

**Programme de Physique**  
**Préparation Physique-Chimie**

**1. Programme de Physique Première Année PC**

**ELECTRODYNAMIQUE-ELECTRONIQUE :**

## **ELECTROCINETIQUE :**

Lois générales dans le cadre de l'approximation des régimes quasistationnaires

Courant, tension, loi des nœuds, loi des mailles.

Puissance électrocinétique reçue par un dipôle.

Caractère générateur et récepteur.

Circuits linéaires.

Dipôles modèles R.L.C. Association en série, en parallèle.

Diviseur de courant, de tension.

Générateur de courant, de tension, indépendants ou liés.

Théorèmes de superposition, de Norton et de Thévenin.

Etude du circuit R,L,C, série, libre, soumis à une tension constante, excité par une tension sinusoïdale.

Pulsation propre, facteur de qualité.

Circuits linéaires en régime sinusoïdal forcé : admittance et impédance complexes. Lois des nœuds en termes de potentiel (théorème de Millman).

*On affirmera les modalités d'applications puisque le cadre précis de l'approximation des régimes quasi-stationnaires (on quasi-permanents) sera discuté en seconde année.*

*La théorie générale des réseaux est hors programme.*

*La notation matricielle est hors programme.*

*Un phénomène linéaire est régi par une équation différentielle linéaire à coefficient constants.*

*Les circuits couplés par mutuelle seront étudiés en seconde année.*

*Le but de cette étude est de dégager les notions de régime transitoire, de temps de relaxation, de régime forcé.*

*Le professeur s'appuiera sur cette étude pour exposer ultérieurement les oscillateurs dans la partie "mécanique".*

*A cette occasion, on habituera les étudiants à trouver dans le problème, des grandeurs physiques caractéristiques qui permettent d'aboutir à une réduction canonique, en vue d'un traitement numérique éventuel ou d'une reconnaissance d'un autre phénomène physique analogue.*

*La notion d'analyse et de synthèse de Fourier qui montre l'intérêt des régimes sinusoïdaux, sera introduite par l'expérience à l'occasion des T.P.*

### Exemples de circuits non linéaires.

<p>Diodes. diode Zener , caractéristique linéaire par morceaux .</p> <p>Redressement, stabilisation de tension ; détection de crête .</p> <p>Amplificateur opérationnel de gain infini en régime linéaire saturé.</p>	<p><i>On habituera les étudiant à recenser les modes possibles de fonctionnement .</i></p> <p><i>L'étude microscopique des diodes n'est pas au programme .</i></p>
---	--

### **ELECTRONIQUE DES SIGNAUX ET DES SYSTEMES TRAITEMENT DE SIGNAL**

*Cet enseignement sera dispensé entièrement au laboratoire.*

## **THEMES EXPERIMENTAUX OBLIGATOIRES**

### **I- Présentation et utilisation des appareils usuels**

Oscilloscope, Oscilloscope à mémoire numérique , interfaçable numériquement.

Générateur de signaux électriques basse fréquence(BF) : générateur BF avec modulation interne en fréquence et avec sortie de l'image analogique de la fréquence.

Alimentations stabilisées en courant et en tension.

Multimètres numériques.

### **2- Mesures de tensions fréquences , déphasage .**

Perturbation apportée par la mesure précision de la mesure.

Mesures courantes d'impédance.

### **3-Application à l'étude du circuit RLC dont on étudiera le régime libre , le régime forcé et la résonance**

#### **4- Amplificateur et filtrage**

- a. Etude du montage amplificateur non-inverseur d'un amplificateur opérationnel. Stabilité. Réponse en fréquence pour différentes valeur de gain, caractère passe-bas du montage. Saturation, vitesse de balayage

*A cette occasion seront présentés les caractéristiques essentielles de ces appareils : impédance d'entrée, de sortie, bande-passante , puissance maximum ... selon le cas.*

*On insistera sur les conséquences de l'existence d'un raccordement à la terre de certains appareils.*

*Les méthodes de zéro sont hors programmes.*

*On fera remarquer l'établissement du régime forcé.*

- Etude du montage inverseur d'un amplificateur opérationnel : Stabilité. Réponse en fréquence pour différentes valeurs du gain. caractère passe bas du montage. Saturations, vitesse de balayage. Impédance d'entrée finie du montage.
- Montage sommateur, amélioration à l'aide de montages suiveurs.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etude d'un filtre du premier ordre et d'un filtre sélectif du deuxième ordre ( amplitude et phase).</li> <li>• Intégrateur, dérivateur</li> </ul> <p><b>5- Générations des signaux</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Compérateurs simple et compérateurs à hystéresis: instabilité, caractéristique statique de transfert.</li> <li>b. Multivibrateur astable / générateur de signaux carrées triangulaires, sinusoïdaux par filtrage.</li> </ol>	<p><i>Les limites de ces montages seront seulement observées, sans chercher une quelconque modélisation.</i></p> <p><i>On illustrera l'intérêt de la zone bistable pour la réalisation d'une fonction mémoire .</i></p> <p><i>On signalera la limitation en fréquence due à la vitesse de balayage.</i></p>
--	---

