

Programme

de

sciences physiques et chimiques

fondamentales et appliquées

en

C.P.G.E. T.S.I.

(classe préparatoire aux grandes écoles

technologie et sciences industrielles)

deuxième année

PROGRAMME DE PHYSIQUE

L'enseignement de la physique dans la classe de TSI deuxième année s'inscrit dans la continuité de l'enseignement de TSI première année. Il s'articule en électromagnétisme, en optique, en mécanique et en thermodynamique autour de connaissances fondamentales. Les applications aux systèmes industriels ont été privilégiées, notamment en thermodynamique qui occupe sur ce point une place particulière.

Les principes directeurs du programme de TSI première année 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.

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 points mesurés par exemple, ou la discussion des modèles utilisés.

À propos de la démarche expérimentale

Dans la filière TSI, le programme valorise l'approche expérimentale des phénomènes pour stimuler chez l'étudiant une attitude active.

Cette démarche 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 TP-Cours, nouveauté introduite ici comme en TSI première année;
- les travaux pratiques (TP) ;
- les (TIPE) travaux d'initiative personnelle encadrés par les enseignants de Génie électrique et Génie mécanique.

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 autre thème à l'initiative du professeur et ne faisant appel qu'aux connaissances du programme de la classe. En revanche le contenu des TP-Cours, fixé par le programme est exigible aux concours dans toutes les épreuves, écrites, orales et pratiques. Dans le programme qui suit, chaque rubrique de TP-Cours correspond à un thème ; chaque thème correspond à une ou plusieurs séances de deux heures, le choix du découpage d'un thème relevant de l'initiative pédagogique du professeur.

À 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 occulter 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 et par conséquent de consacrer un temps suffisant en cours et en travaux dirigés à leur faire acquérir progressivement un minimum d'aisance sur les techniques de calcul indispensables.

À 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 TSI 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...

I. APPROCHE THÉORIQUE

A) THERMODYNAMIQUE

En seconde année, l'application des deux principes de la thermodynamique aux fluides en écoulement permanent dans les systèmes ouverts et l'étude des changements d'état conduisent à l'analyse d'un système industriel.

L'étude des mélanges n'est abordée que dans le cadre du programme de chimie.

La traduction différentielle des principes via le théorème de Schwartz est hors programme. L'intégration d'une différentielle $df(x,y) = A(x,y)dx + B(x,y)dy$ dans le cas général où A dépend de y et où B dépend de x est hors programme.

Toute notion de thermodynamique statistique est hors programme.

Pour une grandeur extensive « A », on note « a » la grandeur massique associée et « A_m » la grandeur molaire associée.

Programme

Commentaires

1. Étude du corps pur sous deux phases

On approfondit l'étude faite en première année par une analyse quantitative. On se limite aux changements d'état solide-liquide-vapeur.

1.1 Équilibre du corps pur sous deux phases

Diagramme d'état (P,T).

Enthalpie et entropie massiques et molaires de changement d'état.

L'enthalpie massique de changement d'état est couramment appelée chaleur latente massique de changement d'état.

La formule de Clapeyron est hors programme.

L'étude des capacités thermiques massiques le long des courbes de changement d'état est exclue.

1.2 Etude de l'équilibre liquide vapeur

Diagramme (P,v) dit de Clapeyron.

Courbe de saturation, paliers de changement d'état, vapeurs sèche et saturante, liquide saturant.

L'un des objectifs est de savoir lire et utiliser les tables de données thermodynamiques et les diagrammes d'état lors de l'étude des cycles industriels.

Aucune connaissance des diagrammes entropique et de Mollier n'est exigible.

Analyse d'un système diphasé liquide-vapeur : titre massique en vapeur, enthalpie et entropie massiques du système diphasé. Règle des segments.

2. Thermodynamique industrielle des fluides en régime permanent d'écoulement

Par unité de masse transférée, on note w_i le travail massique indiqué ou travail reçu par le fluide de la part des parties mobiles de la machine et q_e le transfert thermique reçu par le fluide à travers toute la frontière du système ouvert.

2.1 Thermodynamique des fluides en régime permanent d'écoulement

Débit massique. Conservation de la masse.

Puissance mécanique indiquée et puissance thermique reçues par le fluide à la traversée d'une machine.

On montre l'intérêt des écoulements permanents dans le cadre de systèmes industriels.

Les systèmes ouverts étudiés ici comportent une entrée et une sortie.

Formulation du premier principe dans le cas d'un système ouvert simple, à une entrée et une sortie :

$$\Delta h + \Delta e_c + \Delta e_p = q_e + w_i$$

La notation « Δ » représente ici la variation d'une fonction d'état du fluide entre l'entrée et la sortie de la machine.

