

L'esprit du programme de seconde année de la filière P.S.I. est celui du programme de première année de la filière P.C.S.I. (promotion résolue de l'approche expérimentale, priorité du raisonnement sur la technicité mathématique).

Les chapitres : A (Mécanique des fluides.), B (Électromagnétisme.), C (Physique des ondes.), D (Optique ondulatoire.), E (Diffusion thermique.), sont communs avec le programme de seconde année de la filière P.C.

Les chapitres : F (Conversion de puissance.) et G (Électronique des signaux et des systèmes.) sont spécifiques à la filière P.S.I.. Ces enseignements assurent la liaison avec ceux de S.T.I. et permettent une ouverture vers l'électronique industrielle.

Dans la filière P.S.I., l'enseignement de mécanique du solide relève des S.T.I et ne pourra donc être évalué que dans le cadre des épreuves de S.T.I.

Les directives générales du programme de première année de la filière P.C.S.I. sont applicables en deuxième année P.S.I.

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 particulière d'un champ.

Densités de courant, débits.

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

Classification des écoulements laminaires : écoulements stationnaires, écoulements incompressibles, écoulements

Programme PSI

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...

irrotationnels (potentiel des vitesses).

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

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 magnéto-statique 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.

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.

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

Les conditions de validité de l'ARQS seront précisées en "Physique des ondes".

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.

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 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 \mathbf{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).

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

La loi de Biot et Savart pour \mathbf{A} est hors programme ; on se limitera à des situations où \mathbf{A} est calculable directement à partir de \mathbf{B} . L'expression du potentiel vecteur \mathbf{A} créé par un dipôle magnétique est hors programme.

On introduira la jauge de Lorentz comme unique exemple de jauge sans se préoccuper de l'étude générale des transformations de jauge.

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

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 cette 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 δ 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 fém 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.

PROGRAMME

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.

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.

COMMENTAIRES

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.

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 λ et distance au point d'observation) et le rôle de leur hiérarchie dans l'obtention des expressions des champs \mathbf{E} et \mathbf{B} . On se bornera à obtenir les termes dominants en $1/r$ dans la zone de rayonnement définie par r grand devant λ .

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.

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.

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

Propagation d'une onde plane proportionnelle à $\exp(i(\omega t - kx))$ avec ω 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.

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 $\exp(i(\omega t - kx))$ avec ω 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 magnétostatique des milieux aimantés sont hors programme ; en particulier tout calcul de champ est exclu.

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.

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.

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) Conversion de puissance.

Cet enseignement est conçu comme un exemple d'approche synthétique de phénomènes d'électromagnétisme et d'électrocinétique s'appuyant sur la transmission de puissance. L'objectif est de faire comprendre les concepts physiques en oeuvre dans ces phénomènes. Il s'agit donc d'un enseignement général portant sur des modèles de connaissance ou d'action bien délimités dont toute spécification technique est exclue et strictement hors programme. En particulier les courants triphasés et la notion de puissance réactive ne sont pas au programme.

1. Conversion électromagnétique statique.

Couplage parfait de deux bobines à l'aide d'un circuit ferromagnétique torique fonctionnant linéairement et sans fuites : flux magnétique commun, circulation de l'excitation magnétique, inductances.

Application au modèle parfait du transformateur monophasé : rapports de transformations en tension et en intensité ; transfert d'impédance.

2. Conversion électromécanique.

Force de Lorentz exercée sur un porteur de charge dans un conducteur en mouvement dans un champ magnétique statique, force de Laplace et fém d'induction.

Bilan de puissance de la force de Lorentz sur un porteur : puissance mécanique de la force de Laplace, puissance électrique de la fém d'induction ; conversion électromécanique de la puissance.

Application à la machine à courant continu.

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.

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.

Le formalisme des circuits magnétiques (réductance, formule d'Hopkinson) n'est pas au programme.

La courbe d'aimantation et le cycle d'hystérésis seront vus uniquement en T.P. au cours de l'étude du transformateur.

Toute étude en triphasé ainsi que les calculs de pertes sont strictement hors programme.

La notion de flux coupé ainsi que le théorème de Maxwell ne sont pas au programme.

Sur le cas particulier d'un mouvement de translation (rails de Laplace) on fera l'analyse de l'incidence de la puissance nulle de la force de Lorentz sur la puissance mécanique de la force de Laplace et la puissance électrique de la fém d'induction.

