

Royaume du Maroc
Ministère de l'éducation nationale de l'enseignement supérieur
de la formation des cadres et de la recherche scientifique

CLASSES PRÉPARATOIRES AUX
GRANDES ÉCOLES

Voie : Technologie et sciences industrielles (TSI)

PROGRAMME DE PHYSIQUE
Seconde année

Approche théorique 2^{ème} année TSI

1. Électronique

1.1 Traitement d'un signal périodique par un système linéaire

1.2 Étude de quelques oscillateurs permanents. Limite du modèle linéaire.

1.3 Électronique numérique

2. Mécanique du solide

2.1 Cinématique du solide et des solides en contact

2.2 Modélisation des efforts entre solides en contact

2.3 Dynamique du solide

3. Thermodynamique

3.1 Changement d'état d'un corps pur

3.2 Thermodynamique d'un fluide en écoulement permanent dans une conduite

3.2.1. Description d'un fluide en écoulement permanent dans une conduite

3.2.2. Énergétique des fluides en écoulement laminaire stationnaire dans une conduite

3.2.3. Thermodynamique industrielle

3.3 Transfert d'énergie par conduction thermique

4. Électromagnétisme

4.1 Formulation locale des lois de l'électromagnétisme en régime statique

4.2 Action d'un champ magnétique sur un courant

4.3 Induction électromagnétique et conversion électromécanique

4.4 Équations de Maxwell

4.5 Énergie électromagnétique

5. Physique des ondes

5.1 Propagation du champ électromagnétique dans une région sans charges ni courants

5.2 Réflexion sous incidence normale d'une onde électromagnétique sur un conducteur parfait

6. Optique

6.1 Modèle scalaire de la lumière

6.2 Interférences des ondes lumineuses

6.2.1. Interférences non localisées de deux ondes totalement cohérentes

6.2.2. Interférences localisées de deux ondes totalement cohérentes

6.3 Étude du réseau plan

Approche expérimentale 2^{ème} année TSI

7. TP-cours

7.1 Analyse spectrale

- 7.2 Électronique numérique
- 7.3 Multiplication des signaux. Application à la modulation et la détection synchrone
- 7.4 Étude de quelques oscillateurs électriques permanents
- 7.5 Spectroscopie à réseau
- 7.6 Interféromètre de Michelson

8. Travaux pratiques

Approche théorique 2^{ème} année TSI

L'enseignement de la physique en deuxième année s'inscrit dans la continuité de l'enseignement de première année. Les principes directeurs et les objectifs du programme de la première année TSI restent alors d'actualité.

Le programme de physique s'articule sur une approche équilibrée entre théorie et expérience afin d'apporter à l'étudiant les outils conceptuels et méthodologiques pour lui permettre de comprendre le monde naturel et technique qui l'entoure et de faire l'analyse critique des phénomènes étudiés. Ce programme a été rédigé et abondamment commenté dans le but de définir clairement les objectifs spécifiques à chaque thème et d'identifier les connaissances exigibles aux concours.

L'approche théorique se compose de six parties : électronique, mécanique du solide, thermodynamique, électromagnétisme, physique des ondes et optique. Les applications aux systèmes industriels ont été privilégiées notamment en thermodynamique.

L'approche expérimentale est composée d'expériences de cours, de TP-cours et de travaux pratiques. Les TP-cours ont pour but l'acquisition de connaissances et d'un savoir faire expérimental dans le cadre d'un travail interactif et encadré.

Les TP sont orientés vers l'acquisition d'une autonomie progressive dans la démarche expérimentale. Chaque fois que cela est possible, l'ordinateur interfacé doit être utilisé pour l'acquisition et le traitement des données expérimentales. Il devient ainsi un instrument courant des laboratoires, au service de l'expérience.

Les expériences de cours et les TP relèvent de l'initiative pédagogique du professeur : si le programme propose des thèmes de TP choisis notamment pour illustrer le cours de physique, ceux-ci peuvent être remplacés par tout thème à l'initiative du professeur et ne faisant appel qu'aux connaissances du programme de la classe. En revanche le contenu des TP-cours de physique, fixé par le programme, est exigible aux concours dans toutes les épreuves écrites, orales et éventuellement pratiques.

Dans le programme qui suit, chaque rubrique de TP-cours correspond à un thème ; chaque thème correspond à une ou plusieurs séances. Le choix du découpage d'un thème relève de l'initiative pédagogique du professeur.

Il convient de remarquer que les thèmes de TP-cours sont conçus pour être traités conjointement aux thèmes de cours correspondants.

Il est fortement conseillé de suivre la progression des thèmes dans l'ordre suivant :

Électronique, mécanique du solide, thermodynamique, électromagnétisme, physique des ondes et optique.

1 Électronique

Les composants au programme de seconde année TSI sont les mêmes que ceux du programme de première année. En particulier, aucune connaissance particulière sur les diodes et les diodes Zener ne peut être exigée.

La composante expérimentale est très forte dans cette partie et les capacités exigibles ont vocation à être principalement développées au cours de séances de TP-cours.

