

# I - APPROCHE THÉORIQUE

## A) Mécanique 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 la DÉFINITION 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 systèmes ouverts simples généralisant la détente de Joule - Thomson.

Aucune question ne pourra porter sur de tels bilans pour des systèmes autres qu'UNIDIMENSIONNELS.

### 1. Étude phénoménologique des fluides.

Définition du fluide : modèle continu.

Pression. Notion élémentaire de viscosité.

Distinction entre écoulement laminaire et écoulement turbulent : nombre de Reynolds.

Définition d'un écoulement parfait.

### 2. Cinématique des fluides.

Description de Lagrange, description d'Euler : champ des vitesses.

Dérivée partielle d'un champ.

Densités de courant, débits.

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

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

On interprétera la viscosité comme un phénomène de transport de la quantité de mouvement dans l'unique situation simplifiée d'un champ de vitesses  $\mathbf{v} = v_x(y) \mathbf{u}_x$  (on ne manquera pas de faire référence au programme de première année à propos de la diffusion). Partant de l'expression de la force surfacique, on établira l'expression de la force volumique de viscosité dans un fluide newtonien en faisant un bilan de quantité de mouvement. La deuxième viscosité (de compressibilité) n'est pas au programme.

On s'intéressera à l'écoulement engendré par le mouvement rectiligne uniforme d'une sphère. En exploitant d'une part, des graphes expérimentaux donnant la traînée en fonction du nombre de Reynolds, et d'autre part des cartes d'écoulements, des photos ou des films de cet écoulement ; on fera apparaître les modèles limites de l'écoulement laminaire et de l'écoulement turbulent, ainsi que les expressions correspondantes de la traînée.

Les écoulements turbulents en tant que tels ne sont pas au programme. Aucune question ne pourra porter sur les écoulements turbulents.

Un écoulement parfait est un écoulement où tous les phénomènes diffusifs, notamment la viscosité, sont négligeables : les particules de fluides évoluent de manière adiabatique et réversible. On introduira qualitativement la notion de couche limite afin de préciser le domaine de validité de l'approximation de l'écoulement parfait.

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 de masse volumique et au champ des vitesses.

La distribution locale des vitesses 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  $\text{div } \mathbf{V}$  et de  $\text{rot } \mathbf{V}$ . On signalera que le vocabulaire de l'analyse vectorielle est issu de l'hydrodynamique : flux, circulation, etc...

## PROGRAMME

Classification des écoulements laminaires : écoulements stationnaires, écoulements incompressibles, écoulements irrotationnels (potentiel des vitesses).

### 3. Bilans dynamiques et thermodynamiques.

Exemples de bilans de quantité de mouvement, de moment cinétique, d'énergie cinétique, d'énergie interne et d'entropie pour un écoulement unidimensionnel en dynamique des fluides.

### 4. Équations dynamiques locales pour les écoulements parfaits.

Équations d'Euler et de Bernoulli.

Cas particulier des écoulements incompressibles et homogènes.

## B) Électromagnétisme.

L'enseignement d'électromagnétisme est centré d'une part, sur l'étude des phénomènes d'induction électromagnétique et de leurs applications, et d'autre part sur l'étude de la propagation des ondes électromagnétiques, intégrée dans la partie PHYSIQUE DES ONDES.

Lorsque l'utilisation des forces de Laplace s'avérera nécessaire on s'appuiera sur leurs expressions établies dans le cours de première année.

On se limitera à des modélisations simples pour lesquelles les calculs de forces de Laplace ne requièrent aucune technicité. Toute étude générale du travail des forces de Laplace (flux coupé, théorème de Maxwell) est hors programme. Tout calcul de forces de Laplace à partir de l'énergie magnétique est hors programme. Dans le cas particulier du dipôle magnétique, on affirmera les expressions de la résultante et du moment des forces de Laplace. La connaissance des formules correspondantes n'est pas exigible.

Le formalisme quadridimensionnel et les transformations relativistes sont hors programme. L'électrostatique des conducteurs est hors programme. Le programme d'électrostatique et de magnétostatique reste celui de première année : aucune technicité supplémentaire ne sera notamment recherchée dans les calculs de champs magnétiques dans l'ARQS.

