

Annexe III

PHYSIQUE DANS LA VOIE MATHÉMATIQUES PHYSIQUE (MP)

I. OBJECTIFS DE FORMATION

L'enseignement de la physique dans la classe de deuxième année MP s'inscrit dans la continuité de l'enseignement de première année MPSI. Il a vocation à apporter les connaissances fondamentales indispensables à la formation d'un futur ingénieur, enseignant ou chercheur.

Les principes directeurs du programme de MPSI sont conservés : promotion nouvelle de l'expérience, de la compréhension physique du phénomène étudié et réduction significative du recours à la technicité calculatoire nécessaire à la résolution des exercices et problèmes.

Dans un monde en évolution rapide, où une somme énorme de connaissances est disponible, l'enseignement dispensé par le professeur doit éveiller la curiosité face au monde réel, promouvoir le sens de l'observation qui est à l'origine des grandes découvertes et développer chez l'étudiant le goût de l'expérience et du concret et son articulation avec la démarche d'analyse et de synthèse.

La formation dispensée au cours des deux années de préparation doit, dans une approche équilibrée entre théorie et expérience, apporter à l'étudiant les outils conceptuels et méthodologiques pour lui permettre de comprendre le monde naturel et technique qui l'entoure et de faire l'analyse critique des phénomènes étudiés.

L'objectif essentiel est que l'étudiant devienne graduellement acteur de sa formation, qu'il comprenne mieux l'impact de la science et que, plus assuré dans ses connaissances, il soit préparé à poursuivre son cursus d'études dans les grandes écoles.

La méthode scientifique utilisée, empreinte de rigueur et de sens critique permanent, doit permettre à l'étudiant, sur toute question du programme :

- de communiquer l'essentiel des résultats sous forme claire et concise, tant à l'oral qu'à l'écrit ;
- d'en analyser le caractère de pertinence : modèle utilisé, limites du modèle, influence des paramètres, homogénéité des formules, symétries, interprétation des cas limites, ordres de grandeur et précision ;
- d'en rechercher l'impact pratique.

L'utilisation de l'outil informatique (acquisition et traitement de données expérimentales, simulations...) renforce le lien entre la théorie et l'activité expérimentale. Là aussi, l'étudiant doit développer son esprit critique, dans le choix des paramètres retenus par exemple, ou la discussion des modèles utilisés.

II. PROGRAMME

PREAMBULE

1) A propos de la démarche expérimentale

Dans la filière MP, l'approche expérimentale de la physique est affirmée. Elle est proposée aux élèves sous des formes variées et complémentaires qui permettent d'aborder les phénomènes physiques de manière inductive :

- les expériences de cours ;
- les travaux pratiques (TP) ;
- les travaux d'initiative personnelle encadrés (TIPE), introduits par la réforme de 95.

Si le TIPE relève de l'initiative de l'étudiant, l'expérience de cours et le TP relèvent de la responsabilité professorale : si le programme propose des thèmes de TP choisis notamment pour illustrer le cours de physique, ceux-ci peuvent être remplacés par tout thème à l'initiative du professeur et ne faisant appel qu'aux connaissances au programme de la classe.

2) A propos des techniques de calcul

Il convient dans ce domaine de naviguer entre deux écueils : en mettant la barre trop haut on risque de décourager les étudiants et de leur donner une image desséchée de la physique, mais en la plaçant trop bas on les prive des outils nécessaires pour progresser dans l'étude de la physique.

Les calculs ne doivent en aucun cas passer au premier plan. S'il s'agit bien de savoir mettre en équations la situation modélisée, la résolution mathématique ne doit en aucun cas obérer la compréhension physique du phénomène étudié. Les exercices ne faisant appel qu'aux seules techniques de calcul étant bannis, l'attention de l'étudiant, libérée d'une charge lourde et inappropriée doit être reportée sur la conceptualisation et/ou l'approche expérimentale du phénomène lui-même, stimulant ainsi une attitude active et créatrice. Questions et exercices seront orientés dans ce sens.

Les techniques de calcul ne doivent pas constituer un obstacle infranchissable empêchant par exemple les étudiants de suivre un cours avec profit. Il importe de ne pas sous-estimer leurs besoins de formation dans ce domaine.

3) A propos de l'évaluation

Les pratiques d'évaluation doivent être cohérentes avec l'esprit même du programme. Il va de soi que les spécificités de la filière MP doivent se retrouver dans les modalités d'évaluation et de contrôle des connaissances. Celles-ci doivent respecter l'esprit des objectifs : tester l'aptitude de l'étudiant moins à résoudre les équations qu'à les poser, puis à analyser les résultats, tant dans leur caractère théorique que pratique.

