

# **PROGRAMME DE PHYSIQUE DE 2<sup>ème</sup> ANNEE DE LA VOIE PHYSIQUE ET TECHNOLOGIE**

## **I. OBJECTIFS DE FORMATION**

L'enseignement de la physique dans la classe de deuxième année PT s'inscrit dans la continuité de l'enseignement de première année PTSI. 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 PTSI 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.

## II. PROGRAMME

### PREAMBULE

#### 1) A propos de la démarche expérimentale

Dans la filière PT, l'approche expérimentale de la physique est valorisée. 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 TP-Cours, nouveauté introduite ici comme en PTSI ;
- 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 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.

#### 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 PT 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 THEORIQUE.

### A) THERMODYNAMIQUE

En seconde année, l'application des deux principes de la thermodynamique aux fluides en écoulement permanent dans les systèmes ouverts, conduit à l'analyse de quelques systèmes industriels.

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

<b>Programme</b>	<b>Commentaires</b>
<b>1. Etude du corps pur sous deux phases</b>	<i>On approfondit l'étude faite en première année par une analyse quantitative.</i>
<b>1.1 Equilibre du corps pur sous deux phases</b>	<i>L'enthalpie massique de changement d'état est couramment appelée chaleur latente massique de changement d'état.</i>
Diagramme d'état (P,T), Enthalpie et entropie massiques et molaires de changement d'état.	<i>La formule de Clapeyron est citée, mais elle ne peut être exigée; sa démonstration est hors programme.</i>
<b>1.2 Etude de l'équilibre liquide vapeur</b>	<i>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.</i>
Diagrammes d'état : (P,v), (T,s), diagramme de Mollier (h,s). Courbe de saturation, paliers de changement d'état, vapeur saturante sèche, liquide saturant. Courbes isothermes, isobares, isochores, isenthalpes, isentropiques.	<i>L'étude du diagramme entropique en phase vapeur est l'occasion de revoir aussi les propriétés du gaz parfait : la mise en équation des isochores et des isobares pour le gaz parfait, permet de rappeler l'importance des deux identités thermodynamiques <math>du = Tds - Pdv</math> et <math>dh = Tds + vdP</math> ainsi que les lois de Joule vues en première année.</i>
Analyse d'un mélange diphasé liquide-vapeur : titre massique en vapeur, enthalpie et entropie massiques du mélange. Courbes isotitres.	

## 2. Thermodynamique industrielle

On note  $w_i$  le travail indiqué ou travail reçu par le fluide de la part des parties mobiles de la machine. On note  $q_e$  le transfert thermique reçu à travers toute la frontière du système ouvert.

### 2.1 Thermodynamique des fluides en régime permanent d'écoulement .

*Les systèmes ouverts étudiés pourront comporter une ou plusieurs entrées et sorties.*

Débit massique. Conservation de la masse.  
Puissance indiquée et puissance thermique reçues par le fluide à la traversée d'une machine.

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

$$q_e + w_i = \Delta h + \Delta e_c + \Delta(gz)$$

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

Formulation du premier principe dans le cas d'un système ouvert à plusieurs entrées et plusieurs sorties faisant intervenir les puissances échangées.

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.

Formulation du second principe pour un système ouvert simple, à une entrée et une sortie :

$$\Delta s = s_{d'échange} + s_{créée}$$

*La représentation de l'entropie générée par les frottements n'est pas exigible.*

Linéarisation d'évolutions dans le diagramme (T,s) et évaluation graphique des transferts thermiques et de la création d'entropie.

*Le travail de transvasement apparaît comme le travail minimal à fournir à un compresseur, ou comme le travail maximal que peut délivrer une turbine fonctionnant entre deux pressions fixées.*

Travail de transvasement :  $w_i = \int v dp$ .

Relation entre travail indiqué et travail de transvasement.

### 2.2 Etude de quelques dispositifs élémentaires des installations industrielles

*Aucune connaissance technologique n'est exigible concernant les dispositifs élémentaires constituant les installations industrielles..*

Compresseur et turbine.