### 1. Équations locales de l'électromagnétisme.

Densité volumique de courant.

Équation locale de conservation de la charge ; cas de l'ARQS.

Équations de Maxwell dans le vide ; cas de l'ARQS.

Existence des potentiels ( $\mathbf{A}$ ,  $V$ ). Jauge de Lorentz ; cas de l'ARQS.

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

## COMMENTAIRES

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 est caractérisé par  $D\rho/Dt = 0$  (ou  $\text{div } \mathbf{V} = 0$ ).

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 se ramènera à un système fermé.

L'enseignement de cette partie a pour but l'acquisition d'un savoir-faire. Toute formulation générale, le théorème d'Euler, le théorème de Reynolds et la formulation locale de ces bilans, sont exclus du programme.

**2. Induction électromagnétique dans un circuit fixe.**

Loi de Faraday ; définitions des coefficients d'inductance propre  $L$  et mutuelle  $M$  de deux circuits filiformes.

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

**3. Induction électromagnétique dans un circuit mobile dans un champ  $B$  stationnaire.**

Loi de Faraday.

Circulation du terme  $\mathbf{v}_e \wedge \mathbf{B}$

**4. Applications.**

Effet de peau dans un conducteur ohmique.

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

**C) Physique des ondes.**

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

**1. Oscillateurs harmoniques couplés.**

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

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

**2. Phénomènes de propagation unidimensionnels non dispersifs.**

Vibrations transversales d'une corde : équation d'onde de d'Alembert.

Formation de la solution générale par superposition de deux ondes planes progressives ou d'ondes planes harmoniques ou d'ondes stationnaires.

Application à l'étude des petits mouvements libres d'une corde vibrante fixée à ses deux extrémités : modes propres.

Corde de Melde : ondes stationnaires, résonances.

Tout calcul de coefficients  $L$  et  $M$  est hors programme : ces coefficients seront fournis. Le théorème de Neumann ( $M_{12} = M_{21}$ ) sera affirmé.

L'étude du transformateur sera faite en TP-Cours.

La notion de "champ électromoteur"  $\mathbf{E}_m = -\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}$  n'est pas exigible.

On vérifiera sur l'exemple du solénoïde long la cohérence de l'expression de l'énergie magnétique avec celle qui a été obtenue à partir des équations de Maxwell. L'expression de l'énergie magnétique en fonction de  $\mathbf{j}$  et  $\mathbf{A}$  est hors programme.

Le terme  $\mathbf{v}_e \wedge \mathbf{B}$  pourra être introduit en utilisant les transformations non relativistes des forces et des vitesses, sans que cette démarche soit exigible. On vérifiera sur un exemple simple la validité de la loi de Faraday dont on affirmera la généralité. On évitera les situations exceptionnelles où la loi de Faraday est prise en défaut. La notion de flux coupé est hors programme.

On traitera le seul cas d'un demi espace limité par un plan : on soulignera la validité de ce modèle lorsque l'épaisseur de peau  $\delta$  est très faible devant le rayon de courbure.

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 problèmes de couplage électromécanique.

La méthode matricielle est hors programme : on se limitera à des situations où les symétries du problème permettent une résolution simplifiée. On ne prendra pas en compte les frottements dans les calculs et on se bornera à décrire qualitativement l'influence de frottements fluides faibles. On montrera que l'étude 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.

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

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

**3. Ondes sonores dans les fluides.**

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

Ondes planes progressives harmoniques.

Aspects énergétiques : densité volumique d'énergie sonore, vecteur densité de courant énergétique.

Impédance acoustique pour une onde plane progressive harmonique.

Réflexion, transmission d'une onde sonore plane progressive sur une interface plane, sous incidence normale.

**4. Ondes électromagnétiques dans le vide.**

Équations de propagation du champ électromagnétique et des potentiels.

Structure des ondes planes progressives harmoniques ; états de polarisation.

