathbb{N} et raisonnement par récurrence

L'objectif principal de cette partie est la maîtrise du principe de récurrence.

Propriétés de l'ensemble \mathbb{N} .

Les propriétés de l'addition, de la multiplication et de la relation d'ordre dans \mathbb{N} sont supposées connues. Toute construction et toute axiomatique de \mathbb{N} sont hors programme.

Définition du plus grand élément, du plus petit élément.

Toute partie non vide a un plus petit élément. Application au principe de récurrence.

Mener un raisonnement par récurrence simple ou avec prédécesseurs.

\Leftrightarrow I

Toute partie majorée non vide a un plus grand élément.

d) Autres méthodes de raisonnement

Raisonnement par contraposition.

Écrire la contraposée d'une assertion.

Raisonnement par l'absurde.

Mener un raisonnement par l'absurde.

Principe d'analyse/synthèse.

Distinguer condition nécessaire et condition suffisante. L'objectif est de donner une méthode de résolution détaillée pour les exemples du programme nécessitant ce type de raisonnement. On se limite à des exemples simples, aucune technicité excessive n'est attendue. Le raisonnement par analyse-synthèse est l'occasion de préciser les notions de condition nécessaire et de condition suffisante.

e) Applications

Les notions ci-dessous, doivent être acquises progressivement au fur et à mesure des exemples rencontrés dans les différents chapitres d'algèbre, d'analyse et de géométrie.

Application (ou fonction) d'un ensemble non vide E dans un ensemble non vide F ; graphe d'une application.

Le point de vue est intuitif : une application de E dans F associe à tout élément de E un unique élément de F . Toute formalisation est hors programme.

Restrictions.

Notation : $f|_I$.

Image directe, image réciproque.

On évitera tout développement technique sur la notion d'image réciproque, introduite principalement en vue des probabilités.

Composition.

Reconnaître une fonction composée.

Injection, surjection, bijections, réciproque d'une bijection.

Résoudre des équations.

Application identité.

Premier semestre

Pratique de calcul

Prenant appui sur les acquis de la classe de Terminale, ce chapitre a pour but de mettre en œuvre des techniques de calcul indispensables en mathématiques et dans les autres disciplines scientifiques. Le point de vue adopté ici est principalement pratique. Le professeur organise ce chapitre de la façon qui lui semble la plus appropriée, en tenant compte des acquis des étudiants et des besoins des autres disciplines. Il est nécessaire d'insister sur ces notions tôt dans l'année afin de faciliter le reste de l'apprentissage.

Les objectifs de formation sont les suivants :

- Une bonne maîtrise des automatismes et du vocabulaire de base relatifs aux inégalités ;
- L'introduction de fonctions pour établir des inégalités ;
- La manipulation des fonctions usuelles.
- Le calcul de limites, de dérivées et de primitives ;
- L'utilisation de notations et des techniques fondamentales de calcul algébrique.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Inégalités dans \mathbb{R}

Inégalités larges, inégalités strictes, intervalles de \mathbb{R} .
Compatibilité avec les opérations.

Dresser un tableau de signes ;
Résoudre des inéquations ;
Interpréter graphiquement une inéquation du type $f(x) \leq \lambda$.

Valeur absolue, inégalité triangulaire.

Interpréter sur la droite réelle des inégalités du type $|x - a| \leq b$.

Majoration, minoration et encadrement de sommes, de produits et de quotients.

b) Équations, inéquations polynomiales et trigonométriques :

Équation du second degré.

Déterminer le signe d'un trinôme.

Factorisation d'un polynôme dont une racine est connue.

Factoriser un polynôme de degré inférieur à 3 dont une racine est connue.

Cercle trigonométrique, valeurs usuelles, formules exigibles :

Utiliser le cercle trigonométrique pour résoudre des équations et inéquations trigonométriques.
Exprimer $\cos(a - b)$, $\sin(a - b)$.

$$\cos(a + b), \sin(a + b), \cos(2x), \sin(2x)$$

Déterminer l'ensemble de définition de fonctions d'une variable réelle à valeurs réelles.

c) Calcul de limites en un point ou à l'infini

Aucune étude théorique de la limite n'est abordée à ce stade. On s'appuiera sur les connaissances des limites acquises au lycée.

Limite d'une somme, d'un produit, d'un quotient, d'un inverse.

Exemples de formes indéterminées :

$$\infty - \infty \quad 0 \times \infty \quad 1^\infty \quad \frac{0}{0} \quad \frac{\infty}{\infty}$$

Lever, sur des exemples simples, certaines formes indéterminées à l'aide de limites de taux d'accroissement : limites quand x tend vers zéro de $\frac{\sin(x)}{x}$, $\frac{\ln(1+x)}{x}$, $\frac{\exp(x)-1}{x}$, $\frac{\cos(x)-1}{x^2}$.

On s'appuie sur l'étude de la dérivée faite dans la série STL.

Croissances comparées.

Calculer une limite par encadrement ou par comparaison.

Limite d'une fonction composée.

d) Calcul de dérivées et de primitivesDérivées des fonctions usuelles : $x \mapsto x^n$ avec $n \in \mathbb{Z}$, exp, ln, cos, sin.

Maîtriser le calcul des fonctions dérivées dans des cas simples.

Opération : somme, produit, quotient.

Aucune étude théorique de la dérivation n'est abordée à ce stade.

Dérivation de $t \mapsto \exp(\varphi(t))$ avec φ où φ est une fonction dérivable à valeurs complexes.Appliquer la formule $(v \circ u)' = u' \cdot (v' \circ u)$ pour dériver une fonction composée.

Primitive sur un intervalle.

Reconnaître les expressions du type $\frac{u'}{u}$, $u' u^n$ avec $n \in \mathbb{N}^*$, $\frac{u'}{u^n}$, $u' \cdot (v' \circ u)$ où v est une fonction dérivable afin d'en calculer les primitives.**e) Sommes et produits**

Notations et règles de calcul.

Effectuer un changement d'indices.

Séparation d'une somme en fonction de la parité des indices.

Reconnaître des sommes et produits télescopiques. L'objectif est d'obtenir une aisance dans la manipulation des symboles \sum et \prod pour des exemples raisonnables.

Factorielle, coefficients binomiaux.

Notations $n!$, $\binom{n}{k}$.

Formule de Pascal. Formule du binôme de Newton.

Factorisation de $a^3 - b^3$.

Aucun lien avec le dénombrement n'est attendu à ce stade.

Exemple de calcul de sommes :

$$\sum_{k=0}^n k \quad \sum_{k=0}^n q^k.$$

Nombres complexes

L'objectif est de consolider et d'approfondir les acquis du cycle terminal. Le programme combine plusieurs aspects :

- Équations algébriques (équations du second degré, racines n -ièmes d'un nombre complexe).
- Interprétation géométrique des nombres complexes.
- Exponentielle complexe et applications à la trigonométrie.

Il est recommandé d'illustrer le cours de nombreuses figures et de relier ce chapitre aux besoins des disciplines scientifiques et technologiques.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

(a) L'ensemble \mathbb{C} des nombres complexes

La construction de \mathbb{C} n'est pas exigible.

Parties réelle et imaginaire, forme algébrique.
Opérations sur les nombres complexes.
Conjugaison : définition, compatibilité avec les opérations.

Le plan étant muni d'un repère orthonormal, affixe d'un point, d'un vecteur ; image d'un nombre complexe.
Module d'un nombre complexe. Module d'un produit et d'un quotient. Inégalité triangulaire, cas d'égalité.

Notations $\operatorname{Re}(z)$, $\operatorname{Im}(z)$.

Interpréter géométriquement le conjugué d'un nombre complexe.

Notation \bar{z} .

On identifie \mathbb{C} au plan usuel muni d'un repère orthonormal direct.

Interpréter géométriquement le module d'un nombre complexe. Interpréter géométriquement $|z - a|$ avec $a, z \in \mathbb{C}$.

b) Ensemble \mathbb{U} des nombres complexes de module 1

Définition de $e^{i\theta}$ où $\theta \in \mathbb{R}$, formules d'Euler. Description des éléments de \mathbb{U} .

Relation $e^{ia}e^{ib} = e^{i(a+b)}$. Formule de Moivre.

Linéariser et factoriser des expressions trigonométriques. Retrouver les expressions de $\cos(nt)$ et $\sin(nt)$ en fonction de $\cos(t)$ et $\sin(t)$ pour de petites valeurs de n .

Il s'agit de consolider une pratique du calcul, en évitant tout excès de technicité.

c) Arguments d'un nombre complexe non nul

Arguments d'un nombre complexe non nul.

Arguments d'un produit, d'un quotient.

Écrire un nombre complexe non nul sous la forme $z = \rho e^{i\theta}$ où $\rho > 0$ et $\theta \in \mathbb{R}$ (forme trigonométrique). Interpréter géométriquement un argument d'un nombre complexe, coordonnées polaires.

\Leftrightarrow PC Amplitude et phase.

d) Exponentielle complexe

Définition de l'exponentielle d'un nombre complexe : $e^z = e^x e^{iy}$ où $z = x + iy$ et $x, y \in \mathbb{R}$.

Relation $e^{z+z'} = e^z e^{z'}$.

Résoudre une équation du type $e^z = e^{z'}$.

Notations $\exp(z)$, e^z .

(e) Racines n -ième

Description des racines n -ième d'un nombre complexe.

Racines de l'unité : définition, description, propriétés.

Résoudre l'équation $z^n = \lambda$.

Représenter géométriquement les racines de l'unité.

Notation \mathbb{U}_n .

f) Équation du second degré dans \mathbb{C}

Racines carrées.	Déterminer les racines carrées d'un nombre complexe sous forme algébrique et trigonométrique.
Équation du second degré dans \mathbb{C} .	Résoudre une équation du second degré dans \mathbb{C} .

Étude globale d'une fonction d'une variable réelle à valeurs réelles

Prenant appui sur les acquis de la classe de Terminale, ce chapitre a pour but d'introduire les outils nécessaires à l'étude de fonctions. Le point de vue adopté ici est principalement pratique. Les définitions précises et les constructions occuperont une grande part du programme d'analyse du second semestre. Ce chapitre est naturellement relié aux disciplines scientifiques et technologiques.

a) Généralités sur les fonctions d'une variable réelle à valeurs dans \mathbb{R}

Fonctions paires, impaires, périodiques.	Représenter graphiquement une fonction à valeurs réelles.
Somme, produit, composée. Monotonie.	Interpréter géométriquement ces propriétés.
Fonctions majorées, minorées, bornées.	Interpréter géométriquement ces propriétés. Une fonction f est bornée si et seulement si $ f $ est majorée.
Extremum, extremum local.	

b) Dérivation

Équation de la tangente en un point.	Interpréter géométriquement la dérivée d'une fonction en un point.
Application à l'étude des variations d'une fonction.	Dresser le tableau de variation d'une fonction. À ce stade, un tableau de variation clairement présenté, accompagné de la détermination du signe de la dérivée et des valeurs ou limites aux bornes, vaut justification de bijectivité.
Dérivée d'une fonction réciproque.	Tracer le graphe d'une fonction réciproque. La dérivée de la réciproque de f est obtenue géométriquement à l'aide la symétrie des tangentes. La formule sera démontrée ultérieurement.

c) Étude d'une fonction

Plan d'étude d'une fonction.

Déterminer les symétries et les périodicités afin de réduire l'ensemble d'étude d'une fonction ;
 Déterminer les variations et les limites d'une fonction ;
 Déterminer les extremums éventuels d'une fonction ;
 Tracer le graphe d'une fonction ;
 Obtenir des inégalités grâce à une étude de fonction. Les asymptotes ainsi que la position des tangentes par rapport à la courbe seront traitées ultérieurement comme des applications des développements limités.

d) Fonctions usuelles

Valeur absolue.

Représenter graphiquement la fonction.

Partie entière.

Représenter graphiquement la fonction.

Étude des fonctions exponentielle, logarithme népérien, puissances, circulaires directes et réciproques.

Notation $\lfloor x \rfloor$. L'existence est admise.

Déterminer la dérivée, les variations et le graphe de ces fonctions.

Les fonctions puissances sont définies sur \mathbb{R}_+^* et prolongées en 0 le cas échéant. Seules les fonctions puissances entières sont en outre définies sur \mathbb{R}_-^* . Relations $(xy)^\alpha = x^\alpha y^\alpha$, $x^{\alpha+\beta} = x^\alpha x^\beta$, $(x^\alpha)^\beta = x^{\alpha\beta}$.

Fonctions circulaires directes et réciproques : rappels sur les fonctions cos et sin, définition et étude des fonctions tan, arcsin, arccos, arctan.

Déterminer la dérivée, les variations et le graphe de ces fonctions.

Croissances comparées des fonctions logarithme népérien, puissances et exponentielle.

Comparer des fonctions au voisinage de l'infini.

Les fonctions hyperboliques sont hors programme.

Géométrie élémentaire du plan

À l'issue de la Terminale, les étudiants connaissent le plan géométrique euclidien en tant qu'ensemble de points ; la façon d'associer à deux points A et B le vecteur \overrightarrow{AB} , ainsi que les propriétés opératoires usuelles. Il convient d'observer que tout vecteur s'exprime comme combinaison linéaire de deux vecteurs indépendants, c'est-à-dire non colinéaires. Dans le plan, les notions suivantes sont supposées connues : calcul vectoriel, distance euclidienne, orthogonalité, repère orthonormal, angles. La donnée d'un repère orthonormal identifie le plan à \mathbb{R}^2 ou à \mathbb{C} . La géométrie joue un rôle essentiel en mathématiques et dans les disciplines scientifiques et technologiques ; elle est au cœur des compétences de modélisation et de représentation. Ce chapitre doit être traité en liaison avec les autres disciplines ; pour la physique et la chimie, on pourra se reporter à l'appendice Outils mathématiques pour la physique et la chimie.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Repérage dans le plan

Repère orthonormé (ou orthonormal) ; Coordonnées cartésiennes, coordonnées polaires.

Maîtriser le lien entre la géométrie pure et la géométrie repérée ;
Passer des coordonnées polaires aux coordonnées cartésiennes.
On peut, à cette occasion, introduire le vocabulaire relatif à l'algèbre linéaire : famille libre, famille liée, vecteurs linéairement indépendants, vecteurs colinéaires.

b) Produit scalaire

Définition géométrique : si \vec{u} et \vec{v} sont non nuls alors

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = \|\vec{u}\| \|\vec{v}\| \cos(\vec{u}, \vec{v})$$

et $\vec{u} \cdot \vec{v} = 0$ sinon.

Bilinéarité, symétrie.

Interpréter le produit scalaire en termes de projection orthogonale.

Exprimer le produit scalaire dans une base orthonormale ;
Caractériser l'orthogonalité de deux vecteurs ;
Déterminer une mesure d'un angle non orienté.
Démonstrations non exigibles.

c) Déterminant dans une base orthonormale directe

Définition géométrique : si \vec{u} et \vec{v} sont non nuls alors

$$[\vec{u}, \vec{v}] = \|\vec{u}\| \|\vec{v}\| \sin(\vec{u}, \vec{v})$$

et $[\vec{u}, \vec{v}] = 0$ sinon.

Bilinéarité, antisymétrie.

Interpréter un déterminant en termes d'aire orientée d'un parallélogramme ;

Caractériser la colinéarité de deux vecteurs.

La notion d'orientation du plan est admise, ainsi que celle de base orthonormale directe.

Calculer le déterminant dans une base orthonormale directe.

Démonstrations non exigibles.

d) Droites

Définition, vecteur directeur, vecteur normal.

Équation cartésienne et système d'équations paramétriques.

Passer d'une représentation paramétrique à une représentation cartésienne et inversement ;

Déterminer l'intersection de deux droites ;

Déterminer le projeté orthogonal d'un point sur une droite ;

Calculer la distance d'un point à une droite.

e) Cercles

Définition, équation cartésienne.
Représentation paramétrique.

Reconnaître une équation cartésienne de cercle
Déterminer une équation d'un cercle à partir de son centre et son rayon.
Déterminer le centre et le rayon d'un cercle à partir d'une équation.
Déterminer une équation d'un cercle connaissant les extrémités d'un diamètre.

Géométrie élémentaire de l'espace

Dans ce chapitre, on adapte à l'espace les notions étudiées dans le chapitre de géométrie plane. L'étude de ce contenu mathématique nouveau s'appuie de façon essentielle sur le chapitre de géométrie plane et sur l'intuition géométrique développée dans les autres disciplines. Des notions telles que le repérage dans l'espace et le produit vectoriel doivent être abordées en concertation avec les professeurs des disciplines scientifiques et technologiques.

a) Repérage dans l'espace

Repère orthonormé de l'espace, coordonnées cartésiennes.

Maîtriser le lien entre la géométrie pure et la géométrie repérée
On peut, à cette occasion, introduire le vocabulaire relatif à l'algèbre linéaire : famille libre, famille liée, vecteurs linéairement indépendants, vecteurs colinéaires, vecteurs coplanaires.

b) Produit scalaire

Définition géométrique.
Bilinéarité, symétrie.

Exprimer le produit scalaire dans une base orthonormale directe.
Démonstrations hors programme.

c) Produit vectoriel dans l'espace orienté

Définition géométrique : si \vec{u} et \vec{v} sont non colinéaires, le produit vectoriel de \vec{u} et \vec{v} est le vecteur de norme $\|\vec{u}\| \|\vec{v}\| |\sin(\vec{u}, \vec{v})|$ directement orthogonal à (\vec{u}, \vec{v}) ; sinon le produit vectoriel est le vecteur nul.
Bilinéarité, antisymétrie.

Déterminer si deux vecteurs sont colinéaires.
La notion d'orientation de l'espace reposant sur les conventions physiques usuelles est admise.

Exprimer le produit vectoriel dans une base orthonormale directe ;
Démonstrations hors programme.

d) Produit mixte dans l'espace orienté

Définition du produit mixte de trois vecteurs
 $[\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}] = (\vec{u} \wedge \vec{v}) \cdot \vec{w}$.

Trilinéarité, antisymétrie.

Déterminer si trois vecteurs sont coplanaires.
Interpréter $|[\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}]|$ comme volume du parallélépipède construit sur \vec{u} , \vec{v} et \vec{w} . Notation $[\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}]$.
Exprimer le produit mixte dans une base orthonormale directe.
Démonstrations hors programme.

e) Plans et droites

Différents modes de définition d'un plan : par un point et deux vecteurs non colinéaires, par un point et un vecteur normal, par trois points non alignés.

Différents modes de définition d'une droite : par un point et un vecteur directeur, par deux points distincts, comme intersection de deux plans.

Distance d'un point à un plan, distance d'un point à une droite.

Déterminer une équation cartésienne ou un système d'équations paramétriques d'un plan ;
Passer d'une représentation à l'autre.

Déterminer un vecteur directeur d'une droite définie comme intersection de deux plans ;
Déterminer un système d'équations cartésiennes ou un système d'équations paramétriques d'une droite ;
Passer d'une représentation à l'autre.

Étudier des intersections.

Déterminer le projeté orthogonal d'un point sur une droite, sur un plan.

f) Sphères

Définition, équation cartésienne en repère orthonormé.

Reconnaître une équation de sphère ;
Déterminer une équation d'une sphère à partir de son centre et de son rayon ;
Déterminer le centre et le rayon d'une sphère à partir d'une équation ;
Déterminer l'intersection d'une sphère et d'un plan.

Équations différentielles linéaires

En classe de Terminale, les étudiants ont étudié des exemples simples d'équations différentielles linéaires à coefficients constants, du premier et du second ordre. Il s'agit dans ce chapitre de consolider et d'étendre cette étude. Les équations différentielles sont un domaine à la fois très riche pour les mathématiques, pour la physique et la chimie. Ce chapitre doit être traité en concertation avec les professeurs des autres disciplines afin de l'illustrer par des exemples issus des domaines scientifiques et technologiques. On se référera à l'appendice Outils mathématiques pour la physique et la chimie.

a) Équations différentielles linéaires du premier ordre

Équation $y' + a(x)y = b(x)$, où a et b sont des fonctions continues définies sur un intervalle de \mathbb{R} à valeurs réelles ou complexes.

Existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy.

Écrire et résoudre l'équation homogène associée.

Utiliser le principe de superposition et/ou la méthode de variation de la constante pour trouver une solution particulière.

Déterminer la solution générale de l'équation avec second membre comme la somme de la solution générale de l'équation homogène et d'une solution particulière.

Décrire l'ensemble des solutions.

Les étudiants doivent savoir étudier des équations dans lesquelles la variable et la fonction inconnue sont représentés par d'autres lettres que x et y .

À ce stade, la résolution ne doit pas faire appel à une intégration par parties ou à un changement de variable.

Déterminer la solution vérifiant une condition initiale donnée.

\Leftrightarrow PC : circuits électriques RC, RL

b) Équations différentielles linéaires du second ordre à coefficients constants

Équation différentielle linéaire du second ordre à coefficients constants

$$y'' + ay' + by = f(x)$$

où a et b sont des nombres réels et f est une application continue à valeurs dans \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

Existence et unicité de la solution d'un problème de Cauchy.

Donner l'équation caractéristique.

Résoudre l'équation homogène, notamment dans le cas d'une équation de la forme $y'' \pm \omega^2 y(x) = 0$.

\Leftrightarrow PC : circuits électriques LC, RLC. Régime transitoire, régime stationnaire. Pôles d'un système.

\Leftrightarrow *Outils mathématiques pour la physique-chimie et les sciences industrielles de l'ingénieur §2.*

Déterminer une solution particulière dans le cas d'un second membre de la forme $Ae^{\omega x}$ avec $(A, \omega) \in \mathbb{C}^2$.

Utiliser le principe de superposition.

Exprimer la solution générale de l'équation avec second membre comme la somme de la solution générale de l'équation homogène et d'une solution particulière.

Aucune technique n'est exigible pour toute autre forme de second membre.

Déterminer la solution vérifiant une condition initiale donnée.

La démonstration est hors programme.

Dénombrement

Ce chapitre a pour but de présenter les bases du dénombrement, notamment en vue de l'étude des probabilités.

Toute formalisation excessive est exclue. En particulier :

- on adopte un point de vue intuitif pour la définition d'un ensemble fini et la notion de cardinal ;
- parmi les propriétés du paragraphe (a), les plus intuitives sont admises sans démonstration ;
- l'utilisation systématique de bijections dans les problèmes de dénombrement n'est pas un attendu du programme.

Ce chapitre est également l'occasion d'aborder les coefficients binomiaux sous un autre angle que celui du chapitre « Pratique du calcul. »

a) Cardinal d'un ensemble fini

Un ensemble est de cardinal $n \in \mathbb{N}^*$ s'il est en bijection avec $[1, n]$. L'ensemble vide est de cardinal nul.

Opérations sur les ensembles et les cardinaux : union disjointe, union quelconque, complémentaire et produit cartésien.

Si B est une partie de l'ensemble fini A alors B est finie et $\text{Card}(B) \leq \text{Card}(A)$; il y a égalité si et seulement si $A = B$.

Cardinal de l'ensemble des parties d'un ensemble fini.

Notations $|A|$, $\text{Card}(A)$, $\#A$.

La formule d'union disjointe peut être admise. La formule du crible est hors programme.

Démontrer l'égalité de deux ensembles finis.

Si A et B sont deux ensembles finis de même cardinal et f une application de A dans B alors f est injective si et seulement si f est surjective, si et seulement si f est bijective.

b) Dénombrement

Nombre de p -uplets (ou p -listes) d'éléments distincts d'un ensemble à n éléments.

Nombre de permutations d'un ensemble à n éléments.

Reconnaître des situations de dénombrement relevant de ce cadre.

On n'utilise pas la notation A_n^p .

Nombre de parties à p éléments d'un ensemble à n éléments.

Reconnaître des situations de dénombrement relevant de ce cadre

Notation $\binom{n}{p}$.

Donner une interprétation combinatoire des propriétés suivantes :

$$\binom{n}{p} = \binom{n}{n-p}; \quad \sum_{p=0}^n \binom{n}{p} = 2^n;$$

$$\binom{n-1}{p-1} + \binom{n-1}{p} = \binom{n}{p}.$$

Systèmes linéaires et calcul matriciel

Ce chapitre est à concevoir comme une initiation aux structures algébriques et plus particulièrement à l'algèbre linéaire « abstraite » qui sera étudiée au second semestre.