#### THEMES AU LIBRE CHOIX DE L'ENSEIGNANT

<p><b>Exemples des systèmes électroniques.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Etude de la diode et de ses applications. Visualisations de la caractéristique. Redressement simple et double alternance. Filtrage capacitif et stabilisation de tension. Détection de crête . On fera l'analyse spectrale du signal.</li> <li>b. Etude d'un oscillateur quasi-sinusoidal..</li> <li>c. Réalisation sommaire d'un analyseur de spectre.</li> </ol> <p><b>Mise en œuvre d'une association :</b> générateur modulable en fréquence , multiplicateur analogique. Filtre sélectif.</p>	<p><i>On présentera le spectre de Fourier des différents signaux en insistant sur l'enrichissement du spectre par les systèmes non linéaires</i></p>
---	--

#### MECANIQUE NEWTONIENNE

*Tout développement relativiste ou quantique est exclu du programme .*

*Les formalismes lagrangien et hamiltonien sont hors programme .*

#### CINEMATIQUE DU POINT MATERIEL .

<p>Espace et temps. Exemples de mouvements: rectiligne, circulaire .</p> <p>Changement de référentiel .</p> <p>Lois de composition des vitesses et des accélérations . Point coïncidant .</p>	<p><i>translation autour d'un axe fixe .</i></p> <p><i>On introduira dans ce cas particulier le vecteur rotation instantané .</i></p>
---	---

### **DYNAMIQUE DU POINT MATERIEL**

<p>Référentiels galiléen . Lois de Newton :</p> <p>" principe d'inertie " , principe fondamentale de la dynamique principe des actions réciproques " Théorème du moment cinétique relativement à un point fixe théorème de l'énergie cinétique .</p> <p>Champ de force conservative, énergie potentielle, énergie mécanique .</p>	<p><i>Une force sera conservative s'il existe <math>E_p</math> tel que <math>f = \text{grad } E_p</math>. L'utilisation du rotationnel est hors programme.</i></p>
---	--

### **Applications**

Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme Résistance de l'air, vitesse limite.

Force de Lorentz.

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique et magnétique uniformes et indépendants du temps :

- Dans le vide

- Dans un métal : modèle classique de la loi d'Ohm locale ;

- Effet Hall et loi de Laplace dans une géométrie filiforme et "rectangulaire" .

Oscillations linéaires : oscillations harmonique amorti, temps de relaxation, facteur de qualité .

Oscillation libres, oscillations forcées , résonance .

Oscillateur non-linéaires : exemples de non linéarités .

Rôle des non linéarités pour l'oscillateur auto-entretenu .

Référentiels non galiléens, forces d'inertie .

## **APPLICATIONS :**

Référentiel géocentrique, référentiel terrestre .

Poids d'un corps , champ de pesanteur terrestre : terme gravitationnel terrestre , terme centrifuge, Terme de marée .

*On se bornera à admettre la loi de Laplace .*

*On se limite à l'oscillateur soumis à des frottements visqueux .*

*On se limitera à une étude descriptive, illustré par des manipulations et des simulation, tout développement analytique étant exclu .*

*On dégagera des analogies électromécaniques et on présentera divers oscillateurs en travaux pratiques d'électronique .*

*On dégagera dans quelles mesures on peut supposer qu'un référentiel peut se comporter comme référentiel galiléen.*

*Les théorèmes du moment cinétique dans un référentiel non galiléen son hors programme.*

*Toute étude dans un ref. non galiléen ne se rapportant pas aux applications suivantes sont hors programme .*

*L'étude détaillée, exhaustive, des variations du champ de pesanteur terrestre est hors programme . On fera apparaître les différentes approximations pour dégager les termes pertinents, à l'échelle du problème considéré .*

*La force de Coriolis sera traitée comme une perturbation dont les effets seront calculés au premier ordre seulement .*

## **THERMODYNAMIQUE**

Le programme de cet enseignement réparti sur les deux années, est centré sur la notion de bilan, bilan , d'énergie ( avec l'introduction de quelques éléments de bilan thermique ) et bilan d'entropie . l'étude des systèmes ouvert est hors programme .



## **Aspect cinétique de la thermodynamique.**

Modèle du gaz parfait.

Définition cinétique de la pression et de la température. Equation d'état. Energie interne d'un gaz monoatomique limite du modèle du gaz parfait.

Présentation qualitative des gaz réels.

Eléments de statique des fluides.

Condition l'équilibre. Cas d'un fluide incompressible et homogène .

Cas de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait.

Poussée d'Archimède.

## **Bilans d'énergie.**

Système thermodynamique ; équilibre ; système homogène, phase.

Variable thermodynamiques d'état; variables extensives et intensives .

Equations d'état. Définition des coefficients thermoélastiques.

Transformations réversibles et irréversibles .

Travail échangé par un système ; travail des forces de pression .

Premier principe de la thermodynamique ou principe d'équivalence . Energie interne  $U$ ,

fonction d'état thermodynamique . Chaleur échangée par un système .

Bilans énergétiques .

Enthalpie  $H$ , fonction d'état thermodynamique

Capacités thermiques isochore et isobare.