On précise les approximations usuelles : la variation d'énergie potentielle de pesanteur est négligée ainsi que la variation d'énergie cinétique sauf pour l'étude des tuyères.

On mentionne la distinction entre diagramme de Clapeyron et diagramme de Watt.

La notion de travail massique de transvasement est hors programme.

2.2 Cycles industriels

Étude d'un exemple de cycle thermique, avec ou sans changement d'état.

Expression du rendement ou de l'efficacité par le rapport « puissance utile » sur « puissance coûteuse ».

Cette partie permet un approfondissement du cours de première année. On se limite à des calculs relatifs au modèle du gaz parfait ou à l'utilisation des diagrammes d'état ou de valeurs expérimentales.

Toute utilisation de l'équation d'état d'un gaz réel est hors programme.

Aucune connaissance sur les différents types de cycles (Hirn, Rankine, Joule, ...) n'est exigible.

B) MÉCANIQUE DU SOLIDE

L'enseignement de la mécanique du solide est également dispensé par le professeur de génie mécanique. Certaines connaissances de cette formation sont exploitées en physique, dans les exercices et les problèmes, au fur et à mesure des besoins. Elles sont limitées à la liste ci-dessous. On veillera à harmoniser le vocabulaire entre les deux disciplines.

Le but en physique est de savoir mener l'étude de systèmes simples électromécaniques. Toute évaluation portant exclusivement sur la mécanique du solide est exclue.

L'étude des systèmes discrets de points matériels est hors programme. L'étude des systèmes articulés de plusieurs solides est exclusivement abordée en génie mécanique.

Programme

Centre d'inertie ; résultante cinétique.

Actions extérieures et intérieures ; principe des actions mutuelles.

Théorème de la résultante cinétique en référentiel galiléen.

Commentaires

Les théorèmes de Guldin sont hors programme.

On peut utiliser indifféremment les termes « actions » ou « efforts ». Lorsque le torseur des actions s'exerçant sur un volume élémentaire d'un système est celui d'un glisseur, on peut utiliser le terme de « force ». On fait ainsi le lien avec cette même notion, introduite en première année lors de l'étude de la mécanique du point matériel.

Aucune connaissance sur les lois du frottement solide n'est exigible.

Le théorème de la résultante cinétique est également nommé théorème de la résultante dynamique.

On insiste sur le fait que le théorème de la résultante cinétique ne concerne que le mouvement du centre de masse du système et on souligne le lien avec la relation fondamentale de la dynamique abordée en première année.

Puissance et travail d'un système d'actions.
Énergie cinétique. Énergie potentielle.
Théorèmes de la puissance et de l'énergie cinétiques appliqués à un solide en référentiel galiléen. Énergie mécanique et condition de sa conservation.

Solide en translation dans le référentiel galiléen d'étude.

Solide en rotation autour d'un axe fixe dans le référentiel galiléen d'étude :

- moment cinétique projeté sur l'axe de rotation, théorème du moment cinétique projeté sur l'axe de rotation ;
- expression de l'énergie cinétique, théorème de l'énergie cinétique ;
- équation horaire du mouvement.

On insiste sur la nullité de la puissance des actions intérieures à un solide.

La liaison pivot est supposée parfaite.

Le théorème du moment cinétique est également nommé théorème du moment dynamique.

On montre que, lorsque le but visé est la seule étude du mouvement, l'utilisation d'une méthode scalaire est plus adaptée.

Sont hors programme :

- le calcul des moments d'inertie et le théorème de Huygens ;
- la détermination des actions d'axe ainsi que toute étude de l'équilibre statique ou dynamique des solides en rotation.

C) ÉLECTROCINÉTIQUE

Les composants au programme de la classe de TSI deuxième année sont les mêmes que ceux du programme de TSI première année. Aucune connaissance particulière sur les diodes ou diodes Zener ne peut être exigée.

Programme

Effet d'un filtre linéaire 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.

Caractère intégrateur ou dérivateur d'un filtre linéaire du premier ordre dans un domaine limité de fréquences.

Commentaire

On illustre en travaux pratiques, en travaux dirigés, et à l'aide de logiciels dans quelle mesure ces différents qualificatifs sont appropriés.

On étudie en TP-Cours la composition en fréquence d'un signal analogique périodique (valeur moyenne, fondamentale et harmoniques) et l'action d'un filtre sur un signal analogique périodique. Le calcul du développement en série de Fourier du signal n'est pas exigible.

On illustre quantitativement ces différents comportements.