Les objectifs généraux de cette partie sont :

- exploiter un développement en série de Fourier fourni par un formulaire pour prévoir son évolution à travers un système linéaire ;
- comprendre le rôle central de la linéarité des systèmes pour interpréter la forme du signal de sortie et relier linéarité et superposition ;
- relier les représentations temporelle et fréquentielle d'un signal ;
- illustrer expérimentalement la condition de Nyquist-Shannon ;
- expliquer et mettre en œuvre un filtrage numérique.

1.1 Traitement d'un signal périodique par un système linéaire

Programme	Commentaire
Composition en fréquence d'un signal périodique. Théorème de Fourier. Valeur moyenne, valeur efficace, fondamental et harmoniques. Spectre d'un signal périodique.	On fait remarquer qu'un signal possède une représentation dans l'espace des temps et dans l'espace des fréquences. On attribue aux différentes harmoniques le rôle qu'elles jouent dans la forme du signal analysé.
Effet d'un filtre du premier ou du second ordre sur la composition spectrale d'un signal périodique ; utilisation de la fonction de transfert ; filtres passe-bas, passe-haut, passe-bande.	On insiste sur l'intérêt de l'étude de la réponse d'un système linéaire à un signal sinusoïdal entamée en première année et on dégage l'importance du critère de linéarité du système. L'utilisation, en TP, des moyens numériques d'analyse harmonique permet des comparaisons immédiates entre fonction de transfert et représentation spectrale d'une réponse du système. On illustre en travaux pratiques cet effet.
Caractère intégrateur ou dérivateur dans un domaine limité de fréquences.	On illustre quantitativement ces différents comportements.

1.2 Étude de quelques oscillateurs permanents

Programme	Commentaire
Oscillateur quasi-sinusoïdal. Oscillateur de relaxation	Cette partie est étudiée en TP-cours.

1.3 Électronique numérique

Programme	Commentaire
Échantillonnage. Filtrage numérique.	Cette partie est étudiée en TP-cours.

2 Mécanique du solide

Le programme de mécanique de deuxième année TSI vise à compléter les acquis de mécanique du cours de première année TSI. Il est structuré en trois parties consacrées à la mécanique du solide. Le but est de savoir mener l'étude du mouvement d'un solide en translation ou en rotation autour d'un axe de direction fixe. Dans ce dernier cas, on fait remarquer que tout point du solide décrit un cercle autour de l'axe avec une même vitesse angulaire ω et on explicite la vitesse de chaque point en fonction de ω et de la distance à l'axe de rotation.

Les lois de la mécanique des systèmes sont formulées pour les systèmes fermés. Aucune connaissance ne peut être exigée sur la mise en œuvre de ces lois pour un système ouvert. Les théorèmes généraux sont déduits des lois de Newton.

L'enseignement de la mécanique du solide est également dispensé par le professeur de génie mécanique. L'étude des systèmes articulés de plusieurs solides est exclusivement abordée en génie mécanique. On veillera à harmoniser le vocabulaire entre les deux disciplines.

Les objectifs généraux de cette partie sont :

- conduire de manière autonome l'étude d'un problème avec ou sans frottement solide : définir un système, choisir un référentiel d'étude éventuellement non galiléen en évaluant les avantages et les inconvénients de ce choix, choisir un système de repérage, procéder à un bilan complet des forces appliquées, choisir une méthode de mise en équations lorsque plusieurs méthodes sont possibles ;
- effectuer un bilan énergétique en mécanique ;
- identifier et utiliser des grandeurs conservatives ;
- utiliser divers outils (discussions graphiques, résolution analytique, résolution numérique) pour discuter les solutions de la ou des équations différentielles modélisant l'évolution temporelle d'un système ;
- faire apparaître et exploiter des analogies : circuit RLC en électrocinétique, pendule pesant aux « petits » angles.

2.1. Cinématique du solide et des solides en contact

Cette partie est une approche de la cinématique du solide, limitée aux cas de la translation et de la rotation autour d'un axe fixe. Dans ce dernier cas, il s'agit simplement de définir le mouvement en remarquant que tout point du solide décrit un cercle autour de l'axe avec une même vitesse angulaire ω et d'expliciter la vitesse de chaque point en fonction de ω et de la distance à l'axe de rotation.

Programme	Commentaire
Définition d'un solide. Centre de masse ou d'inertie d'un solide. Champ de vitesse d'un solide. Mouvements de translation et de rotation autour d'un axe fixe. Quantité de mouvement totale ou résultante cinétique d'un solide. Lois de composition des vitesses. Solides en contact. Mouvements de glissement, de roulement et de pivotement.	On différencie un solide d'un système déformable. Les théorèmes de Guldin sont hors programme. Il s'agit de faire une approche de la cinématique du solide, limitée aux cas de la translation et de la rotation autour d'un axe fixe.

2.2. Modélisation des efforts entre solides en contact

L'étude des lois de Coulomb, limitée au seul cas de la translation, permet de mettre en œuvre un mode de raisonnement spécifique et particulièrement formateur, sans pour autant omettre les conséquences expérimentales.