Le programme a été rédigé et abondamment commenté de façon à limiter toute dérive inflationniste. Afin de revaloriser les contenus au détriment des calculs, il est souhaitable de diversifier les modes d'évaluation : questions qualitatives, questions synthétiques, questions de culture, ordres de grandeurs, discussion d'ordre expérimental...

PHYSIQUE VOIE MATHÉMATIQUES PHYSIQUE (MP)

L'angle solide n'est pas utilisé en première année ; il est introduit en seconde année lorsque le professeur le juge nécessaire.

A. MÉCANIQUE

Les lois de la mécanique des systèmes sont formulées pour les systèmes fermés. Aucune connaissance ne peut être exigée sur la mise en œuvre de ces lois pour un système ouvert.

A.1. Mécanique des systèmes

Programme	Commentaire
Centre de masse ou d'inertie. Quantité de mouvement totale ou résultante cinétique, moment cinétique et énergie cinétique pour un système discret de point matériels ou une distribution continue de masse. Référentiel barycentrique, théorèmes de König.	
Actions extérieures et intérieures à un système matériel.	<i>On peut utiliser indifféremment les termes « actions » ou « efforts ».</i>
Théorème de la résultante cinétique et mouvement du centre de masse. Loi de conservation de la quantité de mouvement pour un système isolé.	<i>On souligne le lien avec la « relation fondamentale » de la dynamique vue en première année.</i>
Théorème du moment cinétique en un point fixe et en projection sur un axe fixe ; théorème du moment cinétique au centre de masse ou dans le référentiel barycentrique. Loi de conservation du moment cinétique pour un système isolé.	<i>Au choix de l'enseignant, les « théorèmes généraux » sont déduits des lois de Newton enseignées en première année, ou d'une postulation torsorielle des lois de la Mécanique.</i>
Puissance et travail d'un système de forces. Énergie potentielle. Théorème de l'énergie cinétique. Énergie mécanique et conditions de sa conservation.	<i>On dégage le lien de ce théorème avec le premier principe de la thermodynamique.</i>

A.2. Mécanique du solide

Les rubriques ci-dessous recensent les éléments de mécanique des solides pouvant être utilisés dans les exercices et les problèmes de physique. Elles ne peuvent pas faire l'objet de questions de cours. Le mouvement d'un solide par rapport au référentiel du laboratoire ne peut pas faire intervenir plus d'un degré de liberté de rotation par rapport à ce référentiel. L'étude des systèmes articulés de plusieurs solides est exclusivement du ressort des Sciences Industrielles.

Programme	Commentaire
Moment cinétique et énergie cinétique d'un solide ayant un point de vitesse nulle. Définition et utilisation du moment d'inertie par rapport à un axe.	<i>Les problèmes ou exercices de physique faisant intervenir des éléments de mécanique du solide ne doivent pas faire appel à des connaissances relatives à l'opérateur d'inertie. Le calcul des moments d'inertie est hors programme.</i>
Contact de deux solides. Lois phénoménologiques	<i>Les problèmes et exercices ne doivent pas faire</i>

de Coulomb relatives au frottement de glissement. *Intervenir les frottements de roulement et de pivotement.*

Liaison rotule et liaison pivot ; modèle des liaisons parfaites. *On fait ressortir le fait que dans le cas d'une liaison pivot, même parfaite, les actions de liaison ne peuvent pas en général être représentées par une seule force rencontrant l'axe.*

Mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe dont la direction reste fixe par rapport à un référentiel galiléen. *Le théorème du moment cinétique en un point mobile autre que le centre d'inertie est hors programme. Toute étude de l'équilibrage statique ou dynamique d'un solide en rotation est hors programme.*

B. ÉLECTRODYNAMIQUE

Les composants au programme de seconde année MP sont les mêmes que ceux du programme de première année MPSI. Aucune connaissance particulière sur les diodes, diodes Zener... ne peut être exigée.

Programme

Commentaire

Composition en fréquence d'un signal périodique.
Valeur moyenne, fondamental et harmoniques.

Effet d'un filtre du premier ou du second ordre sur la composition spectrale d'un signal périodique ; utilisation de la fonction de transfert ; filtres passe-bas, passe-haut, passe-bande. *On s'attache à montrer en travaux pratiques et à l'aide de logiciels dans quelle mesure ces différents qualificatifs sont appropriés.*

Caractère intégrateur ou dérivateur dans un domaine limité de fréquences. *On illustre quantitativement ces différents comportements.*

C. ÉLECTROMAGNÉTISME

C.1. Électrostatique

On fait ressortir sur des exemples que l'étude de l'électrostatique n'a pas pour seul objet cette discipline proprement dite mais qu'elle fournit aussi des modèles mathématiques adaptables à de très nombreux domaines, la conduction thermique par exemple.