D) ÉLECTROMAGNÉTISME

L'enseignement d'électrostatique de TSI première année est complété par une approche locale et par un enseignement de magnétostatique. Aucune technicité ne doit être recherchée dans les calculs de champs magnétiques. En particulier le calcul, par utilisation de la loi de Biot et Savart, de champs magnétiques créés par une distribution volumique ou surfacique de courants est hors programme : on se limite pour ces distributions à l'utilisation du théorème d'Ampère. On souligne l'intérêt des propriétés de symétrie et d'invariance des champs polaires et axiaux; l'accent est mis sur la comparaison des propriétés respectives du champ électrostatique et du champ magnétostatique.

L'enseignement de l'électromagnétisme est centré d'une part sur l'étude des actions mécaniques d'origine magnétique, des phénomènes d'induction et de leurs applications, et d'autre part sur l'étude de la propagation des ondes électromagnétiques.

La notion d'angle solide est hors programme.

Programme

Commentaires

1. Electrostatique

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

Équation de Poisson.

Relation de passage du champ électrique à l'interface entre deux milieux.

La discontinuité du champ électrique est simplement énoncée, sans démonstration. On fait le lien avec les situations de discontinuité du champ électrique rencontrées en classe de TSI première année.

Conducteur en équilibre électrostatique, caractère équipotentiel. Caractère superficiel de la répartition de charges sur un conducteur.

Il s'agit d'une description sommaire à partir des expressions locales des lois de l'électrostatique.

On fait apparaître que les surfaces des conducteurs imposent des conditions aux limites pour le potentiel. Une étude théorique générale de l'équilibre d'un système de conducteurs (théorème d'unicité, coefficients d'influence) est exclue.

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, énergie électrostatique.

On se limite à des calculs de capacités simples, c'est à dire dans lesquels n'intervient qu'une seule variable d'espace. Seule la mémorisation de l'expression de la capacité du condensateur plan est exigible.

Le cours d'électrocinétique de première année permet d'établir l'expression de l'énergie électrique. On introduit à partir du condensateur plan la densité volumique d'énergie $\frac{\epsilon_0 E^2}{2}$ et on admet la validité générale de cette expression.

2. Magnétostatique

Force de Lorentz .

Effet Hall dans un conducteur métallique rectiligne de section rectangulaire.

On se limite au cas où le champ magnétique est perpendiculaire à la direction du courant.

Distributions de courant électrique filiformes et non filiformes; intensité, densité de courant volumique. Recherche des invariances par rotation, par translation ; recherche de plans de symétrie et d'antisymétrie.

On appelle antisymétrie une symétrie par rapport à un plan accompagnée du changement de sens du courant.

Topographie du champ magnétostatique : lignes de champ et tubes de champ.

Propriétés de symétrie du champ magnétostatique ; caractère axial du champ $\mathbf{B}$.

Loi de Biot et Savart pour les circuits fermés filiformes.

Théorème de superposition.

Flux de $\mathbf{B}$, sa conservation.

Formulation locale. Existence du potentiel vecteur $\mathbf{A}$.

Circulation de $\mathbf{B}$, théorème d'Ampère.

Formulation locale.

Exemples de calcul de champs $\mathbf{B}$ créés par des courants filiformes :

- champ d'un fil rectiligne illimité ;
- champ sur l'axe d'une spire circulaire ;
- champ sur l'axe d'un solénoïde circulaire.

Cas limite du solénoïde infiniment long : champ en tout point intérieur.

Exemples de calcul de champs $\mathbf{B}$ créés par des courants non filiformes à l'aide du théorème d'Ampère.

Modèle de courant surfacique : relation de passage.

3. Action d'un champ magnétique sur un courant

Forces de Laplace.

Moment dipolaire magnétique d'un circuit plan filiforme indéformable. Action d'un champ magnétique extérieur uniforme.

Les équations différentielles des lignes de champ et leur intégration sont hors programme. Sur des exemples de cartes de champ magnétique, on fait apparaître le lien entre les propriétés de symétrie des sources et celles du champ créé.

Cette propriété est admise sans démonstration.

On fait remarquer que le potentiel vecteur n'est pas unique. La notion de jauge est hors programme.

L'expression du potentiel vecteur en fonction des sources est hors programme.

Le potentiel scalaire magnétique est hors programme.

L'équation de Poisson pour le potentiel vecteur est hors programme.

Aucune technicité ne doit être recherchée en tant que telle dans les calculs; ces derniers ne concernent que des situations proches de celles décrites dans le cours, et d'intérêt pratique évident.

On fait remarquer que le fil rectiligne illimité modélise un circuit fermé comportant une portion rectiligne dont la longueur est grande devant sa distance au point où le champ $\mathbf{B}$ est évalué.