Programme	Commentaire
Contact de deux solides. Lois phénoménologiques de Coulomb relatives au frottement de glissement dans le seul cas d'un solide en translation.	Les frottements de roulement et de pivotement sont hors programme. On exploite les lois de Coulomb dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage.
Puissance totale des actions de contact. Modèle des liaisons parfaites. Liaisons rotule et pivot.	On distingue entre les actions extérieures et intérieures au système matériel de deux solides en contact ponctuel. L'étude des systèmes articulés de plusieurs solides est exclusivement du ressort des Sciences Industrielles. On définit les liaisons rotule et pivot. On précise dans le cas d'une liaison pivot, même parfaite, que les actions de liaison ne peuvent pas en général être représentées par une seule force rencontrant l'axe.

2.3. Dynamique du solide

On introduit des exemples de dynamique du solide (translation et rotation autour d'un axe fixe dans un référentiel galiléen), avec toutefois des limitations strictes : l'étude générale d'un mouvement composé d'une translation dans un référentiel galiléen et d'une rotation autour d'un axe fixe dans le référentiel barycentrique ne figure pas au programme.

L'étude du mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe gardant une direction fixe dans un référentiel galiléen mais pour lequel l'axe de rotation ne serait pas fixe est exclue.

Programme	Commentaire
Théorème de la résultante cinétique. Loi de conservation de la quantité de mouvement pour un système isolé.	On souligne le lien avec la deuxième loi de Newton vue en première année.
Moment d'inertie d'un solide par rapport à un axe. Théorème d'Huygens.	L'opérateur d'inertie est hors programme. La démonstration du théorème d'Huygens est hors programme. On se limite à la définition et à l'utilisation du moment d'inertie. Tout calcul de moment d'inertie est hors

	programme.
Moment d'une force par rapport à un axe orienté. Couple. Notions simples sur les moteurs ou freins dans les dispositifs rotatifs.	On définit un couple de forces, le moment d'un couple. On justifie le moment que la liaison pivot peut produire. On fait le lien avec les torseurs d'actions vus en SII.
Mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe dont la direction reste fixe par rapport à un référentiel galiléen : moment cinétique, théorème scalaire du moment cinétique, énergie cinétique, théorème de l'énergie cinétique, équation horaire du mouvement. Lois de conservation du moment cinétique et de l'énergie mécanique pour un système isolé.	Le mouvement d'un solide ne peut pas faire intervenir plus d'un degré de liberté de rotation. Toute étude de l'équilibrage statique ou dynamique d'un solide en rotation est hors programme.
Pendule pesant : équation du mouvement, analogie avec l'équation de l'oscillateur harmonique.	A l'aide d'une acquisition expérimentale du portrait de phase d'un pendule pesant, on précise la bifurcation entre un mouvement pendulaire et un mouvement révolutif, on met en évidence le non isochronisme des oscillations et une diminution de l'énergie mécanique.

3 Thermodynamique

Cette partie s'intéresse à l'étude des machines industrielles avec ou sans changement d'état, en appliquant les deux principes de la thermodynamique aux fluides en écoulement permanent. Elle permet ainsi une révision du cours de première année. On l'aborde essentiellement à travers la mise en œuvre de bilans d'énergie.

Des notions de base de mécanique des fluides sont également introduites. L'objectif est de décrire les écoulements simples de fluides dans les machines thermiques en évoquant les phénomènes de perte de charge et le rôle de la viscosité. L'approche se fonde exclusivement sur la notion de bilan macroscopique : toute formulation locale de la mécanique des fluides, notamment à l'aide d'opérateurs vectoriels, est exclue.

Enfin, on aborde la conduction thermique à l'aide de bilans infinitésimaux, la loi de Newton étant introduite pour faire le lien avec la thermodynamique industrielle.

Les objectifs généraux de cette partie sont :

- établir et comprendre les allures des courbes dans les diagrammes thermodynamiques ;
- définir une surface de contrôle afin de réaliser des bilans de grandeurs extensives ;
- utiliser des diagrammes et des tables thermodynamiques des fluides réels.

Toute notion de thermodynamique statistique est hors programme.

3.1 Changement d'état d'un corps pur

Programme	Commentaire
Notion générale sur le changement d'état solide-liquide-gaz. Condition d'équilibre. Diagramme d'état. Point triple. Point critique.	La formule de Clapeyron est hors programme. La connaissance des diagrammes de Molier n'est pas exigible.
Enthalpie et entropie de changement d'état. Variation élémentaire d'enthalpie et entropie au cours d'un changement d'état isotherme.	On donne des ordres de grandeur d'enthalpies massiques de vaporisation.
Cas de l'équilibre liquide-vapeur : diagrammes de Clapeyron (P,v), entropique (T,s), courbe de saturation, paliers de changement d'état, vapeur sèche, vapeur saturante, liquide saturant, titre massique en vapeur, enthalpie et entropie massique du système diphasique, règle des moments. Exploitation d'un diagramme pour déterminer une grandeur physique.	On représente, pour chaque diagramme, l'allure des courbes isothermes, isobares, isochores, isentropiques, isenthalpiques. Ces courbes sont établies dans la limite du gaz parfait, dans la limite du liquide incompressible et indilatable.

