



























## 5. Introduction au monde quantique

Cette partie est une introduction au monde quantique. Elle s'inscrit dans la continuité du programme de la classe de Terminale scientifique et de la classe de PCSI.

Dans une approche descriptive et qualitative, on aborde les concepts de la dualité onde-corpuscule, de la fonction d'onde et de son interprétation probabiliste et les conséquences de l'inégalité de Heisenberg spatiale dans des situations confinées. Les ondes stationnaires étudiées dans la partie (Physique des ondes) permettent d'illustrer le rôle des conditions aux limites dans l'apparition de modes propres et de préparer à la quantification de l'énergie en mécanique quantique.

Les objectifs généraux de cette partie sont :

- mettre en relation les effets quantiques avec les prédictions classiques ;
- mobiliser ses savoir-faire sur les ondes pour interpréter les phénomènes quantiques ;
- être en mesure de prévoir des effets quantiques grâce à des estimations numériques ;
- passer de la description corpusculaire à une description ondulatoire d'une particule.

Programme	Commentaire
Principes et limites de la mécanique classique.  Dualité onde-particule pour la lumière et la matière. Relations de Planck-Einstein et de Louis de Broglie.	On évalue des ordres de grandeurs typiques intervenant dans des phénomènes quantiques. Dans une réflexion qualitative et descriptive, on décrit l'exemple d'expérience mettant en évidence la nécessité de la notion de photon et celui d'expérience illustrant la notion d'ondes de matière.
Fonction d'onde $\psi$ . Interprétation probabiliste associée à la fonction d'onde : approche qualitative.	On interprète une expérience d'interférences (matière ou lumière) « particule par particule » en termes probabilistes.
Inégalité de Heisenberg spatiale $\Delta p \Delta x \geq \hbar$ .	A l'aide d'une analogie avec la diffraction des ondes lumineuses, on établit l'inégalité en ordre de grandeur : $\Delta p \Delta x \geq \hbar$ .
Énergie minimale de l'oscillateur harmonique quantique.	On établit le lien entre confinement spatial et énergie minimale (induit par l'inégalité de Heisenberg spatiale).
Quantification de l'énergie d'une particule libre confinée 1D.	On détermine les niveaux d'énergie par analogie avec les modes propres d'une corde vibrante. On montre le lien qualitatif entre confinement spatial et quantification.

## 6. Optique

On se restreint au domaine d'approximation où une description par des ondes scalaires est suffisante. Le théorème de Malus-Dupin, outil nécessaire à l'étude de l'optique ondulatoire, est admis.

On signale 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'onde rencontrées dans les différents domaines de la physique ondulatoire. On évite les démonstrations mathématiques compliquées.

L'interféromètre de Michelson est étudié exclusivement en TP-cours.

Toute étude générale de la cohérence est exclue.

Les objectifs généraux de cette partie sont :

- maîtriser la notion de phase d'une vibration harmonique et de sa variation au cours d'une propagation ;
- associer les caractéristiques géométriques d'un phénomène d'interférences (position et forme des franges, interférence) à celles du dispositif interférentiel et du milieu de propagation ;
- connaître certains ordres de grandeur propres aux phénomènes lumineux dans le domaine du visible (longueur d'onde, temps de cohérence, temps de réponse d'un récepteur) ; faire le lien avec les problèmes de cohérence ;
- maîtriser les outils de l'optique géométrique (rayon lumineux, loi du retour inverse, relations de conjugaison) et de l'optique ondulatoire (chemin optique, surface d'onde, théorème de Malus-Dupin) afin de conduire un calcul de différence de marche entre deux rayons lumineux dans des situations simples.