Programme

Commentaire

Formulation locale des lois de l'électrostatique pour le champ et le potentiel.

Conducteur en équilibre électrostatique, caractère équipotentiel. Caractère superficiel de la répartition de charges sur un conducteur. Théorème de Coulomb. *Une étude théorique générale de l'équilibre d'un système de conducteurs (théorème d'unicité, coefficients d'influence...) est exclue. En revanche, on peut faire étudier des cartes de lignes de champ en présence de conducteurs, en faisant apparaître que les surfaces de ces derniers imposent des conditions aux limites pour le potentiel.*

La pression électrostatique ainsi que le calcul des forces exercées sur les conducteurs à partir de l'énergie électrostatique sont hors programme.

Condensateur. Condensateur plan idéal.

A l'occasion de calculs de capacités simples, c'est à dire dans lesquels n'intervient qu'une seule variable d'espace, on peut mentionner l'importance de la dimension du problème étudié : ainsi l'équation de Laplace donne-t-elle des solutions en $1/r$ ou en $\ln(r)$ selon que le problème est à trois ou deux dimensions. Seule la mémorisation de l'expression de la capacité du condensateur plan est exigible.

C.2. Équations de Maxwell

On évoque le problème de la nature du référentiel par rapport auquel les équations de Maxwell sont postulées. A l'occasion par exemple de l'établissement de la transformation galiléenne du champ électromagnétique, on signale les contradictions auxquelles peut conduire l'emploi simultané de l'électromagnétisme de Maxwell et de la mécanique de Newton. Le formalisme quadridimensionnel et la transformation relativiste des champs sont exclus. Les vecteurs excitation électrique \mathbf{D} et magnétique \mathbf{H} n'ont pas à être introduits.

Programme

Commentaire

Densités de charge et de courant. Formulation locale du principe de conservation de la charge.

Forme locale et forme intégrale des équations de Maxwell. Potentiels vecteur \mathbf{A} et scalaire V .

On fait remarquer que les potentiels A et V ne sont pas uniques. La mémorisation d'aucune condition de jauge ne peut être exigée ; les équations de propagation des potentiels satisfaisant à la condition de jauge de Lorentz sont hors programme. Les expressions des « potentiels retardés » sont admises sans justification.

Régimes permanents. Approximation des régimes quasi-stationnaires (ou quasi-permanents).

On fait le lien avec les propriétés du champ magnétique permanent affirmées en première année.

Relations entre les composantes du champ électromagnétique de part et d'autre d'une interface (relations de passage).

On indique que les relations de passage se substituent aux équations de Maxwell dans le cas d'une modélisation surfacique.

C.3. Énergie électromagnétique

Programme

Commentaire

Puissance volumique cédée par le champ aux porteurs de charge.

Cas particulier d'un milieu conducteur ohmique : loi d'Ohm locale, densité volumique de puissance Joule.

La forme locale de la loi d'Ohm est présentée comme une loi phénoménologique ; aucune justification microscopique n'est demandée.

Densité volumique d'énergie électromagnétique et vecteur de Poynting.
Equation locale de Poynting.

*L'expression de la densité d'énergie électromagnétique est affirmée et peut être vérifiée sur les exemples du condensateur plan et du solénoïde illimité.
On affirme la signification physique du vecteur de*

Poynting. On interprète l'équation locale de Poynting comme la traduction d'un bilan d'énergie électromagnétique, que l'on pourra comparer à d'autres bilans, comme celui de la charge électrique. La démonstration de l'équation locale à partir des équations de Maxwell est hors programme.