*La problématique de départ est la résolution des systèmes linéaires. Elle est à la fois familière des étudiants – ils l'ont rencontrée et pratiquée dans l'enseignement secondaire pour de petites dimensions, par exemple en géométrie – et motivante par le nombre important de problèmes se ramenant à la résolution d'un système linéaire (méthode des différences finies, méthode des moindres carrés, etc). L'objectif majeur du sous-chapitre « **A - Systèmes linéaires** » est la justification et la mise en œuvre de l'algorithme de Gauss-Jordan de résolution d'un système linéaire.*

La recherche d'une méthode systématique de résolution d'un système linéaire par cet algorithme conduit naturellement au calcul matriciel qui recèle à la fois des propriétés inhabituelles pour les étudiants (existence de diviseurs de 0, non commutativité) et des propriétés analogues à celles des ensembles de nombres (distributivité, etc.) qu'il convient de mettre en évidence.

L'ordre d'exposition choisi ci-dessous n'est nullement impératif. On pourra aussi bien commencer par introduire le calcul matriciel, puis l'appliquer à la théorie des systèmes linéaires. On veillera à respecter les objectifs de formation suivants :

- Familiariser les étudiants avec les différentes représentations des solutions d'un système linéaire.
- Entraîner au calcul matriciel. On évitera cependant tout excès de technicité et on se limitera à des systèmes et des matrices de taille raisonnable dans les applications numériques.
- Consolider la formation à l'algorithmique et la programmation.
- Mettre en évidence sur des exemples l'instabilité de la méthode de Gauss-Jordan due aux erreurs d'arrondi.

Dans ce chapitre, \mathbb{K} désigne \mathbb{R} ou \mathbb{C} .

A - Systèmes linéaires

a) Matrices à coefficients dans \mathbb{K}

Pour n et p dans \mathbb{N}^* , définition d'une matrice à coefficients dans \mathbb{K} à n lignes et p colonnes comme tableau rectangulaire d'éléments de \mathbb{K} .

b) Systèmes linéaires

Équation linéaire à p inconnues. Système linéaire à n équations et p inconnues.

Système homogène.

Matrice A d'un système linéaire; matrice augmentée $(A|B)$ où B est la colonne des seconds membres.

Opérations élémentaires sur les lignes d'un système ou d'une matrice : échange des lignes L_i et L_j , multiplication de L_i par $\lambda \neq 0$, ajout de $\lambda \cdot L_j$ à L_i pour $i \neq j$.

Interprétations géométriques dans le plan et dans l'espace.

Système homogène associé à un système linéaire.

Interpréter les opérations sur les lignes en termes de système linéaire.

Notations $L_i \leftrightarrow L_j$; $L_i \leftarrow \lambda L_i$; $L_i \leftarrow L_i + \lambda L_j$.

Deux systèmes sont dits équivalents si on passe de l'un à l'autre par une suite finie d'opérations élémentaires sur les lignes.

Deux systèmes équivalents ont le même ensemble de solutions.

Deux matrices sont dites équivalentes en lignes si elles se déduisent l'une de l'autre par une suite finie d'opérations élémentaires sur les lignes.

Si on passe d'un système \mathcal{S} à un autre système \mathcal{S}' par une suite finie d'opérations élémentaires sur les lignes, la matrice augmentée de \mathcal{S}' s'obtient en effectuant la même suite d'opérations élémentaires sur la matrice augmentée de \mathcal{S} .

Maîtriser la notion de système équivalent.

Relier cette notion à la théorie des systèmes linéaires.

Notation $A \underset{L}{\sim} A'$.

Ce résultat justifie la présentation matricielle de la résolution d'un système linéaire.

c) Échelonnement et algorithme du pivot de Gauss-Jordan

Une matrice est dite échelonnée en lignes si elle vérifie les deux propriétés suivantes :

- Si une ligne est entièrement nulle, toutes les lignes suivantes le sont aussi ;
- À partir de la deuxième ligne, dans chaque ligne non entièrement nulle, le premier coefficient non nul à partir de la gauche est situé à droite du premier coefficient non nul de la ligne précédente.

Une matrice échelonnée en lignes est dite échelonnée réduite en lignes lorsque tous les pivots sont égaux à 1 et sont les seuls éléments non nuls de leur colonne.

Toute matrice non nulle est équivalente en lignes à une unique matrice échelonnée réduite en lignes.

Reconnaître et exploiter des matrices échelonnées dans le cadre de l'étude de systèmes linéaires.

Un schéma « en escalier » illustre la notion de matrice échelonnée.

On appelle pivot le premier coefficient non nul de chaque ligne non entièrement nulle.

Déterminer la matrice échelonnée réduite en lignes associée à un système donné.

Description de l'algorithme du pivot de Gauss-Jordan.

La démonstration de l'unicité n'est pas exigible.

d) Ensemble des solutions d'un système linéaire

Structure de l'ensemble des solutions.

Rang d'un système linéaire.

Inconnues principales et inconnues secondaires (paramètres).

Système incompatible. Système compatible.

Résoudre un système compatible.

L'ensemble des solutions d'un système \mathcal{S} est soit vide, soit de la forme $X_0 + S_H$ où X_0 est une solution particulière de \mathcal{S} et S_H l'ensemble des solutions du système homogène associé à \mathcal{S} .

Défini comme égal au nombre de pivots.

Le nombre de paramètre est égal à la différence du nombre d'inconnues et du rang.

Déterminer des conditions de compatibilité pour un système donné

Application aux problèmes d'intersection en géométrie du plan et de l'espace.

B - Calcul matriciel

Dans tout ce sous-chapitre, n et p appartiennent à \mathbb{N}^* . On définit les opérations matricielles qui permettent de représenter matriciellement les opérations de pivot explicitées précédemment. L'objectif visé est la décomposition de toute matrice rectangulaire A en un produit de la forme $A = ER$ où R est échelonnée réduite en lignes et E est un produit de matrices élémentaires.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Espaces de matrices

Ensemble $\mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$ des matrices à n lignes et p colonnes à coefficients dans \mathbb{K} .

Opérations sur les matrices : addition, multiplication d'une matrice par un élément de \mathbb{K} et produit de deux matrices.

Application à l'écriture matricielle d'un système linéaire.

Propriétés des opérations matricielles.

Ensemble $\mathcal{M}_n(\mathbb{K})$.

Puissances d'une matrice carrée.

Formule du binôme.

Matrices carrées inversibles. Inverse.

Inverse du produit de matrices inversibles.

Les propriétés suivantes sont exigibles : la j -ème colonne de AB est le produit de A par la j -ème colonne de B et la i -ème ligne de AB est le produit de la i -ème ligne de A par B .

Il existe des matrices non nulles dont le produit est nul.

Notation I_n pour la matrice identité.

Le produit matriciel n'est pas commutatif.

On appelle groupe linéaire, noté $GL_n(\mathbb{K})$, l'ensemble des matrices inversibles de taille n . Tout développement sur la notion de groupe est hors programme.

b) Opérations élémentaires de pivot et calcul matriciel

Matrices élémentaires : matrices de transvection, de transposition et de dilatation. Inversibilité des matrices élémentaires.

Brève extension des définitions et des résultats aux opérations élémentaires sur les colonnes d'une matrice.

Calcul de l'inverse d'une matrice carrée par résolution d'un système linéaire et méthode du pivot de Gauss.

Interprétation des opérations élémentaires sur les lignes d'une matrice au moyen des matrices élémentaires.

Traduction matricielle de l'algorithme de Gauss-Jordan : pour toute matrice rectangulaire A à coefficients dans \mathbb{K} , il existe une matrice E produit de matrices élémentaires et une unique matrice échelonnée réduite R telles que $A = ER$.

Notation $A \underset{C}{\sim} A'$.

Pour $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{K})$, équivalence des propriétés suivantes :

- A est inversible ;
- Le système $AX = 0$ n'admet que la solution nulle ;
- $A \underset{L}{\sim} I_n$;
- Pour tout B , le système $AX = B$ admet une unique solution ;
- Pour tout B , le système $AX = B$ admet au moins une solution.

\Leftrightarrow I.

c) Matrices carrées remarquables

Matrices diagonales.
Matrices triangulaires.

Stabilité par les opérations.

d) Transposition

Transposée d'une matrice

Transposée d'une somme, d'un produit, d'un inverse.

Notations A^T , ${}^t(A)$.

Matrices symétriques et antisymétriques.

Polynômes

L'objectif est d'étudier, par des méthodes élémentaires, les propriétés de base des polynômes, et de les exploiter pour la résolution de problèmes portant sur les équations algébriques et les fonctions numériques. Le programme se limite au cas où le corps de base \mathbb{K} est égal à \mathbb{R} ou \mathbb{C} . On pourra confondre polynômes et fonctions polynomiales.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Polynômes à une indéterminée

Ensemble $\mathbb{K}[X]$ des polynômes d'indéterminée X et à coefficients dans \mathbb{K} .

Opérations : somme, produit et composée.

Degré d'un polynôme. Coefficient dominant, polynôme unitaire (ou normalisé). Degré d'une somme et d'un produit.

Fonction polynomiale associée à un polynôme.

Aucune connaissance de la construction de $\mathbb{K}[X]$ n'est exigible. Notation d'un polynôme : $\sum_{p=0}^n a_p X^p$ ou $a_0 + a_1 X + \dots + a_n X^n$.

Le degré du polynôme nul vaut par convention $-\infty$.

b) Bases de l'arithmétique dans $\mathbb{K}[X]$

On introduira ces notions par des rappels sur l'arithmétique dans \mathbb{Z} .

Divisibilité dans $\mathbb{K}[X]$.

Division euclidienne dans $\mathbb{K}[X]$.

Effectuer une division euclidienne de polynômes.
 \Leftrightarrow I

c) Dérivation

Polynôme dérivé.

Opérations : somme produit.

Dérivées d'ordre supérieur. Formule de Leibniz.

Formule de Taylor.

d) Racines

Racine d'un polynôme.

Multiplicité d'une racine.

Caractérisation par les valeurs des dérivées successives en a de l'ordre de multiplicité de la racine a .

Majoration du nombre de racines d'un polynôme non nul par son degré.

Polynôme scindé sur \mathbb{K} .

Théorème de d'Alembert-Gauss.

Déterminer les racines d'un polynôme. Caractériser les racines par la divisibilité.

La démonstration de ce théorème est admise.

f) Somme et produit des racines d'un polynôme

Expressions de la somme et du produit des racines d'un polynôme en fonction de ses coefficients.

Cas des polynômes de degré deux.

Les autres fonctions symétriques élémentaires sont hors programme.

Deuxième semestre

Nombres réels et suites numériques

L'objectif est d'énoncer les propriétés fondamentales de la droite réelle, et de les appliquer à l'étude des suites, qui interviennent en mathématiques tant pour leur intérêt pratique (modélisation de phénomènes discrets) que théorique. Les notions de borne supérieure et de borne inférieure sont introduites uniquement pour aboutir au théorème de la limite monotone.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Nombres réels

Ensembles usuels de nombres : entiers relatifs, nombres décimaux, rationnels.

Droite réelle, droite réelle achevée.

Distance entre deux réels.

La relation d'ordre \leq dans \mathbb{R} : majorant, maximum, mineur, minimum.

Borne supérieure (resp. inférieure) d'une partie non vide majorée (resp. minorée) de \mathbb{R} .

Partie entière d'un nombre réel.

Caractérisation des intervalles de \mathbb{R} : une partie I de \mathbb{R} est un intervalle si et seulement si, pour tout $(a, b) \in I^2$ avec $a < b$, $[a, b] \subset I$.

La construction de ces ensembles de nombres n'est pas au programme.

Faire le lien avec la géométrie.

La construction de \mathbb{R} n'est pas au programme.

Déterminer les bornes supérieure et inférieure éventuelles de fonctions.

L'existence est admise. Aucun développement n'est attendu.

Notation $[x]$.

b) Généralités sur les suites réelles

Modes de définition d'une suite.

Opérations.

Monotonie, stricte monotonie.

Suites minorées, majorées, bornées.

Suites arithmétiques et suites géométriques.

Reconnaître une suite définie de façon explicite, implicite ou par récurrence. Reconnaître une suite extraite.

Manipuler sur des exemples des majorations et minoration

Une suite (u_n) est bornée si et seulement si $(|u_n|)$ est majorée.

c) Limite d'une suite réelle

Si ℓ est un réel, la suite (u_n) admet ℓ pour limite si :
 $\forall \varepsilon > 0, \exists N \in \mathbb{N}, \forall n \in \mathbb{N}, n \geq N \Rightarrow |u_n - \ell| \leq \varepsilon$.

La suite (u_n) admet $+\infty$ pour limite si :

$\forall A > 0, \exists N \in \mathbb{N}, \forall n \in \mathbb{N}, n \geq N \Rightarrow u_n \geq A$.

Unicité de la limite.

Suite convergente, suite divergente.

Toute suite réelle convergente est bornée.

Si (u_n) tend vers un élément de $\mathbb{R} \cup \{\pm\infty\}$ alors il en est de même de toute suite extraite de (u_n) .

Opérations sur les limites de suites : somme, multiplication par un scalaire, produit, inverse.

Cas des suites géométriques, arithmétiques.

Passage à la limite dans une inégalité.

Prouver l'existence d'une limite ℓ en majorant $|u_n - \ell|$, notamment lorsque la suite vérifie une inégalité du type : $|u_{n+1} - \ell| \leq k|u_n - \ell|$. Lien avec la définition vue en classe de Terminale.

Adapter cette notion à la limite en $-\infty$.

Prouver la divergence d'une suite à l'aide d'une suite extraite.

Lever une indétermination.

d) Théorèmes d'existence d'une limite

Théorème de convergence par encadrement.
Théorème de la limite monotone.

Exploiter ce théorème sur des exemples.

e) Comparaisons de suites

Divergence par comparaison : si (u_n) tend vers $+\infty$ et si, pour tout n , on a $u_n \leq v_n$, alors (v_n) tend vers $+\infty$.

Adapter cet énoncé aux suites tendant vers $-\infty$.

Relations de comparaison : négligeabilité, équivalence.

Notations $u_n = o(v_n)$ et $u_n \sim v_n$.

On définit ces relations à partir du quotient $\frac{u_n}{v_n}$ en supposant que la suite (v_n) ne s'annule pas à partir d'un certain rang.

$u_n \sim v_n$ si et seulement si $u_n = v_n + o(v_n)$.

Compatibilité de l'équivalence avec le produit, le quotient, les puissances.

Exploiter ces résultats pour déterminer le comportement asymptotique de suites.

Deux suites équivalentes ont le même signe à partir d'un certain rang.

Deux suites équivalentes ont le même comportement asymptotique.

Croissances comparées de n^α , a^n , $(\ln(n))^\beta$.

Limites, continuité et dérivabilité

Ce chapitre est divisé en deux parties, consacrées aux limites et à la continuité pour la première, au calcul différentiel pour la seconde. On y formalise et démontre les résultats qui ont été utilisés d'un point de vue calculatoire dans le premier chapitre d'analyse.

Dans de nombreuses questions de nature qualitative, on visualise une fonction par son graphe. Il convient de souligner cet aspect géométrique en ayant recours à de nombreuses figures.

Les fonctions sont définies sur un intervalle I de \mathbb{R} non vide et non réduit à un point et sont à valeurs réelles.

Dans un souci d'unification, on dit qu'une propriété portant sur une fonction f définie sur I est vraie au voisinage de a si elle est vraie sur l'intersection de I avec un intervalle ouvert centré sur a si a est réel, avec un intervalle $[A, +\infty[$ si $a = +\infty$, avec un intervalle $]-\infty, A]$ si $a = -\infty$.

A - Limites et continuité

L'essentiel du paragraphe (a) consiste à adapter au cadre continu les notions déjà abordées pour les suites. Le professeur a la liberté d'admettre certains résultats.

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Limite finie ou infinie en un point ou en $\pm\infty$

Étant donné un point a qui appartient à I ou est une extrémité de I , on dit que $f(x)$ tend vers ℓ lorsque x tend vers a si : $\forall \varepsilon > 0, \exists \delta > 0, \forall x \in I, |x - a| \leq \delta \Rightarrow |f(x) - \ell| \leq \varepsilon$.

Si I n'est pas majoré alors on dit que $f(x)$ tend vers ℓ lorsque x tend vers $+\infty$ si

$\forall \varepsilon > 0, \exists A > 0, \forall x \in I, x \geq A \Rightarrow |f(x) - \ell| \leq \varepsilon$.

Unicité de la limite.

Si f admet une limite finie en a alors f est bornée au voisinage de a .

Limite à gauche, limite à droite.

Opérations sur les fonctions admettant une limite finie ou infinie en a .

Image d'une suite de limite ℓ par une fonction admettant une limite en ℓ .

Maîtriser le formalisme mathématique de la définition de la limite et le mettre en relation avec l'intuition géométrique.

Notation $f(x) \xrightarrow{x \rightarrow a} \ell$. Adaptation au cas où f est définie sur $I \setminus \{a\}$. Notation $f(x) \xrightarrow[x \neq a]{x \rightarrow a} \ell$. Adaptation au cas

$\ell = \pm\infty$.

Maîtriser le formalisme mathématique de la définition de la limite et le mettre en relation avec l'intuition géométrique.

Notation $f(x) \xrightarrow{x \rightarrow +\infty} \ell$. Adaptations au cas $\ell = \pm\infty$, au cas d'une limite en $-\infty$.

Notation $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = \ell$.

Notations $\lim_{\substack{x \rightarrow a \\ x > a}} f(x)$ ou $\lim_{x \rightarrow a^+} f(x)$.

Exploiter ces résultats sur des exemples.

Adaptation des énoncés relatifs aux suites.

b) Comparaison des fonctions

Passage à la limite dans une inégalité

Théorème de la limite monotone.

Relations de négligeabilité et d'équivalence.

Démonstration hors programme.

Adapter au cas des fonctions les définitions et les résultats étudiés sur les suites.

c) Continuité en un point

Définition de la continuité de f au point a de I .

Maîtriser le formalisme mathématique de la définition de la limite

Si a appartient à I , alors f est continue en a si et seulement si f a une limite finie en a ; sinon, f a une limite finie en a si et seulement si elle se prolonge par continuité en a .

Continuité à droite et à gauche.
 Prolongement par continuité en un point.
 Opérations sur les fonctions continues : somme, produit, quotient, composition.

Exploiter ces résultats sur des exemples.

d) Continuité sur un intervalle

Définition. Opérations.
 Théorème des valeurs intermédiaires : si a et b sont deux réels, si f est continue sur $[a, b]$ et si γ est compris entre $f(a)$ et $f(b)$, alors il existe c dans $[a, b]$ tel que $\gamma = f(c)$.
 Image d'un intervalle par une fonction continue.
 Une fonction continue sur un segment est bornée et atteint ses bornes.

La démonstration n'est pas exigible.
 \Leftrightarrow I : application de la dichotomie à l'approximation d'un zéro d'une fonction continue.

La démonstration est hors programme.

e) Continuité et bijectivité

Fonction bijective d'un intervalle I sur une partie de \mathbb{R} .
 Fonction réciproque.
 Toute fonction f continue et strictement monotone sur un intervalle I réalise une bijection de I sur l'intervalle $f(I)$, et sa réciproque est continue et strictement monotone sur $f(I)$ (et de même monotonie que f).

Comparaison des représentations graphiques d'une bijection et de sa réciproque.
 Appliquer ce résultat sur des exemples.

B - Dérivabilité

a) Nombre dérivé, fonction dérivée

Dérivabilité de f en a ; nombre dérivé : limite du taux d'accroissement.
 Équivalence avec l'existence d'un développement limité en a à l'ordre 1.

Notation $f'(a)$ pour le nombre dérivé.

La droite d'équation

$$y = f(a) + f'(a)(x - a)$$

est appelée tangente au graphe de f au point d'abscisse a . Cette définition peut être justifiée (limite de sécantes).
 Interprétation cinématique.
 \Leftrightarrow I : méthode de Newton.

Dérivabilité à droite et à gauche en a .
 Dérivabilité d'une fonction sur un intervalle.

Notation f' pour la fonction dérivée.

b) Opérations sur les fonctions dérivables

Si f et g sont dérivables en a , dérivabilité et dérivée en a de $f + g$, $f g$ et, si $g(a) \neq 0$, de $\frac{f}{g}$.
 Si f est dérivable en a et g dérivable en $f(a)$, dérivabilité et dérivée en a de $g \circ f$.

Si f est une bijection de l'intervalle I sur l'intervalle J , si f est dérivable en a , condition nécessaire et suffisante de dérivabilité de f^{-1} en $f(a)$ et calcul de la dérivée. Extension aux opérations sur les fonctions dérivables sur un intervalle. En particulier, réciproque d'une bijection de classe \mathcal{C}^1 .

Interprétation géométrique.

c) Propriétés des fonctions dérivables

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

Inégalité des accroissements finis : si une fonction $f : [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$, continue sur $[a, b]$, dérivable sur $]a, b[$, est telle que, pour tout $t \in]a, b[$, $|f'(t)| \leq M$, alors, pour tout $(x, y) \in [a, b]^2$, $|f(x) - f(y)| \leq M|x - y|$.

Caractérisation des fonctions constantes, croissantes, strictement croissantes parmi les fonctions dérivables.

Théorème de la limite de la dérivée : si f est dérivable sur $I \setminus \{a\}$, continue sur I et si $f'(x)$ tend vers ℓ (réel ou infini) lorsque x tend vers a , alors $\frac{f(x) - f(a)}{x - a}$ tend vers ℓ lorsque x tend vers a .

Appliquer ces résultats sur des exemples.

Interpréter géométriquement ce résultat.

Si ℓ est un nombre réel, alors f est dérivable en a et f' est continue en a .

e) Dérivées d'ordre supérieur

Pour k dans $\mathbb{N}^* \cup \{\infty\}$, fonction de classe C^k sur I .

Opérations : somme, produit (formule de Leibniz), composée, réciproque.

Notations $f^{(k)}$, $D^k f$ pour la dérivée k -ième de f . Ensembles $\mathcal{C}^k(I, \mathbb{R})$, $\mathcal{C}^\infty(I, \mathbb{R})$.

Maîtriser le calcul des fonctions dérivées.

Intégration sur un segment

L'objectif de ce chapitre est de consolider, d'approfondir et d'étendre la notion d'intégrale étudiée en Terminale STL. La présentation de l'intégrale sur un segment s'appuie sur la notion d'aire, mais tout développement théorique sur ce sujet est hors programme. Le cas des fonctions à valeurs réelles est étendu sans difficulté au cas complexe.

a) Intégrale d'une fonction continue

Fonction continue ; définition, opérations.

Intégrale $\int_{[a,b]} f$ d'une fonction f continue sur un segment $[a, b]$.

Propriétés : linéarité, positivité, croissance, valeur absolue d'une intégrale (inégalité triangulaire). Inégalité de la

moyenne : $\left| \int_{[a,b]} f \right| \leq (b - a) \sup_{[a,b]} |f|$

Notation $\int_c^d f$ ou $\int_c^d f(t) dt$ pour $(c, d) \in [a, b]^2$.

Interpréter géométriquement une intégrale.

Modéliser une situation physique par une intégration.

La construction est hors programme. Dans le cas d'une fonction à valeurs positives, on fait le lien avec l'aire du domaine sous la courbe.

Relation de Chasles.
 Une fonction continue et positive sur $[a, b]$ est nulle si et seulement si son intégrale est nulle.
 Extension aux fonctions à valeurs complexes.

c) Calcul intégral

Si f est une fonction continue sur I et si x_0 est un point de cet intervalle, alors

$$x \longmapsto \int_{x_0}^x f(t) dt$$

est l'unique primitive de f sur I s'annulant en x_0 .
 En particulier, toute fonction continue sur I admet des primitives sur I .
 Calcul d'une intégrale au moyen d'une primitive. En particulier, pour f de classe \mathcal{C}^1 : $\int_a^b f'(t) dt = f(b) - f(a)$.
 Intégration par parties. Changement de variable.

Primitives des fonctions usuelles.

Appliquer ce théorème sur des exemples.
 Deux primitives d'une fonction continue sur l'intervalle I diffèrent d'une constante.

Appliquer ces techniques au calcul de primitives.
 Tout excès de technicité est exclu.
 Savoir reconnaître des primitives usuelles.
 Pour les fonctions rationnelles, on se limite à des cas simples : aucune théorie de la décomposition en éléments simples n'est au programme.

d) Formule de Taylor avec reste intégral

Polynôme de Taylor à l'ordre n pour la fonction f au point a :

$$T_n(f) = \sum_{k=0}^n \frac{f^{(k)}(a)}{k!} (X - a)^k.$$

Pour une fonction f de classe \mathcal{C}^{n+1} , formule de Taylor avec reste intégral au point a à l'ordre n .