Le calcul d'un champ magnétique à partir des équations locales est hors programme.

L'étude des milieux magnétiques est hors programme.

La discontinuité du champ magnétique est simplement énoncée. Sa démonstration est hors programme.

En conclusion de cette partie, on compare les propriétés des champs $\mathbf{E}$ et $\mathbf{B}$ statiques, en particulier leur topographie et leurs symétries respectives.

L'énergie potentielle d'interaction est hors programme.

On se limite à des modèles simples pour lesquels le calcul des forces de Laplace ne requiert aucune technicité.

On peut, en TD, étudier le cas d'un moteur à courant continu.

Le théorème de Maxwell relatif au travail des forces de Laplace est hors programme, de même que toute détermination d'actions mécaniques d'origine magnétique par des bilans énergétiques.

L'expression du moment du couple exercé par un champ magnétique uniforme sur un circuit plan filiforme indéformable est établie sur le cas particulier d'une spire rectangulaire. La généralisation du résultat est admise.

4. Induction électromagnétique

Force électromotrice d'induction électromagnétique ;
loi de Lenz-Faraday.

On souligne l'importance des applications industrielles des phénomènes d'induction électromagnétique.

Les conditions de validité de l'ARQS (approximation des régimes quasi-stationnaires) sont précisées lors de l'étude des équations locales de l'électromagnétisme. La validité de la loi de Lenz-Faraday dans le cas d'un circuit mobile dans un champ magnétique dépendant du temps est admise.

On peut étudier, en TD, le principe de fonctionnement du moteur asynchrone.

4.1 Induction électromagnétique : cas d'un circuit fixe dans un champ magnétique dépendant du temps

Équation locale de Maxwell Faraday.

Circulation du champ électrique.

La notion de «champ électromoteur» $-\partial \mathbf{A}/\partial t$ n'est pas exigible.

Auto-induction, coefficient d'auto-induction (ou inductance propre) L .

Induction mutuelle entre deux circuits filiformes fermés rigides, coefficient d'induction mutuelle (ou inductance mutuelle) M .

Hormis dans le cas du solénoïde infini, les calculs de coefficients L et M sont hors programme ; les expressions de ces coefficients sont données lorsqu'elles sont utiles. Le théorème de Neumann ($M_{1-2} = M_{2-1}$) est simplement affirmé. L'étude de deux oscillateurs couplés par induction mutuelle (modes propres, pulsations propres, résonances...) est hors programme.

Bilan énergétique de l'établissement du courant dans un ensemble de deux circuits filiformes fermés indéformables et fixes : énergie magnétique (expression en fonction des intensités des courants et des coefficients d'induction).

Énergie magnétique.

Le cours d'électrocinétique de première année permet d'établir l'expression de l'énergie magnétique d'un circuit seul. On introduit, à propos du solénoïde infini, la densité

volumique d'énergie $\frac{B^2}{2\mu_0}$ et on admet la validité générale

de cette expression.

L'expression de l'énergie magnétique en fonction de $\mathbf{j}$ et $\mathbf{A}$ est hors programme.

4.2 Induction électromagnétique : cas d'un circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire

Circulation de $\mathbf{v}_e \wedge \mathbf{B}$.

$\mathbf{v}_e$ désigne ici la vitesse locale du circuit dans le référentiel d'étude. On vérifie sur un exemple simple la validité de la loi de Faraday dont on affirme la généralité. On évite les situations particulières où la loi de Lenz-Faraday ne s'applique pas. La notion de flux coupé est hors programme. On fait remarquer que, dans le cas d'un champ magnétique stationnaire, la puissance de la f.e.m induite est opposée à la puissance des forces de Laplace (conversion électromécanique d'énergie).

Bilan énergétique.

5. Equations de Maxwell dans le vide

Densités de charges et de courant. Formulation locale du principe de conservation de la charge. Forme locale et forme intégrale des équations de Maxwell dans le vide en présence de charges et de courants.

On insiste sur le contenu physique des équations locales. Aucune démonstration n'est exigible.

Toute question de cours sur cette partie est exclue.

Les vecteurs excitations électrique $\mathbf{D}$ et magnétique $\mathbf{H}$ n'ont pas à être introduits.

On justifie l'introduction du terme $\epsilon_0 \partial \mathbf{E} / \partial t$ dans l'équation de Maxwell Ampère.

Existence des potentiels ($\mathbf{A}, \mathbf{V}$).

Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS). Cas particulier des régimes stationnaires.

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

6. Énergie électromagnétique

Densité volumique d'énergie électromagnétique.