C.4. Propagation et rayonnement

Programme	Commentaire
Équations de propagation des champs dans une région sans charges ni courants. Structure de l'onde plane progressive. Cas particulier de l'onde monochromatique (ou harmonique).	<i>On fait ressortir le caractère idéal du modèle de l'onde plane monochromatique comme composante élémentaire d'un paquet d'ondes.</i>
États de polarisation d'une onde plane progressive et monochromatique.	<i>Les polariseurs sont introduits en travaux pratiques. Les lames à retard sont hors programme.</i>
Propagation d'une onde plane transverse progressive monochromatique dans un plasma. Fréquence de coupure. Dispersion, vitesse de phase et vitesse de groupe.	<i>Pour le plasma, on utilise le modèle le plus simple : celui d'un milieu dilué dont les charges sont sans interaction entre elles et où les ions sont immobiles. Le but est uniquement de faire apparaître la relation de dispersion et ses conséquences. Toute étude des champs dans les milieux matériels est exclue.</i>
Réflexion sous incidence normale d'une onde plane, progressive et monochromatique sur un plan conducteur parfait. Onde stationnaire.	<i>L'étude se limite à celle des champs de l'onde réfléchi et de l'onde stationnaire. L'étude de l'effet de peau est hors programme.</i>
Propagation guidée entre deux plans métalliques parallèles. Application au guide d'ondes infini à section rectangulaire.	<i>L'étude se limite à celle des champs du mode fondamental TE_{10}. On met en évidence le fait que la relation de dispersion et la présence d'une fréquence de coupure sont dues aux conditions aux limites.</i>
Structure à grande distance du champ d'un dipôle oscillant. Puissance rayonnée.	<i>La connaissance et la démonstration des résultats ne sont pas exigibles mais la succession des approximations qui y conduisent doit être connue des étudiants. En particulier, les expressions des potentiels retardés sont admises. On fait apparaître les différentes échelles de longueur pertinentes (extension spatiale du dipôle, longueur d'onde λ et distance r au point d'observation) et leur hiérarchie dans l'obtention des expressions des champs E et B. On se borne à présenter celles-ci uniquement dans la zone de rayonnement définie par $r \gg \lambda$.</i>

C.5. Compléments de magnétostatique

Programme	Commentaire
Exemples de calcul de champs \mathbf{B} créés par des courants non filiformes à l'aide du théorème d'Ampère.	
Forces de Laplace.	<i>La densité volumique de force de Laplace $\mathbf{j} \wedge \mathbf{A}\mathbf{B}$ est simplement affirmée. Le calcul de la résultante et du moment résultant des forces de Laplace exercées sur un circuit à partir du flux magnétique ou de l'énergie magnétique est hors programme.</i>
Potentiel vecteur et champ magnétique créés par un dipôle magnétique. Moment magnétique d'un circuit filiforme fermé plan.	<i>Les expressions sont admises. On souligne l'analogie avec le champ électrique créé par un dipôle électrostatique. On se borne à contrôler l'expression du champ \mathbf{B} dans le cas d'une spire circulaire, en un point éloigné sur l'axe de révolution.</i>
Action d'un champ magnétique extérieur sur un dipôle magnétique.	<i>L'expression du moment du couple exercé par un champ magnétique uniforme sur un circuit filiforme fermé est établie sur un cas particulier à l'aide des forces de Laplace; la généralisation du résultat est admise. On montre sur un exemple que la résultante n'est pas nulle en général lorsque le champ extérieur n'est pas uniforme, mais aucune expression générale de cette résultante n'est au programme. On admet l'expression de l'énergie potentielle d'interaction entre un dipôle magnétique et des sources de champ \mathbf{B} permanent.</i>

C.6. Induction électromagnétique

Programme	Commentaire
Circuit fixe dans un champ magnétique variable : circulation du champ électrique, loi de Faraday.	<i>La notion de « champ électromoteur » $-\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}$ n'est pas exigible.</i>
Auto-induction.	<i>On effectue le lien avec le cours d'électrocinétique de première année.</i>
Induction mutuelle entre deux circuits filiformes fermés. Energie magnétique d'un ensemble de deux circuits filiformes fermés indéformables et fixes : expression en fonction des intensités des courants et des coefficients d'inductance.	<i>L'expression de l'énergie magnétique en fonction de \mathbf{j} et \mathbf{A} est hors programme.</i>

Circuit mobile dans un champ magnétique permanent : circulation de $\mathbf{v}_e \wedge \mathbf{B}$. Loi de Faraday.

La notion de « champ électromoteur » n'est pas exigible. Le terme $\mathbf{v}_e \wedge \mathbf{B}$ peut être introduit en utilisant les transformations non relativistes des forces et des vitesses mais cette démarche n'est pas imposée.

On se borne à vérifier sur un exemple simple la loi de Faraday dont on affirme la généralité. On évite les situations particulières où la loi de Faraday ne s'applique pas. La notion de flux coupé est hors programme.

On fait remarquer sur un exemple simple que dans le cas d'un champ magnétique permanent la puissance de la fém induite est opposée à la puissance des forces de Laplace (conversion électromécanique d'énergie). La démonstration du théorème de Maxwell relatif au travail des forces de Laplace est hors programme.

D. OPTIQUE

Optique ondulatoire

On se limite aux situations telles qu'une description en termes d'ondes scalaires est suffisante.

Le programme d'optique géométrique reste limité à celui qui est défini en première année MPSI. ; en particulier, le principe de Fermat et la condition de stigmatisme sont hors programme. Le théorème de Malus, outil nécessaire à l'étude de l'optique ondulatoire, est admis.