Rayonnement d'un dipôle oscillant : structure d'onde quasi plane, puissance rayonnée ; notions élémentaires sur la diffusion.

**5. Phénomènes linéaires de propagation unidimensionnels dispersifs.**

Relation de dispersion : dispersion, absorption.

Vitesse de phase.

Paquet d'ondes : vitesse de groupe.

**6. Ondes électromagnétiques dans un milieu diélectrique linéaire homogène et isotrope.**

Vecteurs polarisation **P** et aimantation **M** ; notions élémentaires sur les charges de polarisation, les courants de polarisation et d'aimantation ; vecteurs **D** et **H**.

Équations de Maxwell dans un milieu matériel.

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

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 eulérienne en liaison avec le cours de mécanique des fluides.

On affirmera les expressions correspondantes.

Aucune démonstration n'est exigible.

On fera le lien avec la notion d'intensité sonore vue dans les classes antérieures.

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

À 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 évidence, leur modification seront étudiées exclusivement en TP-Cours.

La connaissance et la démonstration des résultats n'est pas exigible mais la succession des approximations qui y conduisent doit être connue des étudiants. En particulier, les expressions des potentiels retardés sont admises. On fera apparaître les différentes échelles de longueur pertinentes (extension spatiale du dipôle, longueur d'onde  $\lambda$  et distance au point d'observation) et le rôle de leur hiérarchie dans l'obtention des expressions des champs **E** et **B**. On se bornera à obtenir les termes dominants en  $1/r$  dans la zone de rayonnement définie par  $r$  grand devant  $\lambda$ .

On adoptera le modèle de l'électron élastiquement lié excité par une onde plane progressive harmonique et on calculera la puissance rayonnée dans la limite de 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.

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

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.

L'électrostatique des diélectriques et la magnéto-statique des milieux aimantés sont hors programme ; en particulier tout calcul de champ est exclu.

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.

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 l'amplitude et le flux énergétique.

## D) 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.

### 1. Modèle scalaire de la lumière.

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

Surfaces d'onde, onde plane, onde sphérique quasi plane.

Éclairement.

### 2. Interférences.

Interférences non localisées à deux ondes totalement cohérentes.

Exemple de diviseur d'ondes : l'interféromètre de Michelson éclairé par une source ponctuelle.

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

Notion élémentaire de cohérence temporelle limitée à l'étude de l'interféromètre de Michelson éclairé par une source ponctuelle, doublet spectral ou à profil spectral rectangulaire.

### 3. Diffraction à l'infini.

Principe de Huygens-Fresnel.

Diffraction à l'infini d'une onde plane par une pupille rectangulaire, cas de la pupille fente. Limite de l'optique géométrique.

Diffraction à l'infini par les fentes d'Young éclairées par une source ponctuelle à l'infini, par une source fente parallèle ; notion de cohérence spatiale.

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.

On définira les surfaces d'onde 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 cours de première année.

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

On montrera l'équivalence du Michelson à une lame coin d'air ou à une lame d'air à faces parallèles et on fera apparaître les sources secondaires.

L'essentiel étant de maîtriser la physique du phénomène d'interférences, les épreuves banniront tous les dispositifs utilisant des lentilles et/ou des prismes. (bientilles de Billet, de Meslin, biprismes de Fresnel etc ...).

Il s'agit simplement de mettre en évidence de la façon la plus élémentaire possible l'influence de la largeur spectrale d'une source sur le contraste du système de franges d'interférences.

La théorie générale de la cohérence temporelle (définition du degré de cohérence partielle etc ...) est hors programme. Les interférences en lumière blanche seront vues uniquement en TP.

Le principe de Huygens-Fresnel sera simplement énoncé.

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

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

Les réseaux seront abordés exclusivement en TP-Cours.

**E) Diffusion thermique.**

Loi de Fourier.

Bilans d'énergie. Équation de la diffusion thermique.

Régime forcé continu : conductance thermique.

Régime sinusoïdal forcé : onde plane de diffusion thermique.

**F) Thermodynamique.****1. Potentiels thermodynamiques.**

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

a) Évolution monotherme : travail maximum récupérable. Potentiel thermodynamique :  $F^* = U - T_0S$ .

b) Évolution monobare et monotherme : travail maximum récupérable.