3.2 Thermodynamique d'un fluide en écoulement permanent dans une conduite

On introduit le point de vue eulérien pour l'étude des écoulements. Il s'agit de décrire simplement un écoulement en identifiant des tubes de courant sur lesquels des bilans pourront ensuite être effectués. On pourra faire le lien avec la signification physique des opérateurs rotationnel et divergence introduits dans le cours d'électromagnétisme.

Dans cette partie, on effectue aussi des bilans énergétiques dans une conduite. On se place dans un premier temps dans le cadre de la dynamique des fluides parfaits. Toute utilisation de l'équation d'Euler ou de Navier-Stokes est exclue. On établit la relation de Bernoulli, puis on prend en compte les pertes de charge dans les conduites. On initie à ce sujet les étudiants à la lecture d'abaques. Dans un second temps, on tient compte des transferts thermiques pour exprimer les principes de la thermodynamique pour un système en écoulement.

3.2.1. Description d'un fluide en écoulement permanent dans une conduite

Programme	Commentaire
Grandeurs eulériennes. Régime stationnaire.	On décrit localement les propriétés thermodynamiques et mécaniques d'un fluide à l'aide des grandeurs intensives pertinentes.
Lignes et tubes de courant. Caractère divergent ou rotationnel d'un écoulement.	On déduit le caractère divergent ou rotationnel d'un écoulement à l'aide d'une carte de champ de vitesse fournie.
Débit massique. Conservation de la masse. Débit volumique	On justifie l'intérêt d'utiliser le débit volumique pour l'étude d'un fluide incompressible en écoulement.

3.2.2. Énergétique des fluides en écoulement laminaire stationnaire dans une conduite

Programme	Commentaire
Fluides parfaits. Fluides newtoniens : notion de viscosité. Conditions aux limites du champ de vitesse d'un fluide dans une conduite. Ordre de grandeur de la viscosité de gaz et de liquides (dans le cadre des machines hydrauliques et thermiques, des lubrifiants, ...).	On caractérise un fluide parfait par un profil de vitesse uniforme dans une même section droite. On relie l'expression de la force surfacique de cisaillement au profil de vitesse. On lie qualitativement l'irréversibilité d'un écoulement à la viscosité.
Bilan de grandeurs énergétiques extensives. Conservation de l'énergie mécanique pour des systèmes ouverts et fermés.	On définit un volume et une surface de contrôle stationnaire.
Bilan d'énergie pour un fluide parfait, relation de Bernoulli. Cas d'un fluide incompressible.	On établit un bilan de puissance pour un circuit hydraulique ou pneumatique avec ou sans pompe.
Perte de charge singulière et régulière.	On modifie la relation de Bernoulli afin de tenir compte de la dissipation d'énergie mécanique par frottement.
Travail indiqué w_i . Puissance mécanique utile (ou indiquée) et puissance thermique reçues par le fluide à la traversée d'une machine.	On définit le travail indiqué comme la somme des travaux autres que ceux des forces de pression d'admission et de refoulement et on le relie à la présence de parties mobiles.
Premier et second principes appliqués à un système en écoulement permanent unidimensionnel : $\Delta h + \Delta e_c + \Delta(gz) = w_i + q_e$ et $\Delta s = s_{\text{éch}} + s_{\text{créée}}$ $dh + de_c + d(gz) = \delta w_i + \delta q_e$ et $ds = \delta s_{\text{éch}} + \delta s_{\text{créée}}$ Application aux systèmes : compresseur, détendeur, échangeur, tuyère	L'un des objectifs est de savoir lire et utiliser les tables de données thermodynamiques et les diagrammes lors de l'étude des cycles industriels. On se limite aux systèmes à une entrée et à une sortie. La notion de travail massique de transvasement est hors programme. On mentionne la distinction entre le diagramme de Watt et le diagramme de Clapeyron. On associe l'entropie massique créée aux causes d'irréversibilité de fonctionnement de la machine.

3.2.3. Thermodynamique industrielle.

Programme	Commentaire
Moteurs, réfrigérateurs, pompes à chaleur. Définition et expression du rendement, de l'efficacité ou du coefficient de performance de la machine. Ordres de grandeur de puissances thermique et mécanique mises en jeu pour différentes tailles de dispositifs.	Pour une machine dont les éléments constitutifs sont donnés, on repère les sources thermiques, le sens des échanges thermiques et mécaniques. On définit le rendement ou l'efficacité d'une machine par le rapport de la puissance utile sur la puissance couteuse.
Etude d'un exemple de cycle thermique industriel avec ou sans changement d'état.	Aucune connaissance sur les différents types de cycles (Rankine, diesel...) n'est exigible.