### 6.1 Interférences non localisées de deux ondes cohérentes

Modèle scalaire des ondes lumineuses.	On admet qu'une onde lumineuse
---------------------------------------	--------------------------------

<p>Chemin optique le long d'un rayon lumineux et retard de phase associé.</p> <p>Surfaces d'onde (ou équiphasés). Onde plane, onde sphérique ; effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss. Théorème de Malus-Dupin. Récepteurs. Eclairissement ou intensité lumineuse. Densité spectrale.</p>	<p>monochromatique peut être décrite par une onde scalaire progressive, composante du champ électrique, qui se propage le long du rayon lumineux.</p> <p>On définit les surfaces d'ondes relatives à une source ponctuelle S par l'ensemble des points M tels que (SM) = constante. Le théorème de Malus-Dupin est admis.</p> <p>On donne l'ordre de grandeur du temps de réponse de quelques récepteurs de lumière et on évoque leurs conséquences sur la détection des signaux lumineux.</p>
<p>Superposition de deux ondes lumineuses. Cohérence mutuelle.</p> <p>Formule de Fresnel : <math>I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi)</math>.</p> <p>Conditions d'interférences.</p>	<p>On compare les prévisions théoriques et les réalités expérimentales et on affirme une méthode opérationnelle de cohérence mutuelle mettant en œuvre les notions de trains d'ondes, de sources synchrones, de diviseur d'ondes et de longueur de cohérence. Cependant, l'étude générale de la cohérence (cohérence partielle, cohérence spatiale ...) est hors programme.</p>
<p>Diviseurs d'ondes. Champ d'interférence, surfaces d'égale intensité, frange d'interférence, différence de marche, ordre d'interférence, facteur de contraste (ou visibilité).</p> <p>Relation (admise) entre la durée des trains d'ondes et la largeur spectrale.</p>	<p>On donne l'ordre de grandeur du temps de cohérence de quelques radiations visibles.</p>
<p>Application : trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif : source à distance finie et observation à grande distance finie et à l'infinie.</p> <p>Perte de contraste par élargissement angulaire de la source.</p>	<p>On justifie que les franges ne sont pas localisées.</p> <p>On utilise le critère semi-quantitatif de brouillage des franges <math>\Delta p \geq \frac{1}{2}</math> (où <math> \Delta p </math> est évalué sur la moitié de l'étendue spectrale de la source) pour interpréter des observations expérimentales.</p> <p>L'étude de tout dispositif interférentiel autre que celui de Michelson étudié en TP-cours n'est pas exigible.</p>

## 6.2 Diffraction des ondes lumineuses

Programme	Commentaire
Présentation expérimentale de la diffraction. Principe de Huygens-Fresnel.	Le principe de Huygens-Fresnel est simplement énoncé.
Diffraction de Fraunhofer : diffraction à l'infini d'une onde plane par une ouverture plane.	Lors de sa mise en œuvre mathématique pour la diffraction à l'infini, on s'attache uniquement aux différences de phase entre les ondes secondaires, sans se préoccuper des facteurs d'amplitude.
Cas d'une ouverture rectangulaire, d'une fente allongée. Approximation de l'optique géométrique.	On souligne le rôle de la diffraction à l'infini dans la formation des images. On traite en travaux dirigés la diffraction à l'infini par les fentes d'Young éclairées par une source ponctuelle monochromatique.

## 6.3 Étude du réseau plan

Programme	Commentaire
Réseau plan par transmission.	Cette partie est étudiée en TP-cours.

## 7. Conversion de puissance

L'enseignement de cette partie fait appel à une approche synthétique de phénomènes d'électromagnétisme et d'électronique concernant la transmission de puissance. L'objectif est de faire comprendre les concepts physiques mis en œuvre dans ces phénomènes. Il s'agit donc d'un enseignement général portant sur des connaissances bien délimitées. 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.

Les objectifs généraux de cette partie sont :

- réaliser des bilans d'énergie ;
- appliquer l'électromagnétisme à des problématiques industrielles ;
- élaborer des modèles, analyser des limitations et des défauts ;
- associer divers éléments (sources, convertisseurs) afin de concevoir une chaîne énergétique complète.