Notation du reste :
 $R_n(f)(x) = f(x) - T_n(f)(x)$

Exploiter la formule de Taylor avec reste intégral pour établir des égalités, des inégalités.

Développements limités

L'objectif est la maîtrise du calcul des développements limités simples. Le calcul de développements limités à un ordre élevé n'est pas un objectif du programme ; il relève d'outils logiciels.

a) Généralités

Définition, unicité, troncature.

Opérations sur les développements limités : combinaison linéaire, produit.
 Composition, application au quotient.

Interpréter un développement limité d'ordre n comme approximation d'une fonction. Ramener un développement limité en 0 par translation.
 Développement limité en 0 d'une fonction paire ou impaire.

Déterminer sur des exemples simples le développement limité d'une fonction composée.
 Aucun résultat général sur ce point n'est exigible. La division selon les puissances croissantes est hors programme.

Intégration terme à terme d'un développement limité.
Formule de Taylor-Young : développement limité à l'ordre n en un point a de I d'une application de classe \mathcal{C}^n au voisinage de a .

Développements limités usuels.

Exploiter les développements limités usuels dans le cadre de calculs de développements limités simples.
Exploiter les outils logiciels pour les développements limités compliqués.
Les étudiants doivent connaître les développements limités à tout ordre en 0 de $x \mapsto \frac{1}{1-x}$, \exp , \sin , \cos , $x \mapsto (1+x)^\alpha$, $x \mapsto \ln(1+x)$,

b) Applications des développements limités

Aucune théorie n'est attendue dans ce paragraphe. On illustrera seulement les différents cas de figure.

Calcul de limites.

Utiliser les développements limités pour lever une forme indéterminée.

Étude locale d'une fonction.

Déterminer, grâce à un développement limité, un prolongement par continuité, la dérivabilité, la nature d'un extremum, une tangente et sa position relative par rapport à la courbe.
Aucun résultat général n'est exigible.
Déterminer les éventuelles asymptotes et leurs positions relatives locales.

Espaces vectoriels et applications linéaires

Le programme se limite à l'algèbre linéaire sur les corps \mathbb{R} et \mathbb{C} . Après l'approche numérique du chapitre « Algèbre linéaire I » on passe à une vision plus géométrique. Les trois grands thèmes traités sont les espaces vectoriels, la théorie de la dimension finie et les applications linéaires.

Dans le sous-chapitre « A - Espaces vectoriels » on généralise les objets de la géométrie du plan et de l'espace : vecteurs, bases, droites, plans...

Le sous-chapitre « B - Théorie de la dimension » vise à définir la dimension d'un espace vectoriel admettant une famille génératrice finie et en présente plusieurs méthodes de calcul. La notion de dimension interprète le nombre de degrés de liberté pour un problème linéaire.

L'étude des applications linéaires suit naturellement celle des espaces vectoriels au sous-chapitre « C - Applications linéaires ». Son objectif est de fournir un cadre aux problèmes linéaires.

Il convient de souligner, à l'aide de nombreuses figures, comment l'intuition géométrique permet d'interpréter en petite dimension les notions de l'algèbre linéaire, ce qui facilite leur extension à une dimension supérieure.

Au moins deux approches pédagogiques sont possibles :

- *Traiter ce chapitre selon l'ordre présenté ci-dessous, en l'illustrant notamment sur les espaces \mathbb{K}^n à l'aide des techniques de pivot développées dans le chapitre « Systèmes linéaires et calcul matriciel ».*
- *Mettre en place les différentes notions (sous-espaces vectoriels, familles de vecteurs, dimension, applications linéaires) dans le cas particulier des espaces \mathbb{K}^n avant de les étendre aux espaces vectoriels généraux.*

Il est attendu des étudiants qu'ils sachent reconnaître une situation linéaire et la modéliser à l'aide d'une représentation adaptée dans un espace bien choisi dont on détermine la dimension.

a) Espaces et sous-espaces vectoriels

Définition d'un \mathbb{K} -espace vectoriel.
 Espaces vectoriels de référence : \mathbb{K}^n pour $n \in \mathbb{N}^*$, $\mathbb{K}[X]$, \mathbb{K}^Ω pour Ω non vide (cas particulier des suites) et $\mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$.
 Produit d'une famille finie de \mathbb{K} -espaces vectoriels.
 Combinaisons linéaires d'un nombre fini de vecteurs.
 Sous-espaces d'un \mathbb{K} -espace vectoriel : définition et caractérisation. Droites et plans vectoriels.

L'ensemble des solutions d'un système homogène à p inconnues et à coefficients dans \mathbb{K} est un sous-espace vectoriel de \mathbb{K}^p .
 L'ensemble des solutions sur un intervalle I d'une équation différentielle linéaire homogène est un sous-espace vectoriel de \mathbb{K}^I .
 Sous-espace engendré par une famille finie de vecteurs.
 Intersection de sous-espaces vectoriels.
 Somme de deux sous-espaces F et G d'un \mathbb{K} -espace vectoriel E .
 La somme $F + G$ est dite directe si l'écriture d'un vecteur de $F + G$ comme somme d'un élément de F et d'un élément de G est unique.

Sous-espaces supplémentaires.

Identifier un ensemble comme un sous-espace vectoriel d'un espace vectoriel connu.

Appréhender le concept d'espace vectoriel de fonctions.

Notation $\text{Vect}(u_1, \dots, u_p)$.

Démontrer qu'une somme directe par la caractérisation $F \cap G = \{0\}$.

Déterminer l'unique décomposition d'un vecteur donné dans une somme directe.

Notation $F \oplus G$.

b) Familles finies de vecteurs

Vecteurs colinéaires, vecteurs coplanaires.
 Famille libre, famille liée.
 Toute famille de polynômes à coefficients dans \mathbb{K} non nuls et de degrés échelonnés est libre.
 Famille génératrice d'un sous-espace vectoriel.

Bases.

Coordonnées dans une base.

Base adaptée à une somme directe.

Déterminer si une famille donnée est libre ou liée.

Déterminer si une famille est génératrice.

Exemples usuels : bases canoniques des espaces \mathbb{K}^n , $\mathbb{K}_n[X]$ et $\mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$.

Déterminer les coordonnées d'un vecteur donné dans une base donnée.

Matrice colonne des coordonnées d'un vecteur x dans une base \mathcal{B} . Notation $\text{Mat}_{\mathcal{B}}x$

Inversement, si $(e_1, \dots, e_k, e_{k+1}, \dots, e_n)$ est une famille libre d'un \mathbb{K} -espace vectoriel E alors $\text{Vect}(e_1, \dots, e_k)$ et $\text{Vect}(e_{k+1}, \dots, e_n)$ sont en somme directe.

a) Dimension finie

Un espace vectoriel est dit de dimension finie s'il admet une famille génératrice finie.

Théorème de la base extraite : de toute famille génératrice d'un \mathbb{K} -espace vectoriel non nul E , on peut extraire une base de E .

Théorème de la base incomplète : toute famille libre de E peut être complétée en une base.

Dans un espace engendré par n vecteurs, toute famille de $n + 1$ vecteurs est liée.

Dimension.

Dimensions de $\mathbb{K}^n, \mathbb{K}_n[X]$ et $\mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$.

Si E est dimension n et \mathcal{F} une famille de n vecteurs de E , alors \mathcal{F} est une base de E si et seulement si \mathcal{F} est libre, si et seulement si \mathcal{F} est génératrice.

Application à l'existence d'une base d'un \mathbb{K} -espace vectoriel E non nul de dimension finie.

Notation $\dim(E)$.

b) Sous-espaces d'un espace vectoriel de dimension finie

Si F est un sous-espace d'un espace vectoriel E de dimension finie alors F est de dimension finie et $\dim(F) \leq \dim(E)$. De plus, $F = E$ si et seulement si les deux dimensions sont égales.

Supplémentaires d'un sous-espace.

Dimension de la somme de deux sous-espaces : formule de Grassmann.

Démontrer l'égalité de deux sous-espaces vectoriels à l'aide d'une inclusion et de l'égalité de leurs dimensions.

Démontrer que deux sous-espaces vectoriels sont supplémentaires à l'aide de la caractérisation par l'intersection nulle et la somme des dimensions.

Cas d'une somme directe.

c) Famille finie de vecteurs

Rang d'une famille finie (u_1, \dots, u_p) de vecteurs d'un \mathbb{K} -espace vectoriel.

Notation $\text{rg}(u_1, \dots, u_p)$.

Une famille de vecteurs (u_1, \dots, u_p) est libre si et seulement si $\text{rg}(u_1, \dots, u_p) = p$.

a) Généralités

Endomorphismes, isomorphismes et automorphismes.
 Identité, homothéties
 Combinaison linéaire et composée d'applications linéaires.
 Réciproque d'un isomorphisme, composée d'isomorphismes.
 Image directe, image réciproque d'un sous-espace vectoriel.
 Image et noyau.
 L'image par une application linéaire u d'une famille génératrice de E est génératrice de $\text{Im}(u)$.

Notation Id_E .
 Notations $\mathcal{L}(E, F)$ et $\mathcal{L}(E)$.
 Règles de calcul dans ces espaces.
 Notation $\text{GL}(E)$ pour le groupe linéaire.

Déterminer une base de l'image, du noyau d'une application linéaire.
 Caractériser l'injectivité à l'aide du noyau et la surjectivité à l'aide de l'image.
 Notations $\text{Im}(u)$, $\text{Ker}(u)$.

b) Isomorphismes

Une application linéaire de E dans F est un isomorphisme si et seulement si elle transforme une base de E en une base de F .
 Espaces isomorphes, caractérisation par la dimension.
 Si E et F ont même dimension finie alors une application linéaire de E dans F est bijective si et seulement si elle est injective ou surjective.

Cas particulier des automorphismes.
 Contre-exemples en dimension infinie.

c) Modes de définition d'une application linéaire

Une application linéaire est entièrement déterminée par l'image d'une base.
 Une application linéaire définie sur $E = E_1 \oplus E_2$ est entièrement déterminée par ses restrictions à E_1 et E_2 .

e) Rang d'une application linéaire

Application linéaire de rang fini.
 Invariance du rang par composition à droite ou à gauche par un isomorphisme.
 Théorème du rang : si E est de dimension finie et $u \in \mathcal{L}(E, F)$ alors u est de rang fini et $\dim(E) = \dim(\text{Ker}(u)) + \text{rg}(u)$.

$$\text{rg}(v \circ u) \leq \min\{\text{rg}(u), \text{rg}(v)\}$$

La démonstration est hors programme.

f) Équations linéaires

Une équation, d'inconnue $x \in E$, est dite linéaire si elle est de la forme $u(x) = b$ où $u \in \mathcal{L}(E, F)$ et $b \in F$.
 Structure des solutions, condition de compatibilité, lien avec $\text{Ker}(u)$ et $\text{Im}(u)$.

Exemples des systèmes linéaires et des équations différentielles linéaires d'ordre 1 et 2.
 La notion de sous-espace affine est hors programme.

Matrices

CONTENUS

CAPACITÉS & COMMENTAIRES

a) Opérations

Ensemble des matrices à n lignes et p colonnes à coefficients dans \mathbb{K} . Matrices carrées, matrices triangulaires, matrices diagonales. Somme de deux matrices. Multiplication par un scalaire.	Notation : $\mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$. Interpréter le produit AX d'une matrice par une colonne comme une combinaison linéaire des colonnes de A .
Produit de deux matrices.	Interpréter la j -ème colonne du produit AB comme le produit de A par la j -ème colonne de B . Interpréter la i -ème ligne du produit AB comme le produit de la i -ème ligne de A par B .
Formule du binôme.	Calculer les puissances de matrices carrées.

b) Matrices inversibles

Matrice carrée inversible. Inverse. Ensemble des matrices carrées d'ordre n inversibles.	Caractériser l'inversibilité d'une matrice carrée A par l'existence et l'unicité de la solution de tout système de la forme $AX = B$ où X et B sont deux matrices colonnes. Caractériser l'inversibilité par le nombre de pivots. Reconnaître une matrice inversible et calculer son inverse. On admet que l'inversibilité à droite entraîne l'inversibilité à gauche et réciproquement. Notation $GL_n(\mathbb{K})$ pour le groupe linéaire d'ordre n . Toute théorie générale des groupes est exclue.
Inverse du produit de matrices inversibles.	La notion de comatrice est hors programme.

c) Application linéaire de \mathbb{K}^p dans \mathbb{K}^n canoniquement associée à une matrice

On peut identifier les éléments de \mathbb{K}^p et de \mathbb{K}^n avec des matrices colonnes.

Application $X \mapsto AX$. Linéarité. L'image AX est combinaison linéaire des colonnes de A . Image et noyau d'une matrice.	Déterminer des équations de l'image et du noyau de A . On utilise l'échelonnement d'un système pour déterminer des équations de l'image.
---	---

d) Représentation matricielle en dimension finie

Matrice d'une application linéaire u dans un couple de bases.	Exprimer les coordonnées de $u(x)$ en fonction de celles de x . Notation : $\text{Mat}_{\mathcal{B},\mathcal{C}}(u)$, où \mathcal{B} est une base de l'espace de départ et \mathcal{C} une base de l'espace d'arrivée. Notation $\text{Mat}_{\mathcal{B}}(u)$ dans le cas où $\mathcal{B} = \mathcal{C}$.
Un couple de bases étant fixé, isomorphisme $u \mapsto \text{Mat}_{\mathcal{B},\mathcal{C}}(u)$. Application au calcul de la dimension de $\mathcal{L}(E, F)$. Matrice d'une composée. Lien entre matrice inversible et isomorphisme. Matrice de passage d'une base à une autre.	

Effet d'un changement de bases sur la matrice d'un vecteur, d'une application linéaire, d'un endomorphisme.

e) Rang d'une matrice

Rang d'une matrice $A \in \mathcal{M}_{n,p}(\mathbb{K})$.

Le rang d'une matrice A est égal au nombre de pivots du système linéaire $AX = B$.

Le rang d'une famille de vecteurs de E est égal au rang de sa matrice dans une base.

Le rang d'une application linéaire est égal au rang de sa matrice dans un couple de bases.

Caractérisation des matrices inversibles à l'aide du rang.

Conservation du rang par multiplication à droite ou à gauche par une matrice inversible.

Défini comme le rang de ses vecteurs colonnes dans \mathbb{K}^n ou, de manière équivalente, comme le rang de l'application linéaire de \mathbb{K}^p dans \mathbb{K}^n qui lui est canoniquement associée.

On admet que le rang d'une matrice est égal au rang de ses vecteurs lignes.

Calculer le rang d'une famille de vecteurs, d'une application linéaire par la méthode du pivot.

Probabilités sur un univers fini

Ce chapitre a pour objectifs de mettre en place un cadre théorique permettant de fonder l'étude des probabilités dans le cas d'un univers fini et de développer la formation des étudiants au raisonnement probabiliste. On enrichit le point de vue fréquentiste étudié au lycée par une formalisation ensembliste. On mettra l'accent sur des exemples issus de la vie courante ou provenant des autres disciplines. On se limite en première année au cas des probabilités sur un univers fini.

a) Espaces probabilisés finis

Expérience aléatoire. L'ensemble des issues (ou résultats possibles, ou réalisations) d'une expérience aléatoire est appelé univers.

Événement défini comme une partie de Ω , événement élémentaire défini comme un singleton. Événement certain, événement impossible, événement contraire, événements incompatibles. Opérations sur les événements. Système complet d'événements.

On appelle probabilité sur un ensemble fini Ω toute application P de $\mathcal{P}(\Omega)$ dans $[0,1]$ vérifiant $P(\Omega) = 1$ et, pour tout couple (A,B) de parties disjointes de Ω , $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$.

Probabilité de l'union de deux événements, probabilité de l'événement contraire, croissance d'une probabilité.

Si $\Omega = \{\omega_1, \dots, \omega_n\}$ et p_1, \dots, p_n sont des réels positifs de somme 1, il existe une et une seule probabilité P sur Ω telle que :

$$\forall i \in \llbracket 1, n \rrbracket, P(\{\omega_i\}) = p_i$$

Équiprobabilité (ou probabilité uniforme).

On se limite au cas où l'univers Ω est fini.

Notation de l'événement contraire : \bar{A} .

À partir de la donnée des p_i , calculer la probabilité d'un événement.

Choisir les valeurs des p_i revient à choisir un modèle probabiliste.

b) Indépendance et conditionnement

Probabilité conditionnelle.

Formules des probabilités composées, des probabilités totales et formule de Bayes.
Indépendance de deux événements. Indépendance mutuelle d'une famille finie d'événements.

Représenter une expérience aléatoire à l'aide d'arbres de probabilités.

La définition de $P_A(B)$ est justifiée par une approche heuristique fréquentiste. Notations : $P(B|A)$ ou $P_A(B)$.
 P_A est une probabilité sur Ω .

Variables aléatoires sur un univers fini

La notion de variable aléatoire modélise le résultat d'une expérience aléatoire. L'utilisation des variables aléatoires pour modéliser des situations simples dépendant du hasard fait partie des capacités attendues des étudiants. On se limite aux variables aléatoires sur un univers Ω fini.

a) Variables aléatoires

Variable aléatoire réelle. Loi de probabilité et fonction de répartition.

Image d'une variable aléatoire par une application.

Déterminer la loi d'une variable aléatoire à partir de sa fonction de répartition.

La connaissance des propriétés générales des fonctions de répartition n'est pas exigible.

b) Couples de variables aléatoires

Loi conjointe.

Lois marginales.

Loi conditionnelle.

Étant données deux variables aléatoires X et Y , définies sur Ω , la loi du couple (X, Y) est appelée loi conjointe de X et Y .

Les lois de X et de Y sont appelées lois marginales de (X, Y) .

Si x est un élément de $X(\Omega)$ tel que $P(X = x) > 0$, la loi conditionnelle de Y sachant $(X = x)$ est la probabilité définie sur $Y(\Omega)$ par :

$$\forall A \in \mathcal{P}(Y(\Omega)), P_{Y|X=x}(A) = P(Y \in A | X = x).$$

c) Couples de variables aléatoires indépendantes

Deux variables aléatoires X et Y sont indépendantes si pour tout $(x, y) \in X(\Omega) \times Y(\Omega)$,

$$P(X = x \cap Y = y) = P(X = x)P(Y = y).$$

Si X et Y sont indépendantes, alors, pour tout $(A, B) \subset X(\Omega) \times Y(\Omega)$,

$$P((X, Y) \in A \times B) = P(X \in A)P(Y \in B).$$

Si X et Y sont indépendantes, alors, pour tout x élément de $X(\Omega)$, la loi conditionnelle $P_{Y|X=x}$ est égale à la loi marginale P_Y .

Démonstration hors programme.

Si X et Y sont deux variables aléatoires indépendantes, et si f et g sont des applications définies respectivement sur $X(\Omega)$ et $Y(\Omega)$, alors les variables aléatoires $f(X)$ et $g(Y)$ sont indépendantes.

Démonstration hors programme.

d) Espérance d'une variable aléatoire

Si $X(\Omega) = \{x_1, \dots, x_n\}$,

$$E(X) = \sum_{k=1}^n x_k P([X = x_k])$$

Variable centrée.

Théorème de transfert : si X est une variable aléatoire réelle à valeurs finies et φ une application définie sur $X(\Omega)$, alors l'espérance de la variable aléatoire $\varphi(X)$ est donnée par la formule $E(\varphi(X)) = \sum_{x \in X(\Omega)} \varphi(x) P([X = x])$.

En particulier, $E(aX + b) = aE(X) + b$ pour a et b deux réels donnés.

Espérance du produit de deux variables aléatoires indépendantes.

Interpréter l'espérance en terme de moyenne pondérée.

Démonstration non exigible.

On admet de manière plus générale la linéarité de l'espérance.

e) Variance et écart type d'une variable aléatoire

Définition de la variance et de l'écart type d'une variable aléatoire. Variable réduite.

Formule de König-Huygens.

$V(aX + b) = a^2 V(X)$ pour a et b deux réels donnés.

Inégalité de Bienaymé-Tchebychev.

Interpréter la variance comme indicateur de dispersion.

L'inégalité de Markov n'est pas au programme.

f) Lois usuelles

Loi certaine, loi uniforme, loi de Bernoulli et loi binomiale.

Espérance et variance de ces lois.

Reconnaître des situations modélisables par ces lois. La loi hypergéométrique n'est pas au programme.



Annexe 2a

Programmes des classes préparatoires aux Grandes Ecoles

Filière : **scientifique**

Voie : **Technologie, physique, chimie (TPC)**

Discipline : **Physique**

Première année

Programme de Physique TPC1

Le programme de physique de la classe de TPC1 s'inscrit entre deux continuités, en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

À travers l'enseignement de la physique, il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique et de ses grandes étapes : observer et mesurer, comprendre et modéliser, agir pour créer, pour produire, pour appliquer cette science aux réalisations humaines. Ces compétences ne sauraient être opérationnelles sans connaissances, ni savoir-faire ou capacités. C'est pourquoi ce programme définit un socle de connaissances et de capacités, conçu pour être accessible à tous les étudiants, en organisant de façon progressive leur introduction au cours de la première année. L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Parce que la physique est avant tout une science expérimentale, parce que l'expérience intervient dans chacune des étapes de la démarche scientifique, parce qu'une démarche scientifique rigoureuse développe l'observation, l'investigation, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est mise au cœur de l'enseignement de la discipline, en cours et lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales répondent à la nécessité de se confronter au réel, nécessité que l'ingénieur, le chercheur, le scientifique auront inévitablement à prendre en compte dans l'exercice de leur activité, notamment dans le domaine de la mesure.

Pour acquérir sa validité, l'expérience nécessite le support d'un modèle. La notion même de modèle est centrale pour la discipline. Par conséquent modéliser est une compétence essentielle développée en TPC1. Pour apprendre à l'étudiant à modéliser de façon autonome, il convient de lui faire découvrir les différentes facettes de la physique, qui toutes peuvent le guider dans la compréhension des phénomènes. Ainsi le professeur 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 nécessaire des mathématiques, symboles et méthodes, dont le fondateur de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles étaient le langage dans lequel est écrit le monde. Si les mathématiques sont un outil puissant de modélisation, que l'étudiant doit maîtriser, elles sont parfois plus contraignantes lorsqu'il s'agit d'en extraire une solution. L'évolution des techniques permet désormais d'utiliser aussi l'approche numérique afin de faire porter prioritairement l'attention des étudiants sur l'interprétation et la discussion des résultats plutôt que sur une technique d'obtention. Cette approche permet en outre une modélisation plus fine du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est aussi l'occasion pour l'étudiant d'exploiter les compétences acquises en informatique. C'est enfin l'opportunité de mener avec le professeur de mathématiques d'éventuelles démarches collaboratives.

Enfin l'autonomie de l'étudiant et la prise d'initiative sont développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à un questionnement ou atteindre un but.

Le programme est organisé en trois parties :

- dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer à travers certaines de ces composantes : la démarche expérimentale, les approches documentaires et la résolution de problèmes. Ces compétences et les capacités associées seront exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Elles continueront

à l'être en deuxième année. Leur acquisition doit donc faire l'objet d'un suivi dans la durée. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.

- dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre à travers les activités doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la troisième partie. Elles doivent faire l'objet de la part du professeur d'une programmation visant à s'assurer de l'apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.
- dans la troisième partie sont décrites les connaissances et capacités associées aux **contenus disciplinaires**. Elles sont organisées en deux colonnes : à la première colonne « notions et contenus » correspond une ou plusieurs « capacités exigibles » de la deuxième colonne. Celle-ci met ainsi en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Elle est organisée sur deux semestres. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres. Pour faciliter la progressivité des acquisitions, au premier semestre les grandeurs physiques introduites sont essentiellement des grandeurs scalaires dépendant du temps et éventuellement d'une variable d'espace ; et on utilise les grandeurs physiques vectorielles au deuxième semestre.

Certains items de cette troisième partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une **approche numérique** ou d'une **approche documentaire**.

Pour faciliter la progressivité des acquisitions, au premier semestre les grandeurs physiques introduites sont essentiellement des grandeurs scalaires dépendant du temps et éventuellement d'une variable d'espace ; et on utilise les grandeurs physiques vectorielles au deuxième semestre.