Programme

Commentaire

Chemin optique le long d'un rayon lumineux et retard de phase associé. Surfaces d'onde (ou équiphasse). Théorème de Malus.

Interférences non localisées entre deux ondes totalement cohérentes entre elles.

On se limite aux miroirs de Fresnel et aux trous (ou fentes) de Young. L'étude de tout dispositif utilisant des lentilles et/ou des prismes (bilentilles de Billet, de Meslin, biprisme de Fresnel...) est hors programme

On explique qualitativement à l'aide d'un modèle de trains d'onde pourquoi la durée de cohérence temporelle de la source impose des limitations à la cohérence mutuelle des deux ondes, mais toute étude générale de la cohérence (cohérence partielle, cohérence spatiale...) est exclue.

Interféromètre de Michelson : utilisation en lame d'air, anneaux d'égal inclinaison ; utilisation en coin d'air, franges rectilignes.

On montre l'équivalence de l'interféromètre de Michelson à une lame d'air à faces parallèles ou à un coin d'air. Dans le cas où l'interféromètre est éclairé par une source ponctuelle, on raisonne à l'aide des sources images secondaires.

Dans chacun des deux cas, on fait observer expérimentalement la localisation des franges lorsque la source utilisée est étendue. Le théorème de la localisation est exclu de même que toute étude quantitative de la localisation

Principe de Huygens-Fresnel.

Diffraction à l'infini d'une onde plane par une

Le principe de Huygens - Fresnel est énoncé de façon qualitative. Lors de sa mise en œuvre

ouverture plane. Limite de l'optique géométrique. Cas d'une ouverture rectangulaire, d'une fente allongée.

mathématique pour la diffraction à l'infini, on s'attache uniquement aux différences de phase entre les ondes secondaires, sans se préoccuper des facteurs d'amplitude.

Réseaux plans.

L'étude consiste à déterminer le plus simplement possible, comme résultant d'une condition d'interférences exactement constructives, les directions correspondant aux maxima principaux, sans prendre en compte la forme du motif diffractant. On souligne qualitativement l'effet de l'interférence d'un grand nombre d'ondes cohérentes entre elles sur la directivité de l'onde résultante, mais le calcul et les expressions de l'amplitude et de l'intensité diffractées sont hors programme.

L'étude du pouvoir séparateur est hors programme.

E . THERMODYNAMIQUE

Transferts thermiques

Certaines parties du programme de première année (premier et second principes en particulier) ne figurent pas de façon explicite dans celui de seconde année. Elles sont reprises par le professeur à l'occasion d'exercices ou de problèmes.

Programme

Commentaire

Présentation des modes de transfert thermique d'énergie: conduction, convection et rayonnement.

On se limite à des problèmes se ramenant à une seule variable géométrique. La convection n'est introduite que de façon qualitative.

Loi de Fourier relative à la conduction thermique, conductivité thermique.

L'analogie entre les lois phénoménologiques d'Ohm et de Fourier est soulignée. Toute modélisation microscopique de la loi de Fourier est exclue.

On établit, à l'aide du premier principe appliqué à un volume élémentaire, l'équation de la diffusion thermique, en géométrie unidimensionnelle; la mémorisation de cette équation ne peut être exigée. Aucune méthode de résolution de cette équation ne peut être supposée connue.

Conduction thermique en régime permanent, conductance et résistance thermique.

On se limite aux situations ne faisant intervenir qu'une seule variable d'espace. On signale les analogies avec le calcul des conductances électriques et des capacités de condensateurs. Seule la mémorisation de l'expression de la résistance thermique ou électrique d'un barreau rectiligne unidimensionnel est exigible.

Coefficient de transfert thermique de surface h .

Les transferts thermiques à l'interface entre un fluide et une paroi solide sont décrits par l'expression phénoménologique $\varphi = h (T_p - T_f)$,

appelée parfois loi de Newton.

Rayonnement d'équilibre thermique. Loi de Planck, loi du déplacement de Wien. Loi de Stefan. Étendue spectrale du rayonnement d'équilibre à une température donnée.

La démonstration de la loi de Planck est exclue. La mémorisation de l'expression de la densité spectrale de flux surfacique du rayonnement d'équilibre ne peut être exigée mais les étudiants doivent être capables de commenter les différents termes qui y figurent.

Milieux transparents et milieux opaques. Flux surfacique émis par un matériau absorbeur intégral (dit "corps noir") isotherme. Bilan radiatif à la paroi d'un corps noir isotherme convexe recevant un flux connu ou un rayonnement d'équilibre.