3.3 Transfert d'énergie par conduction thermique

Programme	Commentaire
Les modes de transfert thermique d'énergie : conduction, convection et rayonnement.	
Vecteur densité de flux thermique. Conductivité thermique. Loi de Fourier relative à la conduction thermique.	On souligne l'analogie entre les lois phénoménologiques d'Ohm et de Fourier. Toute modélisation microscopique de la loi de Fourier est hors programme. On donne des ordres de grandeur de la conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, verre, acier...
Bilan d'énergie thermique. Equation de la diffusion thermique sans terme de source. Généralisation de l'équation de la diffusion en présence d'un terme de source.	On établit, à l'aide du premier principe appliqué à un volume élémentaire, l'équation de la diffusion thermique. On se limite à des problèmes unidimensionnels en géométrie cartésienne, cylindrique ou sphérique. On met en œuvre une méthode de résolution numérique fournie pour déterminer une solution à l'équation de la diffusion thermique, les conditions aux limites et les conditions initiales étant fixées.
Conduction thermique en régime permanent, conductance et résistance thermiques.	On signale les analogies avec le calcul des conductances électriques et des capacités de condensateurs. Seule la mémorisation de l'expression de la résistance thermique d'un barreau rectiligne unidimensionnel est exigible.
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.

4 Électromagnétisme

L'enseignement de l'électromagnétisme aborde trois régimes :

1. le régime statique : l'électrostatique et la magnétostatique (abordées en première année et complétées par une approche locale en deuxième année).
2. le régime lentement variable : l'induction électromagnétique dans le cadre de l'ARQP.
3. le régime variable quelconque : propagation des ondes électromagnétiques intégrée dans la partie physique des ondes.

L'étude de l'électrostatique et de la magnétostatique n'est pas centrée sur les calculs mais sur les propriétés des champs ; aucune technicité mathématique n'est recherchée dans les calculs. Ces derniers ne concernent que des situations proches du cours et d'intérêt pratique évident. En revanche, on insiste sur la comparaison des propriétés respectives de respectives de **E** (ou **A**) et **B**.

Le formalisme quadridimensionnel, la transformation relativiste des champs, le vecteur excitation électrique **D** et le vecteur excitation magnétique **H** sont exclus.

Les objectifs généraux de cette partie sont :

- maîtriser le concept de champ scalaire et de champ de vecteurs et manipuler les opérateurs vectoriels relatifs aux champs scalaires et vectoriels ;
- citer quelques ordres de grandeur ;
- énoncer des lois de l'électromagnétisme sous formes locale et intégrale et faire le lien entre les deux formulations ;
- évaluer les actions d'un champ magnétique extérieur sur un circuit parcouru par un courant ou par analogie sur un aimant ;
- analyser qualitativement les systèmes où les phénomènes d'induction sont à prendre en compte ;
- effectuer des bilans énergétiques ;
- connaître des applications relevant du domaine de l'industrie ou de la vie courante où les phénomènes d'induction sont présents et déterminants dans le fonctionnement des dispositifs.

4.1 Formulation locale des lois de l'électromagnétisme en régime statique

Programme	Commentaire
Forme locale de la conservation de la circulation du champ électrostatique. Forme locale du théorème de Gauss. Forme locale de la conservation du flux magnétique. Potentiel vecteur. Forme locale du théorème d'Ampère. Equation de Poisson, équation de Laplace.	On admet la forme de la solution de l'équation de Poisson en précisant les conditions de validité. On traite des exemples simples de calcul du champ et du potentiel par les équations locales. On fait remarquer la non unicité des potentiels. On met en œuvre une méthode de résolution numérique fournie pour déterminer une solution à l'équation de Laplace, les conditions aux limites étant fixées.

4.2 Action d'un champ magnétique sur un courant

Les forces de Laplace dans un circuit mobile sont introduites dans le cas d'un champ uniforme et stationnaire, soit dans le modèle des rails de Laplace, soit dans celui d'un cadre rectangulaire en rotation.

L'objectif de cette partie est d'évaluer les actions d'un champ magnétique extérieur sur un circuit parcouru par un courant ou par analogie sur un aimant représenté par un moment magnétique.

Programme	Commentaire
Force de Lorentz. Effet Hall.	
Force de Laplace. Moment des forces de Laplace.	La densité volumique des forces de Laplace $\mathbf{j} \wedge \mathbf{B}$ est simplement affirmée.
Travail des forces de Laplace sur un circuit indéformable : flux coupé. Théorème de Maxwell. Applications : - rails de Laplace dans un champ magnétique extérieur uniforme, stationnaire et orthogonal aux rails. - spire rectangulaire, parcourue par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux de côtés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.	Le calcul des actions à partir du flux ou l'énergie magnétique est hors programme. On calcule la résultante et la puissance des forces de Laplace s'exerçant sur la barre conductrice en translation rectiligne sur les deux rails parallèles. On calcule le couple et la puissance des actions mécaniques de Laplace s'exerçant sur la spire.
Action d'un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant. Positions d'équilibre et stabilité.	On modélise l'aimant par un dipôle magnétique permanent.
Création d'un mouvement circulaire.	On étudie l'effet d'un champ magnétique tournant sur un dipôle magnétique permanent.

4.3 Induction électromagnétique et conversion électromécanique

Dans cette partie, on cherche à mettre l'accent sur les applications relevant du domaine de l'industrie ou de la vie courante où les phénomènes d'induction sont présents et déterminants dans le fonctionnement des

dispositifs. Elle s'appuie sur les nombreuses applications présentes dans notre environnement immédiat : boussole, moteur électrique, alternateur, transformateur, haut-parleur, plaques à induction, frein électromagnétique, carte RFID (Radio Frequency IDentification)...