## 7.1 Conversion électromagnétique statique

Programme	Commentaire
Circuit magnétique avec ou sans entrefer : canalisation des lignes de champs par le milieu magnétique. Orthogonalité des lignes de champ à l'interface dans un entrefer. Electroaimant.	On utilise un modèle linéaire pour le milieu magnétique. On établit l'expression du champ magnétique produit dans l'entrefer d'un électroaimant par application du théorème d'Ampère et la conservation du flux magnétique.
Inductance propre d'une bobine à noyau de fer doux modélisé linéairement.	On établit l'expression de l'inductance propre de la bobine à noyau et on vérifie l'expression de l'énergie magnétique $E_{mag} = \iiint \frac{B^2}{2\mu} d\tau$ .
Pertes d'une bobine réelle à noyau.	On indique les différents termes de pertes d'une bobine à noyau : les pertes fer par courants de Foucault et par hystérésis, les pertes cuivre.
Couplage parfait de deux bobines à l'aide d'un circuit ferromagnétique torique. Fonctionnement linéaire et sans fuites. Flux magnétique commun, courant magnétisant.	La notion de reluctance est hors programme. La courbe d'aimantation et le cycle d'hystérésis seront vus en TP-cours : <b>Ferromagnétisme et application.</b>
Application au modèle de transformateur parfait : rapports de transformations en tension et en intensité. Transfert d'impédance.	On décrit des solutions permettant de réduire les pertes fer. On explique le rôle du transformateur d'isolement.

## 7.2 Conversion électromécanique

Programme	Commentaire
<b>Contacteur électromagnétique en translation :</b> Énergie et force électromagnétique d'un enroulement enlaçant un circuit magnétique présentant un entrefer variable. Fonctionnement d'un contacteur électromagnétique.	La notion de coénergie est hors programme. On admet l'expression $F = \left( \frac{\partial E}{\partial x} \right)_i$ de la force électromagnétique calculée à partir de l'énergie magnétique. Pour expliquer son fonctionnement, on assimile le contacteur électromagnétique à un relai.
<b>Machine synchrone :</b> Structure d'un moteur synchrone diphasé et bipolaire. Champ magnétique dans l'entrefer.	On se place dans le cas d'une machine de perméabilité infinie à entrefer constant. On explique qualitativement que, dans l'entrefer, on peut obtenir un champ magnétique à dépendance angulaire sinusoïdale par association de plusieurs spires décalées.

<p>Champ glissant statorique. Champ glissant rotorique.</p> <p>Énergie et couple.</p> <p>Condition de synchronisme. stabilité du système. Principe de l'autopilotage.</p> <p>Modèle électrique de l'induit. Bilan énergétique.</p> <p>Réversibilité d'une machine synchrone.</p>	<p>On exprime l'énergie magnétique emmagasinée en fonction de la position angulaire du rotor.</p> <p>L'expression <math>\Gamma = \left( \frac{\partial E}{\partial \theta} \right)_i</math> du moment électromagnétique est admise.</p> <p>On décrit qualitativement le principe de l'autopilotage.</p> <p>Les expressions des coefficients d'inductance sont admises. En tenant compte uniquement des pertes cuivre, on justifie l'égalité entre la puissance électrique absorbée par les fcm et la puissance mécanique fournie.</p> <p>On cite quelques exemples d'application des machines synchrones.</p>
<p><b>Machine à courant continu :</b></p> <p>Structure d'un moteur à courant continu bipolaire à excitation séparée</p> <p>Collecteur.</p> <p>Couple <math>\Gamma = \Phi i</math> et fcm <math>e = \Phi \Omega</math>.</p> <p>Equations électrique et mécanique. Caractéristique <math>(\Omega, \Gamma)</math>.</p> <p>Réversibilité d'une machine à courant continu.</p>	<p>On fait l'analogie avec le moteur synchrone pour expliquer que le collecteur assure le synchronisme entre le champ statorique stationnaire et le champ rotorique quelle que soit la position angulaire du rotor.</p> <p>L'expression du couple <math>\Gamma = \Phi i</math> est admise.</p> <p>On analyse le démarrage d'un moteur entraînant une charge mécanique exerçant un moment de la forme <math>\Gamma_r = -f \Omega</math>.</p> <p>On donne quelques exemples d'application de machines à courant continu.</p>