Puissance volumique cédée par le champ aux porteurs de charge. Cas particulier d'un conducteur ohmique : loi d'Ohm locale, densité volumique de puissance cédée par effet Joule.

Bilan d'énergie électromagnétique : vecteur de Poynting, puissance rayonnée.

Cas particulier de l'ARQS.

7. Propagation d'ondes électromagnétiques dans le vide

Équations de propagation des champs $\mathbf{E}$ et $\mathbf{B}$ dans une région sans charges ni courants.

Structure de l'onde plane progressive transversale.

Cas particulier de l'onde plane progressive harmonique (ou monochromatique). Vitesse de phase. Vecteur d'onde.

Caractère vectoriel des ondes électromagnétiques : états de polarisation d'une onde plane progressive harmonique.

Réflexion sous incidence normale d'une onde plane, progressive et monochromatique sur un plan conducteur parfait. Onde stationnaire.

On fait remarquer que les potentiels ne sont pas uniques. La notion de jauge (notamment la jauge de Lorentz) est hors programme. Les équations de propagation des potentiels et les potentiels retardés sont hors programme. L'expression de $\mathbf{A}$ en fonction des sources est hors programme.

Les conditions de validité de l'ARQS sont simplement mentionnées.

On fait le lien avec les propriétés des champs statiques.

On indique que les relations de passage se substituent aux équations de Maxwell dans le cas d'une modélisation surfacique des sources. Leur démonstration est hors programme. On fait le lien avec les discontinuités de champs rencontrées en électrostatique et magnétostatique.

L'expression de la densité d'énergie électromagnétique est affirmée en généralisant les expressions obtenues lors de l'étude du condensateur plan et du solénoïde infini.

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

On affirme la signification physique du vecteur de Poynting. L'équation locale de Poynting est hors programme.

Les notions de puissances rayonnée et cédée sont illustrées par des exemples simples de bilans en régime quasi-stationnaire (ou stationnaire).

Toute étude de propagation d'ondes mécaniques (corde vibrante ou onde sonore) est exclue.

Les équations de propagation des potentiels sont hors programme.

On se borne à vérifier que

$$f(x+ct) + g(x-ct) \text{ ou } f(t-x/c) + g(t+x/c)$$

sont solutions de l'équation de propagation (équation de d'Alembert) et à en dégager le contenu physique.

On fait ressortir le caractère idéal du modèle de l'onde plane progressive harmonique comme composante élémentaire d'un paquet d'ondes, mais aucune question ne peut porter sur cette notion. On fait apparaître le rôle simplificateur de la notation complexe.

On généralise simplement l'expression de la vitesse de phase au cas d'une onde harmonique se propageant dans un diélectrique linéaire, homogène, isotrope, transparent, en introduisant la notion d'indice de réfraction. Le but est de faire le lien avec le cours d'optique.

Toute étude des champs dans les milieux matériels est exclue. Toute utilisation d'un vecteur d'onde $\mathbf{k}$ complexe ou d'un indice complexe est proscrite.

La notion de vitesse de groupe est hors programme.

On se limite à une description des états de polarisation. Les polariseurs et les lames biréfringentes sont hors programme.

L'étude se limite à celle des champs de l'onde réfléchie et de l'onde stationnaire.

Le rayonnement dipolaire, les antennes et la propagation guidée sont hors programme.

E) 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 TSI ; en particulier, le principe de Fermat est hors programme.

L'étude de la photométrie est hors programme.

Programme

Commentaires

1. Modèle scalaire de la lumière

Propagation d'une vibration scalaire le long d'un rayon lumineux : chemin optique et retard de phase associé. Surfaces d'onde.

Stigmatisme.

Eclairement.

Le théorème de Malus n'est pas exigible.

On admet la constance du chemin optique entre un point objet et son image.

2. Interférences

2.1 Interférences non localisées entre deux ondes monochromatiques totalement cohérentes

Figure et champ d'interférence, franges ; différence de phase, différence de marche et ordre d'interférence en un point du champ d'interférence.

Contraste d'une figure d'interférences.

Toute étude générale de la cohérence est exclue.

L'essentiel est de maîtriser la physique du phénomène d'interférences. On se limite aux miroirs de Fresnel et aux trous/fentes de Young (on mentionne le rôle joué par la diffraction).

Tout autre dispositif à division de front d'onde est hors programme.

L'étude quantitative du contraste en liaison avec la notion de cohérence, se limite au cas d'un doublet ou à l'éclairage de l'interféromètre par deux sources ponctuelles non cohérentes de même longueur d'onde.

2.2 Interférences localisées dans le cas d'une source étendue

On se limite à l'interféromètre de Michelson : anneaux d'égale inclinaison localisés à l'infini et franges d'égales épaisseur au niveau des miroirs.