## **Bilans d'entropie.**

## **THEMES EXPERIMENTAUX AU LIBRE CHOIX DU PROFESSEUR**

*Mesure de la chaleur massique*

*Changement de phase*

### **CHAMPS STATIQUES EN ELECTROMAGNETISME :**

*L'étude de l'électrostatique et de la magnétostatique est centrée sur les propriétés des champs. On exploitera les propriétés de symétrie et on insistera sur la comparaison des propriétés respectives des champs électrostatique et magnétostatique. Aucune technicité mathématique n'est recherchée dans les calculs : on s'intéressera à des situations proches du cours et d'intérêt pratique évident.*

*On pourra utiliser un logiciel pour obtenir les cartes de lignes de champ .*

*La seule relation locale introduite en première année est celle entre le champ électrostatique et la potentiel .  
Toute autre formulation est exclue en première année.*

### **ELECTROSTATIQUE .**

Loi de Coulomb champ électrostatique **E** :

propriétés de symétrie , caractère polaire , topographie .

Circulation de **E** : potentiel électrostatique .

Energie potentielle d'une charge ponctuelle dans un champ électrostatique extérieur .

Energie d'interaction de deux charges ponctuelles.

Flux de **E** : théorème de Gauss .

Conducteur en équilibre électrostatique.

Conducteur. Condensateur plan idéal.

Dipôle électrostatique: potentiel et champ créés , action d'un champ électrostatique .

Energie potentielle d'un dipôle rigide dans un champ électrostatique extérieur .

## **MAGNETOSTATIQUE :**

Distributions de courant : recherche des invariances par translation , par rotation ; recherche des plans de symétrie , d'antisymétrie .

Champ magnétostatique **B** : loi de BIOT et SAVART pour des circuits filiformes . Propriétés de symétrie, caractère axial , topographie .

Flux de **B** : conservation . Circulation de **B** : théorème d'AMPERE .

Exemples de calcul de Champ **B** :

Champs d'un fil rectiligne infini, d'une spire circulaire et d'un solénoïde circulaire ; limite du solénoïde infiniment long .

Dipôle magnétique .

*On se limitera à des distributions de charges simples .*

*Pour l'étude des propriétés de symétrie on se limitera à la recherche des plans de symétrie et d'antisymétrie de la distribution de charges et la recherche des invariances par translation et par rotation de cette distribution .*

*On affirmera la nullité du **E** à l'intérieur du conducteur en équilibre électrostatique.*

*On présentera les propriétés des conducteurs en équilibre électrostatique en excluant l'étude théorique générale de l'équilibre d'un système de conducteurs (théorème d'unicité, coefficients d'influence , expression de la pression électrostatique ....) .*

*Le développement multipolaire est hors programme .*

*On se bornera à présenter des cartes du champ **B** et à commenter l'allure de celles-ci .*

*On admettra la loi de Biot-Savart, le théorème d'Ampère et les propriétés de symétries. Faire constater dans quelques cas simples, leur cohérence avec les résultats expérimentaux.*

*On comparera les propriétés de symétrie des champs **E** et de **B**.*

*On prendra comme modèle la spire circulaire, on définira son moment*

## OPTIQUE :

### OPTIQUE GEOMETRIQUE :

*On cherchera à présenter l'essentiel de cette partie sous forme expérimentale . L'objectif est de maîtriser les applications pratiques de l'optique géométrique dans les conditions de Gauss .*

*Le principe de Fermât, le théorème de Malus ne sont pas au programme*

Approximation de l'optique géométrique :

Rayon lumineux. Réflexion et réfraction.

Objet et image.

miroirs sphériques et lentilles minces dans l'approximation de Gauss .

### **THEMES EXPERIMENTAUX OBLIGATOIRES.**

#### **L'INSTRUMENTATION OPTIQUE AU LABORATOIRE.**

a) Présentation des appareil usuels.

Sources de lumière : Lampes spectrales, sources de lumière blanche , laser .

Lentilles minces , miroirs sphériques et plans .

Collimateur, viseurs, oculaires.

Lunette autocollimatrice.

*On se limitera à une présentation qualitative de l'approximation de l'optique géométrique . Cette notion est reprise en seconde année à propos du cours sur la diffraction.*

*Les lois de Descartes sont admises, sans démonstrations.*

*Le dioptre sphérique n'est pas au programme*

*Le traitement général des systèmes centrés est hors programme . Le traitement des systèmes simples par la méthode matricielle est hors programme.*

*L'objectif essentiel est la maîtrise de la construction de l'image d'un objet .*

*Le but poursuivi est de maîtriser la mise en œuvre des montages qui seront notamment utilisés en optique ondulatoire en seconde année.*

*Les mécanismes d'émission des sources de lumière ne sont pas au programme .*

*On sensibilisera les étudiants aux causes d'erreurs dans les réglages (latitude de mise*

<p>Goniomètre.</p> <p>b) Réglage et utilisation des appareils .</p> <p>Mise en œuvre d'un objet ou réel ou virtuel d'une source à distance finie ou infinie .</p> <p>Centrage, alignement et réglage de hauteur Reconnaissance rapide du caractère convergent ou divergent d'une lentille, du caractère concave, convexe, d'un miroir sphérique ou de son caractère plan. Réglage des oculaires, des viseurs, des lunettes autocollimatrices.</p> <p>Réglage et rôle d'un collimateur.</p> <p>Observation des images réelles ou virtuelles au viseur.</p> <p>Technique de projection des images réelles.</p> <p>Réglage d'un goniomètre.</p>	<p>au point, parallaxe...)</p> <p><i>On insistera sur les contraintes de distance objet-image, de grandissement linéaire , pour le choix des lentilles .</i></p> <p><i>On mettra en évidence l'intérêt d'un condenseur pour un bon éclairage des images .</i></p>
--	---