Potentiel thermodynamique :  $G^* = U - T_0S + P_0V$ .

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

Application au corps pur sous deux phases : condition d'équilibre, condition d'évolution ; formule de Clapeyron.

**2. Fonctions caractéristiques :  $F(V, T)$  et  $G(P, T)$** 

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

Relations de Clapeyron ; relation de Mayer.

**3. Approche thermodynamique du paramagnétisme et du ferromagnétisme.**

Équation d'état d'un milieu paramagnétique : modèle des spins à deux niveaux sans interaction.

Existence du ferromagnétisme : spins à deux niveaux en interaction dans le modèle du champ moyen ; température critique.

**G) Mécanique du solide.**

Pour ce qui concerne la cinématique du solide et la schématisation des efforts sur un solide, on s'appuiera sur l'enseignement dispensé en STI. Pour ce qui concerne les théorèmes généraux (théorème de la résultante dynamique, théorèmes du moment cinétique en un point et par rapport à un axe, théorème de l'énergie cinétique) on utilisera les résultats du cours de dynamique des points matériels de première année, en insistant sur la nullité de la puissance des efforts intérieurs d'un solide.

Toute question de cours sur la mécanique du solide est exclue.

L'étude microscopique de la loi de Fourier est hors programme.

On soulignera les analogies entre la loi de Fourier et celles d'Ohm et de Fick, étudiées en première année.

L'étude de la convection thermique est hors programme. Toutefois, on pourra, si nécessaire, faire intervenir des termes convectifs dans les applications étudiées, en affirmant leur expression. Aucune connaissance sur ce sujet n'est donc exigible.

Aucune méthode de résolution de l'équation de la diffusion ne pourra être supposée connue.

On fera remarquer que les calculs sont identiques à ceux des conductances électriques.

On fera le lien avec l'étude générale des phénomènes de propagation dispersifs.

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

Afin d'éviter toute confusion avec l'enthalpie massique, on posera :

$$k = T \left( \frac{\partial S}{\partial P} \right)_T$$

Toute étude électromagnétique des milieux paramagnétiques et ferromagnétiques est exclue : on se bornera à introduire sommairement la notion de vecteur aimantation en liaison avec le modèle du dipôle magnétique ; on affirmera l'expression de l'énergie potentielle d'un dipôle dans un champ magnétique.

On admettra la généralité du facteur de Boltzmann, introduit en première année sur l'exemple de l'atmosphère isotherme.

En dehors de cette situation, le facteur de Boltzmann sera utilisé exclusivement dans des cas discrets.

On se contentera d'une discussion graphique faisant apparaître la température critique. Toute étude microscopique (domaines de Weiss) du ferromagnétisme est exclue.

Cette étude sera complétée par une approche expérimentale du ferromagnétisme en TP-Cours.

**1. Cinématique.**

Cinématique du solide : champ des vitesses et vecteur rotation instantanée.

Cinématique du contact de deux solides : vitesse de glissement, condition de roulement sans glissement.

**2. Schématisation des efforts sur un solide.**

Actions de contact entre deux solides : loi phénoménologique de Coulomb restreinte au frottement de glissement. Puissance des actions de contact.

Cas particulier des liaisons glissière et pivot parfaites.

**3. Exemple d'étude dynamique.**

Mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe dont la direction reste fixe dans un référentiel galiléen.

Tous les résultats de cinématique du solide seront affirmés et utilisés, sans justification.

La statique des solides est hors programme.

Le calcul des moments d'inertie est hors programme.

Le moment d'inertie par rapport à l'axe de rotation sera fourni.

Toute étude de l'équilibrage statique ou dynamique des solides en rotation est exclue du programme.

On habituera les étudiants à exploiter le théorème du moment cinétique barycentrique pour se ramener au cas du solide en rotation autour d'un axe fixe étudié en première année.

En revanche on bannira toute situation nécessitant l'utilisation explicite des forces d'inertie.