On explique que, contrairement aux diviseurs de front d'onde, l'interféromètre de Michelson est un dispositif diviseur d'amplitude.

On montre l'équivalence de l'interféromètre de Michelson à une lame d'air à faces parallèles ou à un coin d'air. Toute autre variante (Twyman-Green, Fizeau) est hors programme. On fait observer expérimentalement la localisation des franges lorsque la source utilisée est étendue. On admet que les émergents qui interfèrent sont issus d'un même incident : toute recherche du lieu de localisation est exclue.

L'utilisation de l'interféromètre de Michelson avec une source ponctuelle est hors programme.

La spectroscopie par transformée de Fourier est hors programme.

Les réseaux sont abordés exclusivement en TP-Cours.

II. APPROCHE EXPERIMENTALE.

Les connaissances et savoir-faire expérimentaux définis dans les TP-Cours de 1-TSI et 2-TSI 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 ne sont que des propositions ; le contenu et l'organisation des TP relèvent de l'initiative pédagogique du professeur et ne doivent faire appel qu'aux connaissances du programme de la classe.

A. TP-COURS

Programme

1. TP-Cours 1 : spectroscopie à réseau de diffraction

Eléments théoriques.

Formule des réseaux par transmission.

Dispersion par le réseau dans un ordre donné : spectre d'ordre p , mélange des ordres.

Présentation du goniomètre.

Reconnaissance de l'optique : viseur à l'infini, lunette de lecture éventuelle, collimateur, fente source réglable.

Reconnaissance de la mécanique : axes de rotation et vis de réglages.

Réglage du goniomètre et utilisation du spectroscope : mesure du pas du réseau à partir d'une longueur d'onde connue ; mesure d'une longueur d'onde connaissant le pas du réseau.

2. TP-Cours 2 : oscillateur quasi-sinusoïdal

Etude théorique de la mise en oscillation en régime temporel variable.

Recherche directe de la fréquence d'oscillation en utilisant la notation complexe.

Vérification expérimentale.

Analyse spectrale des signaux obtenus.

3. TP-Cours 3 : filtrage d'une tension créneau par un circuit RLC

Etude expérimentale de la résonance en courant.

Comparaison succincte avec la résonance en tension. Relevé du diagramme de Bode (gain en amplitude et phase).

Mesure de la bande passante et du facteur de qualité du circuit.

Visualisation et étude des harmoniques d'une tension créneau.

Filtrage d'une harmonique par le circuit RLC : réglage de la capacité pour une harmonique fixée.

Commentaires

Dans cette partie du TP-Cours, les notions introduites sont le plus naturellement possible issues de l'expérimentation.

L'étude consiste à déterminer le plus simplement possible les directions correspondant aux maxima principaux, comme résultant d'une condition d'interférences exactement constructives. On souligne qualitativement l'effet de l'interférence d'un grand nombre d'ondes cohérentes sur la directivité de l'onde résultante, mais le calcul et les expressions de l'amplitude complexe de l'onde diffractée, de l'éclairement et du pouvoir de résolution spectrale sont hors programme.

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 n'est pas exigible.

Cette étude est menée en utilisant les notions d'électrocinétique de première année.

Ce TP-Cours est l'occasion de réviser le phénomène de résonance étudié en première année.

Dans cette partie du TP-Cours, les rappels théoriques sont limités. L'étude est essentiellement basée sur l'expérimentation.

On utilise les outils informatiques : carte d'acquisition et logiciel d'analyse spectrale.

B. TRAVAUX PRATIQUES

A la différence des TP-Cours nécessairement très cadrés, les séances de travaux pratiques sont orientées vers l'acquisition d'une autonomie progressive dans la démarche expérimentale.

Les thèmes de travaux pratiques ne sont que des propositions ; le contenu et l'organisation des travaux pratiques relèvent de l'initiative pédagogique du professeur mais ne font appel qu'aux connaissances du programme.

La connaissance des dispositifs mentionnés ci-dessous n'est donc pas exigible.

Aux thèmes de première année, on peut ajouter :

Thèmes

Mesure d'un coefficient M de mutuelle induction.

Relevé du diagramme de Bode de filtres du premier et du second ordre (gain en amplitude et phase).

Caractère intégrateur ou dérivateur d'un circuit RC.

Utilisation d'un multiplieur : mesure d'une impédance, modulation et détection synchrone...

Oscillations mécaniques.

Interférences lumineuses non localisées : dispositif des fentes d'Young et des miroirs de Fresnel.