### 7.3 Conversion électronique

Programme	Commentaire
<p>Transfert de puissance entre une source et une charge : rendement.</p> <p>Ordre de grandeur des puissances mises en jeu. Nécessité de la commutation et d'éléments de réserve d'énergie : interrupteurs, inductances et capacités.</p>	<p>On rappelle la continuité de l'énergie et ses conséquences sur la continuité du flux magnétique et de la charge électrique.</p>
<p>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.</p>	<p>On ne considère 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.</p> <p>Les diodes et les transistors ne seront considérés que sous leurs aspects fonctionnels de commutation. Toute considération technologique est hors programme.</p>
<p>Modélisation des générateurs et récepteurs par des sources de courant ou de tension. Sources parfaites, puissance échangée.</p>	<p>La conversion entre sources non parfaites ainsi que la décomposition de Fourier de la puissance sont exclues du programme. On signale l'intérêt de condensateurs ou de bobines pour parfaire une source.</p>
<p>Transfert de puissance entre un générateur et un récepteur : règle d'association.</p> <p>Application au transfert de puissance entre un générateur de tension continue et un récepteur de</p>	<p>La connaissance des circuits de commande est hors programme.</p> <p>On illustre l'intérêt de cette conversion pour assurer la variation de vitesse d'une machine à courant</p>

<p>courant continu par une cellule à deux interrupteurs. Redressement double alternance réalisé avec un pont de diodes.</p> <p>Onduleur.</p>	<p>continu.</p> <p>On décrit les différentes séquences de commutation des diodes pour un générateur de tension sinusoïdal alimentant une charge assimilable à une source continue de courant.</p> <p>On décrit la structure en pont à quatre interrupteurs et les séquences de commutation pour une fréquence de commutation fixe.</p>
--	--

## 8. Thermodynamique : diffusion thermique

Le cours de conduction thermique permet un réinvestissement du cours de thermodynamique de PCSI et contribue à asseoir les compétences correspondantes. L'étude de la conduction thermique contribue aussi à consolider la maîtrise d'outils mathématiques puissants (divergence, laplacien) dans un contexte concret.

On souligne les analogies et les différences entre les différents phénomènes de transport abordés : diffusion thermique (en deuxième année), diffusion de particules et conduction électrique (en première année).

Les objectifs généraux de cette partie sont :

- identifier la nature des transferts thermiques ;
- réaliser des bilans d'énergie sous forme globale et locale ;
- analyser et résoudre des équations aux dérivées partielles (analyse en ordre de grandeur, conditions initiales, conditions aux limites).

Programme	Commentaire
Les modes de transfert thermique d'énergie : conduction, convection et rayonnement.	
Vecteur densité de flux thermique $\mathbf{J}_Q$ .	
Équilibre thermodynamique local.	
Loi phénoménologique de Fourier relative à la conduction thermique, conductivité thermique.	<p>On souligne l'analogie entre les lois phénoménologiques d'Ohm et de Fourier. Toute modélisation microscopique de la loi de Fourier est hors programme.</p> <p>On donne des ordres de grandeur de la conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, verre, acier...</p>
<p>Bilan d'énergie thermique.</p> <p>Equation de la diffusion thermique. Linéarité de l'équation de diffusion. Relation de l'équation de diffusion avec l'irréversibilité temporelle du phénomène.</p> <p>Analyse dimensionnelle.</p>	<p>On établit, à l'aide du premier principe appliqué à un volume élémentaire l'équation de la diffusion thermique, avec ou sans terme source. On donne le terme source local et intégral correspondant à l'effet Joule.</p> <p>On se limite à des problèmes unidimensionnels en géométrie cartésienne, cylindrique ou sphérique.</p> <p>On admet et on utilise une généralisation en géométrie quelconque en utilisant les opérateurs divergence et laplacien et leurs expressions fournies. Aucune méthode de résolution de cette équation ne peut être supposée connue.</p> <p>On analyse l'équation de diffusion en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle.</p>
Conditions aux limites : continuité du flux thermique, continuité de la température pour un contact thermique parfait, loi de Newton. Coefficient de transfert thermique de surface $h$ .	Les transferts thermiques à l'interface entre un fluide et une paroi solide sont décrits par l'expression phénoménologique $\varphi = h(T_{\text{Paroi}} - T_{\text{Fluide}})$ , appelée loi de Newton.
Conduction thermique en régime stationnaire, conductance et résistance thermiques. Associations de résistances thermiques en série ou en parallèle.	On signale les analogies avec le calcul des conductances électriques et on énonce les conditions d'application de l'analogie. Seule la mémorisation de l'expression de la résistance thermique d'un barreau cylindrique calorifugé latéralement est exigible.
ARQS, analogie électrocinétique avec un circuit RC.	On met en évidence un temps caractéristique d'évolution de la température, on justifie l'ARQS et

	on établit l'analogie avec un circuit électrique RC.
Régime sinusoïdal forcé : onde plane de diffusion thermique. Relation de dispersion. Effet de peau thermique.	On fait le lien avec l'étude générale des phénomènes de propagation dispersif. On met en évidence le déphasage lié à la propagation et on établit une distance caractéristique d'atténuation.