Programme	Commentaire
Loi de Faraday $e = -\frac{d\Phi}{dt}$, loi de modération de Lenz.	On utilise la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.
Cas d'un circuit fixe dans un champ magnétique non permanent : circulation du champ électrique.	
Cas d'un circuit mobile dans un champ magnétique permanent : circulation de $\mathbf{v}_e \wedge \mathbf{B}$.	On se limite à vérifier sur un exemple simple la loi de Faraday dont on affirme la généralité. On évite les situations particulières où la loi de Faraday semble ne pas être applicable.
Production et transport de l'énergie électrique.	On explique le principe d'une chaîne de production et de transport d'énergie électrique et on donne des ordres de grandeur de la puissance consommée ou produite par une lampe, un téléviseur, un radiateur électrique, une éolienne, un barrage, une centrale nucléaire.
Conversion de puissance mécanique en puissance électrique. Rails de Laplace. Freinage par induction.	On fait remarquer sur cet exemple que dans le cas d'un champ magnétique permanent la puissance de la force électromotrice induite est opposée à la puissance des forces de Laplace. On explique l'origine des courants de Foucault et on donne des exemples d'utilisation.
Conversion de puissance électrique en puissance mécanique. Haut-parleur électrodynamique, principe de fonctionnement. Moteur à courant continu à entrefer plan. Principe de fonctionnement.	On explique le principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu à entrefer plan en utilisant les forces de Laplace.
Auto-induction : flux propre et inductance propre. Inductance mutuelle entre deux bobines. Induction mutuelle entre deux circuits filiformes fermés. Circuits électriques à une maille couplés par le phénomène de mutuelle induction en régime sinusoïdal forcé.	On détermine l'inductance mutuelle entre deux bobines de même axe de grande longueur en "influence totale". On établit le système d'équations en régime sinusoïdal forcé en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents.
Transformateur de tension parfait.	On établit les lois des tensions.
Énergie magnétique d'un ensemble de deux circuits filiformes fermés indéformables et fixes : expression en fonction des intensités des courants et des coefficients d'inductance.	L'expression de l'énergie magnétique en fonction de $\mathbf{j}$ et $\mathbf{A}$ est hors programme.
Convertisseurs électromécaniques : - Moteur à courant continu, machine synchrone, machine asynchrone. - Pilotage des moteurs par action sur certains paramètres électriques.	On décrit qualitativement les principes des machines. On explique les avantages et inconvénients des différentes machines et on donne des exemples d'utilisation. On effectue un bilan énergétique.

4.4 Équations de Maxwell

Les équations de Maxwell sont introduites comme des postulats de l'électromagnétisme. Elles permettent une première approche quantitative du phénomène de propagation et, également, d'établir le lien avec le cours sur l'induction électromagnétique étudiée précédemment.

Programme	Commentaire
Densité de charge et vecteur densité volumique de courant électrique. Formulation locale de la conservation de la charge. Force de Lorentz.	
Equations de Maxwell dans le vide : formulations locale et intégrale.	On évoque le problème de la nature du référentiel par rapport auquel les équations de Maxwell sont postulées et on insiste sur le contenu physique de ces équations.
Potentiels vecteur $\mathbf{A}$ et scalaire V : existence, non unicité, jauge de Lorentz. Equations de Poisson généralisées. Potentiels retardés.	On fait remarquer la non unicité des potentiels. Les transformations de jauge sont hors programme. On met en œuvre une méthode de résolution numérique pour déterminer une solution à l'équation de Laplace, les conditions aux limites étant données. Les expressions des potentiels retardés sont admises.
Cas de l'approximation des régimes quasi-permanents (ARQP) ou quasi-stationnaires (ARQS). Limite de validité. Equations de Maxwell dans le cadre de l'ARQP.	
Cas du régime stationnaire	On se limite à écrire les équations de Maxwell en régime stationnaire.
Relations entre les composantes du champ électromagnétique de part et d'autre d'une interface (relations de passage).	On indique que les relations de passage admises se substituent aux équations de Maxwell dans le cas d'une modélisation surfacique.

4.5 Énergie électromagnétique

Cette partie s'intéresse à l'aspect énergétique de l'électromagnétisme. On met l'accent sur les échanges d'énergie entre la matière et le champ électromagnétique, sur la signification physique du vecteur de Poynting, sur l'utilisation du flux du vecteur de Poynting pour évaluer une puissance rayonnée à travers une surface et sur les bilans d'énergie et de puissance.

Programme	Commentaire
Densité volumique de force électromagnétique. Puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge. Cas particulier d'un conducteur ohmique. Loi d'Ohm locale, densité volumique de puissance Joule.	On présente la forme locale de la loi d'Ohm comme une loi phénoménologique. La justification microscopique n'est pas demandée.
Expression de la densité volumique d'énergie électromagnétique.	On peut affirmer l'expression de la densité d'énergie électromagnétique sur les exemples du condensateur plan et d'un solénoïde infini.
Densité volumique d'énergie électromagnétique. Vecteur de Poynting. Bilan d'énergie électromagnétique : équations intégrale et locale de conservation de l'énergie électromagnétique (identité de Poynting).	On affirme la signification physique du vecteur de Poynting.