Interférences lumineuses localisées : interféromètre de Michelson réglé en lame à faces parallèles ou en coin d'air.

Courbe d'étalonnage d'un spectroscopie à prisme ou à réseau.

Matériel nécessaire à l'acquisition des connaissances et savoir-faire :

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 ;

sonde de Hall ;

sources de lumière (blanche, lampes spectrales, laser) ;

banc d'optique ;

lentilles minces convergentes et divergentes, miroirs plans ;

collimateur ;

lunette autocollimatrice ;

viseur à frontale fixe ;

goniomètre ;

réseaux plans par transmission ;

interféromètre de Michelson.

PROGRAMME DE CHIMIE

L'enseignement de la chimie dans la classe de TSI deuxième année s'inscrit dans la continuité de l'enseignement de TSI première année. Il vise à faire acquérir des connaissances et des savoir-faire tant expérimentaux que théoriques, afin que les futurs ingénieurs, chercheurs ou enseignants soient initiés à une véritable attitude scientifique.

Les principes directeurs du programme de TSI première année sont conservés : promotion de l'approche expérimentale par l'introduction de TP-Cours, de la compréhension du phénomène chimique étudié, et réduction significative du recours à la technicité calculatoire nécessaire à la résolution des exercices et problèmes.

Un autre objectif est de faire prendre conscience aux étudiants que la chimie participe au développement des sciences et débouche sur d'importantes réalisations industrielles. Chaque fois que cela est possible, on présente les applications pratiques des notions abordées.

Le micro-ordinateur interfacé est employé pour l'acquisition et le traitement des données expérimentales. Plus généralement, l'outil informatique est utilisé chaque fois qu'il apporte un gain de temps ou permet une amélioration de la compréhension. L'emploi de banques de données ou de logiciels scientifiques est signalé dans les différentes rubriques du programme.

Les TP-cours sont mis en place pour favoriser l'acquisition de connaissances dans le cadre d'un travail interactif : au tableau et sur la paillasse de démonstration pour le professeur, au tableau et sur le poste de TP pour l'étudiant. Leur durée est limitée à 2 heures prises sur la plage horaire des séances de TP. Le contenu des TP reste, dans un cadre plus souple, de la responsabilité et de la liberté pédagogique du professeur. Chaque rubrique de TP-Cours correspond à un thème ; chaque thème correspond à une ou plusieurs séances de deux heures, le choix du découpage d'un thème relevant de l'initiative pédagogique du professeur.

Les pratiques d'évaluation impliquent la connaissance du programme des deux années. Elles doivent être cohérentes avec l'esprit du programme de la filière TSI : limiter la technicité et la longueur des calculs, être proches des réalités expérimentales ou technologiques et des applications pratiques. Les connaissances exigibles sont strictement limitées à la partie théorique du programme et aux TP-cours.

I. APPROCHE THÉORIQUE.

A. THERMODYNAMIQUE DES SYSTÈMES 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

1. Enthalpie libre et potentiel chimique.

Définition de la fonction d'état enthalpie libre G .

Différentielle de G pour un corps pur ou un mélange. Potentiel chimique.

Relation $G = \sum_i n_i \mu_i$.

Expression du potentiel chimique :

- pour un gaz parfait ;
- pour les constituants d'un mélange idéal de gaz parfaits ;
- pour un corps pur condensé ;
- pour le solvant et les solutés d'une solution aqueuse idéale diluée.

Potentiel chimique standard et activité.

Condition d'équilibre d'un constituant sous plusieurs phases.

2. Grandeurs standard

2.1. Grandeurs standard relatives à un constituant i

Enthalpie molaire standard $H_{m,i}^0$.

Entropie molaire standard $S_{m,i}^0$ (ou S_i^0).

Potentiel chimique standard μ_i^0 .

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

2.2. Grandeurs standard de réaction

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

Enthalpie standard $\Delta_f H_i^0$ de formation d'un constituant.

Commentaires

On montre le rôle de potentiel thermodynamique joué par G lors de transformations monothermes-monobares pour lesquelles le système est en équilibre sur le plan thermique et mécanique dans les états initial et final.

On se limite aux systèmes décrits par les variables T , P et n_i .

La démonstration n'est pas exigible ; l'identité de Gibbs-Duhem est hors programme.

L'expression du potentiel chimique n'est établie que dans le cas du gaz parfait. Dans les autres cas, les expressions sont admises

Le calcul de la création d'entropie par mixage est hors programme.

On néglige l'influence de la pression sur le potentiel chimique d'un corps en phase condensée, en cohérence avec les approximations faites dans le programme de Physique de première année.

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.

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 hors programme.