**II- APPROCHE EXPÉRIMENTALE**

Cette partie est traitée en TP-Cours et en TP. La rédaction des rubriques "TP-Cours" est volontairement détaillée, parce qu'elle correspond à un ensemble de compétences exigibles. Celle des TP est sommaire : elle relève de l'initiative pédagogique du professeur.

**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 de projection.

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.

En élargissant progressivement la source à l'aide d'un diaphragme on mettra en évidence la diminution du contraste et la localisation des franges d'interférences.

La finalité est de comprendre pourquoi, expérimentalement, on utilise un éclairage convergent ou plutôt quasi parallèle, pourquoi, expérimentalement, on fait l'image des miroirs ou une projection dans le plan focal d'un objectif de sortie.

À cette occasion, on montrera que 1<sup>er</sup> ordre d'utilisation des différentes sources (laser éventuellement, puis lampe spectrale, enfin lumière blanche) est lié à la cohérence temporelle des sources lumineuses.

**2. TP-cours.****Spectroscopie à réseau.****Éléments théoriques.**

Formule des réseaux par transmission : images de diffraction.

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

## **PROGRAMME**

Minimum de déviation dans un ordre donné : intérêt expérimental.  
Dispersion par le réseau dans un ordre donné : spectre d'ordre  $p$ , mélange des ordres.

### **Présentation du spectroscopie.**

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 et utilisation du goniomètre.**

Visualisation de spectres divers : raies, bandes, continuum.  
Lampe étalon, courbe d'étalonnage, mesure de longueurs d'onde.  
Analyse d'un blanc d'ordre supérieur : spectre cannelé.  
Résolution des composantes d'un doublet spectral.

## **3. TP-cours.**

### **Polarisation de la lumière.**

#### **Éléments du modèle vectoriel de la lumière.**

Vibration vectorielle propagée.  
Caractère transversal de la vibration vectorielle.  
Définition des polarisations rectiligne, circulaire, elliptique.  
Lumière naturelle.  
Interprétation élémentaire des propriétés des lames quart d'ondes et demi-ondes : existence des axes rapide et lent, indices  $n_x$  et  $n_y$ .

### **Production et analyse de lumière polarisée.**

Utilisation de polaroïds, lames demi-ondes 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.

## **4. TP-cours.**

### **Étude du ferromagnétisme et de ses applications.**

#### **Cycle d'hystérésis.**

- relevé du cycle d'hystérésis de la carcasse magnétique torique d'un transformateur démontable : champ coercitif, aimantation rémanente, aimantation à saturation, pertes par hystérésis.

## **COMMENTAIRES**

Les expressions de l'intensité diffractée et du pouvoir de résolution sont hors programme.

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

On mettra en évidence la polarisation par réflexion et par diffusion.

On négligera, à ce stade de la modélisation, les réflexions sur les faces de la lame et l'absorption interne à la lame.

On verra leur rôle expérimentalement.

On insistera sur la dénomination demi-ondes ou quart d'onde pour telle ou telle longueur d'onde.

On insistera sur l'intérêt de la décomposition d'une vibration quelconque en deux vibrations rectilignes, orthogonales, adaptées.

On considérera que la lumière fabriquée est totalement polarisée.

Le formalisme des circuits magnétiques (réductance...) 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 transformateurs haute fréquence.



**Application au transformateur.**

Transformateur de tensions.  
Transformateur de courants.  
Adaptateur d'impédances.

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

**5. TP.**

Les thèmes de TP présentés ne sont que des propositions, la liberté de choix du professeur restant entière : ils ne correspondent pas à des connaissances exigibles, mais exclusivement à l'acquisition d'une pratique expérimentale.

**a) Étude d'ondes mécaniques 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. On pourra illustrer l'effet Doppler, bien que sa théorie soit hors programme.

**b) Étude des ondes électromagnétiques.**

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

**c) Électronique.**

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

**d) Interféromètre de Michelson.**

Il s'agit d'accéder à une utilisation autonome de l'interféromètre.

**e) Mesures d'éclairements.**

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

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

**f) Conduction thermique.**

**g) Mécanique des fluides.**