5 Physique des ondes

L'étude de la propagation des ondes électromagnétiques limitée au vide, peut être étendue, à l'occasion d'exercices ou de problèmes, à un conducteur métallique (effet de peau, absorption) et à un plasma dilué (dispersion).

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

Les objectifs généraux de cette partie sont :

- comprendre le rôle joué par une équation différentielle dans l'étude de l'évolution temporelle d'un système physique ;
- relier linéarité et superposition ;
- interpréter physiquement et savoir reconnaître la forme analytique d'un signal qui se propage ;
- relier conditions aux limites et quantification, conditions aux limites et décomposition en ondes stationnaires ;

5.1 Propagation du champ électromagnétique dans une région sans charges ni courants

Programme	Commentaire
Équations de propagation des champs dans une région sans charges ni courants. Onde plane. Structure de l'onde plane progressive. Cas particulier de l'onde monochromatique (harmonique ou sinusoïdale). Domaines spectraux et applications des ondes électromagnétiques. Dispersion, relation de dispersion, vitesse de phase, vitesse de groupe.	On souligne le caractère idéal du modèle de l'onde plane monochromatique et on montre simplement (grâce à l'analyse de Fourier) qu'une telle onde constitue une composante élémentaire d'un paquet d'ondes. On associe à chaque domaine du spectre des ondes électromagnétiques des applications.
États de polarisation d'une onde plane progressive et monochromatique. Polariseurs.	Les polariseurs et les lames à retard sont introduits de façon simple en TP.

5.2 Réflexion sous incidence normale d'une onde électromagnétique sur un conducteur parfait

Programme	Commentaire
Conducteur parfait. Relation de passage du champ électromagnétique à l'interface vide-conducteur parfait.	
Réflexion sous incidence normale d'une onde électromagnétique plane, progressive et monochromatique polarisée rectilignement sur un plan conducteur parfait. Onde stationnaire.	On limite l'étude à celle des champs de l'onde réfléchie et de l'onde stationnaire. On établit l'expression de l'onde réfléchie en exploitant les relations de passage fournies. On interprète qualitativement la présence de courants localisés en surface. On traite l'effet de peau dans un exercice.
Applications aux cavités à une dimension. Mode d'onde stationnaire.	On utilise la méthode de séparation des variables.

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.

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, interfrange) 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 Modèle scalaire des ondes lumineuses

Programme	Commentaire
Modèle scalaire des ondes lumineuses. Chemin optique le long d'un rayon lumineux et retard de phase associé.	On admet qu'une onde lumineuse peut être décrite par une onde scalaire.
Surfaces d'onde (ou équiphasés). Onde plane, onde sphérique ; effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss. Théorème de Malus-Dupin. Récepteurs. Eclairement ou intensité lumineuse. Densité spectrale.	On définit les surfaces d'ondes relatives à une source ponctuelle S par l'ensemble des points M tels que $(SM) = \text{constante}$. Le théorème de Malus-Dupin est admis. 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.

6.2 Interférences des ondes lumineuses

5.2.1. Interférences non localisées de deux ondes totalement cohérentes

Programme	Commentaire
Superposition de deux ondes lumineuses. Cohérence mutuelle. Notions de trains d'ondes. Conditions d'interférences. Formule de Fresnel : $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi)$.	L'étude générale de la cohérence (cohérence partielle, cohérence spatiale ...) est hors programme. On compare les prévisions théoriques et les réalités expérimentales et on affirme une méthode opérationnelle pour superposer deux ondes lumineuses cohérentes mettant en œuvre les notions de trains d'ondes, de sources synchrones, de diviseur d'ondes et de longueur de cohérence.
Diviseurs d'ondes. Champ d'interférence, surfaces d'égale intensité, frange d'interférence, différence de marche, ordre d'interférence, facteur de contraste (ou visibilité) de la figure d'interférences. Relation (admise) entre la durée des trains d'ondes et la largeur spectrale.	On donne l'ordre de grandeur du temps de cohérence de quelques radiations visibles.
Applications : - trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif : source à distance finie et observation à grande distance finie et à l'infinie ; - interféromètre de Michelson.	On justifie que les franges ne sont pas localisées. On compare expérimentalement les deux dispositifs, trous d'Young et fentes d'Young, en mettant en évidence les analogies et les différences. L'étude de tout dispositif utilisant des lentilles et/ou des prismes (miroirs de Fresnel, bilentilles de Billet, de Meslin, biprisme de Fresnel...) peut être faite en travaux dirigés. On montre l'équivalence, du point de vue chemin optique, de ces dispositifs avec celui des trous d'Young.