Les notions d'absorptivité, réflectivité, transmittivité, émissivité et luminance sont hors programme.

La linéarisation du flux radiatif à la paroi d'un corps noir en fonction de la différence des températures permet de revenir sur le coefficient de transfert de surface h et d'évaluer un ordre de grandeur de la contribution radiative.

F. TRAVAUX PRATIQUES

Les connaissances et savoir-faire expérimentaux définis dans la section D) de la 1^{re} partie du programme MPSI, la section E.1) de la 2^e partie du programme MPSI et dans la section F.1) qui suit constituent un ensemble de compétences exigibles aux épreuves expérimentales des concours ; elles peuvent en outre faire l'objet de questions aux épreuves écrites et orales. En revanche, les thèmes de travaux pratiques de la section F.2) ne sont que des propositions ; leur utilisation relève de l'initiative pédagogique du professeur.

Le matériel nécessaire à l'acquisition des connaissances et savoir-faire exigibles en électrocinétique comprend :

Oscilloscope à mémoire numérique, interfaçable numériquement.

Générateur de signaux électriques (BF) avec modulation interne en fréquence et sortie d'une tension image de la fréquence.

Ordinateur avec carte d'acquisition et logiciel de traitement.

Alimentation stabilisée en tension.

Multimètre numérique

Le matériel nécessaire à l'acquisition des connaissances et savoir-faire exigibles en optique comprend :

Sources de lumière (blanche, lampes spectrales, laser).

Banc d'optique.

Lentilles minces convergentes et divergentes, miroirs sphériques et plan.

Collimateur.

Lunette autocollimatrice.

Visueur à frontale fixe.

Goniomètre.

Réseaux plans par transmission.

Interféromètre de Michelson.

Polaroïds.

F.1. . Connaissances expérimentales exigibles

Programme	Commentaires
<p>1. Filtres linéaires en électrocinétique :</p>	<p><i>On s'attache à montrer dans quelle mesure ces différents qualificatifs sont appropriés.</i></p>
<p>Relevé du diagramme de Bode de filtres du premier et du second ordre (gain en amplitude et phase) : filtres passe-bas, passe-haut, passe-bande. Caractère intégrateur ou dérivateur dans un domaine limité de fréquences.</p>	
<p>2. Interférométrie à deux ondes : l'interféromètre de Michelson.</p>	<p><i>L'objectif est de faire comprendre aux étudiants les différences physiques entre les deux types de franges et leurs conséquences sur le choix des conditions d'éclairage et d'observation.</i></p>
<p>Obtention des franges du coin d'air, d'égale épaisseur avec une lampe spectrale. Obtention des franges de la lame d'air, d'égale inclinaison avec une lampe spectrale.</p>	<p><i>Il existe plusieurs protocoles de réglage, mettant en oeuvre un matériel différent. Les étudiants doivent avoir pratiqué l'un de ces protocoles. Lors des épreuves d'évaluation, le protocole adapté au matériel disponible doit être fourni au candidat.</i> <i>Les interférences en lumière blanche sont hors programme. Les interférences en lumière polarisée sont hors programme. Le choix des exemples d'application relève de l'initiative du professeur.</i></p>
<p>3. Réseaux plans par transmission.</p>	<p><i>L'étude des réseaux est l'occasion de revoir l'utilisation du goniomètre étudié en première année.</i> <i>La connaissance d'un protocole de réglage de la perpendicularité de l'axe optique de la lunette et de son axe de rotation n'est pas exigible. La connaissance d'un protocole de réglage de la perpendicularité de la normale au réseau à l'axe de rotation de la plate-forme n'est pas exigible.</i> <i>La méthode du minimum de déviation n'est pas au programme.</i></p>
<p>4. Polarisation de la lumière.</p>	<p><i>De façon seulement qualitative, on met en évidence la polarisation par réflexion vitreuse et par diffusion.</i> <i>On se limite au fonctionnement des polariseurs dichroïques (anisotropie d'absorption). On considère que la lumière obtenue par un polaroïd est totalement polarisée.</i> <i>Les lames à retard sont hors programme.</i></p>
<p>Lumière naturelle. Production et analyse d'une lumière polarisée rectilignement.</p>	

F.2 . Thèmes de travaux pratiques proposés

Le choix des thèmes de travaux pratiques relève de l'initiative du professeur, ceux qui figurent ci-dessous ne sont que des propositions. Toutefois les manipulations choisies doivent être en relation avec les connaissances du programme et favoriser l'acquisition progressive d'une démarche autonome.

Etude d'un oscillateur auto-entretenu quasi-sinusoïdal.

Etude d'un oscillateur à relaxation : multivibrateur astable.