### Approche expérimentale PSI

Par l'importance donnée aux travaux pratiques, on souhaite améliorer dans l'esprit des étudiants la relation qu'ils 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.

Pour que les étudiants puissent atteindre un bon niveau de connaissances et de savoir faire dans le domaine expérimental, il convient que les sujets de travaux pratiques proposés leur permettent d'acquérir une bonne maîtrise des appareils et des méthodes au programme et les habituent à les utiliser, en faisant preuve d'initiative et d'esprit critique. On doit s'efforcer de développer chez eux une bonne faculté d'adaptation à un problème qui peut être nouveau, à condition qu'il soit présenté de façon progressive. La nouveauté peut résider dans le phénomène étudié, dans la méthode particulière ou dans l'appareillage.

Dans cette hypothèse la séance doit comporter non seulement la manipulation proprement dite, mais aussi des temps de réflexion, de construction intellectuelle et d'échanges avec le professeur. C'est pourquoi ce dernier choisit les sujets d'étude plus en raison de leurs qualités formatrices que des phénomènes particuliers qui en constituent le support.

Aidé par un commentaire suffisamment précis, surtout si le sujet traité fait intervenir un concept nouveau (ou un appareil nouveau), l'étudiant est amené à réfléchir, à comprendre le phénomène par une série d'hypothèses, de vérifications expérimentales qui exigent de lui initiative, savoir-faire, rigueur, honnêteté intellectuelle.

La séance de travaux pratiques donne lieu à une synthèse écrite comportant, sous forme succincte, l'indication et l'exploitation des résultats. A cet égard on attache de l'importance à leur présentation graphique. L'utilisation d'un ordinateur, soit pour l'acquisition et le traitement de données expérimentales, soit pour comparer les résultats des mesures aux données théoriques, évite des calculs longs et répétitifs et favorise le tracé de courbes.

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

D'autre part, les activités expérimentales permettent l'acquisition de compétences spécifiques, ainsi que d'un réel savoir et savoir-faire dans le domaine des mesures, des incertitudes et des techniques associées : réalisation, analyse du protocole, choix des instruments de mesure, mesures, évaluation de la précision, validation et analyse critique des résultats obtenus.

Les étudiants doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure, en connaître les origines, et comprendre et s'approprier ainsi les objectifs visés par l'évaluation des incertitudes. Ils détermineront ensuite ce qu'il faudrait faire pour améliorer la précision d'un résultat

En fin, il est essentiel que les notions sur les mesures et incertitudes diffusent dans chacun des thèmes du programme, théorique et expérimental, tout au long des deux années préparatoires et qu'elles soient régulièrement évaluées.

Le TP-cours intitulé " **Mesures et incertitudes**" traité dans le programme de physique de première année explicite les notions exigibles sur le thème « mesures et incertitudes ».

L'approche expérimentale comprendra les TP et les TP-cours.

## 9. TP-cours

Les contenus des TP-cours constituent un ensemble de connaissances et de compétences exigibles.

Le principe d'un TP-cours est assez différent de celui d'un TP habituel. Son objectif est de permettre aux élèves de construire, de manière active, des savoirs ou des savoir-faire théoriques ou expérimentaux selon un plan préétabli par l'enseignant. En effet, les élèves manipulent et proposent des exploitations. Le professeur se charge alors de réaliser les conclusions. En ce sens, un TP-cours est guidé par le professeur comme pour un cours magistral habituel. Les instructions doivent être fournies aux élèves progressivement au cours du déroulement de la séance. Il est donc déconseillé de fournir aux élèves un mode opératoire similaire à celui des séances des travaux pratiques.

Un TP-cours exige de l'enseignant une certaine vigilance pour assurer une bonne gestion du temps et une synchronisation suffisante du travail des binômes.