**THEMES AU LIBRES CHOIX DU PROFESSEUR.**

**MESURES OPTIQUES :**

<p>Focométrie élémentaire : mesure de focales de lentilles minces et ou miroirs sphériques . Spectroscopie à prisme .</p>	<p><i>On sensibilisera les étudiants à la recherche des causes d'erreurs et à la précision des mesures .</i></p> <p><i>On s'intéressera à la réalisation de montages comportant des associations de lentilles minces .</i></p> <p><i>Les aberrations pourront être observées : leur études quantitative est exclue du programme .</i></p>
---	---

**LISTE DE MATERIEL .**

*Les étudiants ne sont pas censés connaître des méthodes et des appareils autres que ceux figurant dans la liste ci-dessous . En ce qui concerne ces appareils , on ne peut exiger qu'ils ne connaissent plus que leur principe sommaire de fonctionnement .*

*Si les étudiants sont appelés à utiliser d'autres appareils , toutes les indications nécessaires doivent leur être fournies .*

par l'importance donnée aux travaux pratiques, on souhaite, en particulier, continuer à améliorer dans l'esprit des étudiants la relation qu'il ont à faire entre le cours et les TP et leur donner le goût des sciences expérimentales, même s'ils n'en découvrent, à ce stade, que quelques unes des méthodes.

L'utilisation d'une instrumentation actuelle remplace l'ensemble de l'instrumentation ancienne aujourd'hui désuète :

Un oscilloscope à mémoire numérique calibré en tension, fréquence, phase, mesurant temps de montée, période etc .... permettant les calculs de valeur moyenne, efficace etc. .... remplace la table traçante, le fréquencemètre.

Un multimètre numérique à grande impédance d'entrée effectuant les mesures en valeur moyenne ou efficace remplace les ampèremètres, voltmètres magnétoélectriques ou ferromagnétiques.

Emploi des matériels et logiciels suivants :

Oscilloscope analogique et numérique.

Oscilloscope à mémoire numérique, interfaçable numériquement.

Générateur de signaux (BF) avec modulation interne et sortie de l'image analogique de la fréquence.

Alimentation stabilisée tension-courant.

Voltmètre, ampèremètre, multimètre analogiques ou numériques.

Phasemètre.

Boîtes de résistances.

Boîte de capacités.

Inductances.

Composants de base : câbles coaxiaux et fils. Diodes.

Amplificateurs opérationnels.

Table traçante.

Capteurs de température.

Capteurs de pression.

Calorimètre.

Banc d'optique.

Diaphragme à iris, écrans.

Condenseurs.

Laser.

Sources spectrales et leurs alimentations : Lampes spectrales, sources de lumière blanche.

*Lentilles et miroirs plan et sphériques.*

*Collimateur, lunette autocollimatrice.*

*Viseur à frontale fixe et viseur dioptrique.*

*Goniomètre; prismes .*

*Ordinateur avec écran couleur, imprimante .*

*Carte d'acquisition du signal .*

*Logiciel de simulation de spectres électrostatiques et magnétostatique .*

*Multiplicateurs .*

## **2. Programme de Physique Deuxième Année PC**

### ***MECANIQUE DES FLUIDES :***

*Les notions sur la viscosité sont introduites uniquement pour classer les écoulements et évoquer la résolution des paradoxes auxquels peut conduire le modèle de l'écoulement parfait. En conséquence, s'agissant du fluide visqueux, seule de DEFINITION de la viscosité est exigible .*

*les bilans d'énergie interne et d'entropie en dynamique des fluides compressibles seront l'occasion de compléter l'enseignement de thermodynamique par l'étude de système ouverts simple généralisant la détente Joule Thomson . Aucune question ne pourra porter sur de tel bilan pour les systèmes autres qu'UNIDIMENSIONNELS*

## I-CINEMATIQUE DES FLUIDES.

Définition du fluide : modèle continu.

Description de Lagrange trajectoire.

Description d'Euler : champ des vitesses, ligne de courant , tube de courant .

Dérivée particulière d'un champ.

Densités de courant, débits.

Bilans de masse : équation locale de conservation de la masse.

écoulements stationnaires, écoulements incompressibles, écoulements irrotationnels

( potentiel des vitesses ) .

*On mentionnera les trois échelles spatiales : échelle microscopique (moléculaire) mésoscopique ( de la particule de fluide ), macroscopique .*

*La cinématique des fluides est considérée exclusivement comme un outil : elle ne peut être l'objet principal d'un problème d'écrit ou d'un exercice d'oral .*

*On se limitera au champ d masse volumique et au champ des vitesses .*

*La distribution locale des vitesse dans un milieu continu et la matrice des taux de déformation n'est pas au programme. On se limitera à illustrer sur quelques exemples pertinents la signification de  $\text{div } V$  et de  $\text{rot } V$  . On signalera que le vocabulaire de l'analyse vectorielle est issu de l'hydrodynamique : flux, circulation , etc. .*

*Il s'agit ici simplement d'introduire le vocabulaire nécessaire à la mécanique des fluides . On pourra s'appuyer sur la lecture de cartes d'écoulements. Un écoulement incompressible (isovolume ) est caractérisé par  $D\rho/Dt = 0$  (ou  $\text{div } V = 0$ ) .*

*Un écoulement est stationnaire si tous les champs eulériens correspondants sont indépendants du temps .*