Deux appendices sont consacrés aux types de matériel et aux outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique en fin de l'année de TPC1.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. Comme le rappellent les programmes du lycée, la liberté pédagogique de l'enseignant est le pendant de la liberté scientifique du chercheur.

Dans le cadre de cette liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées. L'enseignant peut ainsi avoir intérêt à mettre son enseignement « en culture » si cela rend sa démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.
- il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique doit être articulée avec celles mise en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique, chimie, sciences industrielles.

Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La physique est une science à la fois théorique et expérimentale. Ces deux composantes de la démarche expérimentale s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement. Ce programme fait donc une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'important volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, ainsi que d'un réel savoir-faire dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie ;
- le second concerne l'identification, tout au long du programme, dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées ;

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique (impédance, facteur de qualité, lois de modulation pour ne citer que quelques exemples).
- les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée, et chaque fois que cela est possible transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la quantification des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement en appendice du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en CPGE mobilisent les compétences spécifiques 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.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie

expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.)

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale - définir des objectifs correspondants
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler et échanger des hypothèses - proposer une stratégie pour répondre à la problématique - proposer un modèle associé - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes - confronter un modèle à des résultats expérimentaux - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information - analyser les résultats de manière critique - 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 son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible - utiliser un vocabulaire scientifique adapté - s'appuyer sur des schémas, des graphes - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul ou en équipe - solliciter une aide de manière pertinente - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation, les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de bien préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheurs ou d'ingénieurs. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

Concernant la compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** », elle est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et à l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences 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.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.
Établir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle. ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue. ...
Communiquer.	Présenter la solution, ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats ...

3. Approches documentaires

Dans un monde où le volume d'informations disponibles rend en pratique difficile l'accès raisonné à la connaissance, il importe de continuer le travail commencé au collège et au lycée sur la recherche, l'extraction et l'organisation de l'information. L'objectif reste de permettre l'accès à la connaissance en toute autonomie et avec la prise de conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné, de la méconnaissance (et donc la découverte) à la maîtrise totale.

Le programme de physique-chimie prévoit qu'un certain nombre de rubriques, identifiées dans la colonne capacités exigibles relèvent d'une « **approche documentaire** ». L'objectif est double ; il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver différemment en utilisant des documents au support varié (texte, vidéo, photo...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (grandes idées, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs) dans les domaines de la physique et de la chimie du XX^e et XXI^e siècle et de leurs applications.

Ces approches documentaires sont aussi l'occasion d'apporter des éléments de compréhension de la construction du « savoir scientifique » (histoire des sciences, débats d'idées, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...). Elles doivent permettre de développer des compétences d'analyse et de synthèse. Sans que cette liste de pratiques soit exhaustive on pourra, par exemple, travailler sur un document extrait directement d'un article de revue scientifique, sur une vidéo, une photo ou sur un document produit par le professeur ; il est également envisageable de demander aux élèves de chercher eux-mêmes des informations sur un thème donné ; ce travail pourra se faire sous forme d'analyse de documents dont les résultats seront présentés aussi bien à l'écrit qu'à l'oral.

Quelle que soit la façon d'aborder ces approches documentaires, le rôle du professeur est de travailler à un niveau adapté à sa classe et d'assurer une synthèse de ce qu'il convient de retenir. Elles doivent être en cohérence avec le socle du programme. Elles peuvent être l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances ou d'approcher de nouveaux modèles mais il faut proscrire toute dérive en particulier calculatoire.

Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la pratique de la formation expérimentale lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la partie « contenus disciplinaires » – 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**, dans la continuité de la nouvelle épreuve d'Évaluation des Compétences Expérimentales (ECE) de Terminale STL, avec cependant un niveau d'exigence plus élevé qui correspond à celui des deux premières années d'enseignement supérieur.

D'autre part, elle présente de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et mises en œuvre en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE.

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

1. Mesures et incertitudes

L'importance de la composante expérimentale de la formation des étudiants des CPGE scientifiques est réaffirmée. Pour pratiquer une démarche expérimentale autonome et raisonnée, les élèves doivent

posséder de solides connaissances et capacités dans le domaine des mesures et des incertitudes : celles-ci interviennent aussi bien en amont au moment de l'analyse du protocole et du choix des instruments de mesure, qu'en aval lors de la validation et de l'analyse critique des résultats obtenus.

Les élèves doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure, en connaître les origines, et comprendre et s'approprier ainsi les objectifs visés par l'évaluation des incertitudes. Les compétences acquises pourront être réinvesties dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés.

Les notions explicitées ci-dessous sur le thème « mesures et incertitudes » s'inscrivent dans la continuité de celles abordées dans les programmes du cycle terminal des filières STI2D et STL du lycée.

Pour assurer le succès de cette formation en filière TPC, il est essentiel que ces notions diffusent dans chacun des thèmes du programme tout au long des deux années préparatoires et qu'elles soient régulièrement évaluées. Dans un souci de contextualisation, on évitera toutes séquences de cours spécifiques. L'informatique fournit aux élèves les outils nécessaires à l'évaluation des incertitudes sans qu'ils soient conduits à entrer dans le détail des concepts mathématiques sous-jacents.

Notions et contenu	Capacités exigibles
Erreur ; composante aléatoire et composante systématique de l'erreur	Utiliser le vocabulaire de base de la métrologie : mesurage, valeur vraie, grandeur d'influence, erreur aléatoire, erreur systématique. Identifier les sources d'erreurs lors d'une mesure.
Notion d'incertitude, incertitude-type Évaluation d'une incertitude-type Incertitude-type composée Incertitude élargie	Savoir que l'incertitude est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être raisonnablement attribuées à la grandeur mesurée. Procéder à l'évaluation de type A de l'incertitude-type (incertitude de répétabilité). Procéder à l'évaluation de type B de l'incertitude-type dans des cas simples (instruments gradués) ou à l'aide de données fournies par le constructeur (résistance, multimètre, oscilloscope, thermomètre, verrerie...) Évaluer l'incertitude-type d'une mesure obtenue à l'issue de la mise en œuvre d'un protocole présentant plusieurs sources d'erreurs indépendantes à l'aide d'une formule fournie ou d'un logiciel. Comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreurs. Associer un niveau de confiance de 95 % à une incertitude élargie.
Présentation d'un résultat expérimental Acceptabilité du résultat et analyse du mesurage (ou processus de mesure)	Exprimer le résultat d'une mesure par une valeur et une incertitude associée à un niveau de confiance. Commenter qualitativement le résultat d'une mesure en le comparant, par exemple, à une valeur de référence. Analyser les sources d'erreurs et proposer des améliorations du processus de mesure.
Vérification d'une loi physique ou validation d'un modèle ; ajustement de données	Utiliser un logiciel de régression linéaire. Connaître la signification du coefficient de corrélation.

expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène.

Juger qualitativement si des données expérimentales avec incertitudes sont en accord avec un modèle linéaire.

Extraire graphiquement ou à l'aide d'un logiciel les incertitudes sur la pente et sur l'ordonnée à l'origine dans le cas de données en accord avec un modèle linéaire.

2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les élèves doivent acquérir au cours de l'année durant les séances de travaux pratiques. Comme précisé dans le préambule consacré à la formation expérimentale, une séance de travaux pratiques s'articule autour d'une problématique, que les thèmes - repérés en gras dans le corps du programme de formation disciplinaire - peuvent servir à définir.

Les capacités rassemblées ici ne constituent donc en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel : par exemple, toutes les capacités mises en œuvre autour de l'oscilloscope ne sauraient être l'objectif d'une séance unique, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

Les différentes capacités à acquérir sont, pour plus de clarté, regroupées par domaine, les deux premiers étant davantage transversaux. Cela ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale à un seul domaine. La capacité à former une image de bonne qualité, par exemple, peut être mobilisée au cours d'une expérience de mécanique ou de thermodynamique, cette transversalité de la formation devant être un moyen, entre d'autres, de favoriser l'autonomie et la prise d'initiative décrites plus haut dans la partie « Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales ».

Le matériel nécessaire à l'acquisition de l'ensemble des compétences ci-dessous figure en **Appendice 1** du programme.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesures de longueurs et d'angles	
Longueurs : sur un banc d'optique.	Mettre en œuvre une mesure de longueur par déplacement d'un viseur entre deux positions.
Longueurs : à partir d'une photo ou d'une vidéo.	Pouvoir évaluer avec précision, par comparaison à un étalon, une longueur (ou les coordonnées d'une position) sur une image numérique.
Angles : avec un goniomètre.	Utiliser un viseur à frontale fixe, une lunette autocollimatrice. Utiliser des vis micrométriques et un réticule pour tirer parti de la précision affichée de l'appareil utilisé.
Longueurs d'onde.	Étudier un spectre à l'aide d'un spectromètre à fibre optique. Mesurer une longueur d'onde acoustique à l'aide d'un support gradué et d'un oscilloscope bicourbe.

<p>2. Mesure de temps et de fréquence</p> <p>Fréquence ou période : mesure directe au fréquencemètre numérique, à l'oscilloscope ou via une carte d'acquisition.</p> <p>Analyse spectrale.</p> <p>Décalage temporel/déphasage à l'aide d'un oscilloscope numérique.</p>	<p>Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage, et la durée totale d'acquisition.</p> <p>Effectuer l'analyse spectrale d'un signal périodique à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.</p> <p>Reconnaître une avance ou un retard.</p> <p>Passer d'un décalage temporel à un déphasage et inversement.</p> <p>Repérer précisément le passage par un déphasage de 0 ou Pi en mode XY.</p>
<p>3. Électricité</p> <p>Mesurer une tension : mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique.</p> <p>Mesurer un courant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe à l'ampèremètre numérique ; - mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée. <p>Mesurer une résistance ou une impédance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe à l'ohmmètre ou au capacimètre ; - mesure indirecte à l'oscilloscope ou au voltmètre sur un diviseur de tension. <p>Caractériser un dipôle quelconque.</p> <p>Élaborer un signal électrique analogique périodique simple à l'aide d'un GBF.</p> <p>Agir sur un signal électrique à l'aide des fonctions simples suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - isolation, amplification, filtrage ; - sommation. 	<p>Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - expliquer le lien entre résolution, calibre, nombre de points de mesure ; - préciser la perturbation induite par l'appareil de mesure sur le montage et ses limites (bande passante, résistance d'entrée) ; - définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête,...). <p>Tracer la caractéristique statique d'un capteur.</p> <p>Obtenir un signal de valeur moyenne, de forme, d'amplitude et de fréquence données</p> <p>Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison masse.</p> <p>Mettre en œuvre les fonctions de base de l'électronique réalisées par des blocs dont la structure ne fait pas l'objet d'une étude spécifique.</p> <p>Associer ces fonctions de base pour réaliser une fonction complexe en gérant les contraintes liées aux impédances d'entrée et/ou de sortie des blocs.</p>

<p>4. Optique</p> <p>Former une image.</p> <p>Créer ou repérer une direction de référence.</p> <p>Analyser une lumière.</p>	<p>Éclairer un objet de manière adaptée. Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, et choisir leur focale de façon raisonnée. Estimer l'ordre de grandeur d'une distance focale.</p> <p>Régler et mettre en œuvre une lunette autocollimatrice et un collimateur.</p> <p>Obtenir et analyser un spectre à l'aide d'un spectromètre. Identifier, à l'aide d'un polariseur, une onde polarisée rectilignement et mesurer sa direction de polarisation.</p>
<p>5. Mécanique</p> <p>Mesurer une masse.</p> <p>Visualiser et décomposer un mouvement.</p> <p>Mesurer une vitesse, une accélération.</p> <p>Quantifier une action.</p>	<p>Utiliser une balance de précision.</p> <p>Mettre en œuvre une méthode de stroboscopie. Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.</p> <p>Mettre en œuvre un capteur de vitesse, un accéléromètre.</p> <p>Utiliser un dynamomètre.</p>
<p>6. Thermodynamique</p> <p>Mesurer une pression.</p> <p>Mesurer une température.</p> <p>Effectuer des bilans d'énergie.</p>	<p>Mettre en œuvre un capteur, en distinguant son caractère différentiel ou absolu.</p> <p>Mettre en œuvre un capteur de température.</p> <p>Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.</p>

Contenus disciplinaires

A. Premier semestre

1. Signaux Physiques

Présentation

Cette partie doit être traitée en totalité avant d'aborder les autres parties du programme. Elle porte sur l'étude des signaux physiques, et plus particulièrement sur celle des signaux sinusoïdaux, qui jouent un rôle central dans les systèmes linéaires. Cette première partie s'appuie sur un spectre large de concepts qui ont été abordés au lycée.

- en classe de seconde : signal périodique et spectre ;
- en classe de première STL : tronc commun (énergie électrique, dipôles actifs et passifs, ondes sonores et ultrasonores, mécaniques et électromagnétiques) et module image de la spécialité

SPCL (systèmes optiques, lumière, stigmatisme, lentilles minces et association, appareil photo numérique, sources laser)

- en classe de terminale STL : tronc commun (capteurs et chaînes de mesure) et module ondes de la spécialité SPCL (phénomènes vibratoires, oscillations libres et forcées en électricité, ondes progressives, réflexion, réfraction, diffusion, diffraction, interférences, réseaux, instruments optiques, polarisation) et module systèmes et procédés de la spécialité SPCL (dipôles actifs, filtrage et amplification, gabarit de filtre, boucle de régulation)

La familiarité des étudiants avec la plupart des notions abordées dans cette partie doit faciliter la transition vers une physique plus quantitative qu'au lycée, ce qui nécessite une acquisition progressive d'outils nécessaires à la formalisation mathématique des lois de la physique. Les thèmes abordés dans cette partie ont été retenus pour leur caractère motivant ou formateur. Il convient d'introduire progressivement le formalisme en soulignant la richesse des conclusions auxquelles il permet d'accéder. Dans toute cette partie, on ne s'intéresse, à une exception près, qu'à des grandeurs scalaires associées à au plus une variable d'espace.

L'enseignement de cette partie doit faire très largement appel à la démarche expérimentale, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou de travaux pratiques. Il convient à cet égard d'être conscient que la pratique des circuits électriques ne figure que très peu dans les programmes du lycée.

Objectifs généraux de formation

Outre la maîtrise des compétences reliées aux notions abordées, cette première partie de programme « signaux physiques » a pour vocation l'acquisition par l'étudiant des compétences transversales suivantes qui seront réinvesties par la suite :

- comprendre le rôle joué par une équation différentielle dans la modélisation de l'évolution temporelle d'un système ;
- relier linéarité et superposition ;
- exploiter la décomposition sinusoïdale d'un signal pour prévoir son évolution à travers un système linéaire ;
- interpréter physiquement et distinguer les représentations spatiales et temporelles d'un signal qui se propage ;
- relier conditions aux limites et quantification des ondes stationnaires ;
- dégager les similitudes de comportement entre systèmes analogues par une mise en équation pertinente utilisant variables réduites et paramètres caractéristiques adimensionnés ;
- réaliser des constructions graphiques claires et précises pour appuyer un raisonnement ou un calcul.

Il importe toutefois de réaliser qu'à l'issue de cette partie de programme, ces compétences ne sauraient être complètement acquises, et qu'il convient d'y revenir à chaque fois que l'occasion s'en présente dans la suite de la formation.

Dans la **partie 1** consacrée à la propagation, il est indispensable de s'appuyer sur l'approche expérimentale et sur des logiciels de simulation pour permettre aux étudiants de faire le lien entre l'observation physique des signaux qui se propagent et leurs représentations spatiales et temporelles, sans qu'aucune référence soit faite ici à une expression mathématique du signal. L'introduction de la somme de deux sinusoïdes à travers le phénomène d'interférences permet de faire ressortir le rôle essentiel que joue le déphasage entre deux signaux dans le signal résultant obtenu. Les ondes stationnaires apparaissent dans cette partie pour illustrer le rôle des conditions aux limites dans la quantification en modes propres.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Propagation d'un signal	
Exemples de signaux, spectre.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.

	<p>Réaliser l'analyse spectrale d'un signal ou sa synthèse.</p> <p>Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustiques et électromagnétiques.</p>
<p>Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle linéaire non dispersive. Célérité, retard temporel.</p>	<p>Écrire les signaux sous la forme $f(x-ct)$ ou $g(x+ct)$. Écrire les signaux sous la forme $f(t-x/c)$ ou $g(t+x/c)$. Prévoir dans le cas d'une onde progressive pure l'évolution temporelle à position fixée, et prévoir la forme à différents instants.</p>
<p>Onde progressive sinusoïdale : déphasage, double périodicité spatiale et temporelle.</p>	<p>Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.</p> <p>Mesurer la célérité, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire.</p>
<p>Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence.</p>	<p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes.</p> <p>Déterminer l'amplitude de l'onde résultante en un point en fonction du déphasage.</p> <p>Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives.</p>
<p>Ondes stationnaires mécaniques.</p>	<p>Décrire une onde stationnaire observée par stroboscopie sur la corde de Melde.</p> <p>Caractériser une onde stationnaire par l'existence de nœuds et de ventres.</p> <p>Exprimer les fréquences des modes propres connaissant la célérité et la longueur de la corde.</p>
<p>Diffraction à l'infini.</p>	<p>Utiliser la relation $\sin\theta \approx \lambda/d$ entre l'échelle angulaire du phénomène de diffraction et la taille caractéristique de l'ouverture.</p> <p>Connaître les conséquences de la diffraction sur la focalisation et sur la propagation d'un faisceau laser.</p> <p>Choisir les conditions expérimentales permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction en optique ou en mécanique.</p>
<p>Polarisation rectiligne de la lumière.</p>	<p>Reconnaître et produire une onde lumineuse polarisée rectilignement.</p> <p>Mettre en œuvre une démarche expérimentale de la mesure d'un pouvoir rotatoire.</p>

La **partie 2** portant sur l'optique géométrique ne doit pas être enseignée ou évaluée pour elle-même mais avec comme seuls objectifs de servir de point d'appui pour des approches expérimentales en première année et pour l'étude de l'optique physique en deuxième année.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Optique géométrique	
Sources lumineuses. Modèle de la source ponctuelle monochromatique.	Caractériser une source lumineuse par son spectre.
Indice d'un milieu transparent.	Relier la longueur d'onde dans le vide et la longueur d'onde dans le milieu. Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.
Approximation de l'optique géométrique et notion de rayon lumineux.	Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites.
Réflexion - Réfraction. Lois de Descartes.	Établir la condition de réflexion totale.
Miroir plan.	Construire l'image d'un objet, identifier sa nature réelle ou virtuelle.
Conditions de Gauss.	Énoncer les conditions permettant un stigmatisme approché et les relier aux caractéristiques d'un détecteur.
Lentilles minces.	<p>Énoncer les définitions et les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence.</p> <p>Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide des rayons lumineux.</p> <p>Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal fournies (Descartes, Newton).</p> <p>Établir et citer la condition $D \geq 4f'$ pour former l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente.</p> <p>Modéliser expérimentalement à l'aide de plusieurs lentilles un dispositif optique d'utilisation courante.</p> <p>Approche documentaire : en comparant des images produites par un appareil photographique numérique, discuter l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image.</p>
L'œil.	<p>Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur fixe.</p> <p>Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.</p>
Système de deux lentilles minces accolées équivalent à une lentille unique.	Démontrer et connaître les lois d'additivité des vergences. Savoir que ce dispositif permet de réaliser une lentille pratiquement achromatique.

La **partie 3** pose les bases nécessaires pour l'étude des circuits dans l'Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS). L'effort se porte ici principalement sur les dipôles R, L et C, peu étudiés au lycée. Bien entendu, les travaux pratiques peuvent faire appel à des composants intégrés ou non linéaires (amplificateurs opérationnels, filtres à capacité commutée, échantillonneur-bloqueur, diodes, photorésistances, capteurs...) dès lors qu'aucune connaissance préalable n'est nécessaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>3. Circuits électriques dans l'ARQS</p> <p>Charge électrique, intensité du courant.</p> <p>Potentiel, référence de potentiel, tension.</p>	<p>Savoir que la charge électrique est quantifiée.</p> <p>Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charge.</p> <p>Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence. Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge.</p> <p>Utiliser la loi des mailles.</p> <p>Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur.</p>
<p>Dipôles : résistances, condensateurs, bobines, sources décrites par un modèle linéaire.</p>	<p>Citer les ordres de grandeur des intensités et des tensions dans différents domaines d'application.</p> <p>Citer les relations entre l'intensité et la tension pour les composants R, L et C.</p> <p>Citer les ordres de grandeurs des composants R, L, C.</p> <p>Modéliser une source non idéale en utilisant la représentation de Thévenin.</p>
<p>Puissance</p>	<p>Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance.</p> <p>Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur ou une bobine.</p>
<p>Association de deux résistances</p>	<p>Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente.</p> <p>Établir et exploiter les relations de diviseurs de tension ou de courant.</p>
<p>Résistance de sortie, résistance d'entrée.</p>	<p>Étudier l'influence de ces résistances sur le signal délivré par un GBF, sur la mesure effectuée par un oscilloscope ou un multimètre.</p> <p>Extraire les grandeurs d'une notice ou d'un appareil afin d'appréhender les conséquences de leurs valeurs sur le fonctionnement d'un circuit.</p>

Les **parties 4 et 5** abordent l'étude des circuits linéaires du premier et du second ordre en régime libre puis forcé, et une introduction au filtrage linéaire. Il s'agit avant tout de comprendre les principes des outils utilisés, et leur exploitation pour étudier le comportement d'un signal traversant un système linéaire. Ainsi l'évaluation ne peut-elle porter sur le tracé d'un diagramme de Bode à partir d'une fonction de transfert, ou sur la connaissance a priori de catalogues de filtres. Cependant, le professeur pourra, s'il le souhaite, détailler sur l'exemple simple du filtre du premier ordre le passage de la fonction de transfert au diagramme de Bode. L'objectif est bien plutôt ici de comprendre le rôle central de la linéarité des systèmes pour interpréter le signal de sortie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>4. Circuit linéaire du premier ordre</p> <p>Régime libre, réponse à un échelon.</p>	<p>Réaliser pour un circuit l'acquisition d'un régime transitoire du premier ordre et analyser ses caractéristiques. Confronter les résultats expérimentaux aux expressions théoriques.</p> <p>Distinguer, sur un relevé expérimental, régime transitoire et régime permanent au cours de l'évolution d'un système du premier ordre soumis à un échelon.</p> <p>Interpréter les continuités de la tension aux bornes d'un condensateur ou de l'intensité dans une bobine.</p> <p>Établir l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par une grandeur électrique dans un circuit comportant une ou deux mailles.</p> <p>Prévoir qualitativement l'évolution du système avant toute résolution de l'équation différentielle.</p> <p>Déterminer analytiquement la réponse temporelle dans le cas d'un régime libre ou d'un échelon. Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.</p>
<p>Stockage et dissipation d'énergie.</p>	<p>Réaliser des bilans énergétiques.</p>

La **partie 5** est initiée par l'étude d'un système simple, l'oscillateur harmonique non amorti en mécanique. Ce système permet d'introduire le concept fondamental d'équation différentielle modèle de l'évolution temporelle, dans un contexte où la mise en équations ne pose pas de difficulté majeure, et d'introduire un vocabulaire précis qui sera réinvesti par la suite.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>5. Comportement dynamique d'un système au voisinage d'une position d'équilibre stable. Réponse à une excitation.</p>	
<p>5.1 Oscillateur harmonique</p> <p>Mouvement horizontal sans frottement d'une masse accrochée à un ressort linéaire sans masse. Position d'équilibre.</p>	<p>Établir et reconnaître l'équation différentielle qui caractérise un oscillateur harmonique. La résoudre compte tenu des conditions initiales.</p>

	<p>Caractériser le mouvement en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence, de pulsation.</p> <p>Contrôler la cohérence de la solution obtenue avec la conservation de l'énergie mécanique, l'expression de l'énergie potentielle élastique étant ici affirmée.</p>
5.2 Oscillateurs amortis	
Circuit RLC série et oscillateur mécanique amorti par frottement visqueux.	<p>Mettre en évidence la similitude des comportements des oscillateurs mécanique et électronique. Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques.</p> <p>Analyser, sur des relevés expérimentaux, l'évolution de la forme des régimes transitoires en fonction des paramètres caractéristiques.</p> <p>Prévoir l'évolution du système à partir de considérations énergétiques.</p> <p>Écrire sous forme canonique l'équation différentielle afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité.</p> <p>Prévoir la nature de la réponse en fonction de la valeur du facteur de qualité.</p> <p>Déterminer la réponse détaillée dans le cas d'un régime libre ou d'un système soumis à un échelon en recherchant les racines du polynôme caractéristique.</p> <p>Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire, selon la valeur du facteur de qualité.</p>
Régime sinusoïdal forcé, impédances complexes.	Établir et connaître l'impédance d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine en régime harmonique.
Association de deux impédances	Remplacer une association série ou parallèle de deux impédances par une impédance équivalente.
Oscillateur électrique ou mécanique soumis à une excitation sinusoïdale. Résonance.	<p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental autour du phénomène de résonance.</p> <p>Utiliser la méthode des complexes pour étudier le régime forcé.</p> <p>À l'aide d'un outil de résolution numérique, mettre en évidence le rôle du facteur de qualité pour l'étude de la résonance en élongation ou en tension.</p> <p>Relier l'acuité de la résonance au facteur de qualité.</p> <p>Déterminer la pulsation propre et le facteur de qualité à partir de graphes expérimentaux d'amplitude et de phase.</p> <p>Mettre en œuvre une démarche expérimentale autour des régimes transitoires du premier ou du second ordre (flash, sismomètre, ...).</p>

5.3. Filtrage linéaire	
Signaux périodiques.	Savoir que l'on peut décomposer un signal périodique en une somme de fonctions sinusoïdales. Définir la valeur moyenne et la valeur efficace. Établir par le calcul la valeur efficace d'un signal sinusoïdal.
Gabarit d'un filtre. Fréquences de coupure. Fonction de transfert harmonique. Diagramme de Bode.	Reconnaître les gabarits des filtres passe-bas, passe-haut et passe-bande. Utiliser une fonction de transfert donnée d'ordre 1 ou 2 et ses représentations graphiques pour conduire l'étude de la réponse d'un système linéaire à une excitation sinusoïdale, à une somme finie d'excitations sinusoïdales, à un signal périodique. Utiliser les échelles logarithmiques et interpréter les zones rectilignes des diagrammes de Bode d'après l'expression de la fonction de transfert.
Modèles simples de filtres passifs : passe-bas et passe-haut d'ordre 1, passe-bas et passe-bande d'ordre 2.	Expliciter les conditions d'utilisation d'un filtre afin de l'utiliser comme moyennneur, intégrateur, ou dérivateur. Approche documentaire : expliquer la nature du filtrage introduit par un dispositif mécanique (sismomètre, amortisseur, accéléromètre...) Étudier le filtrage linéaire d'un signal non sinusoïdal à partir d'une analyse spectrale.