On peut résumer les étapes du travail lors d'un TP-cours comme suit :

- Étape 1 : l'enseignant fixe un objectif, comme par exemple étudier un phénomène, modéliser une

- situation physique, ou découvrir une loi ;
- Étape 2 : l'enseignant fournit les instructions nécessaires pour guider le travail expérimental et respecter les consignes de sécurité ;
  - Étape 3 : réalisation des mesures ou observations par les élèves et expression des premières exploitations ;
  - Étape 4 : discussion des résultats dans leur ensemble et formulation des premières conclusions ;
  - Étape 5 : réalisation d'éventuelles mesures supplémentaires ou d'observations pour compléter le travail ;
  - Étape 6 : cette étape ressemble beaucoup aux activités ordinaires du professeur dans un cours magistral : explications, démonstrations, exemples d'applications, exercices simples et conclusions.
- Ce processus peut être répété jusqu'à atteindre l'ensemble des objectifs de la séance.  
En cas de contrainte de temps, les montages peuvent être préparés à l'avance.

**Le contenu de cette rubrique est exigible aux concours.**

### 9.1 Multiplication des signaux

Programme	Commentaire
Étude d'un composant multiplieur analogique : schéma et relation de fonctionnement, limites et précautions d'utilisation.	Il s'agit de présenter un multiplieur analogique réalisant la fonction $v_s(t) = k \cdot v_{e1} \cdot v_{e2}(t)$ , et quelques unes de ses applications.
Multiplication d'un signal par une constante. Multiplication d'un signal sinusoïdal par lui-même. Multiplication de deux signaux sinusoïdaux différents.	Dans chaque cas, on mesure et on interprète les caractéristiques du signal de sortie : amplitude, fréquence et valeur moyenne. On fait l'analyse spectrale du signal de sortie et on fait remarquer la non linéarité du composant. Dans le cas de la multiplication de deux signaux sinusoïdaux différents, on distingue les deux cas : fréquences voisines et fréquences très différentes.

### 9.2 Modulation et démodulation d'amplitude

La problématique de la transmission d'un signal temporel codant une information est abordée dans l'étude et la réalisation d'une modulation, en relation avec la partie du programme consacrée à la propagation des ondes électromagnétiques.

Programme	Commentaire
Transmission d'un signal codant une information variant dans le temps. Intérêt de la modulation.	On définit un signal modulé en amplitude, en fréquence, en phase. On explique l'intérêt de la modulation dans la transmission des signaux. On donne des ordres de grandeur des fréquences utilisées pour les signaux radio AM, FM, la téléphonie mobile.
Modulation d'amplitude à l'aide d'un multiplieur analogique, taux de modulation.	
Démodulation par détection d'enveloppe.	On fait constater l'influence du taux de modulation sur la démodulation d'amplitude.
Démodulation synchrone.	On explique le principe de la détection synchrone et on réalise une démodulation synchrone.

### 9.3 Oscillateurs

Programme	Commentaire
Comparateur à hystérésis. Fonction mémoire.	On rappelle le cycle d'un comparateur à hystérésis vu en PCSI et on décrit le phénomène d'hystérésis en relation avec la notion de fonction mémoire.
Oscillateur de relaxation associant un intégrateur et un comparateur à hystérésis.	On décrit les différentes séquences de fonctionnement d'un oscillateur de relaxation, on

Générateur de signaux non sinusoïdaux. Analyse spectrale des signaux générés.	exprime les conditions de basculement et on détermine la période d'oscillation.
Réalisation d'un oscillateur à l'aide d'une porte logique.	
Oscillateur quasi-sinusoïdal réalisé en bouclant un filtre passe-bande du deuxième ordre avec un amplificateur.	On exprime les conditions théoriques (gain et fréquence) d'auto-oscillation sinusoïdale d'un système linéaire bouclé. On analyse sur l'équation différentielle l'inégalité que doit vérifier le gain de l'amplificateur afin d'assurer le démarrage des oscillations. On interprète le rôle des non linéarités dans la stabilisation de l'amplitude des oscillations. On met en évidence la distorsion harmonique des signaux par une analyse spectrale.

#### 9.4 Électronique numérique

Ce TP-cours est exclusivement étudié de manière expérimentale et aborde la question du traitement numérique du signal dans le prolongement du programme de première année. Le professeur introduira les thèmes proposés au fur et à mesure des besoins et en relation avec les autres sujets d'étude.