*Le modèle polytropique et la notion de rendement indiqué à l'isentropique ne sont pas exigibles. Ils doivent être définis par l'énoncé quand ils s'avèrent utiles.*

*On insiste sur la différence entre le diagramme de Clapeyron (P,v) et le diagramme de Watt (P,V) qui caractérise la machine, où V représente le volume du cylindre offert au fluide.*

Mélangeur et séparateur isobares.

Echangeur thermique calorifugé.

Détendeur calorifugé (laminage).

*On reconnaît la détente isenthalpe de Joule-Thomson étudiée en première année.*

Tuyère calorifugée.

*L'étude générale des tuyères et de leur géométrie est hors programme ; on se limite à la détermination de la vitesse en sortie dans le cas d'une évolution isentropique.*

### **2.3 Cycles industriels : cycles moteurs, cycles frigorifiques et pompes à chaleur**

Cycles thermiques à gaz, sans changement d'état.  
Cycles thermiques avec changement d'état.

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

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

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

### **3. Transfert d'énergie thermique par conduction.**

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

*On se limite dans la suite à des phénomènes dont l'étude ne nécessite qu'une seule variable géométrique.*

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

*Toute modélisation microscopique de la loi de Fourier est hors programme.*

*L'analogie entre la loi d'Ohm et la loi de Fourier est soulignée.*

Bilan d'énergie. Equation de la diffusion thermique dite « équation de la chaleur ».

*On établit, à l'aide du premier principe sur un volume élémentaire, l'équation de diffusion thermique en géométrie unidimensionnelle. La mémorisation de cette équation n'est pas exigible.*

*Aucune méthode de résolution de cette équation ne peut être supposée connue.*

*L'étude de la conduction thermique en régime sinusoïdal forcé (ondes thermiques) est hors programme.*

Régime stationnaire : conductance et résistance thermique.

*On se limite aux situations ne faisant intervenir qu'une seule variable d'espace.*

*Aucune expression de résistance thermique n'est exigible.*

*On signale l'analogie avec les résistances électriques.*

*L'étude en travaux dirigés du transfert thermique à travers une vitre par exemple, est l'occasion d'utiliser cette notion de résistance thermique, et de signaler l'importance dans certains cas du transfert par convection.*

*La loi phénoménologique de Newton à une interface est hors programme; elle est fournie par l'énoncé lorsqu'elle s'avère utile. Toute étude du rayonnement thermique est hors programme.*

*L'étude détaillée des échangeurs thermiques est*

*hors programme : on se limite dans les problèmes à un échangeur ayant une géométrie de parallélépipède. On habitue les étudiants à établir des bilans enthalpiques.*

## **B) MECANIQUE DU SOLIDE**

L'enseignement de la mécanique du solide est dispensé par le professeur de sciences industrielles. 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 mouvements oscillatoires et 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 du ressort des sciences industrielles.

### **Programme**

### **Commentaires**

Puissance et travail d'un système de forces. Energie potentielle. Théorème de l'énergie cinétique. Energie mécanique et condition de sa conservation.

*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.*

*On évite toute situation nécessitant l'utilisation explicite des forces d'inertie.*

Solide en translation dans le référentiel d'étude.

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

- théorème du moment dynamique projeté sur l'axe de rotation
- théorème de l'énergie cinétique

*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'équilibrage statique ou dynamique des solides en rotation.

## **C) ELECTROCINETIQUE**

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

## Programme

## Commentaire

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.	<i>On illustre en travaux pratiques, en travaux dirigés, et à l'aide de logiciels dans quelle mesure ces différents qualificatifs sont appropriés.</i> <i>On étudie en TP-Cours la composition en fréquence d'un signal analogique périodique (valeur moyenne, fondamental 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.</i>
Caractère intégrateur ou dérivateur dans un domaine limité de fréquences.	<i>On illustre quantitativement ces différents comportements.</i>

## D) ELECTROMAGNETISME

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

Cet enseignement s'appuie sur l'enseignement d'électromagnétisme de PTSI.

L'enseignement d'électrostatique et de magnétostatique de PTSI est complété en particulier par une approche locale (équations de Maxwell et relations de passage). Aucune technicité supplémentaire ne doit être recherchée dans les calculs de champs magnétiques dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS) ou quasi-permanents. En particulier le calcul de champs magnétiques créés par une distribution volumique ou surfacique de courants par la loi de Biot et Savart reste hors programme : on se limite pour ces distributions à l'utilisation du théorème d'Ampère.