2. Mécanique 1

Présentation

Après la partie « signaux physiques » du programme où on ne s'intéresse qu'à des grandeurs scalaires associées à au plus une variable d'espace ou de temps, la partie « mécanique » constitue une entrée concrète vers la manipulation de grandeurs vectorielles associées à plusieurs variables d'espace.

Le programme de mécanique s'inscrit dans le prolongement du programme du cycle terminal des séries technologiques qui privilégie une approche énergétique.

- Seconde : relativité du mouvement, référentiel, modélisation action par de s forces, Principe d'inertie, gravitation et pesanteur.

- Première STL : trajectoire, vitesse, vitesse angulaire, accélération, énergie cinétique, moment d'inertie d'un solide autour d'un axe, énergie potentielle de pesanteur, élastique et mécanique

Terminale STL : actions mécaniques, forces et moments, couples, transfert d'énergie pas travail mécanique, conservation ou non de l'énergie mécanique, frottement de contact

L'objectif majeur est la maîtrise opérationnelle des lois fondamentales (loi de l'inertie, principe fondamental de la dynamique, loi de l'énergie cinétique, loi des actions réciproques). En première année on se limite à l'étude de la mécanique dans un référentiel galiléen.

Objectifs généraux de formation

Après la partie « Signaux physiques » du programme, qui implique uniquement des grandeurs scalaires associées à au plus une variable d'espace, la partie « mécanique » constitue une entrée concrète vers la manipulation de grandeurs vectorielles associées à plusieurs variables d'espace : il convient d'accorder toute son importance à la marche à franchir pour les étudiants.

Par ailleurs, la mécanique doit contribuer à développer plus particulièrement des compétences générales suivantes :

- faire preuve de rigueur : définir un système, procéder à un bilan complet des forces appliquées ;
- faire preuve d'autonomie : choisir un référentiel, choisir un système de repérage, identifier les inconnues, choisir une méthode de mise en équations lorsque plusieurs méthodes sont possibles ;
- modéliser une situation : choisir un niveau de modélisation adapté ; prendre conscience des limites d'un modèle ; comprendre l'intérêt de modèles de complexité croissante (prise en compte des frottements, des effets non-linéaires) ;
- utiliser divers outils (discussions graphiques, résolution analytique, résolution numérique) pour discuter les solutions de la ou des équations différentielles modélisant l'évolution temporelle d'un système ;
- identifier et utiliser des grandeurs conservatives ;
- rechercher les paramètres significatifs d'un problème ;
- mener un raisonnement qualitatif ou semi-quantitatif rigoureux ;
- faire apparaître et exploiter des analogies : circuit RLC en électrocinétique, pendule simple aux « petits » angles et système masse-ressort ;
- schématiser une situation et en étayer l'analyse à l'aide d'un schéma pertinent (bilan des forces...) ;
- prendre conscience des limites d'une théorie (limite relativiste...) ;
- confronter les résultats d'une étude à ce qu'on attendait intuitivement ou à des observations.

Pour que l'ensemble de ces compétences soient pleinement développées, il est indispensable de ne pas proposer aux étudiants exclusivement des situations pré-modélisées (masse accrochée à un ressort...) et de ne pas se limiter à des situations débouchant sur la résolution analytique d'une équation différentielle. L'étude approfondie d'un nombre limité de dispositifs réels doit être préférée à l'accumulation d'exercices standardisés.

La **partie 1** est une approche de la cinématique du point (les exemples étant limités aux mouvements plans), et de la cinématique du solide (limitée aux cas de la translation et de la rotation autour d'un axe fixe). Il convient de construire les outils sans formalisme excessif, en motivant l'étude par des exemples réels, tirés par exemple d'expériences de cours ou d'enregistrements vidéo. Ainsi, l'introduction du repérage en coordonnées cartésiennes s'appuie sur l'étude du mouvement à accélération constante et l'introduction du repérage en coordonnées polaires s'appuie sur l'étude du mouvement circulaire. Il importe d'être conscient que la géométrie est peu étudiée dans les cours de mathématiques : à cet égard la compréhension du rôle de l'accélération normale dans un mouvement curviligne plan quelconque est une compétence attendue mais tout calcul à ce sujet est hors de portée des élèves qui ne connaissent pas la géométrie différentielle (rayon de courbure, trièdre de Frenet). La description du mouvement de la Terre autour du Soleil, débouchant notamment sur la compréhension du phénomène des saisons, permet de donner du sens au formalisme introduit. Pour le solide en rotation autour d'un axe fixe, il s'agit simplement de définir le mouvement en remarquant que tout point du solide décrit un cercle autour de l'axe avec une même vitesse angulaire ω et d'explicitier la vitesse de chaque point en fonction de ω et de la distance à l'axe de rotation ; la connaissance du vecteur-rotation n'est pas exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point	
Espace et temps classiques. Référentiel d'observation. Caractère relatif du mouvement. Description d'un mouvement. Vecteur-position, vecteur-vitesse, vecteur-accélération.	Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.
Systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.	Établir les expressions des composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur-accélération dans le seul cas des coordonnées cartésiennes et cylindriques. Exprimer à partir d'un schéma le déplacement élémentaire dans les différents systèmes de coordonnées, construire le trièdre local associé et en déduire les composantes du vecteur-vitesse dans le seul cas des coordonnées cartésiennes et cylindriques. Choisir un système de coordonnées adapté au problème posé.
Mouvement rectiligne à accélération constante.	Exprimer la vitesse et la position en fonction du temps. Obtenir la trajectoire en coordonnées cartésiennes.
Mouvement courbe de vecteur-accélération constant.	Prévoir qualitativement les mouvements projetés sur des axes parallèle et perpendiculaire au vecteur accélération.
Mouvement circulaire uniforme et non uniforme.	Exprimer les composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur-accélération en coordonnées polaires planes. Identifier les liens entre les composantes du vecteur-accélération, la courbure de la trajectoire, la norme du vecteur-vitesse et sa variation temporelle. Situer qualitativement la direction du vecteur-accélération dans la concavité d'une trajectoire plane.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2 Description du mouvement d'un solide dans deux cas particuliers.	
Définition d'un solide.	Différencier un solide d'un système déformable.
Translation.	Reconnaître et décrire une translation rectiligne, une translation circulaire.
Rotation autour d'un axe fixe.	Décrire la trajectoire d'un point quelconque du solide et exprimer sa vitesse en fonction de sa distance à l'axe et de la vitesse angulaire.
Mouvement de la Terre.	Approche documentaire : connaître l'ordre de grandeur des distances, des dimensions et des durées caractéristiques ; connaître l'origine des saisons.

La **partie 2** introduit les bases de la dynamique newtonienne. Il est essentiel de ne pas se limiter à l'étude de situations simplifiées à l'excès afin de parvenir à une solution analytique. Au contraire il convient d'habituer les étudiants à utiliser les outils de calcul numérique (calculatrices graphiques, logiciels de calcul numérique...) qui permettent de traiter des situations réelles dans toute leur richesse (rôle des frottements, effets non linéaires...).

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1 Loi de la quantité de mouvement	
Notions sur les quatre interactions fondamentales.	Approche documentaire : connaître quelques ordres de grandeur ; nommer les quatre interactions ; et les associer à un domaine d'application.
Forces. Loi des actions réciproques.	Établir un bilan des forces et en rendre compte sur une figure. Proposer un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force.
Quantité de mouvement d'un point matériel.	Utiliser l'expression de la quantité de mouvement d'un point matériel.
Référentiel galiléen. Loi de l'inertie.	Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens.
Loi de la quantité de mouvement dans un référentiel galiléen.	Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel ou du centre d'inertie d'un système fermé.
Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme.	Mettre en équation le mouvement sans frottement et le caractériser comme un mouvement à vecteur-accélération constant.
Influence de la résistance de l'air.	Approche numérique : Prendre en compte la traînée pour modéliser une situation réelle. Approche numérique : Exploiter une équation différentielle sans la résoudre analytiquement : analyse en ordres de grandeur, détermination de la vitesse limite, utilisation des résultats fournis par un logiciel d'intégration numérique. Proposer un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.
Pendule simple.	Établir l'équation du mouvement du pendule simple. Justifier l'analogie avec l'oscillateur harmonique dans le cadre de l'approximation linéaire.
Lois de Coulomb du frottement de glissement dans le seul cas d'un solide en translation.	Exploiter les lois de Coulomb fournies dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage. Formuler une hypothèse (quant au glissement ou non) et la valider.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2 Approche énergétique du mouvement d'un point matériel	
Puissance et travail d'une force.	Reconnaître le caractère moteur ou résistant d'une force.
Loi de l'énergie cinétique dans un référentiel galiléen.	Utiliser cette loi sous forme instantanée ou entre deux dates distinctes.

Énergie potentielle. Énergie mécanique.	Établir et connaître les expressions des énergies potentielles de pesanteur (champ uniforme), énergie potentielle élastique, énergie électrostatique (champ uniforme et champ créé par une charge ponctuelle).
Mouvement conservatif.	Distinguer force conservative et force non conservative. Reconnaître les cas de conservation de l'énergie mécanique. Utiliser les conditions initiales.
Mouvement conservatif à une dimension.	Déduire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement qualitatif : trajectoire bornée ou non, mouvement périodique, positions de vitesse nulle.
Positions d'équilibre. Stabilité.	Déduire d'un graphe d'énergie potentielle l'existence de positions d'équilibre, et la nature stable ou instable de ces positions.

B. Deuxième semestre

1. Mécanique 2

La **partie 3**, centrée sur l'étude des mouvements de particules chargées, se prête à une ouverture vers la dynamique relativiste, qui ne doit en aucun cas être prétexte à des débordements, en particulier sous forme de dérives calculatoires ; la seule compétence attendue est l'exploitation des expressions fournies de l'énergie et de la quantité de mouvement d'une particule relativiste pour analyser des documents scientifiques portant sur l'expérience de Bertozzi et sur le principe du synchrocyclotron.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Mouvement de particules chargées dans des champs électrique et magnétique, uniformes et stationnaires	
Force de Lorentz exercée sur une charge ponctuelle ; champs électrique et magnétique.	Évaluer les ordres de grandeur des forces électrique ou magnétique et les comparer à ceux des forces gravitationnelles.
Puissance de la force de Lorentz.	Savoir qu'un champ électrique peut modifier l'énergie cinétique d'une particule. Savoir qu'un champ magnétique peut courber la trajectoire d'une particule sans lui fournir d'énergie.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme.	Mettre en équation le mouvement et le caractériser comme un mouvement à vecteur-accélération constant. Effectuer un bilan énergétique pour calculer la vitesse d'une particule chargée accélérée par une différence de potentiel.
Mouvement circulaire d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme dans le cas où le vecteur-vitesse initial est perpendiculaire au champ magnétique.	Approche numérique : résoudre le système d'équations. Déterminer le rayon de la trajectoire sans calcul en admettant que celle-ci est circulaire. Approche documentaire : analyser des documents scientifiques montrant les limites relativistes en s'appuyant sur les expressions fournies $E_c = (\gamma - 1)mc^2$ et $p = \gamma mv$.

2. Thermodynamique

Présentation

Dans le cycle terminal de la filière technologique du lycée, les élèves ont été confrontés à la problématique des transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques. L'énergie interne d'un système a été introduite puis reliée à la grandeur température via la capacité thermique dans le cas d'une phase condensée. Les étudiants ont alors été amenés à se questionner sur le moyen de parvenir à une modification de cette énergie interne ce qui a permis d'introduire le premier principe et deux types de transferts énergétiques, le travail et le transfert thermique. A travers les flux thermiques spontanés, le principe d'irréversibilité est abordé et le second principe énoncé.

Seconde : pression d'un gaz : loi de Boyle Mariotte

Première STL : Energie interne, capacité thermique, transfert thermique

Terminale STL : tronc commun (états de la matière : transfert thermique et changement d'état, transfert d'énergie par) , module système et procédés (transfert d'énergie d'une source chaude à une source froide, transfert d'énergie sous forme de travail et de chaleur, modèle du gaz parfait, premier et deuxième principe de la thermodynamique, irréversibilité, flux thermiques, échanges thermiques)

Après avoir mis l'accent sur le passage fondamental d'une réalité microscopique à des grandeurs mesurables macroscopiques, cette partie propose, en s'appuyant sur des exemples concrets, de poursuivre la description et l'étude de la matière à l'échelle macroscopique, l'objectif étant d'aborder des applications motivantes. Les capacités identifiées doivent être introduites en s'appuyant dès que possible sur des dispositifs expérimentaux qui permettent ainsi leur acquisition progressive et authentique. Ces capacités se limitent à l'étude du corps pur subissant des transformations finies, excluant ainsi toute thermodynamique différentielle : le seul recours à une quantité élémentaire intervient lors de l'évaluation du travail algébriquement reçu par un système par intégration du travail élémentaire. En particulier, pour les bilans finis d'énergie, les expressions des fonctions d'état $U_m(T, V_m)$ et $H_m(T, P)$ seront données si le système ne relève pas du modèle gaz parfait ou du modèle de la phase condensée incompressible et indilatable. Pour les bilans finis d'entropie, l'expression de la fonction d'état entropie sera systématiquement donnée et on ne s'intéressera pas à sa construction.

Autant que possible, il s'agit d'orienter l'enseignement de la thermodynamique vers des applications industrielles réelles motivantes grâce à l'utilisation de diagrammes.

On utilisera les notations suivantes : pour une grandeur extensive A , a sera la grandeur massique associée et A_m la grandeur molaire associée.

Objectifs généraux de formation

Il est essentiel de bien situer le niveau de ce cours de thermodynamique, en le considérant comme une introduction à un domaine complexe dont le traitement complet relève de la physique statistique, inabordable à ce stade. On s'attachera néanmoins, de façon prioritaire, à la rigueur des raisonnements mis en place (définition du système, lois utilisées...).

Outre la maîtrise des capacités reliées aux notions abordées, cette partie a pour vocation l'acquisition par l'étudiant des compétences transversales suivantes :

- définir un système qui permette de faire les bilans nécessaires à l'étude ;
- faire le lien entre un système réel et sa modélisation ;

- comprendre qu'il peut exister plusieurs modèles de complexité croissante pour rendre compte des observations expérimentales ;
- utiliser des tableaux de données ou des représentations graphiques complexes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre	
Échelles microscopique, mésoscopique, et macroscopique.	Définir l'échelle mésoscopique et en expliquer la nécessité.
Vitesse quadratique moyenne. Température cinétique. Exemple du gaz parfait monoatomique : $E_c = 3/2kT$.	Calculer l'ordre de grandeur d'une vitesse quadratique moyenne dans un gaz parfait.
Système thermodynamique.	Connaître l'ordre de grandeur du nombre d'Avogadro. Définir si un système est ouvert, fermé, isolé.
État d'équilibre d'un système soumis aux seules forces de pression. Pression, température, volume, équation d'état. Grandeur extensive, grandeur intensive. Exemples du gaz parfait et d'une phase condensée indilatable et incompressible.	Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique. Dédire une température d'une condition d'équilibre thermique. Citer quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température. Énoncer et utiliser l'équation d'état des gaz parfaits.
Énergie interne d'un système. Capacité thermique à volume constant dans le cas du gaz parfait.	Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique à partir de l'interprétation microscopique de la température. Savoir que $U_m = U_m(T)$ pour un gaz parfait.
Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée considérée incompressible et indilatable.	Savoir que $U_m = U_m(T)$ pour une phase condensée incompressible et indilatable.
Approximation des phases condensées peu compressibles et peu dilatables.	Interpréter graphiquement la différence de compressibilité entre un liquide et un gaz à partir d'isothermes expérimentales.
Du gaz réel au gaz parfait.	Comparer le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait sur des réseaux d'isothermes expérimentales en coordonnées de Clapeyron ou d'Amagat.
Corps pur diphasé en équilibre. Diagramme de phases (P,T). Cas de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P,v), titre en vapeur.	Analyser un diagramme de phase expérimental (P,T). Proposer un jeu de variables d'état suffisant pour caractériser l'état d'équilibre d'un corps pur diphasé soumis aux seules forces de pression. Positionner les phases dans les diagrammes (P,T) et (P,v). Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P,v).

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Énergie échangée par un système au cours d'une transformation	
Transformation thermodynamique subie par un système.	Définir le système. Utiliser le vocabulaire usuel : évolutions isochore, isotherme, isobare, monobare, monotherme.
Travail des forces de pression. Transformations isochore, monobare.	Calculer le travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné dans le cas d'une seule variable. Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.
Transfert thermique. Transformation adiabatique. Thermostat, transformations monotherme et isotherme.	Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement. Identifier dans une situation expérimentale le ou les systèmes modélisables par un thermostat. Proposer de manière argumentée le modèle limite le mieux adapté à une situation réelle entre une transformation adiabatique et une transformation isotherme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Premier principe. Bilans d'énergie	
Premier principe de la thermodynamique : $\Delta U + \Delta E_c = Q + W$	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir travail W et transfert thermique Q . Exploiter l'extensivité de l'énergie interne. Distinguer le statut de la variation de l'énergie interne du statut des termes d'échange. Calculer le transfert thermique Q sur un chemin donné connaissant le travail W et la variation de l'énergie interne ΔU .
Enthalpie d'un système. Capacité thermique à pression constante dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable.	Exprimer l'enthalpie $H_m(T)$ du gaz parfait à partir de l'énergie interne. Comprendre pourquoi l'enthalpie H_m d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable peut être considérée comme une fonction de l'unique variable T . Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare. Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure de capacité thermique.

	Citer l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.
Enthalpie associée à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation.	Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des transitions de phases. Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une enthalpie de transition de phase.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Deuxième principe. Bilans d'entropie.	
Deuxième principe : fonction d'état entropie, entropie créée, entropie échangée. $\Delta S = S_{ech} + S_{créé}$ avec $S_{ech} = \sum Q_i/T_i$	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan entropique. Relier l'existence d'une entropie créée à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité. Approche documentaire : interpréter qualitativement l'entropie en terme de désordre en s'appuyant sur la formule de Boltzmann.
Variation d'entropie d'un système. Loi de Laplace. Cas particulier d'une transition de phase.	Utiliser l'expression fournie de la fonction d'état entropie. Exploiter l'extensivité de l'entropie. Citer la loi de Laplace et ses conditions d'application. Énoncer et utiliser la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase : $\Delta h_{12}(T) = T \Delta s_{12}(T)$

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Machines thermiques	
Application du premier principe et du deuxième principe aux machines thermiques cycliques dithermes : rendement, efficacité, théorème de Carnot.	Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme. Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme. Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Justifier et utiliser le théorème de Carnot. Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles.

3. Statique des fluides

Présentation et objectifs généraux de formation

La physique des milieux continus constitue une part importante des programmes de deuxième année. Dans ce domaine, on fait appel à des méthodes de pensée et des techniques de calcul qu'il est souhaitable d'aborder dès la première année. Cette partie du programme est donc conçue pour introduire sur le support concret de la statique des fluides le principe du découpage d'un domaine

physique (volume, surface) en éléments infinitésimaux et de la sommation d'une grandeur extensive (force) pour ce découpage.

Partant du cas particulier de la statique des fluides dans le champ de pesanteur qui ne nécessite qu'un formalisme minimal, un des objectifs est de montrer à la fin de cette partie l'intérêt d'un formalisme plus poussé (introduction de l'opérateur gradient) pour passer à une formulation universelle d'une loi de la physique.

La statique des fluides permet également d'introduire le facteur de Boltzmann dont on affirmera la généralité.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Éléments de statique des fluides dans un référentiel galiléen.	
Forces surfaciques, forces volumiques.	Distinguer le statut des forces de pression et des forces de pesanteur.
Statique dans le champ de pesanteur uniforme : relation $dp/dz = -\rho g$.	Citer des ordres de grandeur des champs de pression dans le cas de l'océan et de l'atmosphère. Exprimer l'évolution de la pression avec l'altitude dans le cas d'un fluide incompressible et homogène et dans le cas de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait.
Facteur de Boltzmann.	S'appuyer sur la loi d'évolution de la densité moléculaire de l'air dans le cas de l'atmosphère isotherme pour illustrer la signification du facteur de Boltzmann. Approche documentaire : identifier un facteur de Boltzmann. Comparer $k_B T$ aux écarts d'énergie dans un contexte plus général.
Résultante de forces de pression.	Exprimer une surface élémentaire dans un système de coordonnées adaptées. Utiliser les symétries pour déterminer la direction d'une résultante de forces de pression. Évaluer une résultante de forces de pression.
Poussée d'Archimède.	Expliquer l'origine de la poussée d'Archimède. Exploiter la loi d'Archimède.
Équivalent volumique des forces de pression.	Exprimer l'équivalent volumique des forces de pression à l'aide d'un gradient.
Équation locale de la statique des fluides.	Établir l'équation locale de la statique des fluides.

4. Induction et forces de Laplace

Présentation

Cette partie est nouvelle pour les étudiants pour lesquels seule une approche descriptive du champ magnétique a fait l'objet d'une présentation en classe de terminale dans les séries technologiques.

Elle s'appuie sur les nombreuses applications présentes dans notre environnement immédiat : boussole, moteur électrique, alternateur, transformateur, haut-parleur, plaques à induction, carte RFID... Il s'agit de

© Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013

restituer toute la richesse de ces applications dans un volume horaire modeste, ce qui limite les géométries envisagées et le formalisme utilisé. Elle a pour objectif d'installer les concepts de base permettant de modéliser les phénomènes de conversion électromagnétique. Le point de vue adopté cherche donc à mettre l'accent sur les phénomènes et sur la modélisation sommaire de leurs applications. L'étude sera menée à partir du flux magnétique en n'envisageant que des champs magnétiques uniformes à l'échelle de la taille des systèmes étudiés. Toute étude du champ électromoteur est exclue. L'induction et les forces de Laplace dans un circuit mobile sont introduites dans le cas d'un champ uniforme et stationnaire, soit dans le modèle des rails de Laplace.