En décrivant le mouvement apparent d'un segment tournant observé avec un stroboscope, on explique le phénomène de repliement de spectre et on met en place la condition de Niquist-Shannon. On réalise ensuite une acquisition numérique en vue d'une analyse spectrale.

Programme	Commentaire
Échantillonnage. Choix de la durée, du nombre d'échantillon et de la fréquence d'échantillonnage d'une acquisition numérique. Condition de Niquist-Shannon. Analyse spectrale numérique. Structure du spectre du signal obtenu après échantillonnage.	On met en évidence le phénomène de repliement de spectre provoqué par l'échantillonnage avec un oscilloscope numérique ou une carte d'acquisition.
Filtrage numérique. Restitution d'un signal analogique.	On réalise de manière comparative un filtre analogique passe-bas et un filtre numérique remplissant la même fonction. Le filtre numérique est réalisé à l'aide d'une feuille de calcul traitant l'acquisition numérique d'une entrée analogique, un convertisseur numérique/analogique restituant une sortie analogique.

#### 9.5 Interféromètre de Michelson

Le réglage de l'interféromètre de Michelson, non exigible, ne doit pas constituer un objectif. La mémorisation de toute formulation mathématique relative à cette partie est exclue.

Programme	Commentaire
Présentation de l'appareil : miroirs, séparatrice, compensatrice, vis de réglages.	On fait remarquer le rôle de chaque élément de l'appareil.
Réglage géométrique de l'appareil.	On met en évidence le protocole expérimental de réglage du parallélisme entre la compensatrice et la séparatrice.
Schéma théorique de l'interféromètre de Michelson.	On modélise la séparatrice et la compensatrice réelles par une lame séparatrice théorique semi réfléchissante d'épaisseur nulle.
Réglage de l'appareil en lame d'air à faces parallèles avec une lumière spectrale : franges d'égale inclinaison, conditions d'éclairage et d'observation, défilement des anneaux. Expression de la différence de marche. Rayon des anneaux.	On montre l'équivalence de l'interféromètre de Michelson à une lame d'air à faces parallèles. On met en évidence l'influence de la largeur spatiale de la source sur la diminution du contraste et la localisation des franges d'interférence.
Réglage de l'appareil en coin d'air avec une lumière	On montre l'équivalence de l'interféromètre de

spectrale : Franges d'égal épaisseur. Conditions d'éclairages et d'observation. Expression de la différence de marche. Interfrange.	Michelson à un coin d'air.
Passage à la teinte plate et contrôle de sa qualité en lumière blanche. Franges du coin d'air en lumière blanche.	On met en évidence expérimentalement l'influence de la largeur spectrale de la source sur la diminution du contraste de la figure d'interférence.

## 9.6 Spectroscopie à réseau

Programme	Commentaire
Formule des réseaux par transmission. Minimum de déviation dans un ordre donné : intérêt expérimental. Dispersion par le réseau dans un ordre donné : spectre d'ordre p.	Les positions des raies observées sont interprétées comme résultant d'une condition d'interférences constructives.
Réglage du goniomètre et utilisation du spectroscopie : lampe étalon, courbe d'étalonnage, mesure de longueurs d'onde, mesure du pas d'un réseau.	Pour le réglage, on s'appuie sur les techniques vues dans la partie expérimentale du programme de première année. La connaissance de protocoles de réglages de la perpendicularité de l'axe optique de la lunette, de l'axe de rotation de la plate-forme et de la perpendicularité de la normale au réseau à l'axe de rotation de la plate-forme n'est pas exigible. Le choix des exemples sur lesquels la spectroscopie à réseau est mise en œuvre relève de l'initiative du professeur.
Pouvoir dispersif d'un réseau.	On définit le pouvoir dispersif d'un réseau en comparant différents réseaux.
Notion de pouvoir de résolution.	On définit le pouvoir de résolution et on indique les facteurs qui le limitent : pouvoir séparateur du détecteur, influence de la largeur de la fente source. Le calcul du pouvoir de résolution spectrale est hors programme.