La machine à courant continu sera décrite hors de toute connaissance technique comme un système réalisant un moment

proportionnel au courant ($C = \Phi_0 I$), une fém proportionnelle à la vitesse ($E = \Phi_0 \Omega$) et assurant la conversion électromécanique. Toute Réalisation de champs magnétiques tournants.
Interaction d'un moment magnétique permanent et d'un champ tournant ; réversibilité. Couple électromagnétique, fém.

3. Conversion électronique.

Ordre de grandeur des puissances mises en jeu. Nécessité de la commutation et d'éléments de réserve d'énergie : interrupteurs, inductances et capacités.

Interrupteurs idéaux. Fonctions de commutation : fonction diode à commutation spontanée à l'amorçage et au blocage, fonction transistor à commutation commandée à l'amorçage et au blocage.

Modélisation des générateurs et récepteurs par des sources de courant ou de tension.

Sources parfaites, puissance échangée.

Application au transfert de puissance entre un générateur de tension continue et un récepteur de courant continu par une cellule à deux interrupteurs.

G) Électronique des signaux et systèmes.

Cette partie a pour objectif, en révisant les connaissances et les savoir-faire sur les circuits électroniques acquis en première année en cours et en travaux pratiques, de les reprendre dans l'esprit du traitement du signal et de l'étude des systèmes. Tout calcul théorique, notamment de transformée (de Fourier, de Laplace ou autre), est exclu du programme.

1. Approfondissement de l'électronique des systèmes linéaires.

Réponse d'un système linéaire permanent à un signal sinusoïdal (réponse harmonique).

Fonction de transfert ou transmittance.

Représentation de Bode (diagrammes d'amplitude et de phase) ; tracés asymptotiques.

Réponse d'un système linéaire électronique à constantes localisées à un signal échelon ; équation différentielle du système.

Cas particuliers de la réponse libre.

considération technologique est hors programme.

On se limitera au cas d'un système diphasé (quadratures spatiales et temporelles).

On soulignera le rôle essentiel de la continuité de l'énergie et ses conséquences sur la continuité du flux magnétique et de la charge.

On ne considérera dans tout ce programme que des interrupteurs idéaux : courant nul dans l'interrupteur bloqué (ouvert), tension nulle aux bornes de l'interrupteur amorcé (fermé). L'étude des limites du modèle idéal et des pertes de puissance n'est pas au programme.

Les diodes et les transistors ne seront considérés que sous leur aspect fonctionnel de commutation. Toute considération technologique est hors programme.

La conversion entre sources non parfaites ainsi que la décomposition de Fourier de la puissance sont exclues du programme.

On signalera l'intérêt de condensateurs ou de bobines pour parfaire une source.

La connaissance des circuits de commande est hors programme. On illustrera l'intérêt de cette conversion pour assurer la variation de vitesse d'une machine à courant continu.

Un système est linéaire quand son opérateur de transfert est linéaire. On signalera que les signaux sinusoïdaux sont des fonctions isomorphes des systèmes linéaires et on en dégagera l'importance comme critère de linéarité.

On fera remarquer le caractère non physique de l'infinité dans le temps d'un signal sinusoïdal et on rappellera les conditions de sa réalisation pratique dans le régime forcé sinusoïdal vu en première année.

On utilisera la notation $H(p)$ pour la fonction de transfert en se limitant aux valeurs de p imaginaires pures.

Les relations de causalité sont hors programme.

On illustrera cette étude sur les exemples de signaux et de circuits linéaires vus en première année.

On soulignera l'intérêt de chacune des caractérisations d'un système électronique linéaire : fonction de transfert ; équation différentielle ou réponse libre.

Modèle linéaire idéal de l'amplificateur opérationnel comme passe-bas du premier ordre.

Présentation de grandes fonctions linéaires : amplification, intégration, dérivation, filtrage, passe tout déphaseur. Fonctions linéaires à plusieurs entrées : amplificateur différentiel, sommateur, soustracteur.

En conclusion de cette étude, on fera remarquer qu'un signal ou un système possèdent une représentation dans l'espace des temps et une représentation dans l'espace des fréquences.

2. Commande d'un système.

Structure d'un système asservi linéaire : capteur, comparateur, actionneur.

Transmittance d'un système électronique bouclé. Cas d'une chaîne directe à grand gain.

Régime propre et stabilité d'un système bouclé. Cas d'une chaîne directe du premier ordre et d'un retour réel : bande passante, temps caractéristique. Schéma fonctionnel de génération d'un signal quasi sinusoïdal.

Comparateur à hystérésis. Fonction mémoire. Schéma fonctionnel de génération d'un signal rectangulaire.

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.