Aux grandeurs molaires standard introduites en première année, on ajoute les grandeurs $S_{m,i}^0$ et μ_i^0 .

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

On donne la relation entre $D_r H^0$ et les $D_f H_i^0$.

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

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.

3. Affinité chimique ; évolution et équilibre chimique.

3.1 Affinité chimique.

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

Lien avec la production d'entropie par la réaction ; critère thermodynamique d'évolution spontanée d'un système : $A \geq 0$.

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

3.2. Condition d'équilibre chimique.

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

Relation de Gulberg et Waage (ou loi de l'équilibre ou encore loi d'action des masses).

Constante d'équilibre thermodynamique $K^0(T)$.

Expression de l'affinité chimique en fonction de Q et de $K^0(T)$.

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

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.

4. Oxydo-réduction en phase « sèche ».

Construction et utilisation des diagrammes d'Ellingham. Application à la pyrometallurgie du zinc.

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_{pm}^0 sont indépendantes de la température.

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

La démonstration de la loi de Guldberg et Waage n'est pas exigible.

On n'introduit pas d'autre constante d'équilibre que $K^0(T)$, également notée $K(T)$.

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

On justifie la règle énoncée en première année donnant le sens de relaxation d'un système : « Q évolue vers $K^0(T)$ ».

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

L'effet de l'introduction d'un constituant actif ou inerte est hors programme.

Cette question ne peut pas faire l'objet de question de cours aux concours.

On ne développe pas la technologie des fours type haut-fourneau.

B. DIAGRAMMES POTENTIEL - pH.

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 nécessaires pour l'interprétation des phénomènes.

Programme

Commentaires

1. Équilibres de précipitation

Condition de précipitation, équilibre de précipitation et constante de solubilité (ou produit de solubilité).

Domaine d'existence d'un précipité.

Influence du pH sur la précipitation.

La condition de précipitation est issue de la comparaison du quotient de réaction à la constante de solubilité.

On définit la frontière d'existence d'une espèce solide comme limite d'apparition du solide.

On rencontre, en TP ou TD, le cas d'un hydroxyde métallique amphotère.

L'étude des réactions de complexation est hors programme.

2. Oxydo-réduction en solution aqueuse

Relation entre l'affinité d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels redox des deux couples.

Cette relation est donnée sans démonstration.

On indique la relation : $\Delta_r G^0 = -n F E^0$

Construction des diagrammes potentiel-pH de l'eau et du fer.

Utilisation des diagrammes potentiel - pH.

Application à l'hydrométallurgie du zinc.

La construction complète de tout autre diagramme potentiel - pH ne peut être exigée. On interprète en travaux dirigés le diagramme potentiel-pH du cuivre.

L'étude de la corrosion est hors programme.

II. APPROCHE EXPÉRIMENTALE

Les thèmes de seconde année reprennent ceux décrits en première année, en les approfondissant. Seul le thème des diagrammes potentiel-pH est ajouté.

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.

A. TP-COURS.

La rédaction des rubriques TP-cours est détaillée car elles constituent un ensemble de connaissances et de compétences exigibles.

Programme	Commentaire
1. TP-cours 1 : Méthodes de dosages volumétriques Notion de dosage : réaction quasi-totale. Point équivalent, détermination d'une concentration.	<i>L'objectif est d'approfondir les connaissances de première année en diversifiant les exemples : réactions acido-basiques, de précipitation, et d'oxydo-réduction. L'indicateur coloré adapté à chaque dosage est fourni. Aucune question ne peut porter sur les indicateurs.</i>
2. TP-cours 2 : Détermination de constantes thermodynamiques en solution aqueuse par potentiométrie ou pH-métrie. Principe des méthodes potentiométriques : mise en œuvre d'une pile. Exploitation pour le calcul de constantes thermodynamiques : potentiel standard, constante de solubilité, constante d'acidité.	<i>On explicite sur un schéma le principe de la pile utilisée. L'utilisation d'une carte d'acquisition et les outils numériques aident au tracé des courbes, et à la détermination graphique des points particuliers.</i>

B. TRAVAUX PRATIQUES

Le contenu et l'organisation des séances de travaux pratiques relèvent de l'initiative pédagogique du professeur. Les thèmes étudiés en seconde année reprennent ceux abordés en première année en les approfondissant (voir thèmes de la partie expérimentale de première année). Seul le thème des diagrammes potentiel - pH est ajouté.

Matériel nécessaire à l'acquisition des connaissances et savoir-faire :

Matériel :

*pH-mètre ;
millivoltmètre ;
électrode indicatrice du pH ;
électrodes d'argent et de platine ;
électrode de référence ;
conductimètre ;
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.*