Mesures optiques à l'aide de l'interféromètre de Michelson.

Expériences de diffraction à l'infini.

Source micro-onde et guides d'ondes « 3 cm ».

Mesure d'une conductivité thermique.

Annexe III

PROGRAMME DE CHIMIE DE DEUXIEME ANNEE DE LA VOIE MATHÉMATIQUES PHYSIQUE

I. THERMODYNAMIQUE DES SYSTEMES CHIMIQUES.

Le programme est développé en relation avec le programme de thermodynamique physique sur les changements d'états. On ne fait aucun autre développement sur l'enthalpie libre que ceux permettant d'établir l'expression de l'affinité chimique et de calculer les constantes d'équilibre à partir des grandeurs standard tabulées. L'affinité chimique est privilégiée pour énoncer la condition d'équilibre chimique et prévoir le sens des déplacements et ruptures d'équilibres chimiques.

Programme	Commentaires
1. Enthalpie libre et potentiel chimique.	
Définition de la fonction d'état enthalpie libre G .	<i>On se limite aux systèmes décrits par les variables T, P et n_i.</i>
Différentielle de G pour un corps pur ou un mélange. Potentiel chimique.	
Relation $G = \sum_i n_i \mu_i$.	<i>La démonstration n'est pas exigible ; l'identité de Gibbs-Duhem est hors programme.</i>
Expression du potentiel chimique :	<i>L'expression du potentiel chimique n'est établie que dans le cas du gaz parfait. Dans les autres cas, les expressions sont admises.</i>
- pour un gaz parfait ;	
- pour les constituants d'un mélange idéal de gaz parfaits ;	
- pour un corps pur condensé ;	<i>On néglige l'influence de la pression sur le potentiel chimique d'un corps pur condensé, en cohérence avec les approximations faites dans le programme de Physique de première année.</i>
- pour les constituants d'un mélange condensé idéal ;	
- pour le solvant et les solutés d'une solution idéale.	
Potentiel chimique standard et activité.	<i>Aucune question ne peut porter sur la notion d'activité qui ne sert ici qu'à donner une forme unitaire à l'expression des potentiels chimiques. Les systèmes non idéaux sont hors programme, de même que la notion de coefficient d'activité. Les lois de Raoult et de Henry sont hors programme.</i>
Condition d'équilibre d'un constituant sous plusieurs phases.	<i>Cette étude est l'occasion de revoir le diagramme des états du corps pur qui a été vu dans le cours de Physique de première année. La formule de Clapeyron est citée mais elle ne peut être exigée ; sa démonstration est hors programme.</i>

2. Grandeurs standard.

2.1. Grandeurs standard relatives à un

constituant.

Enthalpie molaire standard H_m^0 .

Entropie molaire standard S_m^0 .

Potentiel chimique standard μ^0 .

Capacité thermique molaire standard à pression constante $C_{p,m}^0$.

2.2. Grandeurs standard de réaction

Enthalpie standard de réaction $\Delta_r H^0$.

Enthalpies standard de formation $\Delta_f H^0$.

Entropie standard de réaction $\Delta_r S^0$.

Enthalpie libre standard de réaction $\Delta_r G^0$.

Enthalpie libre standard de formation $\Delta_f G^0$.

Relations entre ces grandeurs :

$$\Delta_r G^0 = \Delta_r H^0 - T \Delta_r S^0$$

$$\frac{d \Delta_r G^0}{dT} = -\Delta_r S^0.$$

$$\frac{d}{dT} \left[\frac{\Delta_r G^0}{T} \right] = -\frac{\Delta_r H^0}{T^2}.$$

Variations de $\Delta_r H^0$ et $\Delta_r S^0$ avec la température.

Discontinuités de $\Delta_r H^0$ et $\Delta_r S^0$ lors du changement d'état physique d'une espèce figurant dans l'équation de réaction.

Les définitions des enthalpies standard de dissociation de liaison, d'ionisation, d'attachement électronique et réticulaire sont hors programme.

On fait le lien entre le signe de $\Delta_r S^0$ et celui de la somme des nombres stoechiométriques algébriques des espèces gazeuses.

Les calculs se limitent au cas où les $C_{p,m}^0$ sont indépendantes de la température.

3. Affinité chimique ; évolution et équilibre chimique.

3.1 Affinité chimique.

Définition ; relation $A = -\sum_i \nu_i \mu_i = -\Delta_r G$.

Critère thermodynamique d'évolution spontanée d'un système : $A d\xi > 0$.

L'évolution spontanée du système s'accompagne d'une création d'entropie.

Expression de l'affinité chimique en fonction de l'enthalpie libre standard de réaction et du quotient réactionnel Q .