*Les notions de fonction courant , de potentiel complexe des vitesses , de fonction holomorphe et de transformation conforme sont hors programme ;*

*On retrouvera à partir de l'équation d'Euler le principe fondamental de la statique des fluides.*

*On exploitera les application pour la mesure*



## **MECANIQUE DU SOLIDE :**

*Pour ce qui concerne les thèmes généraux (théorème de la résultante dynamique , le théorème du moment cinétique par rapport à un axe et en un point, théorème de l'énergie cinétique) , On utilisera les résultats du cours de dynamique des points matériels de première année, en distinguant la puissance des efforts intérieurs d'un système déformable de celle d'un solide . La puissance des efforts intérieurs d'un solide est nulle.*

*On tiendra compte des connaissances acquises dans le cours de sciences techniques et industrielles (STI).*

## **I-CINEMATIQUE DU SOLIDE.**

Centre de masse . quantité de mouvement totale

ou résultante cinétique pour un solide .

moment cinétique et énergie cinétique pour un

solide Théorème de Koëning .

Champ de vitesses et vecteur rotation instantanée pour un solide.

## **II- DYNAMIQUE DU SOLIDE :**

Actions de contact entre 2 solides :

loi de coulomb du frottement de glissement .  
Vitesse de glissement, condition de roulement sans glissement . Puissance des actions de contact.

Application mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe dont la direction est fixe dans un référentiel galiléen.

## **ELECTROMAGNETISME :**

### **I-COMPLEMENTS D'ELECTROSTATIQUE :**

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

### **II-COMPLEMENTS DE MAGNETOSTATIQUE:**

Formulation locale des lois de la magnétostatique . Potentiel vecteur  $A$  .

Force de la place .

Travail des forces de Laplace sur un circuit indéformable.

Dipôle magnétique.

Action d'un champ non uniforme sur un

*Les exercices de cinématique pure sont exclus du programme .*

*Les calculs de la position du centre de masse et des moments d'inertie sont hors programme .*

*La statique du solide est hors programme .*

*On se limitera à des systèmes à un seul degré de liberté de rotation dans le référentiel barycentrique.*

## VI-EQUATIONS DE MAXWELL .

*L'étude des transformations des champs  $E$  et  $B$  dans le cadre de relativité est exclue mais l'on notera les contradictions auxquelles peuvent conduire l'emploi simultanée de l'électromagnétisme de Maxwell et de la mécanique de Newton .*

Densités de charge et de courant .

Formulation locale du principe de conservation de la charge . Cas de L'ARQS.

Forme locale et forme intégrale des équations de Maxwell. Cas de L'ARQS.

Existence des potentiels (  $A, V$  ) .

Jauge de Lorentz ; Cas de L'ARQS.

### **V-ENERGIE ELECTROMAGNETIQUE :**

Expression de la densité d'énergie électromagnétique, vecteur de Poyting .

Puissance volumique cédée par le champ à la matière . Cas particulier d'un milieu ohmique .

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

Exemple de couplage électromécanique : haut-parleur électrodynamique ; bilan énergétique .

*On soulignera les analogues avec l'équation locale de la conservation de la masse en mécanique des fluides .*

*On insistera sur le fait que les expressions des champs magnétiques obtenues en régime statique en première année sont valable dans l'ARQS.*

*On fera apparaître l'équation de Poyting comme la traduction locale d'un bilan d'énergie électromagnétique. On affirmera la signification du vecteur de Poyting.*

*On vérifiera sur l'exemple du solénoïde long la cohérence de cette expression de l'énergie magnétique avec celle qui a été obtenu à partir des équations de Maxwell.*

*L'expression de l'énergie magnétique en fonction de  $J$  et  $A$  est hors programme.*

*On fera remarquer sur l'exemple du haut parleur que la somme de la puissance de la fem. induite et de la puissance des forces de Laplace est nulle . On affirmera la généralité de ce résultat dans les problème de couplages électromécaniques.*

## PHYSIQUE DES ONDES

*Cet enseignement permet une approche synthétique : les concepts unificateurs sont introduits sur un exemple et utilisés ensuite dans d'autres cas.*

## **I - OSCILLATEURS HARMONIQUE COUPLES .**

Cas de deux oscillateurs : régime libre (mode propres) et régime sinusoïdal forcé (résonances).

*La méthode matricielle est hors-programme:*

*On se limitera à des situations où les symétries*

*du problème permettent une résolutions simplifiée. On ne prendra pas en compte les frottements fluides faibles.*

Cas d'une chaîne infinie d'oscillateurs :  
approximation des milieux continus ,  
équation  
d'onde de d'Alembert .

*On montrera que l'étude de deux de deux circuits LC identiques, couplés par mutuelle relève d'un traitement analogue l'objectif, modeste, est ici de faire apparaître le rôle essentiel du couplage dans la propagation d'ondes.*

*On se limitera au cas de masses identiques reliées par des ressorts identiques*

*Le modèle proposé pourra être présenté comme un modèle simple de propagation d'une onde sonore longitudinale dans un solide isotrope.*

## **II- PHENOMENES DE PROPAGATION**

### **UNIDIMENSIONNELS NON DISPERSIFS :**

Vibrations transversales d'une corde :  
équation

*On se limitera dans tout ce paragraphe à des petits mouvements transversaux où la corde reste dans un plan fixe.*

d'onde de d'Alembert.