L'enseignement de cette partie doit impérativement s'appuyer sur une démarche expérimentale authentique, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou d'activités expérimentales.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- maîtriser les notions de champ de vecteurs et de flux d'un champ de vecteurs ;
- évaluer les actions d'un champ magnétique extérieur sur un circuit parcouru par un courant ou par analogie sur un aimant ;
- connaître ou savoir évaluer des ordres de grandeur ;
- analyser qualitativement les systèmes où les phénomènes d'induction sont à prendre en compte ;
- maîtriser les règles d'orientation et leurs conséquences sur l'obtention des équations mécaniques et électriques ;
- effectuer des bilans énergétiques ;
- connaître des applications relevant du domaine de l'industrie ou de la vie courante où les phénomènes d'induction sont présents et déterminants dans le fonctionnement des dispositifs ;
- mettre en œuvre des expériences illustrant la manifestation des phénomènes d'induction.

La **partie 1. « Champ magnétique »** vise à faire le lien avec le programme de terminale et à permettre à l'étudiant de disposer des outils minimaux nécessaires ; l'accent est mis sur le concept de champ vectoriel, sur l'exploitation des représentations graphiques et sur la connaissance d'ordres de grandeur.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Champ magnétique	
Sources de champ magnétique ; cartes de champ magnétique.	Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible, et l'emplacement des sources. Approche numérique : tracer des lignes de champ à partir d'équations fournies. Décrire l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue. Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme. Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.
Lien entre le champ magnétique et l'intensité du courant.	Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies. Orienter le champ magnétique créé par une bobine « infinie » et citer son expression.

Dans la **partie 2. « Forces de Laplace »**, le professeur est libre d'introduire la force de Laplace avec ou sans référence à la force de Lorentz. Il s'agit ici de se doter d'expressions opérationnelles pour étudier le mouvement dans un champ uniforme et stationnaire d'une barre en translation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Forces de Laplace	
Densité linéique de la force de Laplace dans le cas d'un élément de courant filiforme.	Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme.
Résultante et puissance des forces de Laplace s'exerçant sur une barre conductrice en translation rectiligne sur deux rails parallèles (rails de Laplace) dans un champ magnétique extérieur uniforme, stationnaire et orthogonal à la barre.	Établir l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire. Évaluer la puissance des forces de Laplace.

La **partie 3. « Lois de l'induction »** repose sur la loi de Faraday $e = - \frac{d\phi}{dt}$ qui se prête parfaitement à une introduction expérimentale et qui peut constituer un bel exemple d'illustration de l'histoire des sciences. On n'omettra pas, à ce sujet, d'évoquer les différents points de vue sur le même phénomène selon le référentiel dans lequel on se place.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Lois de l'induction	
Flux d'un champ magnétique	
Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
Loi de Faraday	
Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit.	Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.
Loi de modulation de Lenz.	Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.
Force électromotrice induite, loi de Faraday.	Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algèbrisation.

La **partie 4. « Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps »** aborde le phénomène d'auto-induction puis le couplage par mutuelle entre deux circuits fixes. Elle traite du modèle du transformateur partiel et propose une approche documentaire de la production et du transport de l'énergie électrique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps	
Auto-induction Flux propre et inductance propre. Étude énergétique.	Différencier le flux propre des flux extérieurs. Utiliser la loi de modération de Lenz. Évaluer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur, le champ magnétique créé par une bobine infinie étant donné. Mesurer la valeur de l'inductance propre d'une bobine. Conduire un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent.
Circuits électriques à une maille couplés par le phénomène de mutuelle induction en régime sinusoïdal forcé. Transformateur de tension parfait.	Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Établir le système d'équations en régime sinusoïdal forcé en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents. Approche numérique : résoudre le système d'équations. Établir la « loi des tensions ».
Étude énergétique.	Conduire un bilan de puissance et d'énergie.
Production et transport de l'énergie électrique.	Approche documentaire : <ul style="list-style-type: none"> – mobiliser les connaissances acquises pour expliquer le principe d'une chaîne de production et de transport d'énergie électrique – citer des ordres de grandeur de la puissance consommée ou produite par une lampe, un téléviseur, un radiateur électrique, une éolienne, un barrage, une centrale nucléaire

La partie 5. « Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire » est centrée sur la conversion de puissance. Des situations géométriques simples permettent de dégager les paramètres physiques pertinents afin de modéliser le principe d'un haut-parleur électrodynamique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire	
Conversion de puissance mécanique en puissance électrique Rail de Laplace.	Interpréter qualitativement les phénomènes observés. Écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe.

	<p>Effectuer un bilan énergétique.</p> <p>Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.</p>
<p>Conversion de puissance électrique en puissance mécanique</p> <p>Haut-parleur électrodynamique.</p>	<p>Expliquer le principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique dans la configuration simplifiée des rails de Laplace.</p> <p>Effectuer un bilan énergétique.</p> <p>Mettre en œuvre une étude expérimentale d'un haut parleur électrodynamique visant à illustrer son principe de fonctionnement ou à déterminer quelques-unes de ses caractéristiques.</p>

Appendice 1 : matériel

Cette liste regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec 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.

1. Domaine optique

- Goniomètre
- Viseur à frontale fixe
- Lunette auto-collimatrice
- Spectromètre à fibre optique
- Polariseur dichroïque
- Laser à gaz
- Lampes spectrales
- Source de lumière blanche à condenseur

2. Domaine électrique

- Oscilloscope numérique
- Carte d'acquisition et logiciel dédié
- Générateur de signaux Basse Fréquence
- Multimètre numérique
- Multiplieur analogique
- Émetteur et récepteur acoustique (domaine audible et domaine ultrasonore)

3. Domaines mécanique et thermodynamique

- Dynamomètre
- Capteur de pression
- Accéléromètre
- Stroboscope
- Webcam avec logiciel dédié
- Appareil photo numérique ou caméra numérique avec cadence de prise de vue supérieure à 100 images par seconde
- Thermomètre, thermocouple, thermistance, capteur infra-rouge
- Calorimètre

Appendice 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique comme en chimie.

La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année de TPC1. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année. Il sera complété dans le programme de seconde année.

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).

Pour le cas où d'autres outils seraient ponctuellement nécessaires, il conviendrait de les mettre à disposition des candidats sous une forme opérationnelle (formulaires...) et de faire en sorte que leur manipulation ne puisse pas constituer un obstacle.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
1. Équations algébriques	
Systèmes linéaires 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 formels dans les autres cas.
Équations non linéaires	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.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
2. Équations différentielles	
Équation différentielle linéaire à coefficients constants.	Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique.
Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$	Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \cos(\omega x + \varphi)$ (en utilisant la notation complexe).
Équations différentielles linéaires du deuxième ordre à coefficients constants : $y'' + ay' + by = f(x)$	Utiliser l'équation caractéristique pour trouver la solution générale de l'équation sans second membre. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \exp(\lambda x)$ avec λ complexe. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution.
Autres équations différentielles d'ordre 1 ou 2.	Intégrer numériquement avec un outil fourni. Obtenir une intégrale première d'une équation de Newton $x' = f(x)$ et l'exploiter graphiquement. Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et le graphe de la solution correspondante.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
3. Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle $x \rightarrow x^a$. Cosinus hyperbolique et sinus hyperbolique (les fonctions hyperboliques, non traitées dans le cours de mathématiques, sont introduites par le professeur de physique).
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 $(1 + x)^a$, e^x , $\ln(1 + x)$ et $\sin(x)$, et à l'ordre 2 de la fonction $\cos(x)$.
Primitive et intégrale. Valeur moyenne.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques. Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions \cos , \sin , \cos^2 et \sin^2 .
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.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier <u>fourni</u> par un formulaire (cette capacité est développée par le professeur de physique, la notion de série de Fourier n'étant pas abordée dans le cours de mathématiques).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
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.
Produit vectoriel.	Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe. Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel. Faire le lien avec l'orientation des trièdres. Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace.

	Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Courbes planes. Courbes planes paramétrées.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une ellipse, d'une branche d'hyperbole, d'une parabole. (Concernant les coniques, cette capacité est développée par le professeur de physique, l'étude des coniques n'étant pas traitée en mathématiques). Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur. Identifier une ellipse à l'aide de sa représentation paramétrique ($x = a \cdot \cos(\omega t)$, $y = b \cdot \cos(\omega t - \varphi)$) et la tracer dans les cas particuliers $\varphi = 0$, $\varphi = \pi/2$ et $\varphi = \pi$.
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.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
5. Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles dans un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles de rotation autour de cet axe.
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 $\cos(\frac{\pi}{2} \pm x)$, 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.
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
6. Analyse vectorielle	
Gradient d'un champ scalaire.	Connaître le lien entre le gradient et la différentielle. Connaître l'expression de la différentielle en fonction des dérivées partielles. Connaître l'expression du gradient en coordonnées cartésiennes ; utiliser un formulaire fourni en coordonnées cylindriques ou sphériques. 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. Ces capacités sont développées par le professeur de physique, la notion de différentielle n'étant pas abordée en mathématiques.



Annexe 2b

Programmes des classes préparatoires aux Grandes Ecoles

Filière : **scientifique**

Voie : **Technologie, physique, chimie (TPC)**

Discipline : **Chimie**

Première année

Programme de chimie TPC1

Le programme de chimie de la classe de TPC1 s'inscrit entre deux continuités, en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement avec les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

À travers l'enseignement de la chimie, il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique et de ses grandes étapes : observer et mesurer, comprendre et modéliser, agir pour créer, pour produire, pour appliquer cette science aux réalisations humaines. Ces compétences ne sauraient être opérationnelles sans connaissances, ni savoir-faire ou capacités. C'est pourquoi ce programme définit un socle de connaissances et de capacités, conçu pour être accessible à tous les étudiants, en organisant de façon progressive leur introduction au cours de la première année. L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Parce que la chimie est avant tout une science expérimentale, parce que l'expérience intervient dans chacune des étapes de la démarche scientifique, parce qu'une démarche scientifique rigoureuse développe l'observation, l'investigation, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est mise au cœur de l'enseignement de la discipline, en cours et lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales répondent à la nécessité de se confronter au réel, nécessité que l'ingénieur, le chercheur, le scientifique auront inévitablement à prendre en compte dans l'exercice de leur activité..

Pour acquérir sa validité, l'expérience nécessite le support d'un modèle. La notion même de modèle est centrale pour la discipline. Par conséquent modéliser est une compétence essentielle développée en TPC1. Pour apprendre à l'étudiant à modéliser de façon autonome, il convient de lui faire découvrir les différentes facettes de la chimie, qui toutes peuvent le guider dans la compréhension des phénomènes. Ainsi le professeur 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 nécessaire des mathématiques, symboles et méthodes, dont le fondateur de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. Si les mathématiques sont un outil puissant de modélisation, que l'étudiant doit maîtriser, elles sont parfois plus contraignantes lorsqu'il s'agit d'en extraire une solution. L'évolution des techniques permet désormais d'utiliser aussi l'approche numérique afin de faire porter prioritairement l'attention des étudiants sur l'interprétation et la discussion des résultats plutôt que sur une technique d'obtention de la solution. Cette approche permet en outre une modélisation plus fine du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est aussi l'occasion pour l'étudiant d'exploiter les compétences acquises en informatique. C'est enfin l'opportunité de mener avec le professeur de mathématiques d'éventuelles démarches collaboratives.

Enfin l'autonomie de l'étudiant et la prise d'initiative sont développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à un questionnement ou atteindre un but.

Le programme est organisé en trois parties :

- dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer à travers certaines de ces composantes : la démarche expérimentale, les approches documentaires et la résolution de problèmes. Ces compétences et les capacités associées seront exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Elles continueront à l'être en deuxième année. Leur acquisition doit donc faire l'objet d'un suivi dans la durée. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
- dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre à travers les activités doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la troisième partie. Elles doivent faire l'objet de la part du professeur d'une programmation visant à s'assurer de l'apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.
- dans la troisième partie sont décrites les connaissances et capacités associées aux **contenus disciplinaires**. Elles sont organisées en deux colonnes : à la première colonne « notions et contenus » correspond une ou plusieurs « capacités exigibles » de la deuxième colonne. Celle-ci met ainsi en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Elle est organisée sur deux semestres. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres.

Certains items de cette troisième partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche numérique ou d'une approche documentaire.

Deux appendices sont consacrés aux types de matériel et aux outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de chimie en fin de l'année de TPC1.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. Comme le rappellent les programmes du lycée, la liberté pédagogique de l'enseignant est le pendant de la liberté scientifique du chercheur.

Dans le cadre de cette liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou

des débats d'idées. L'enseignant peut ainsi avoir intérêt à mettre son enseignement « en culture » si cela rend sa démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.

- il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en chimie doit être articulée avec celles mise en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique et physique.

L'évaluation des étudiants doit répondre aux principes suivants :

- informé des compétences testées dans les différentes formes d'évaluation, l'étudiant doit être en mesure de suivre son évolution dans l'acquisition des compétences ;
- l'objectif de l'évaluation n'est pas de classer ou de trier les étudiants, mais de leur donner une image de leurs acquis en mettant l'accent sur les progrès réalisés. Une évaluation bien conçue doit être stimulante en s'inscrivant dans une dynamique constructive et une perspective d'évolution positive.

Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La chimie est une science à la fois théorique et expérimentale. Ces deux composantes de la démarche expérimentale s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement. Ce programme fait donc une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'important volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, ainsi que d'un réel savoir-faire dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie ;
- le second concerne l'identification, tout au long de la formation disciplinaire, dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées ;

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la chimie (modélisation macroscopique-microscopique, relation structure-propriétés, facteurs d'influence, par exemple).
- les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée, et chaque fois que cela est possible transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans l'élaboration et la mise en œuvre de protocoles simples associés à la quantification des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement

en appendice du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en CPGE mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous et dont l'acquisition progressive a commencé au collège, puis au lycée. 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.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire dans toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, être autonome, travailler en équipe, etc.)

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale énoncer une problématique d'approche expérimentale définir des objectifs correspondants
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> formuler et échanger des hypothèses proposer une stratégie pour répondre à la problématique proposer un modèle associé choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> mettre en œuvre un protocole utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes confronter un modèle à des résultats expérimentaux confirmer ou infirmer une hypothèse, une information analyser les résultats de manière critique 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 son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible utiliser un vocabulaire scientifique adapté s'appuyer sur des schémas, des graphes faire preuve d'écoute, confronter son point de vue

Être autonome, faire preuve d'initiative

- travailler seul ou en équipe
- solliciter une aide de manière pertinente
- s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation, les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de bien préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheurs ou d'ingénieurs. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

Concernant la compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** », elle est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et à l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances et capacités en autonomie afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et le regard critique tout au long de la démarche et sur le résultat.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences 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.

Compétences	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.
Établir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.

Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue.
Communiquer.	Présenter la solution, ou la rédiger, en en expliquant le raisonnement et les résultats.

3. Approches documentaires

Dans un monde où le volume d'informations disponibles rend en pratique difficile l'accès raisonné à la connaissance, il importe de continuer le travail commencé au collège et au lycée sur la recherche, l'extraction et l'organisation de l'information. L'objectif reste de permettre l'accès à la connaissance en toute autonomie et avec la prise de conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné, de la méconnaissance (et donc la découverte) à la maîtrise totale.

Le programme de physique-chimie prévoit qu'un certain nombre de rubriques, identifiées dans la colonne capacités exigibles relèvent d'une « **approche documentaire** ». L'objectif est double ; il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver différemment en utilisant des documents au support varié (texte, vidéo, photo...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (grandes idées, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs) dans les domaines de la physique et de la chimie du XXe et XXIe siècle et de leurs applications.

Ces approches documentaires sont aussi l'occasion d'apporter des éléments de compréhension de la construction du « savoir scientifique » (histoire des sciences, débats d'idées, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...). Elles doivent permettre de développer des compétences d'analyse et de synthèse. Sans que cette liste de pratiques soit exhaustive on pourra, par exemple, travailler sur un document extrait directement d'un article de revue scientifique, sur une vidéo, une photo ou sur un document produit par le professeur ; il est également envisageable de demander aux élèves de chercher eux-mêmes des informations sur un thème donné ; ce travail pourra se faire sous forme d'analyse de documents dont les résultats seront présentés aussi bien à l'écrit qu'à l'oral.

Quelle que soit la façon d'aborder ces approches documentaires, le rôle du professeur est de travailler à un niveau adapté à sa classe et d'assurer une synthèse de ce qu'il convient de retenir. Elles doivent être en cohérence avec le socle du programme. Elles peuvent être l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances ou d'approcher de nouveaux modèles mais il faut proscrire toute dérive en particulier calculatoire.

Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la pratique de la méthodologie expérimentale lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la partie « contenus disciplinaires » – 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**, dans la continuité de la nouvelle épreuve d'Évaluation des Compétences Expérimentales (ECE) du baccalauréat STL, avec cependant un niveau d'exigence plus élevé qui correspond à celui des deux premières années d'enseignement supérieur.

D'autre part, elle présente de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et mises en œuvre en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE.

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

1. Mesures et incertitudes

L'importance de la composante expérimentale de la formation des étudiants des CPGE scientifiques est réaffirmée. Pour pratiquer une démarche expérimentale autonome et raisonnée, les élèves doivent posséder de solides connaissances et savoir-faire dans le domaine des mesures et des incertitudes : celles-ci interviennent aussi bien en amont au moment de l'analyse du protocole, du choix des instruments de mesure..., qu'en aval lors de la validation et de l'analyse critique des résultats obtenus.

Les notions explicitées ci-dessous sur le thème « mesures et incertitudes » s'inscrivent dans la continuité de celles abordées dans les programmes du cycle terminal des filières S, STI2D et STL du lycée. Les objectifs sont identiques, certains aspects sont approfondis : utilisation du vocabulaire de base de la métrologie, connaissance de la loi des incertitudes composées, ... ; une première approche sur la validation d'une loi physique est proposée. Les capacités identifiées sont abordées dès la première année et doivent être maîtrisées à l'issue des deux années de formation. Les activités expérimentales permettent de les introduire et de les acquérir de manière progressive et authentique. Elles doivent régulièrement faire l'objet d'un apprentissage intégré et d'une évaluation.

Les élèves doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure, en connaître les origines, et comprendre et s'approprier ainsi les objectifs visés par l'évaluation des incertitudes. Les compétences acquises pourront être réinvesties dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Erreur ; composante aléatoire et composante systématique de l'erreur.	Utiliser le vocabulaire de base de la métrologie : mesurage, valeur vraie, grandeur d'influence, erreur aléatoire, erreur systématique. Identifier les sources d'erreurs lors d'une mesure.
Notion d'incertitude, incertitude-type.	Savoir que l'incertitude est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être raisonnablement attribuées à la

<p>Évaluation d'une incertitude-type.</p> <p>Incertitude-type composée.</p> <p>Incertitude élargie.</p>	<p>grandeur mesurée.</p> <p>Procéder à l'évaluation de type A de l'incertitude-type (incertitude de répétabilité).</p> <p>Procéder à l'évaluation de type B de l'incertitude-type dans des cas simples (instruments gradués) ou à l'aide de données fournies par le constructeur (résistance, multimètre, oscilloscope, thermomètre, verrerie...).</p> <p>Évaluer l'incertitude-type d'une mesure obtenue à l'issue de la mise en œuvre d'un protocole présentant plusieurs sources d'erreurs indépendantes dans les cas simples d'une expression de la valeur mesurée sous la forme d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient ou bien à l'aide d'une formule fournie ou d'un logiciel.</p> <p>Comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreurs.</p> <p>Associer un niveau de confiance de 95 % à une incertitude élargie.</p>
<p>Présentation d'un résultat expérimental.</p> <p>Acceptabilité du résultat et analyse du mesurage (ou processus de mesure).</p>	<p>Exprimer le résultat d'une mesure par une valeur et une incertitude associée à un niveau de confiance.</p> <p>Commenter qualitativement le résultat d'une mesure en le comparant, par exemple, à une valeur de référence.</p> <p>Analyser les sources d'erreurs et proposer des améliorations du processus de mesure.</p>
<p>Vérification d'une loi physique ou validation d'un modèle ; ajustement de données expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène.</p>	<p>Utiliser un logiciel de régression linéaire.</p> <p>Expliquer en quoi le coefficient de corrélation n'est pas un outil adapté pour juger de la validité d'un modèle linéaire.</p> <p>Juger qualitativement si des données expérimentales avec incertitudes sont en accord avec un modèle linéaire.</p> <p>Extraire à l'aide d'un logiciel les incertitudes sur la pente et sur l'ordonnée à l'origine dans le cas de données en accord avec un modèle linéaire.</p>

2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les étudiants doivent avoir acquises, durant les séances de travaux pratiques, à l'issue des deux années. 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 :

1. Prévention du risque au laboratoire de chimie
2. Mesures de grandeurs physiques
3. Synthèses organiques et inorganiques
4. Analyses qualitatives et quantitatives

Cela 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. Il convient également de favoriser l'autonomie et la prise d'initiative décrites dans la partie « Compétences expérimentales ».

Le matériel nécessaire à l'acquisition de l'ensemble des capacités ci-dessous figure en **Appendice 1** du programme.

1. Prévention du risque au laboratoire de chimie

Les élèves doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité 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 du risque chimique Règles de sécurité au laboratoire. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Phrases H et P.	Adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire. Relever les indications sur le risque associé au prélèvement et au mélange des produits chimiques. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
2. 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. Mesures de grandeurs physiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Mesures de : - Volume	Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise.

- Masse	Préparer une solution aqueuse de concentration donnée à partir d'un solide, d'un liquide, d'une solution de concentration molaire connue ou d'une solution de titre massique et de densité connus.
- pH	
- Conductance et conductivité	
- Tension	Utiliser les méthodes et le matériel adéquats pour transférer l'intégralité du solide ou du liquide pesé.
- Intensité d'un courant	
- Température	Distinguer les instruments de verrerie In et Ex.
- Pouvoir rotatoire	Utiliser les appareils de mesure (masse, pH, conductance, tension, température, indice de réfraction, absorbance) en s'aidant d'une notice.
- Indice de réfraction	
- Absorbance	Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.

3. Synthèses organiques et inorganiques

À l'issue des deux années de formation, l'élève devra :

- maîtriser expérimentalement les différentes techniques mises en œuvre dans les synthèses : réalisation des montages et utilisation des appareillages ;
- connaître les fondements théoriques de ces techniques, en lien avec les propriétés physico-chimiques concernées (à l'exception des spectroscopies d'absorption IR et de RMN) ;
- être capable de 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, filtrations, séchage d'un liquide ou d'un solide, distillations sous pression ambiante et sous pression réduite (cette dernière étant strictement limitée à l'usage de l'évaporateur rotatif), recristallisation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Transformation chimique	Choisir la verrerie adaptée à la transformation réalisée et aux conditions opératoires mises en œuvre.
Transformations à chaud, à froid, à température ambiante.	Réaliser le ou les montages appropriés et en expliquer le principe et l'intérêt. Choisir ou justifier l'ordre d'introduction des réactifs. Réaliser et réguler une addition au goutte à goutte. Utiliser le moyen de chauffage ou de refroidissement adéquat.
Contrôle et régulation de la température du milieu réactionnel.	Suivre et contrôler l'évolution de la température dans le réacteur.
Suivi de l'évolution de la transformation.	Choisir un moyen approprié pour réguler une éventuelle ébullition. Utiliser un réfrigérant à reflux, contrôler et réguler le reflux.

	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 expérimentales.
Séparation de deux liquides non miscibles.	Réaliser une extraction liquide-liquide. Identifier la nature des phases dans une ampoule à décanter.
Séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.	Distinguer extraction et lavage d'une phase. Élaborer et mettre en œuvre un protocole de séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.
Distillations	Mettre en œuvre différents types de distillation. Choisir ou proposer la méthode la plus adaptée au système étudié.
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 froid ou saturé, trituration, essorage.
Recristallisation d'un solide	Expliquer et mettre en œuvre la technique de recristallisation. Adapter la quantité de solvant à utiliser à la recristallisation réalisée. 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 solide	Mettre en œuvre « une pesée à masse constante » d'un solide humide.
Séchage d'un liquide	Choisir un desséchant solide et estimer correctement par l'observation la quantité à utiliser.
Détermination d'un rendement	À partir d'une mesure appropriée, déterminer le rendement d'une synthèse, d'une méthode de séparation.