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.

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

Relation de passage du champ électrique à l'interface métal-vide.

*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.*

*La discontinuité du champ électrique est simplement énoncée, sans démonstration. On fait le lien avec les situations de discontinuité du champ électrique rencontrées en PTSI.*

*Une étude théorique générale de l'équilibre d'un système de conducteurs (théorème d'unicité, coefficients d'influence, théorème de Coulomb...) 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  $\frac{1}{2}\epsilon_0 E^2$  et on admet la validité générale de cette expression.*

## 2. Magnétostatique

Densité de courant. Formulation locale des lois de la magnétostatique. Existence du potentiel vecteur  $\mathbf{A}$ . *On fait remarquer que le potentiel vecteur n'est pas unique. La notion de jauge est hors programme. Les calculs de potentiel-vecteur étant hors programme, l'expression de celui-ci en fonction des sources est fournie par l'énoncé lorsqu'elle est utile.*

Exemples de calcul de champs  $\mathbf{B}$  créés par des courants non filiformes à l'aide du théorème d'Ampère. *Le calcul d'un champ magnétique à partir des équations locales est hors programme.*

Modèle de courant surfacique: relation de passage. *La discontinuité du champ magnétique est simplement énoncée. Sa démonstration est hors programme.*

Forces de Laplace. *On se limite à des modèles simples pour lesquels le calcul des forces de Laplace ne requiert aucune technicité. La densité volumique de force de Laplace  $\mathbf{j} \wedge \mathbf{B}$  peut être reliée à l'action du champ électrique de Hall vu en PTSI, mais aucune justification n'est exigible. Le théorème de Maxwell relatif au travail des forces de Laplace est hors programme ; il ne peut donc être utilisé pour évaluer les éléments du torseur des forces de Laplace exercées sur un circuit. Tout calcul de forces de Laplace à partir de l'énergie magnétique est hors programme.*

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

## 3. Induction électromagnétique

*Les conditions de validité de l'ARQS sont précisées lors de l'étude des équations locales de l'électromagnétisme.*

### 3.1 Induction électromagnétique : cas d'un circuit fixe dans un champ magnétique dépendant du temps.

Circulation du champ électrique. Loi de Faraday.

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

Equation locale de Maxwell Faraday.

Auto-induction.

Energie magnétique.

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

*volumique d'énergie  $\frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$  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.*

Induction mutuelle entre deux circuits filiformes fermés rigides.

*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.*

Transformateur de tension idéal: notion de bornes homologues, rapport des tensions, des intensités, adaptation d'impédances, isolation galvanique.

*L'étude des matériaux ferromagnétiques est hors programme. Le rôle du circuit magnétique est de canaliser des lignes de champ magnétique. Le rapport des intensités sera déduit du rapport des tensions et de l'expression du caractère parfait du transformateur en termes de puissances électrocinétiques.*

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'inductance).

### **3.2 Induction électromagnétique : cas d'un circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire**

Circulation de  $\mathbf{v}_e \cdot \mathbf{U} \mathbf{B}$ . Loi de Faraday.

*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 Faraday ne s'applique pas. La notion de flux coupé est hors programme.*

### **3.3 Conversion électromécanique**

*On étudie à travers les exemples du convertisseur asynchrone, du haut-parleur, et du ralentisseur électromagnétique le principe de la conversion*

*électromécanique.*

*Aucune connaissance technologique n'est exigible concernant ces dispositifs.*

Bilans énergétiques.

*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). Le théorème de Maxwell relatif au travail des forces de Laplace est hors programme.*

#### **4. Equations de Maxwell dans le vide**

*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.*

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

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

Forme locale et forme intégrale des équations de Maxwell dans le vide en présence de charges et de courants.

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

*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 fournie par l'énoncé lorsqu'elle est utile.*

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

*On fait le lien avec les propriétés des champs statiques énoncées en PTSI.*

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 des sources. Leur démonstration est hors programme. On fait le lien avec les discontinuités de champs rencontrées en électrostatique et magnéto-statique.*

#### **5. Energie électromagnétique**

Densité volumique d'énergie électromagnétique.