On peut se limiter à la relation : $A = A^0 - RT \ln Q$.

3.2 Condition d'équilibre chimique.

Condition d'équilibre chimique : $A = 0$.

Relation de Guldberg et Waage (dite loi d'action des masses).

Constante d'équilibre thermodynamique K^0 .

Par définition de K^0 , $\Delta_r G^0 = -RT \ln K^0$.

Variation de la constante d'équilibre K^0 avec la température : relation de Van 't Hoff.

On justifie la règle énoncée en première année donnant le sens de relaxation d'un système : « Q évolue vers K^0 ».

3.3. Lois de déplacement des équilibres

Influence de la température à pression constante : loi de Van 't Hoff.

Influence de la pression à température constante : loi de Le Châtelier.

On insiste sur la distinction entre déplacement et rupture d'équilibre. La règle des phases de Gibbs est hors programme.

L'effet de l'introduction d'un constituant actif ou inerte ne donne pas lieu à une étude systématique.

4. Equilibre entre phases dans le cas de mélanges binaires .

Equilibre liquide/vapeur, étude isobare et étude isotherme dans les seuls cas de miscibilité totale ou nulle à l'état liquide.

On présente les cas d'azéotropie et d'hétéroazéotropie.

Cette étude est complétée en travaux pratiques par le tracé d'un diagramme binaire liquide-vapeur.

II. REACTIONS D'OXYDO-REDUCTION.

On insiste davantage sur l'utilisation des diagrammes que sur le détail de leur construction.

Lors des épreuves, on fournira aux candidats les données thermodynamiques et cinétiques nécessaires pour l'interprétation des phénomènes.

On utilise qualitativement les courbes intensité-potentiel sans faire appel à la théorie cinétique des réactions électrochimiques.

Lors de l'étude de la corrosion, il est intéressant de montrer, sur quelques exemples très simples, comment on choisit un matériau en fonction des besoins (propriétés d'usage).

Programme	Commentaires
1. Oxydo-réduction en phase « sèche »	
Construction et utilisation des diagrammes d'Ellingham.	
2. Oxydo-réduction en solution aqueuse	
Relation entre la force électromotrice (f.é.m.) d'une pile et l'affinité de la réaction associée.	<i>Cette relation est donnée sans démonstration.</i>
Construction des diagrammes potentiel - pH de l'eau et du fer.	<i>La construction complète de tout autre diagramme potentiel - pH ne peut être exigée.</i>
Utilisation des diagrammes potentiel - pH.	
3. Phénomènes de corrosion	
Utilisation du zinc pour la protection contre la corrosion du fer.	<i>Cette étude est l'occasion de traiter de la corrosion humide du zinc et du fer en s'aidant des diagrammes potentiel - pH et des courbes intensité-potentiel. On présente diverses applications (galvanisation, anodes sacrificielles, électrozingage)..</i>

TRAVAUX PRATIQUES

L'utilisation d'un ordinateur, pour l'acquisition et le traitement de données expérimentales ou pour comparer les résultats des mesures aux données théoriques évite des calculs répétitifs et favorise la représentation graphique des résultats. On peut ainsi faire varier les conditions d'expérimentation, montrer l'influence de certains paramètres et renforcer le lien entre les modèles mis en jeu par la théorie et les travaux expérimentaux.

La méthode de régression linéaire est exploitée sur ordinateur ou calculatrice.

L'utilisation de logiciels de simulation permet de compléter les études expérimentales. La simulation n'a d'intérêt que dans la mesure où elle est confrontée à l'expérience.

Aucune connaissance spécifique sur les appareils (réglage, standardisation) et sur la constitution des électrodes utilisées n'est exigible. En particulier, le principe et la description de l'électrode indicatrice du pH et de l'électrode de référence sont hors programme.

Les thèmes étudiés en seconde année reprennent ceux abordés en première année en les approfondissant. On étudie en outre les deux thèmes suivants :

Tracé d'un diagramme binaire.

Diagrammes potentiel - pH.

Annexe : matériel et supports logiciels

Cette liste explicite le matériel et les outils logiciels qui permettent la mise en œuvre du programme.

Matériel :

PH-mètre

Millivoltmètre

Électrode indicatrice du pH

Électrodes d'argent et de platine

Électrode de référence

Conductimètre

Spectrophotomètre visible

Bain thermostatique

Verrerie courante de laboratoire

Balance électronique

Ordinateur

Carte d'acquisition

Outils logiciels

Base de données sur la classification périodique

Logiciel de visualisation de modèles cristallins

Logiciel de simulation de réactions chimiques en solution aqueuses

Outils de régression linéaire et de modélisation