*On fera remarquer le caractère non physique de l'onde progressive harmonique.*

Formation de la solution générale par

Superposition d'ondes .progressives ou d'onde planes harmoniques ou d'ondes stationnaires.

Applications à l'étude des petits mouvements

Libres d'une corde vibrante fixée à ses deux extrémités : modes propres.

Corde de Melde : Ondes stationnaires , résonnances.

### **III- ONDES SONORES DANS LES FLUIDES :**

Mise en équation des ondes sonores dans l'approximation acoustique , équation de l'Alembert.

Ondes planes progressives harmoniques.

Aspects énergétiques : densité volumique

d'énergie sonore , vecteur densité de courant énergétique , intensité sonore.

Impédance acoustique pour une onde plane progressive harmonique.

Réflexion , transmission d'une onde sonore plane progressive sur une interface plane ,

sous incidence normale.

### **IV-ONDES ELECTROMAGNETIQUES DANS LE VIDE :**

Equations de propagation du champ électromagnétique et des potentiels dans une région

vide de charges et de courants.

Structure de l'onde plane progressive. Cas particulier de l'onde monochromatique.

Etats de polarisation d'une onde plane monochromatique.

*On s'appuiera sur les notions introduites pour les phénomènes unidimensionnels , tout en soulignant les apports nouveaux liés au caractère tridimensionnel..*

On adoptera une démarche Eulerienne en liaison avec le cours de mécanique des fluides

*On affirmera les expressions correspondantes.*

*Aucune démonstration n'est exigible.*

*Aucune définition particulière de l'impédance acoustique ne pourra être exigée : les sujets des épreuves devront indiquer la définition retenue.*

*A cette occasion , on précisera les conditions de validité de l'ARQS.*

*On se limitera ici à donner la définition des différents états de polarisation. Leur mise en*

Structure à grande distance du champ d'un dipôle oscillant électrique et (ou)magnétique.

Puissance rayonnée.

Application : La couleur bleue du ciel.

### **V-PHENOMENES LINEAIRES DE PROPAGATION UNIDIRECTIONNEL DISPERSIFS**

Relation de dispersion : dispersion, absorption

vitesse de phase

Paquet d'ondes : vitesse de groupe .

### **VI-ONDES ELECTROMAGNETIQUES DANS UN MILIEU DIELECTRIQUE LINEAIRE HOMOGENE ISOTROPE.**

Vecteurs polarisation  $\mathbf{P}$  et aimantation  $\mathbf{M}$  ; notions élémentaires sur les charges de polarisation, les courants de polarisation et d'aimantation; vecteur  $\mathbf{D}$  et  $\mathbf{H}$

*évidence et leur modification seront étudiées exclusivement en TP.*

*Les expressions des potentiels retardés sont admises.*

*La connaissance et la démonstration des expressions des champs  $E$  et  $B$  rayonnés ne doivent pas être demandées aux étudiants, seule la succession des approximations y conduisant doit être connue.*

*On adoptera le modèle de l'électron élastiquement lié excité par une onde plane progressive harmonique et on calculera la puissance rayonnée dans la diffusion Rayleigh; on interprétera la polarisation par diffusion dans une direction transversale.*

*On introduira les notions du programme sur un exemple concret de phénomène unidimensionnel laissé à la libre appréciation du professeur(onde mécanique,*

*onde électromagnétique...)*

*On insistera sur l'intérêt de la décomposition en ondes planes proportionnelles à  $\exp(j(\omega t - kx))$  avec  $\omega$  réel et  $k$  a priori complexe , pour le traitement des phénomènes de propagation linéaires.*

*L'électrostatique des diélectriques et la magnéto-statique des milieux aimantés sont hors-programme ; en particulier tout calcul*

Equations de Maxwell dans un milieu matériel.

Définition de la permittivité diélectrique et de la perméabilité magnétique des milieux linéaires, homogènes et isotropes.

Permittivité diélectrique d'un milieu peu dense dans le modèle de l'électron élastiquement lié.

Propagation d'une onde plane proportionnelle à

$\exp(j\omega t - kx)$  avec  $\omega$  réel et  $k$  à priori complexe dans un diélectrique linéaire homogène, isotrope, non magnétique : dispersion, absorption, indice complexe.

Relation entre les composantes du champ électromagnétique de part et d'autre d'une interface séparant deux milieux diélectriques linéaires, homogènes et isotropes.

Réflexion et réfraction d'une onde plane progressive

harmonique polarisée rectilignement à l'interface entre deux diélectriques linéaires homogènes et isotropes, dans le cas de l'incidence normale :

coefficients de réflexion et transmission pour

*de champ est exclu.*

*L'objectif de cette rubrique est uniquement d'introduire de manière modeste et concrète*

*l'électromagnétisme des milieux matériels qui servira exclusivement de support à l'étude de la propagation d'ondes dans un diélectrique linéaire homogène et isotrope.*

*On affirmera les expressions des densités de*

*charges de polarisation et des courants d'aimantation en les illustrant sur des exemples simples.*

*On étudiera en travaux pratiques le cycle d'hystérésis d'un corps ferromagnétique.*

*Toute étude microscopique du ferromagnétisme est hors programme.*

*Le champ local est hors-programme : on ne soulèvera donc aucune difficulté à son sujet.*

*Pour le calcul des flux énergétiques, on affirmera l'expression du vecteur de Poynting dans un milieu diélectrique.*

*En dehors de cette utilisation, les notions d'énergie dans un milieu matériel sont hors programme.*

l'amplitude et le flux énergétique.