*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 illimité.*

Puissance volumique cédée par le champ aux porteurs de charge. Cas particulier d'un 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.*

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

*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. Sa démonstration à partir des équations de Maxwell ainsi que sa mémorisation ne sont pas exigibles.*

Cas particulier de l'ARQS.

Application à l'étude de l'effet de peau dans un conducteur ohmique. Modèle limite du conducteur parfait.

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

*L'étude de l'effet de peau est limitée au cas d'un demi-espace conducteur limité par un plan. On signale la validité de ce modèle lorsque l'épaisseur de peau est faible devant le rayon de courbure. On se borne au domaine de fréquences où l'ARQS et la loi d'Ohm locale avec une conductivité réelle et indépendante de la fréquence sont valables. On définit le modèle limite du conducteur parfait et on dégage un critère de validité de ce modèle mettant en jeu l'épaisseur de peau.*

## **6. Propagation d'ondes électromagnétiques dans le vide.**

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

Equations de propagation des champs **E** et **B** dans une région sans charges ni courants.

*Les équations de propagation des potentiels sont hors programme.*

Structure de l'onde plane progressive transversale.

*On se borne à vérifier que  $f(x+ct) + g(x-ct)$  ou  $f(t-x/c) + y(t+x/c)$  sont solutions de l'équation de propagation (équation de d'Alembert) et à en dégager le contenu physique.*

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

*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  $\mathbf{k}$  ou d'un indice complexe est proscrite.*

*En travaux dirigés, on décrit un modèle simple de plasma (milieu dilué de charges sans interaction) et on étudie la propagation d'une onde plane transverse progressive harmonique pour mettre en évidence une fréquence de coupure. La notion de vitesse de groupe est hors programme.*

Etats de polarisation d'une onde plane

*On se limite à une description des états de*

progressive harmonique.

*polarisation. L'étude théorique des polariseurs et des lames biréfringentes est hors programme; on met en évidence expérimentalement le phénomène de polarisation.*

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

*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 PTSI ; 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**

### **Commentaires**

#### **1. Modèle scalaire de la lumière**

Propagation d'une vibration scalaire le long d'un rayon lumineux : chemin optique.

Surfaces d'ondes (ou équiphase) ; onde plane, onde sphérique. Théorème de Malus.

*On définit les surfaces d'ondes relatives à une source ponctuelle  $S$  par l'ensemble des points  $M$  tels que  $(SM) = \text{constante}$ .*

Eclairement.

#### **2. Interférences**

##### **2.1 Interférences non localisées entre deux ondes totalement cohérentes.**

*La comparaison des prévisions théoriques et des réalités expérimentales conduit à affirmer un critère opérationnel de cohérence mettant en œuvre les notions de trains d'ondes, de sources synchrones, de diviseur d'ondes et de longueur de cohérence.*

Figure et champ d'interférences, franges, ordre d'interférences et défilement éventuel de franges.

*L'essentiel est de maîtriser la physique du phénomène d'interférences. On se limite aux miroirs de Fresnel et aux trous (ou fentes) de Young. Tout autre dispositif est hors programme.*

## 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 configuration des miroirs du Michelson (déformation...) est hors programme. On fait observer expérimentalement, en TP-Cours, la localisation des franges lorsque la source utilisée est étendue. Toute étude quantitative de la localisation est hors programme.*

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

## 2.3 Contraste d'une figure d'interférences

*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.*

## 3. Diffraction à l'infini

Principe de Huygens-Fresnel

*Le principe de Huygens - Fresnel est énoncé de façon qualitative. Lors de sa mise en œuvre mathématique pour la diffraction à l'infini, on s'attache uniquement aux différences de phase entre les sources secondaires, sans se préoccuper des facteurs d'amplitude.*

*L'optique de Fourier est hors programme.*

Diffraction à l'infini d'une onde plane par une ouverture rectangulaire plane; cas d'une fente allongée. Limite de l'optique géométrique.