## 9.7 Ferromagnétisme et application

Programme	Commentaire
Non linéarité d'un matériau ferromagnétique. Courbe de première aimantation. Aimantation à saturation.	On signale qu'un matériau ferromagnétique n'est pas linéaire et on décrit la courbe de première aimantation et l'existence de l'aimantation à saturation. L'interprétation microscopique du ferromagnétisme est hors programme.
Relevé expérimental du cycle d'hystérésis $B = f(H)$ de la carcasse magnétique d'un transformateur : phénomène d'hystérésis, aimantation rémanente, champ rémanent, excitation coercitive. Perturbations par hystérésis.	A partir des équations de Maxwell d'un milieu magnétique dans l'ARQS, on établit la loi de Faraday et le théorème d'Ampère. Pour une géométrie torique on fait l'approximation des champs unidimensionnels. On en déduit comment relever H et B à partir de mesures de tensions électriques. On peut 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 donne l'interprétation énergétique. On dégage la notion de milieu doux et de milieu dur en liaison avec les applications du ferromagnétisme. On signale l'intérêt des ferrites pour la réalisation de transformateurs haute fréquence.
Application au transformateur : Transformateur de tensions. Transformateur de	On met en équation le transformateur en régime sinusoïdal forcé dans le modèle torique

courants. Adaptateur d'impédances.	unidimensionnel.
------------------------------------	------------------

## 9.8 Conversion électronique de puissance

Programme	Commentaire
Puissance électrique	On mesure une puissance moyenne à l'aide d'un wattmètre numérique.
Conversion électromagnétique statique de puissance. Mise en œuvre d'un transformateur.	
Conversion électromécanique de puissance. Mise en œuvre d'une machine à courant continu.	
Conversion électronique statique de puissance. Mise en œuvre d'un redresseur.	
A partir d'une source de tension continue et d'un hacheur, on alimente un récepteur de courant, de manière à ce que la tension moyenne entre ses bornes puisse varier suivant la séquence de commande du hacheur.	Le hacheur est un interrupteur électronique constitué à l'aide d'un transistor de puissance ou d'un thyristor et dont on peut commander la fermeture et l'ouverture.
Analyse du fonctionnement du hacheur sur une charge (R, L) et de sa limitation de fréquence. Etude de l'ondulation de courant.	
Application : Variation de vitesse d'une machine à courant continu. Influence du rapport cyclique et de la fréquence du hacheur.	On se limite à la conversion à l'aide d'un hacheur série. On met en évidence le rôle de la diode de roue libre pour un récepteur de courant.

## 10. Travaux pratiques

Les thèmes des travaux pratiques, dont le programme fixe le nombre et les thèmes, ne sont pas exigibles. Leurs contenus et leur progression sont entièrement fixés par l'enseignant.

### Compte-rendu

Il est impératif d'exiger de l'élève la rédaction d'un compte-rendu pendant une séance de travaux pratiques. Cette aptitude constitue un des objectifs de la formation scientifique. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de bien préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur.

La structure d'un compte-rendu de travaux pratiques comprend : un titre, une introduction, une partie théorique, une partie de mise en œuvre, les résultats, leur interprétation et une conclusion.

D'autre part, les différentes activités pratiques doivent être couronnées par l'évaluation des capacités et compétences expérimentales.

Si l'intérêt du compte-rendu est évident, en revanche il faut veiller à ce qu'il ne prenne pas une importance considérable, en temps, par rapport au travail expérimental proprement dit.

TP N°	Titre du TP
1	Pendules couplés.
2	Utilisation d'une station d'acquisition et de traitement automatique des données. Acquisition et analyse spectrale d'un signal acoustique, électrique, électromagnétique ou sa synthèse.
3	Ondes acoustiques. Mesure d'une célérité. Interférences de deux ondes acoustiques. Changement de fréquence. Mise en œuvre d'une détection synchrone pour mesurer une vitesse par décalage Doppler.
4	Étude de la machine à courant continu.
5	Filtrage analogique d'un signal périodique.
6	Analyse spectrale d'un signal électronique.
7	Modulation et démodulation.
8	Polarisation des ondes lumineuses.
9	Interférence et diffraction des ondes lumineuses.
10	Oscillateur auto-entretenu quasi sinusoïdal.

11	Oscillateur de relaxation.
12	Asservissement de vitesse d'une machine à courant continu.
13	Mesure de longueurs d'onde optique, centimétriques, mécanique et acoustique. Études de spectre à l'aide d'un spectromètre à fibre optique.