## VII- REFLEXION SUR UN PLAN CONDUCTEUR

### PARFAIT PROPAGATION GUIDEE :

Réflexion à l'incidence normale d'une onde progressive, monochromatique et plane sur un conducteur parfait.

Propagation guidée entre deux plans conducteurs parfaits parallèles. Vitesse de groupe. Application

guide d'onde infini à section rectangulaire.

*En se limitant au mode électrique transverse*

*Fondamental (TE<sub>10</sub> si le grand côté est Ox), on fait ressortir l'existence d'une fréquence de coupure et du phénomène de dispersion dus au guidage.*

*La propagation guidée par un câble coaxial est hors programme.*

### OPTIQUE ONDULATOIRE :

*On signalera le caractère très général des phénomènes d'interférences et de diffraction étudiés en optique en insistant notamment sur le rôle des ordres de grandeur des longueurs d'ondes rencontrées dans les différents domaines de la physique ondulatoire.*

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

Surface d'onde, onde plane, onde sphérique quasi-plane.

*On définira les surfaces d'ondes relatives à une source ponctuelle S par l'ensemble des points M tels que*

*$[SM] = \text{constante}$ .*

*On admettra le théorème de Malus, outil nécessaire à l'étude de l'optique ondulatoire.*

*Il ne s'agit en aucun cas de réintroduire subrepticement, par le biais du théorème de Malus un exposé théorique d'optique géométrique.*

*Le programme d'optique géométrique reste celui défini dans la partie expérimentale du*



## **I-INTERFERENCES.**

Interférences non localisées à deux ondes totalement cohérentes.

Interférences à deux ondes localisées : Franges d'égales inclinaisons et d'égales épaisseurs.

Effet de l'élargissement de la fente source sur la visibilité des franges ( facteur de visibilité ).

Figure d'interférences, champ d'interférences, franges, ordre d'interférences contraste de la figure d'interférences.

## **II-DIFFRACTION A L'INFINI .**

Principe de Huygens-Fresnel .

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

*cours de première année.*

*Les sujets des épreuves devront indiquer la définition retenue pour étudier la grandeur caractérisant le phénomène observé*

*(Intensité, éclairement). Tout développement photométrique est évidemment exclus .*

*La comparaison des prévisions théoriques et des réalités expérimentales conduira 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.*

*L'étude d'un lame coin d'air ou d'une lame d'air à faces parallèles sera introduite sur l'exemple du dispositif interférométrique de Michelson .*

*ce dispositif interférentiel est étudié de près dans les séances de TP .*

*On étudiera l'influence de l'élargissement géométrique de la fente source et ( ou) celle de deux longueurs d'ondes légèrement différentes , et (ou) celle due au caractère quasi-monochromatique de l'onde .*

*Les interférences en lumière blanche seront observées en T.P.*

*Le principe de Huygens-Fresnel sera simplement énoncé .*

*On donne l'allure de la figure de diffraction à l'infini par une pupille circulaire (la démonstration de la formule correspondante est hors programme ).*

*L'étude de la diffraction à l'infini par un réseau plan se limite à l'établissement de*

pupille rectangulaire, cas de la pupille fente .

Limite de l'optique géométrique .

On soulignera sans démonstration aucune , le rôle de la diffraction à l'infini dans la formation des images .

Réseaux plans. Pouvoir de résolution théorique.

### **THERMODYNAMIQUE.**

Condition d'évolution et d'équilibre d'un système thermodynamique fermé .

Evolution monotherme travail maximum récupérable . Potentiel monobare et monotherme travail maximum récupérable .

Potentiel thermodynamique .

$$G^* = U - T_0 S + P_0 V .$$

Cas particulier de l'énergie libre et de l'enthalpie libre .

Coefficients calorimétriques  $C_p$ ,  $C_v$ ,  $l$  et  $h$  .

Relations de Clapeyron ; relation de Mayer .

Etudes d'un corps pur tous deux phases contions d'équilibre condition d'évolution, formule de clapeyron

*l'expression général de l'intensité diffractée à l'infini dans ne direction donnée , sans intervention de la forme des sillons .*

*Toute étude des mélanges (potentiel chimique, grandeur molaires partielles ) est hors du programme de physique et relève exclusivement du programme de chimie .*

### **ETUDE AU LABORATOIRE :**

*Les étudiants ne sont pas censés connaître des méthodes et des appareils autres que ceux figurants dans la liste ci-dessous . En ce qui concerne ces appareils, on ne peut exiger qu'ils ne connaissent plus que leur principe sommaire de fonctionnement .*

*Si les étudiants sont appelés à utiliser d'autres appareils , toutes les indications nécessaire doivent leur être fournies .*

*Par l'importance donnée aux travaux pratiques, on souhaite, en particulier, continuer à améliorer dans l'esprit des étudiants la relation qu'il on à faire entre le cours et les TP et leur donner le goût des sciences expérimentales, même s'il n'en découvrent , à ce stade, que quelques unes des méthodes .*

## **THEMES OBLIGATOIRES**

### **PRODUCTION ET ANALYSTE DE LUMIERE POLARISEE .**

Utilisation de Polaroids , lames demi-onde et quart d'onde pour la fabrication de lumière polarisée .