4. Analyses qualitatives et quantitatives

On distinguera la caractérisation, le contrôle de pureté et le dosage d'une espèce chimique.

À l'issue des deux années de formation, l'élève devra :

- maîtriser les différentes techniques expérimentales mises en œuvre lors des analyses qualitatives et quantitatives ;
- être capable de proposer une stratégie de mesures de concentrations ou de quantités de matière, une méthode de caractérisation d'un composé, tenant compte des propriétés physico-chimiques du système étudié ;
- distinguer les méthodes d'analyse destructives et non destructives.

Les techniques utilisées lors des analyses 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
<p>1. Caractérisation d'un composé et contrôle de sa pureté Chromatographies sur couche mince.</p> <p>Tests de reconnaissance ; témoin.</p> <p>Détermination expérimentale de grandeurs physiques ou spectroscopiques caractéristiques du composé (les principes théoriques de la RMN et de la spectroscopie d'absorption IR sont hors programme).</p>	<p>Mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince. Justifier la méthode de révélation utilisée.</p> <p>Interpréter l'ordre d'élution des différents composés en relation avec leurs propriétés physico-chimiques et les caractéristiques de la phase stationnaire et de l'éluant. Proposer à partir d'une banque de données et mettre en œuvre un test de reconnaissance pour identifier une espèce chimique présente (ou susceptible de l'être) dans un système.</p> <p>Extraire d'une banque de données des informations sur les propriétés physiques des produits. Relever la température d'un palier de distillation. Mesurer une température de fusion. Mesurer un indice de réfraction. Mesurer un pouvoir rotatoire.</p> <p>Comparer les données tabulées aux valeurs mesurées et interpréter d'éventuels écarts. Comparer les caractéristiques d'un produit synthétisé avec celles du produit commercial.</p>
<p>2. Dosages par étalonnage</p>	<p>Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques du composé ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage. Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-Visible.</p>
<p>3. 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 colorés de fin de titrage.</p>	<p>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 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.</p>

<p>Méthodes d'exploitation des courbes expérimentales.</p>	<p>Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage. Exploiter une courbe de titrage pour déterminer le titre en espèce dosée. Exploiter une courbe de titrage pour déterminer une valeur expérimentale d'une constante thermodynamique d'équilibre. Utiliser un logiciel de simulation pour déterminer des courbes de répartitions et confronter la courbe de titrage simulée à la courbe expérimentale.</p> <p>Justifier la nécessité de faire un titrage indirect.</p> <p>Distinguer l'équivalence et le virage d'un indicateur coloré de fin de titrage. Déterminer les conditions optimales qui permettent à l'équivalence et au repérage de la fin du titrage de coïncider.</p>
<p>4. Suivi cinétique de transformations chimiques Suivi en continu d'une grandeur physique. Limitation de l'évolution temporelle (trempe) d'un système par dilution, transformation chimique ou refroidissement. Régulation de la température.</p>	<p>Choisir une méthode de suivi tenant compte de la facilité de mise en œuvre, des propriétés des composés étudiés, du temps de réaction estimé ou fourni. 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 la valeur d'une énergie d'activation.</p>

Utilisation de l'outil informatique

L'outil informatique sera utilisé, par exemple :

- dans le domaine de la simulation : pour interpréter et anticiper des résultats ou des phénomènes chimiques, pour comparer des résultats obtenus expérimentalement à ceux fournis par un modèle et pour visualiser des modèles de description de la matière. Les domaines d'activités qui se prêtent particulièrement à la simulation sont les titrages en solution aqueuse, la cristallographie, la modélisation moléculaire, la cinétique chimique. Cette liste n'est bien entendu pas exhaustive et l'usage de toutes les animations numériques qui facilitent l'apprentissage est recommandé.
- pour l'acquisition de données, en utilisant un appareil de mesure interfacé avec l'ordinateur.
- pour la saisie et le traitement de données à l'aide d'un tableur ou d'un logiciel dédié.

Contenus disciplinaires

L'organisation de la formation disciplinaire est semestrielle :

Premier semestre

- I. Transformation de la matière
 1. Description et évolution d'un système vers un état final

2. Évolution temporelle d'un système et mécanismes réactionnels
- II. Architecture de la matière
1. Classification périodique des éléments et électronégativité
 2. Structure des molécules et relations structure-propriétés
- III. Structure en chimie organique

Deuxième semestre

- IV. Architecture de la matière condensée : solides cristallins
V. Transformations chimiques en solutions aqueuses
VI. Réactivité et synthèses en chimie organique 2

Premier Semestre

I. Transformation de la matière

La chimie est une science de la nature, science de la matière et de sa transformation. Les différents états de la matière et les différents types de transformation de la matière ont déjà été en partie étudiés dans le parcours antérieur de l'élève, au collège et au lycée. Il s'agit de réactiver et de compléter ces connaissances déjà acquises, afin d'amener les élèves à les mobiliser de manière autonome pour décrire, au niveau macroscopique, un système physico-chimique et son évolution. Dans ce cadre, on se limite à un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique symbolisée par une équation de réaction à laquelle est associée une constante thermodynamique d'équilibre. Sur des exemples variés de transformations chimiques rencontrées dans la vie courante, au laboratoire, dans le monde du vivant ou en milieu industriel, l'objectif visé est la prévision du sens d'évolution de systèmes homogènes ou hétérogènes et la détermination de leur composition dans l'état final. Dans un souci de continuité de formation, les acquis du lycée concernant les réactions acido-basiques et d'oxydo-réduction, la conductimétrie, la pH-métrie et les spectroscopies sont réinvestis lors des démarches expérimentales. L'ensemble des compétences relatives à cette partie du programme sera ensuite mobilisé régulièrement au cours de l'année, plus particulièrement au second semestre lors des transformations en solution aqueuse, et en seconde année, notamment dans le cadre de l'étude de la thermodynamique chimique.

L'importance du facteur temporel dans la description de l'évolution d'un système chimique apparaît assez significativement dans l'observation du monde qui nous entoure et a déjà fait l'objet d'une première approche expérimentale en classe de première STL permettant de dégager les différents facteurs cinétiques que sont les concentrations, la présence ou non d'un catalyseur et la température. La prise de conscience de la nécessité de modéliser cette évolution temporelle des systèmes chimiques est naturelle. Si la réaction chimique admet un ordre, le suivi temporel de la transformation chimique doit permettre l'établissement de la loi de vitesse. Cette détermination fait appel à la méthode différentielle ou à la méthode intégrale, pour l'exploitation de mesures expérimentales d'absorbance ou de conductivité du milieu réactionnel par exemple, dans le cadre d'un réacteur fermé parfaitement agité. Les équations différentielles étant abordées en mathématiques en terminale STL mais non utilisées en physique-chimie au lycée, il conviendra de faire le lien entre les notations utilisées en mathématiques ($y'+ay=b$) et celles adoptées en chimie.

La modélisation au niveau microscopique d'une transformation chimique par un mécanisme réactionnel complète l'étude cinétique macroscopique et permet d'aborder la notion de catalyse ; des exemples de catalyses homogènes, hétérogènes et enzymatiques seront également présentés dans cette partie du programme.

Une ouverture à la cinétique en réacteur ouvert, dans un cadre très limité, permet en complément d'appréhender la différence d'approche à l'échelle industrielle.

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 description d'un système physico-chimique
- Distinguer modélisation d'une transformation (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.
- Exploiter les outils de description des systèmes chimiques pour modéliser leur évolution temporelle.
- Proposer des approximations simplifiant l'exploitation quantitative de données expérimentales et en vérifier la pertinence.
- Confronter un modèle mathématique avec des mesures expérimentales.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1 Description et évolution d'un système chimique vers un état final	
<p>Transformations de la matière Transformations physique, chimique, nucléaire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaître la nature d'une transformation.
<p>Transformations physiques États de la matière : gaz, liquide, solide cristallin, solide amorphe et solide semi-cristallin. Modélisation microscopique des états physiques. Notion de phase. Les transformations physiques : diagramme d'état (P, T). Fluides supercritiques : principales propriétés, utilisation en génie des procédés.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nommer les transformations relatives au changement d'état. • Reconnaître une transformation allotropique. • Modéliser un état physique et une transformation physique. • Déterminer l'état physique d'une espèce chimique pour des conditions expérimentales données de P et T. <p>Approche documentaire : à partir de documents, analyser le rôle des fluides supercritiques en génie des procédés dans le cadre d'une chimie respectueuse de l'environnement.</p>
<p>Système chimique Constituants physico-chimiques. Corps purs et mélanges : concentration molaire, fraction molaire, pression partielle. Composition d'un système chimique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recenser les constituants physico-chimiques présents dans un système. • Utiliser l'équation d'état du gaz parfait pour les composés gazeux. • Décrire la composition d'un système chimique à l'aide des grandeurs physiques pertinentes.
<p>Transformation chimique Modélisation d'une transformation par une ou plusieurs réactions chimiques. Réaction chimique : équation chimique, avancement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier la (ou les) réaction(s) qui modélise(nt) une transformation chimique. • Décrire qualitativement et quantitativement un système chimique dans l'état initial, dans un état intermédiaire quelconque.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Évolution d'un système lors d'une transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique : quotient réactionnel, activité, critère d'évolution.</p> <p>Equation de réaction : constante d'équilibre</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Exprimer l'activité d'une espèce chimique pure ou dans un mélange dans le cas de solutions aqueuses très diluées ou de mélange de gaz parfaits. • Exprimer le quotient réactionnel. • Prévoir le sens d'évolution spontanée d'un système chimique ; état d'équilibre. <p>• Déterminer une constante d'équilibre ; dégager le critère d'évolution.</p>
<p>Composition du système dans l'état final : état d'équilibre chimique, transformation totale.</p> <p>Optimisation d'un procédé industriel.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 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>• Approche documentaire : à partir de documents sur un procédé industriel, rechercher les paramètres sur lesquels on peut jouer pour optimiser le rendement d'une synthèse.</p>
2 Evolution temporelle des systèmes chimiques et mécanismes réactionnels	
En réacteur fermé de composition uniforme	
<p>Définition générale de la vitesse d'une réaction chimique dans le cas d'un réacteur fermé de composition uniforme : vitesses de disparition d'un réactif et de formation d'un produit, vitesse de réaction pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Déterminer l'influence d'un paramètre sur la vitesse d'une réaction chimique. • Relier la vitesse de réaction à la vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit.
<p>Lois de vitesse ; réactions sans ordre, réactions avec ordre simple, ordre global, ordre apparent.</p> <p>Temps de demi-réaction.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Établir une loi de vitesse à partir du suivi temporel d'une grandeur physique. • Déterminer la vitesse de réaction à différentes dates en utilisant une méthode numérique ou graphique. • Reconnaître une réaction avec ordre, sans ordre. • Évaluer un ordre de réaction à l'aide de la méthode différentielle ou à l'aide des temps de demi-réaction. • Donner une expression générale de la loi de vitesse quand la réaction chimique admet un ordre. • Confirmer, par la méthode intégrale, la valeur d'un ordre simple (0, 1, 2) dans la loi de vitesse. • Choisir ou reconnaître des conditions expérimentales provoquant une dégénérescence de l'ordre

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Transformation nucléaire : désintégration radioactive ; activité, constante radioactive, temps de demi-vie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Établir une expression simplifiée de la loi de vitesse quand l'expérimentateur travaille en dégénérescence d'ordre. • Établir une expression simplifiée de la loi de vitesse quand l'expérimentateur a introduit les réactifs en proportions stœchiométriques. • La loi de vitesse étant connue, déterminer une valeur de la constante cinétique à une température donnée. <p>• Approche documentaire : à partir de documents, appréhender les principales problématiques liées à l'utilisation de produits radioactifs.</p>
<p>Loi empirique d'Arrhénius ; énergie d'activation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Déterminer la valeur de l'énergie d'activation d'une transformation chimique à partir de la donnée des valeurs de la constante cinétique à différentes températures. • Déterminer la valeur de la constante cinétique à une température T_1 à partir de la donnée de l'énergie d'activation de la réaction et de la valeur de la constante cinétique à la température T_0. • Proposer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'étudier l'influence de la température sur la vitesse et de déterminer une énergie d'activation d'une réaction chimique.
<p>Interprétation microscopique de l'influence des concentrations et de la température sur la vitesse d'une transformation chimique. Limite de la modélisation macroscopique par une réaction chimique</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Relier la vitesse d'une réaction à la fréquence de chocs efficaces. • Interpréter les effets des différents paramètres influençant la vitesse sur la fréquence des chocs efficaces.
Mécanismes réactionnels	
<p>Mécanismes réactionnels en cinétique homogène : processus élémentaire, moléularité d'un processus, intermédiaires réactionnels, état de transition, mécanisme réactionnel par stades, mécanisme réactionnel en chaîne</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Distinguer une équation de réaction symbolisant une réaction chimique d'une équation traduisant un acte élémentaire. • Identifier les intermédiaires réactionnels, les réactifs, les produits, les catalyseurs dans un mécanisme réactionnel. • Discuter de la stabilité relative d'intermédiaires réactionnels rencontrés en chimie organique. • Distinguer un intermédiaire réactionnel d'un état de transition (complexe activé).

Notions et contenus	Capacités exigibles
	<ul style="list-style-type: none"> • Exprimer la loi de vitesse d'un acte élémentaire. • Tracer un profil énergétique correspondant à un acte élémentaire, à deux actes élémentaires successifs. • Identifier un mécanisme par stades, en chaîne. • Identifier les différentes étapes d'un mécanisme réactionnel en chaîne.
<p>Approximations classiques : pré-équilibre rapide, étape cinétiquement déterminante, approximation de l'état quasi-stationnaire (AEQS).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Approche numérique : utiliser les résultats d'une méthode numérique pour mettre en évidence les approximations de l'étape cinétiquement déterminante ou de l'état quasi-stationnaire. • Reconnaître les conditions d'utilisation de l'approximation de l'étape cinétiquement déterminante ou de l'Approximation des états quasi-stationnaire. • Établir la loi de vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit à partir d'un mécanisme réactionnel en utilisant éventuellement les approximations classiques.
<p>Interprétation du rôle d'un catalyseur Différents types de catalyse : homogène, hétérogène, enzymatique. Exemples de catalyse : acide-base hydrogénation des alcènes, modèle simple de Michaelis-Menten.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaître un catalyseur dans un mécanisme réactionnel et un effet catalytique dans un profil énergétique. • Établir la loi de vitesse dans le cadre du modèle de Michaelis -Menten.
Approche de la cinétique en réacteur ouvert	
<p>Réacteur ouvert parfaitement agité continu fonctionnant en régime permanent, dans le cas où les débits volumiques d'entrée et de sortie sont égaux. Temps de passage.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Exprimer la vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit, l'équation différentielle traduisant le bilan de matière pour un réactif ou un produit étant donnée. • Établir la loi de vitesse à partir de mesures fournies.

II. Architecture de la matière

Décrivant la matière au niveau macroscopique par des espèces chimiques aux propriétés physiques et chimiques caractéristiques, le chimiste la modélise au niveau microscopique par des entités chimiques dont la structure électronique permet de rendre compte et de prévoir diverses propriétés.

L'étude proposée dans cette partie du programme est centrée sur la classification périodique des éléments, outil essentiel du chimiste, dans l'objectif de développer les compétences relatives à son utilisation : extraction des informations qu'elle contient, prévision de la réactivité des corps simples, prévision de la nature des liaisons chimiques dans les corps composés, etc. On se limite, en première année, aux principales caractéristiques de la liaison chimique à l'exclusion de modèles plus élaborés comme la théorie des orbitales moléculaires qui sera étudiée en seconde année.

Depuis le collège et tout au long du lycée, les élèves ont construit successivement différents modèles pour décrire la constitution des atomes, des ions et des molécules. L'objectif de cette partie est de continuer à affiner les modèles des diverses entités chimiques isolées pour rendre compte des propriétés au niveau microscopique (longueur de liaison, polarité...) ou macroscopique (solubilité, température de changement d'état, ...). Les connaissances déjà acquises sont réactivées et complétées :

- Dans le cadre du modèle de Lewis, deux nouveautés sont introduites : les extensions de la règle de l'octet et le concept de délocalisation électronique, à travers le modèle de la mésomérie. Dans ce dernier cas, les compétences sont d'une part de repérer les situations où l'écriture de formules mésomères est nécessaire et, d'autre part, d'interpréter les propriétés des molécules à électrons délocalisés.
- L'électronégativité, introduite en classe de première, est abordée en s'appuyant sur une approche expérimentale : réactions d'oxydo-réduction, propriétés de corps composés en lien avec la nature de la liaison chimique. Elle est prolongée par la présentation de l'existence d'échelles numériques, notamment celle de Pauling, mais la connaissance de leurs définitions n'est pas exigible.
- La polarité des molécules a été abordée et utilisée dès la classe de première STL, mais pas l'aspect vectoriel du moment dipolaire, qui est souligné ici. La notion de moment dipolaire sera réinvestie ultérieurement en physique. Aucune compétence sur l'addition de vecteurs non coplanaires n'est exigible.
- La description des forces intermoléculaires est complétée pour développer les capacités d'interprétation ou de prévision de certaines propriétés physiques ou chimiques (température de changement d'état, miscibilité, solubilité) prenant en considération l'existence de telles forces. La notion de liaison hydrogène intramoléculaire est également introduite.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Utiliser la classification périodique des éléments pour déterminer, justifier ou comparer des propriétés (oxydo-réduction, solubilité, aptitude à la complexation, polarité, polarisabilité...);
- Pratiquer un raisonnement qualitatif rigoureux ;
- S'appropriier les outils de description des entités chimiques (liaison covalente, notion de nuage électronique...) et leur complémentarité dans la description des interactions intermoléculaires ;
- Appréhender la notion de solvant, au niveau microscopique à travers les interactions intermoléculaires et au niveau macroscopique par leur utilisation au laboratoire, dans industrie et dans la vie courante.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1 Classification périodique des éléments et électronégativité	
Structure électronique des entités monoatomiques	
Atomes et éléments. Isotopes, abondance isotopique, stabilité.	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser un vocabulaire précis : élément, corps simple, corps composé, espèce chimique, entité chimique. • Donner la constitution d'un atome et de son noyau, à partir du numéro atomique Z et du nombre de masse

	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître les ordres de grandeur de la taille d'un atome, des masses et des charges de l'électron et des nucléons. • Reconnaître des nucléides isotopes.
Quantification de l'énergie et spectroscopies (UV-visible, IR, RMN)	<ul style="list-style-type: none"> • Associer un type de transition énergétique au domaine du spectre électromagnétique correspondant. • Déterminer la longueur d'onde d'une radiation émise ou absorbée à partir de la valeur de la transition énergétique mise en jeu, et inversement.
Nombres quantiques n , l , m_l et m_s .	<ul style="list-style-type: none"> • Établir un diagramme qualitatif des niveaux d'énergie électronique d'un atome donné. • Reconnaître si un quadruplet $\{n, l, m_l, m_s\}$ est possible ou non.
Configuration électronique d'un atome dans son état fondamental. Configuration électronique d'un ion monoatomique dans son état fondamental. Électrons de cœur et de valence.	<ul style="list-style-type: none"> • Établir la configuration électronique d'un atome dans son état fondamental (la connaissance des exceptions à la règle de Klechkowski n'est pas exigible). • Reconnaître la configuration électronique de l'état fondamental ou d'un état excité d'un atome. • Déterminer le nombre d'électrons célibataires d'un atome dans son état fondamental. • Prévoir la formule des ions monoatomiques d'un élément et déterminer leur configuration électronique.
Classification périodique des éléments	
Architecture et lecture du tableau périodique	<ul style="list-style-type: none"> • Relier la position d'un élément dans la classification périodique à sa configuration électronique et au nombre d'électrons de valence de l'atome correspondant (et inversement). • Situer dans le tableau périodique les familles d'éléments suivantes et énoncer leurs caractéristiques : métaux alcalins et alcalino-terreux, halogènes et gaz nobles. • Citer les éléments contenus dans les trois premières périodes de la classification et dans la colonne des halogènes (nom, symbole, numéro atomique).

<p>Électronégativité et évolution dans le tableau périodique</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mettre en œuvre des expériences illustrant le caractère oxydant ou réducteur de certains corps simples. • Élaborer ou mettre en œuvre un protocole permettant de montrer qualitativement l'évolution du caractère oxydant dans une colonne. • Relier le caractère oxydant ou réducteur d'un corps simple à l'électronégativité de l'élément. • Comparer l'électronégativité de deux éléments selon leur position dans le tableau périodique.
<p>Liaison métallique, covalente et ionique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Distinguer un métal et un non-métal. • Localiser les métaux et les non-métaux dans le tableau périodique (placer approximativement la frontière). • Citer des exemples de métaux, de métaux nobles. • Citer des exemples de métalloïdes. • Mettre en œuvre des expériences montrant l'évolution du caractère ionique et du caractère covalent des liaisons : solubilité dans l'eau des halogénures ou des oxydes, propriétés acido-basiques des oxydes... • Lier la nature de la liaison chimique à la différence d'électronégativité des atomes engagés.
<p>Rayon atomique. Rayon ionique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter l'évolution du rayon atomique dans la classification périodique en utilisant la notion qualitative de nombre de charge effectif. • Interpréter l'évolution du rayon entre un atome et ses ions.
<p>2 Structure électronique des molécules et relation structure-propriétés</p>	
<p>Structures de Lewis des entités polyatomiques</p>	
<p>Schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique. Liaison covalente localisée et délocalisée.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître les ordres de grandeur de la longueur et de l'énergie d'une liaison covalente. • Vérifier la règle de l'octet pour une structure de Lewis donnée. • Identifier les écarts à la règle de l'octet : lacune, hypervalence. • Établir qu'une entité est un radical ou un acide ou une base de Lewis. • Attribuer la charge formelle à chaque atome dans une structure donnée.

	<ul style="list-style-type: none"> • Établir le schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique simple. • Reconnaître des doublets conjugués dans une molécule ou un ion polyatomique. • Relier l'évolution des nombres d'onde d'absorption dans l'IR à la présence de groupes caractéristiques conjugués. • Dans des cas simples, reconnaître les cas de liaisons délocalisées et identifier la (ou les) formules mésomères la (les) plus représentative(s). • Représenter un hybride de résonance. • Prévoir les conséquences de la délocalisation (longueurs de liaisons, délocalisation de la charge...). • Mettre en évidence une éventuelle délocalisation à partir de données expérimentales.
Géométrie des molécules : prévision par la méthode VSEPR.	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître et représenter les types structuraux AX_n, avec 2 ≤ n ≤ 6. • Pour n=3 et n=4, connaître et représenter les types dérivés de AX_n = AX_pE_q et prévoir les déformations angulaires.
Liaison polarisée Molécule polaire Moment dipolaire d'une molécule.	<ul style="list-style-type: none"> • Définir le moment dipolaire d'une molécule diatomique AB et connaître l'ordre de grandeur du Debye. • Déterminer le pourcentage d'ionicité d'une liaison AB à partir du moment dipolaire et de la longueur de liaison. • Dédire de la géométrie d'une molécule la valeur nulle ou non nulle de son moment dipolaire. • Représenter le vecteur moment dipolaire d'une molécule.
Forces intermoléculaires	
Interactions de Van der Waals Liaison hydrogène.	<ul style="list-style-type: none"> • Définir qualitativement la polarisabilité d'une molécule. • Identifier des situations dans lesquelles une liaison hydrogène peut s'établir entre deux molécules. • Connaître l'ordre de grandeur de l'énergie d'une liaison hydrogène et de Van der Waals. • Interpréter la différence de température de changement d'état et la différence de solubilité dans un solvant donné entre deux corps purs moléculaires.

	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter l'influence de la présence de liaisons hydrogène sur les signaux en spectroscopie infra-rouge. • Identifier des situations où des liaisons hydrogène intramoléculaires peuvent s'établir. • Interpréter l'influence des forces intermoléculaires sur la température de changement d'état des corps purs ou sur les propriétés conformationnelles. • Interpréter la migration relative d'espèces chimiques en chromatographie sur couche mince.
Solvants	
<p>Solvants moléculaires</p> <p>Grandeurs caractéristiques d'un solvant : moment dipolaire, permittivité relative</p> <p>Types de solvants : polaire, apolaire, protique (ou protogène), aprotique, basique (Lewis).</p> <p>Mise en solution d'une espèce chimique moléculaire ou ionique</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Définir la permittivité relative d'un solvant. • Reconnaître à quelle catégorie appartient un solvant. • Décrire la mise en solution d'un solide ionique et connaître les caractéristiques du solvant qui la favorisent. • Comparer et interpréter les solubilités de différentes espèces chimiques dans l'eau (ou dans un solvant organique) en termes d'interactions intermoléculaires. • Interpréter la miscibilité ou non de deux solvants. • Choisir un solvant adapté à la dissolution d'une espèce donnée, à la mise en œuvre de certaines réactions, à la réalisation d'une extraction, et aux principes de la chimie verte. • Elaborer et mettre en œuvre un protocole pour déterminer la valeur d'une constante de partage.
Autres solvants.	<ul style="list-style-type: none"> • Approche documentaire : les solvants ioniques.