2. TP-cours.

Spectroscopie à réseau.

Éléments théoriques.

Formule des réseaux par transmission : images de diffraction.

Minimum de déviation dans un ordre donné : intérêt expérimental.

Dispersion par le réseau dans un ordre donné : spectre d'ordre p ,

On montrera les conséquences de la bande passante des amplificateurs opérationnels sur les limitations linéaires des fonctions réalisées au moyen de ces composants.

Cette étude s'appuiera sur les montages à amplificateurs opérationnels vus en première année. Aucun montage particulier n'est exigible.

L'utilisation en travaux pratiques de moyens numériques d'analyse harmonique permettra des comparaisons immédiates entre fonction de transfert et représentation spectrale d'une réponse du système. Aucune justification théorique de ces observations n'est exigible.

On insistera sur les avantages de la rétroaction dans les systèmes électroniques : stabilité (moindre sensibilité aux variabilités, aux décalages et aux dérives des composants), création de fonctions de transfert nouvelles.

On signalera la généralité des notions introduites et leur utilisation dans d'autres domaines que la physique.

On pourra retrouver les montages linéaires ou en comparateur de l'amplificateur opérationnel vus en première année.

On se limitera au deuxième ordre au plus.

Cet exemple fournira l'occasion de préciser la relation entre les représentations d'un signal en temps et en fréquence.

On donnera un exemple simple de réalisation pour chaque type de générateur. Aucun montage particulier n'est exigible.

Le rôle des limitations non linéaires des amplificateurs opérationnels sera étudié en T.P.

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 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 devront le plus naturellement possible être issues de l'expérimentation. mélange des ordres.

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

Électronique des signaux et des systèmes : multiplication de signaux.

- a) Étude d'un composant multiplicateur analogique. Présentation de la fonction et du composant, limites et précaution d'emploi.
 Observation des signaux en entrée et en sortie dans les cas suivants :
- multiplication d'un signal continu et d'un signal sinusoïdal ;
 - de deux signaux sinusoïdaux identiques ;
 - de deux signaux sinusoïdaux de fréquences différentes.
- b) Application à la détection synchrone.

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.

Application au transformateur.

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

sont hors programme.

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

On s'attachera à mesurer et interpréter dans chaque cas la valeur moyenne, l'amplitude et la fréquence du signal de sortie. On envisagera l'effet d'un décalage en entrée et en sortie et l'intérêt de le compenser.

Dans le cas de deux fréquences très différentes, on effectuera l'analyse spectrale du signal de sortie et on signalera l'intérêt d'une telle opération dans la transmission des signaux sur des supports dispersifs. On complètera cette dernière observation par l'étude du cas d'un signal basse fréquence de forme non sinusoïdale.

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.

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. Éventuellement d'autres thèmes de TP pourront être choisis, par exemple, parmi les propositions de TP du programme PC.

a) Conversion de puissance.

À partir d'une source de tension constante (continue) et d'un hacheur à transistor, réalisation d'une variation de vitesse sur une machine à courant continu (alimentation en tension variable).

Analyse du fonctionnement du hacheur sur charge R L et de sa limitation de fréquence. Étude de l'ondulation. Obtention d'un fonctionnement en hacheur survolteur et analyse des caractéristiques principales de fonctionnement.

b) Asservissement de vitesse d'un moteur à courant continu.

Relevé de la caractéristique tension vitesse du moteur à vide.

Essai indiciel : détermination des caractéristiques dynamiques (constante de temps). Régulation de vitesse

Commande en chaîne bouclée : examen des nouvelles performances.

c) Détection synchrone.

À l'aide d'un convertisseur tension courant à amplificateur opérationnel, on appliquera un courant sinusoïdal, proportionnel à une tension sinusoïdale de référence, à un dipôle linéaire.

En mesurant la valeur moyenne du signal résultant de la multiplication de la tension aux bornes du dipôle par la tension de référence, on déterminera la partie réelle de l'impédance.

Mesure de la réactance à l'aide d'un signal en quadrature.

On interprétera la méthode précédente en terme de projection dans une représentation géométrique dans le plan complexe (figure de Fresnel).

d) Changement de fréquence.

Émission d'ondes ultrasonores en direction d'une cible mobile, observation du signal réfléchi. Effet Doppler :

mesure de la différence des fréquences entre les deux signaux ; difficulté et imprécision d'une mesure directe. Intérêt de la multiplication du signal reçu par le signal d'émission : changement de fréquence. Réalisation et exploitation d'un dispositif comportant multiplicateur, filtre et fréquencemètre.