*On présente l'allure de la figure de diffraction à l'infini par une pupille circulaire (la démonstration de la formule correspondante est hors programme). On souligne sans démonstration aucune, le rôle de la diffraction à l'infini dans la formation des images.*

*Les réseaux sont abordés exclusivement en TP-Cours.*

## II. APPROCHE EXPERIMENTALE.

Les connaissances et savoir-faire expérimentaux définis dans les TP-Cours de PTSI et PT 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.

## Programme

## Commentaires

### 1. TP-Cours :

#### Interférométrie à deux ondes : l'interféromètre de Michelson.

- Présentation de l'appareil.  
Reconnaissance de l'optique : miroirs, séparatrice, compensatrice.  
Reconnaissance de la mécanique : axes de rotation et vis de réglages, translation du chariot.
- Réglage et utilisation du Michelson.

Utilisation d'une source étendue spatialement : localisation des franges d'interférences.

Réglage géométrique de l'interféromètre.

Obtention des franges du coin d'air, d'égale épaisseur avec une lampe spectrale : conditions d'éclairage et de projection. Obtention des franges de la lame d'air, d'égale inclinaison avec une lampe spectrale : conditions d'éclairage et d'observation.

Passage à la teinte plate et contrôle de sa qualité en lumière blanche. Franges du coin d'air en lumière blanche.

Influence de la translation d'un miroir sur la figure d'interférences.

### 2. TP-Cours

#### Spectroscopie à réseau.

- Eléments théoriques.  
Formule des réseaux par transmission.  
Dispersion par le réseau dans un ordre donné : spectre d'ordre  $p$ , mélange des ordres.

*Le protocole de réglage est laissé à l'initiative du professeur. Lors des épreuves d'évaluation, le protocole adapté au matériel disponible doit être fourni au candidat.*

*En élargissant progressivement la source à l'aide d'un diaphragme, on met en évidence la diminution du contraste et la localisation des franges d'interférences. L'objectif est de comprendre pourquoi, selon l'expérience, on utilise soit un éclairage convergent soit un éclairage quasi-parallèle, pourquoi, on observe soit l'image des miroirs soit une projection dans le plan focal d'une lentille convergente de sortie.*

*A cette occasion, on montre que l'ordre d'utilisation des différentes sources (laser éventuellement, puis lampe spectrale, enfin lumière blanche) est lié à la cohérence temporelle des sources lumineuses.*

*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 et de l'intensité diffractée sont hors programme.*

*L'étude du pouvoir séparateur est hors programme.*

• 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.

*Pour le réglage, on s'appuie sur les techniques vues dans la partie expérimentale du programme de première année. 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.*

• 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.

*La méthode du minimum de déviation n'est pas exigible.*

### 3.TP-Cours

#### **Multivibrateur astable.**

Fonctionnement d'un amplificateur opérationnel en régime linéaire ou en régime saturé (en tension).

*Ce TP-Cours est l'occasion de réviser le cours et les TP-Cours d'électronique de première année.*

Comparateur à hystérésis, caractéristique de transfert, bistabilité.

Multivibrateur astable : génération de signaux triangulaires, de signaux carrés. Contrôle de la fréquence et du rapport cyclique.

*On signale la limitation en fréquence due à la "vitesse de balayage" de l'amplificateur opérationnel.*

### 4.TP-Cours

#### **Oscillateur quasi-sinusoïdal.**

Etude théorique de la mise en oscillation en régime temporel variable.  
Recherche directe de la fréquence d'oscillation en notation complexe.  
Vérification expérimentale.  
Analyse spectrale des signaux obtenus.

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

### 5.TP-Cours

#### **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.

*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.*

Visualisation et étude des harmoniques d'une tension créneau.  
Filtrage d'une harmonique par le circuit

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

RLC : réglage de la capacité pour une harmonique fixée.

## **THEMES DE TRAVAUX PRATIQUES PROPOSES**

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 de mutuelle inductance  $M$ .

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 : dispositif des fentes d'Young.

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

Expériences de diffraction à l'infini.

Mesure d'une conductivité thermique.

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.  
Viseur à frontale fixe.  
Goniomètre.  
Réseaux plans par transmission.  
Interféromètre de Michelson.