Analyse de lumière polarisée : reconnaissance de la polarisation , des axes et de l'excentricité éventuels , du caractère droit ou gauche .

### **ETUDE DU FERROMAGNETISME ET DES SES APPLICATIONS**

#### **CYCLE D'HYSTERESIS.**

Relevé du cycle d'hystérésis de la carcasse magnétique torique d'un transformateur :

champ coercitif, aimantation rémanente , aimantation à saturation , pertes par hystérésis .

#### **APPLICATION AU**

*On considérera que la lumière fabriquée est totalement polarisée.*

*Le formalisme des circuits magnétiques*

*( Réluctance ...) est hors-programme .*

*Partant des équations de Maxwell d'un milieu magnétique dans l'ARQS, on établira la loi de Faraday et le théorème d'Ampère. Pour la géométrie torique adoptée on fera l'approximation des champs unidimensionnels. On en déduira comment relever H et B à partir de mesures de tensions électriques . On pourra utiliser une interface et un logiciel pour accéder au cycle de M en fonction de B, à la susceptibilité en fonction de H et à l'aire du cycle dont on donnera l'interprétation énergétique . On dégagera la notion de milieu doux et de milieu dur en liaison avec les applications du ferromagnétisme.*

*On signalera l'intérêt des ferrites pour la réalisation de transformateur haute-fréquence.*

**TRANSFORMATEUR.**

Transformateur de tensions.

Transformateur de courants.

Adaptateur d'impédances.

**INTERFEROMETRIE A DEUX ONDES**

On utilisera des dispositifs disponibles au laboratoire .

**SPECTROSCOPIE A RESEAU.**

Présentation du spectroscope .

Réglage et utilisation du goniomètre .

*On mettra en équation le transformateur en régime sinusoïdal forcé dans le modèle torique unidimensionnel.*

**THEMES AU LIBRE CHOIX DU PROFESSEUR :**

**ETUDE D'ONDES MECANIQUES OU SONORES**

*On pourra par exemple s'intéresser à l'émission , à la propagation et à la réception des ondes sonores . On pourra comparer différentes méthodes de mesures de la célérité du son .*

**ETUDE DES ONDES ELECTROMAGNETIQUES .**

*On pourra suivant les moyens disponibles étudier la propagation d'ondes électromagnétiques dans un câble coaxial, dans une ligne à retard, dans un guide d'onde , faire des expériences d'interférences ou de diffraction des ondes hyperfréquences .*

**ELECTRONIQUE.**

On approfondira le thème " traitement du signal " abordé en première année :

Réalisation et caractérisation d'opérateurs linéaires tels que : comparateurs , filtre de premier ou de deuxième ordre , passe- bas, passe-haut , passe-bande, déviateur , intégrateur .

**MESURES D'ECLAIREMENTS.**

*Ce sera l'occasion d'utiliser différents capteurs d'éclairément par exemple pour vérifier la loi de Malus, étudier une figure de diffraction etc.....*

*Le but n'est pas d'étudier la capteur en tant que tel .*

**EMPLOI DES MATERIELS ET LOGICIELS SUIVANTS.**

*L'utilisation d'un ordinateur , EN TANT QU'ASSISTANT , soit pour l'acquisition et le traitement de données expérimentales, soit pour comparer les résultats des mesures aux données théoriques évitera des calculs longs et répétitifs et favoriser le tracé des courbes ainsi que la présentation graphique des résultats . On pourra ainsi multiplier les expériences en faisant varier les conditions d'expérimentation montrant en particulier l'influences des paramètres pertinents sur le phénomène étudié et renforcer ainsi le lien entre la théorie et les travaux expérimentaux par référence à des modèles de divers niveaux d'élaboration .*

*L'utilisation d'une instrumentation actuelle remplace l'ensemble de l'instrumentation ancienne aujourd'hui désuète :*

*Un oscilloscope à mémoire numérique calibré en tension , fréquence , phase, mesurant : temps de montée , période etc. .... , permettant les conclusions de valeur moyenne ou efficace remplace la table traçante , le fréquencemètre .*

*Un multimètre numérique à grande impédance d'entrée effectuant les mesures en valeur moyenne ou efficace remplace les ampèremètres, voltmètres magnétoélectriques ou ferromagnétiques .*

*Carte d'acquisition et logiciels de traitement informatique de données expérimentales .*

*Logiciel étudiant les filtres .*

*Filtres du premier et du deuxième ordre .*

*Cartes d'acquisition et logiciels de transformée de Fourier .*

*Spectroscope à réseaux .*

*Source micro-onde, guide d'onde .*

*Polariseurs et analyseurs .*

*Lames quart d'onde et demi-onde .*

*Réseau par transmission .*

*Transformateurs .*

*Sonde de Hall .*

*Alimentation stabilisée .*

*Transformateur d'isolement .*

*Photodiodes, phototransistors, photorésistances, fibres optiques .*

*Diode Gunn avec cornet émetteur .*

*Cornet récepteur avec antenne et diode HF .*

*Fentes, bi-fentes , prisme, lentilles en paraffine .*

*Voltmètre électronique .*

*Tube de Kundt .*

*Haut-parleur .*

*Émetteur et récepteur ultrasonore .*

*Amplificateur .*

*Enregistrements vidéo d'écoulements de fluides .*