5.2.2. Interférences localisées de deux ondes totalement cohérentes

Programme	Commentaire
Interféromètre de Michelson éclairé par une source spatialement étendue. Localisation (constatée) des franges. Franges d'égale inclinaison. Franges d'égale épaisseur. Défilement des franges d'interférences.	On se limite au seul cas où le dispositif interférentiel est l'interféromètre de Michelson. On fait remarquer expérimentalement que la localisation des franges est liée à l'étendue spatiale de la source. Toute étude générale de la localisation est exclue. On montre l'équivalence de l'interféromètre de Michelson à une lame d'air à faces parallèles ou à un coin d'air.

6.3 Etude du réseau plan

Programme	Commentaire
Réseau plan par transmission.	L'étude du réseau est faite en TP-cours.

Approche expérimentale 2^{ème} année TSI

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.

7 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.

7.1 Analyse spectrale

Ce TP-cours est traité en parallèle avec le cours correspondant.

Programme	Commentaire
Décomposition d'un signal périodique en série de Fourier.	On admet le théorème de Fourier. On donne la décomposition en série de Fourier des signaux sinusoïdal, carré et triangulaire.
Caractéristiques d'un signal périodique : valeur moyenne, valeur efficace, valeur efficace vraie, fréquence fondamentale et harmonique.	On détermine ces caractéristiques pour des signaux usuels : signal sinusoïdal avec composante continue, rectangulaire et triangulaire.
Effet d'un filtre linéaire sur un signal périodique.	On interprète le spectre du signal de sortie à partir du spectre du signal d'entrée et de la fonction de transfert du filtre. On utilise un logiciel et/ou un oscilloscope numérique.

7.2 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.

Programme	Commentaire
Échantillonnage. Choix de la durée, du nombre d'échantillon et de la fréquence d'échantillonnage d'une acquisition numérique. Condition de Nyquist-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.	On réalise un filtrage numérique passe-bas d'une acquisition.

7.3 Multiplication des signaux. Application à la modulation et la détection synchrone

Programme	Commentaire
Etude 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 $v_s(t) = k \cdot v_{e1}(t) \cdot v_{e2}(t)$, 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.
Application à la modulation d'amplitude :	
Intérêt de la modulation.	On explique l'intérêt de la modulation analogique dans la transmission des signaux.
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.	

7.4 Étude de quelques oscillateurs électriques permanents

Programme	Commentaire
Oscillateur de relaxation :	
Fonctionnements linéaire et saturé (en tension) d'un amplificateur opérationnel. Comparateur à hystérésis : montage, caractéristique de transfert, et bistabilité. Oscillateur de relaxation associant un intégrateur et un comparateur à hystérésis : - génération de signaux triangulaires et carrés, contrôle de la fréquence et du rapport cyclique. - génération de signaux sinusoïdaux par filtrage. Analyse spectrale des signaux générés.	Ce TP-cours permet de réviser le cours et les TP-cours d'électronique de première année. On décrit les différentes séquences de fonctionnement d'un oscillateur de relaxation, on exprime les conditions de basculement et on détermine la période d'oscillation.
Oscillateur quasi-sinusoïdal :	
Etude théorique de la mise en oscillation en régime temporel variable. Recherche directe de la fréquence d'oscillation en utilisant la notation complexe. Vérification expérimentale, mise en évidence de la distorsion harmonique des signaux par une analyse spectrale.	Cette étude est menée en utilisant les notions d'électrocinétique de première année. 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.

7.5 Spectroscopie à réseau

Ce TP-cours est l'occasion de rappeler les constituants et le fonctionnement du goniomètre vu en première année.

Programme	Commentaire
Éléments théoriques :	
Superposition de N ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles, de même amplitude et dont les phases sont en progression arithmétique. Calcul de l'intensité lumineuse. Influence de la diffraction.	On décrit expérimentalement l'influence de la diffraction.
Formule des réseaux par transmission. Minimum de déviation dans un ordre donné : intérêt expérimental.	Les positions des raies observées sont interprétées comme résultant d'une condition d'interférences exactement constructives. On souligne qualitativement l'effet de l'interférence d'un grand nombre d'ondes cohérentes sur la directivité de l'onde résultante, mais le calcul et les expressions de l'intensité diffractée et du pouvoir de résolution théorique sont hors programme.
Dispersion par le réseau dans un ordre donné : spectre d'ordre p .	
Réglage du goniomètre et utilisation	

du spectroscope :	
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. 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.
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.

7.6 Interféromètre de Michelson

Programme	Commentaire
Présentation de l'appareil : miroirs, séparatrice, compensatrice, vis de réglages.	On fait remarquer le rôle de chaque élément de l'appareil.
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.	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 spectrale : franges d'égale épaisseur. Conditions d'éclairages et d'observation.	Les interférences en lumière polarisée sont hors programme.

8 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	Etude des défauts de l'amplificateur opérationnel.
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	Oscillateur autoentreteu quasi sinusoïdal.
4	Conversion alternatif-continu.
5	Oscillateur de relaxation.
6	Montages à amplificateur opérationnel (intégration, dérivation).
7	Effet d'un filtre linéaire sur un signal périodique.
8	Propagation libre d'une onde électromagnétique.
9	Mesures optiques à l'aide de l'interféromètre de Michelson.
10	Changement d'état d'un corps pur.

11	Pendule pesant. Pendule de torsion.
12	Polarisation des ondes lumineuses.