Structure en chimie organique

. L'objectif de cette partie qui s'inscrit dans la continuité du programme du secondaire, est d'une part, de se doter d'outils pour décrire les molécules dans l'espace, les caractériser, et d'autre part d'entrevoir l'importance de la stéréochimie dans la nature et dans les applications au laboratoire. Ce socle sera réinvesti au cours du deuxième semestre pour aborder la réactivité en chimie organique et les stratégies de synthèse.

Sans donner lieu à une étude systématique, la nomenclature UICPA des composés, déjà mise en place dans le secondaire, est utilisée au fur et à mesure des besoins. En première année, le passage du nom à tous les types de formules ou de représentations pourra être exigé.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Pratiquer un raisonnement qualitatif rigoureux ;
- Relier structure et propriétés microscopiques aux grandeurs et comportements macroscopiques ;
- Maîtriser et utiliser différentes représentations schématiques d'une entité chimique ;
- Relier la mesure et la forme d'un signal physique à des caractéristiques structurales microscopiques de l'espèce chimique étudiée.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Description des molécules organiques	
<p>Représentations topologique, perspective, de Cram, de Fischer, projection de Newman.</p> <p>Descripteurs stéréochimiques <i>R</i>, <i>S</i>, <i>Z</i>, <i>E</i>, <i>D</i> et <i>L</i>.</p> <p>Isomérisation de constitution.</p> <p>Stéréoisomérisation de configuration : énantiomérisation, diastéréoisomérisation (atropoisomérisation exclue). Principe de la séparation des énantiomères.</p> <p>Stéréoisomérisation de conformation : chaînes carbonées, cyclohexane substitué ou non.</p> <p>Séparation d'énantiomères et synthèse stéréosélective.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Traduire par un nom la formule semi-développée (ou topologique) d'une molécule simple, au maximum bifonctionnelle, et réciproquement. • Représenter en deux dimensions une molécule à partir de son nom sans perdre les informations spatiales, en utilisant un type de représentation donnée. • Savoir passer d'un type de représentation spatiale d'une molécule à une autre. • Déterminer si une molécule est chirale. • Attribuer les descripteurs stéréochimiques de centres stéréogènes. • Définir la relation d'isomérisation entre deux structures moléculaires à partir d'un type de représentation donnée. • Dénombrer les stéréoisomères de configuration d'un composé. • Comparer la stabilité relative des plusieurs conformations. • Interpréter la stabilité d'un conformère donné. • Identifier et représenter en deux dimensions, en s'aidant éventuellement de modèles moléculaires ou d'un logiciel de représentation et/ou de simulation, le(s) conformère(s) le(s) plus stable(s) pour une molécule donnée. • Approche documentaire : illustrer et analyser le rôle essentiel de la diastéréoisomérisation lors de synthèses énantiosélectives et de séparations d'énantiomères.
Analyses polarimétrique et spectroscopique en chimie organique	
<p>Activité optique, pouvoir rotatoire. Loi de Biot</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pratiquer une démarche expérimentale utilisant l'activité optique d'une espèce chimique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Spectroscopies d'absorption UV-visible et IR. Spectroscopie de RMN du proton : - déplacement chimique et constante de couplage - spectres du premier ordre de type A_mX_p , $A_mM_pX_q$	<ul style="list-style-type: none"> • Relier la valeur du pouvoir rotatoire d'un mélange d'énantiomères à sa composition. • Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer une concentration par spectroscopie UV-Visible. • Établir ou confirmer une structure à partir de tables de données spectroscopiques (nombres d'onde, déplacements chimiques, constantes de couplage).

Second Semestre

IV. Architecture de la matière condensée : solides cristallins

L'existence des états cristallins et amorphes ainsi que la notion de transition allotropique, présentées au premier semestre dans la partie « Transformations de la matière », vont être réinvesties et approfondies dans cette partie.

Les éléments de description microscopique relatifs au « modèle du cristal parfait » sont introduits lors de l'étude des solides sur l'exemple de la maille cubique faces centrées (CFC), seule maille dont la connaissance est exigible. Cet ensemble d'outils descriptifs sera réinvesti pour étudier d'autres structures cristallines dont la constitution sera alors fournie à l'étudiant.

Aucune connaissance de mode de cristallisation pour une espèce donnée n'est exigible ; le professeur est libre de choisir les exemples de solides pertinents pour présenter les différents types de cristaux et montrer leur adéquation, plus ou moins bonne, avec le modèle utilisé.

En effet, l'objectif principal de l'étude des cristaux métalliques, covalents et ioniques est d'aborder une nouvelle fois la notion de modèle : les allers-retours entre le niveau macroscopique (solides de différentes natures) et la modélisation microscopique (cristal parfait) permettent de montrer les limites du modèle du cristal parfait et de confronter les prédictions faites avec ce modèle aux valeurs expérimentales mesurées sur le solide réel (rayons ioniques, masse volumique). Ce chapitre constitue une occasion de revenir sur les positions relatives des éléments dans la classification périodique, en lien avec la nature des interactions assurant la cohésion des édifices présentés, ainsi que sur les interactions intermoléculaires et la notion de solubilisation pour les solides ioniques et moléculaires.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- relier la position d'un élément dans le tableau périodique et la nature des interactions des entités correspondantes dans un solide ;
- effectuer des liens entre différents champs de connaissance ;
- appréhender la notion de limite d'un modèle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle du cristal parfait	
<p>Description du cristal parfait ; population, coordinence, compacité, masse volumique.</p> <p>Limites du modèle du cristal parfait.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Décrire un cristal parfait comme un assemblage de mailles parallélépipédiques. • Déterminer la population, la coordinence et la compacité pour une structure fournie. • Déterminer la valeur de la masse volumique d'un matériau cristallisé selon une structure cristalline fournie. • Relier le rayon métallique, covalent, de Van der Waals ou ionique, selon le cas, aux paramètres d'une maille donnée. • Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et des sites interstitiels et pour déterminer des paramètres géométriques. <ul style="list-style-type: none"> • Confronter des données expérimentales aux prévisions du modèle. • Approche documentaire : à partir de documents autour des défauts cristallins, aborder leur nature et leurs conséquences sur les propriétés du matériau.
<p>Métaux et cristaux métalliques</p> <p>Description des modèles d'empilement compact de sphères identiques.</p> <p>Maille conventionnelle CFC et ses sites interstitiels.</p> <p>Alliages de substitution et d'insertion.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Localiser les interstices tétraédriques et octaédriques entre les plans d'empilement. • Localiser, dénombrer les sites tétraédriques et octaédriques d'une maille CFC et déterminer leur habitabilité. • Relier les caractéristiques de la liaison métallique (ordre de grandeur énergétique, non directionnalité) aux propriétés macroscopiques des métaux. <ul style="list-style-type: none"> • Citer des exemples d'alliage et leur intérêt par rapport à des métaux purs. • Prévoir la possibilité de réaliser des alliages de substitution ou d'insertion selon les caractéristiques des atomes mis en jeu.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Solides macrocovalents et moléculaires	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier les liaisons covalentes, les interactions de Van der Waals et les liaisons hydrogène dans un cristal de structure donnée. • Relier les caractéristiques des liaisons covalentes, des interactions de Van der Waals et des liaisons hydrogène (directionnalité ou non, ordre de grandeur des énergies mises en jeu) et les propriétés macroscopiques des solides correspondants. • Comparer les propriétés macroscopiques du diamant et du graphite et interpréter les différences en relation avec les structures microscopiques (structures cristallines fournies).
Solides ioniques	<ul style="list-style-type: none"> • Relier les caractéristiques de l'interaction ionique dans le cadre du modèle ionique parfait (ordre de grandeur de l'énergie d'interaction, non directionnalité, charge localisée) avec les propriétés macroscopiques des solides ioniques. • Vérifier la tangence anion-cation et la non tangence anion-anion dans une structure cubique de type AB fournie, à partir des valeurs du paramètre de maille et des rayons ioniques.

V. Transformations chimiques en solution aqueuse

Les transformations chimiques en solution aqueuse jouent un rôle essentiel en chimie, en biochimie et dans les processus environnementaux.

Un nombre considérable de développements technologiques (générateurs électrochimiques, lutte contre la corrosion, traitement des eaux, méthodes d'analyse...) repose sur des phénomènes d'oxydoréduction en solution aqueuse. L'influence du milieu (pH, présence ou non d'agents complexants, possibilité de formation de composés insolubles...) est primordiale dans la compréhension et la prévision des phénomènes mis en jeu.

L'objectif de cette partie est de présenter les différents types de réactions susceptibles d'intervenir en solution aqueuse, d'en déduire des diagrammes de prédominance ou d'existence d'espèces chimiques, notamment des diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL, et de les utiliser comme outil de prévision et d'interprétation des transformations chimiques quel que soit le milieu donné. Les conventions de tracé seront toujours précisées.

S'appuyant sur les notions de couple redox et de piles rencontrées dans le secondaire, l'étude des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse est complétée par l'utilisation de la relation de Nernst (admise en première année) et de la relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydoréduction et les potentiels standard.

Afin de pouvoir étudier l'influence du milieu sur les espèces oxydantes ou réductrices effectivement présentes, les connaissances sur les réactions acido-basiques en solution aqueuse et sur les complexes acquises dans le secondaire sont réinvesties et complétées. Compte tenu des différentes conventions existantes, l'équation de la réaction correspondante est donnée dans chaque cas. Enfin, les phénomènes de précipitation et de dissolution, ainsi que la condition de saturation d'une solution aqueuse sont présentés.

Ces différentes transformations en solution aqueuse sont abordées en montrant bien qu'elles constituent des illustrations de l'évolution des systèmes chimiques introduites au premier semestre, les étudiants étant amenés à déterminer l'état final d'un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique. On montrera qu'il est ainsi possible d'analyser et de simplifier une situation complexe pour parvenir à la décrire rigoureusement et quantitativement, en l'occurrence dans le cas des solutions aqueuses par une réaction prépondérante. Il est cependant important de noter qu'on évite tout calcul inutile de concentration, et que dans ce cadre, aucune formule de calcul de pH n'est exigible.

Enfin, les diagrammes potentiel-pH et éventuellement potentiel-pL sont présentés, puis superposés pour prévoir ou interpréter des transformations chimiques, des phénomènes.

Les choix pédagogiques relatifs au contenu des séances de travail expérimental permettront de contextualiser ces enseignements, et de discuter de la pertinence des modèles de description des transformations en solution aqueuse.

Les dosages par titrage sont étudiés exclusivement en travaux pratiques. L'analyse des conditions choisies ou la réflexion conduisant à une proposition de protocole expérimental pour atteindre un objectif donné constituent des mises en situation des enseignements évoqués précédemment. La compréhension des phénomènes mis en jeu dans les titrages est par ailleurs un outil pour l'écriture de la réaction prépondérante. Ces séances de travail expérimental constituent une nouvelle occasion d'aborder qualité et précision de la mesure.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Modéliser ou simplifier un problème complexe ;
- Utiliser différents outils graphique, numérique, analytique ;
- Repérer les informations ou paramètres importants pour la résolution d'un problème.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Réactions d'oxydo-réduction Nombres d'oxydation.</p> <p>Exemples usuels d'oxydants et de réducteurs : nom, nature et formule des ions, permanganate, dichromate, hypochlorite, thiosulfate, du peroxyde d'hydrogène.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple. • Prévoir le nombre d'oxydation extrême d'un élément à partir de sa position dans le tableau périodique. • Représenter une pile et décrire son fonctionnement à partir de la mesure de la tension à vide ou des potentiels d'électrodes. • Construire des diagrammes de prédominance ou d'existence pour les différents couples d'oxydo-réduction.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Piles et électrodes. Potentiel d'électrode, formule de Nernst, électrodes de référence</p> <p>Réactions d'oxydoréduction : aspect thermodynamique, dismutation et médiamentation</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires. • Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction. • Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu des réactions d'oxydo-réduction.
<p>Réactions acide-base et de complexation</p> <p>Réactions acide-base : constante d'acidité, Diagrammes de prédominance en fonction de pH Exemples usuels d'acides et bases : nom, formule et nature – faible ou forte – des acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, phosphorique, acétique, de la soude, la potasse, l'ion hydrogénocarbonate, l'ammoniac.</p> <p>Réaction de complexation, constante de formation ou de dissociation, Complexes : définition Domaines de prédominance en fonction de pL.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaître si une réaction chimique donnée est une réaction d'oxydoréduction, acido-basique ou de complexation. • Construire des diagrammes de prédominance pour différents couples acide-base et pour des complexes successifs. • Extraire de ressources disponibles les données thermodynamiques pertinentes pour prévoir qualitativement l'état final d'un système en solution aqueuse ou interpréter des observations expérimentales. • Déterminer des constantes thermodynamiques par lecture de courbes de distribution (et réciproquement). • Déterminer la valeur de la constante thermodynamique pour une équation, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques sont connues. • Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires. • Déterminer la composition chimique du système chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre et de transformation totale, pour une transformation chimique modélisée par une réaction unique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Réaction de précipitation Réaction de précipitation : constante de solubilité K_s.</p> <p>Solubilité et condition de précipitation.</p> <p>Domaine d'existence.</p> <p>Facteur influençant la précipitation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comparer Q_r et K_s ; en déduire si la solution est saturée ou non. • Construire les diagrammes d'existence • Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires. • Déterminer la composition chimique du système chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre et de transformation totale, pour une transformation chimique modélisée par une réaction unique. En déduire la solubilité d'un sel peu soluble dans différents milieux. • Proposer ou mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de précipiter un ion donné ou de (re)dissoudre un précipité.
<p>Traitement des effluents dans une usine chimique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Approche documentaire : à partir de documents décrivant le traitement des effluents d'une usine chimique, dégager les principales problématiques mises en jeu (nature des capteurs, valeurs limites pour des espèces polluantes...).
<p>Diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL</p> <p>Principe de construction d'un diagramme potentiel-pH simple</p> <p>Lecture et utilisation des diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL</p> <p>Limite thermodynamique du domaine d'inertie électrochimique de l'eau</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Attribuer les différents domaines d'un diagramme fourni à des espèces données. • Retrouver la valeur de la pente d'une frontière dans un diagramme potentiel-pH ou potentiel-pL. • Justifier la position d'une frontière verticale. • Prévoir le caractère thermodynamiquement favorisé ou non d'une transformation par superposition de diagrammes ; • Discuter de la stabilité des espèces chimiques dans l'eau. • Confronter les prévisions à des données expérimentales et interpréter d'éventuels écarts en termes cinétique. • Mettre en œuvre une démarche expérimentale s'appuyant sur l'utilisation d'un diagramme potentiel-pH

VI. Réactivité et synthèse en chimie organique

L'objectif de cette partie est d'apporter des compléments à l'ensemble des connaissances et compétences acquises en chimie organique au cycle terminal de la filière STL, pour d'une part faire comprendre les enjeux et la logique de la synthèse organique, et d'autre part décrire, analyser et modéliser les transformations organiques à l'échelle microscopique.

Les monohalogénoalcanes sont choisis comme exemple de substrats pouvant subir des substitutions nucléophiles et des β -éliminations. Ils conduisent aussi à la formation

d'organométalliques, premier exemple de composés présentant un atome de carbone nucléophile et pouvant donner lieu à des additions nucléophiles sur des composés possédant une double liaison C=O. Les notions sont ainsi présentées sur des exemples donnés, mais dans le but d'une maîtrise permettant un réinvestissement sur des situations analogues. Ainsi, une présentation par mécanismes ou de type fonctionnelle peut être envisagée, au libre choix de l'enseignant.

Néanmoins, il s'agit de privilégier une approche mécanistique pour faire comprendre et maîtriser les raisonnements plutôt que pour empiler les connaissances.

La maîtrise des techniques courantes en chimie organique est renforcée par les séances de travaux pratiques choisies de manière à construire, en deux ans, une acquisition effective de l'ensemble des compétences expérimentales attendues.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Concilier l'application courante de principes généraux et leur adaptation à des cas spécifiques ou complexes ;
- Identifier, dans une entité chimique complexe, la partie utile au raisonnement ;
- Elaborer une stratégie d'adaptation pour résoudre un problème ;
- Pratiquer un raisonnement qualitatif argumenté pour expliquer un schéma de synthèse ;
- Analyser des problèmes de complexité croissante.

Notions et contenus	Capacités attendues
<p>Réactivité et synthèse en chimie organique Nucléophile, électrophile. Nucléofuge. Acidité et de basicité (de Brønsted) des composés organiques. Réactivité des dérivés halogénés, alcools, amines, alcènes et organomagnésiens mixtes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier un site nucléophile, électrophile dans une entité chimique. • Classer des nucléophiles et des électrophiles par réactivité croissante. • Comparer la force des acides et des bases organiques. • Comparer l'électrophilie de deux sites en étudiant les nucléofuges.
<p>Différents types de réactions rencontrés en chimie organiques : substitution nucléophile, élimination, addition nucléophile, addition électrophile.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaître dans une équation de réaction ou dans l'étape d'un mécanisme réactionnel, le type de réaction mis en oeuvre. • Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de réaliser une transformation simple en chimie organique.
<p>Mécanismes de substitution nucléophile. Mécanismes limites de substitution nucléophile bimoléculaire S_N2 et monomoléculaire S_N1 : propriétés cinétiques et stéréochimiques. Illustration sur l'exemple des RX, de la synthèse d'éthers par la méthode Williamson, l'action de HX sur les alcools, l'alkylation des amines, réaction de Wurtz des RMgX.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Écrire un mécanisme à l'aide du formalisme des flèches courbes représentant le déplacement des doublets électroniques. • À partir de résultats expérimentaux (cinétiques, stéréochimiques) ou l'analyse de facteurs structuraux des substrats, établir les mécanismes limites des réactions de substitution nucléophile et d'élimination en les adaptant aux substrats considérés.

Notions et contenus	Capacités attendues
<p>Mécanismes de β-élimination. Mécanismes limites de β-élimination bimoléculaire E_2 et monomoléculaire E_1 : propriétés cinétiques et stéréochimiques, régiosélectivité ; Illustration sur RX (E_2), déshydratation des alcools (E_1).</p> <p>Mécanisme de β-élimination E_{1cb}. Illustration sur la réaction de crotonisation.</p> <p>Compétition substitution-élimination. Illustration sur les alcools.</p> <p>Contrôle cinétique-contrôle thermodynamique. Présentation du postulat de Hammond.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Prévoir ou analyser la régiosélectivité, la stéréosélectivité et la stéréospécificité éventuelles d'une transformation simple en chimie organique en utilisant un vocabulaire précis et rigoureux. • Tracer, commenter et utiliser un diagramme énergétique à l'échelle microscopique. • Reconnaître les conditions d'utilisation du postulat de Hammond et prévoir l'obtention des produits lorsque deux transformations sont en compétition.
<p>Mécanisme d'addition électrophile. Addition électrophile sur les alcènes : action de X_2, HX, H_2O.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Écrire un mécanisme à l'aide du formalisme des flèches courbes représentant le déplacement des doublets électroniques. • Prévoir ou analyser la régiosélectivité, la stéréosélectivité et la stéréospécificité éventuelles d'une transformation simple en chimie organique en utilisant un vocabulaire précis et rigoureux.
<p>Mécanisme d'addition nucléophile. Action des organomagnésiens mixtes sur aldéhydes, cétones et dioxyde de carbone, dérivés d'acide hors nitriles.</p> <p>Intérêt des organométalliques dans la construction d'une chaîne carboné.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Écrire un mécanisme à l'aide du formalisme des flèches courbes représentant le déplacement des doublets électroniques. • Déterminer le produit formé dans une synthèse magnésienne et vice et versa déterminer les réactifs nécessaires à la synthèse magnésienne d'une entité donné. • Décrire et mettre en œuvre un protocole de préparation d'un organomagnésien mixte • Mettre en œuvre un protocole de synthèse magnésienne et en justifier les étapes et conditions expérimentales, y compris l'hydrolyse terminale.
<p>Stratégie de synthèse</p> <p>Approche élémentaire de la stratégie de synthèse : analyse rétrosynthétique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Concevoir une stratégie de synthèse pour une molécule simple. • Analyser et justifier les choix expérimentaux dans une synthèse organique.

Appendice 1 : liste de matériel

Cette liste regroupe le matériel que les étudiants 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, bechers, etc.
- Verrerie classique de chimie organique, rodée ou non rodée : ballons, ampoule de coulée (isobare ou non), réfrigérant à eau, matériel de distillation simple, d'hydrodistillation, dispositifs de chauffage ou de refroidissement (bain-marie, bain froid, chauffe-ballon, agitateur magnétique chauffant, etc.), dispositifs d'agitation, séparateur de Dean-Stark, ampoule à décanter, matériel de filtration sous pression ordinaire et sous pression réduite.
- Évaporateur rotatif
- Matériel de chromatographie sur couche mince
- Lampe UV
- Banc de Kofler
- Réfractomètre
- Résines échangeuses d'ions

- Spectrophotomètre UV-visible
- pH-mètre et sondes de mesure
- Millivoltmètre et électrodes
- Conductimètre et sonde de mesure
- Polarimètre
- Sonde thermométrique
- Balance de précision

Appendice 2 : Outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique comme en chimie.

La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique et de la chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année de TPC. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année ; il sera complété dans le programme de seconde année. Les outils figurant dans le tableau n'ont pas tous 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	
Systèmes linéaires 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.

Équations non linéaires.	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.	Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique.
Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$.	Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \cos(\omega x + \phi)$ (en utilisant la notation complexe).
Équations différentielles linéaires du deuxième ordre à coefficients constants : $y'' + ay' + by = f(x)$.	Utiliser l'équation caractéristique pour trouver la solution générale de l'équation sans second membre. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \exp(\lambda x)$ avec λ complexe. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution.
Autres équations différentielles d'ordre 1 ou 2.	Intégrer numériquement avec un outil fourni. Obtenir une intégrale première d'une équation de Newton $x'' = f(x)$ et l'exploiter graphiquement. Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et le graphe de la solution correspondante.

3. Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ($x \rightarrow x^a$), Cosinus hyperbolique et sinus hyperbolique (ces fonctions hyperboliques, non traitées dans le cours de mathématiques, sont introduites par le professeur de physique).
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 $(1+x)^a$, e^x et $\ln(1+x)$, et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$.
Primitive et intégrale.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques.

Valeur moyenne.	Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions \cos , \sin , \cos^2 et \sin^2 .
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.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni par un formulaire (cette capacité est développée par le professeur de physique, la notion de série de Fourier n'étant pas abordée dans le cours de mathématiques).

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.
Produit vectoriel.	Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe. Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel. Faire le lien avec l'orientation des trièdres. Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace. Ces capacités sont développées par le professeur de physique ou de chimie, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une ellipse, d'une branche d'hyperbole, d'une parabole (concernant les coniques, cette capacité est développée par le professeur de physique, l'étude des coniques n'étant pas traitée en mathématiques).

Courbes planes paramétrées.	<p>Utiliser la représentation polaire d'une courbe plane ; utiliser un grapheur pour obtenir son tracé ; interpréter l'existence de points limites ou d'asymptotes à partir de l'équation $r = f(\theta)$.</p> <p>Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur.</p> <p>Identifier une ellipse à l'aide de sa représentation paramétrique ($x = a \cdot \cos(\omega t)$, $y = b \cdot \cos(\omega t - \varphi)$) et la tracer dans les cas particuliers $\varphi = 0$, $\varphi = \pi/2$ et $\varphi = \pi$.</p>
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.
Barycentre d'un système de points.	<p>Connaître la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène.</p> <p>(cette capacité sera développée par le professeur de physique, l'étude du barycentre n'étant pas traitée en mathématiques).</p>

5. Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles d'un plan perpendiculaire à cet axe.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	<p>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.</p> <p>Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.</p>
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.