

1. Objectifs de formation

L'enseignement de la physique dans les classes de MPSI et de MP s'inscrit dans la continuité de l'esprit des programmes cycle terminal menant au baccalauréat scientifique. Il a vocation dans ces matières à apporter les connaissances fondamentales indispensables à la formation générale d'un futur ingénieur, enseignant ou chercheur.

Dans un monde en évolution rapide, où une somme énorme de connaissances est disponible, l'enseignement dispensé par le professeur doit éveiller la curiosité face au monde réel, promouvoir le sens de l'observation qui est à l'origine des grandes découvertes et développer chez l'étudiant le goût de l'expérience et du concret.

La formation dispensée au cours des deux années de préparation doit, dans une approche équilibrée entre théorie et expérience, 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.

L'objectif essentiel est que l'étudiant devienne graduellement acteur de sa formation, qu'il comprenne mieux l'impact de la science et que, plus assuré dans ses connaissances, il soit préparé à poursuivre son cursus d'études dans les grandes écoles.

La méthode scientifique utilisée, empreinte de rigueur et de sens critique permanent, doit permettre à l'étudiant, sur toute question du programme :

- de communiquer l'essentiel des résultats sous forme claire et concise, tant à l'oral qu'à l'écrit ;
- d'en analyser le caractère de pertinence : modèle utilisé, limites du modèle, influence des paramètres, homogénéité des formules, symétries, interprétation des cas limites, ordres de grandeur et précision ;
- d'en rechercher l'impact pratique.

2. Programme

Le programme a été rédigé et abondamment commenté dans le but d'éviter toute dérive inflationniste. Toutes les parties du programme sont abordées en première année et approfondies en seconde année.

Les têtes de chapitre sont très classiques, de façon à ce que les acquis des étudiants soient clairement identifiés. L'enseignement est toutefois renouvelé :

- par une réhabilitation des travaux pratiques (TP) qui justifie que des connaissances actuellement largement enseignées en cours soient transférées en totalité en TP.
- par la prise en compte de l'outil général qu'est la transformée de FOURIER, considérée à un niveau strictement descriptif (les considérations d'énergie et les traitements bilinéaires de signaux sont hors programme ainsi que le théorème de convolution et les théorèmes faisant intervenir les fonctions de corrélation).
- par l'introduction, limitée, de bilans thermiques en thermodynamique.
- par l'utilisation de l'ordinateur, en TP ou lors d'expériences de cours, pour l'acquisition et le traitement de données expérimentales de façon à tester des modèles de divers niveaux d'élaboration, renforçant ainsi le lien entre la théorie et les travaux expérimentaux ; dans des situations qui se prêtent mal à une expérimentation personnelle, l'ordinateur peut être utilisé pour présenter des résultats expérimentaux enregistrés ou des simulations, ces dernières ne peuvent toutefois jamais se substituer à l'expérience. Les commentaires des programmes de physique mentionnent les rubriques qui se prêtent le mieux à ces diverses activités.

Plus généralement, on peut utiliser l'ordinateur à chaque fois que celui-ci peut apporter un gain de temps ou une amélioration de la compréhension. Selon les circonstances, il peut être fait appel aux divers services offerts par l'appareil, notamment à ceux rendus par des logiciels traitant de problèmes scientifiques, par des logiciels de calcul formel et de présentation graphique ainsi que par des logiciels généraux (traitement de texte, tableur, base de données).

Il peut être proposé aux étudiants d'utiliser un ordinateur en tant qu'assistant. Une procédure simple étant clairement indiquée, aucune connaissance préalable du matériel et des logiciels ne doit être requise, de façon à ce que le but unique reste l'évaluation des capacités en physique.

2.1. Mécanique

Les programmes ont été établis en tenant compte d'un enseignement nouveau et parallèle de Mécanique-Automatique.

2.1.1. Mécanique newtonienne du point matériel

Domaine de validité de la mécanique newtonienne.
Espace et temps, changement de référentiel. Lois de composition des vitesses et des accélérations

On ne fait ici que mentionner succinctement l'existence de renouvellements conceptuels apportés par la Mécanique relativiste et la Mécanique quantique : tout développement formel est exclu.

Les formules de changement de référentiel ne concernent que le cas de la translation, ou celui où l'un des référentiels est animé par rapport à l'autre d'un mouvement de rotation uniforme autour d'un axe de direction fixe.

Les trois lois de NEWTON de la dynamique : « principe d'inertie », « relation fondamentale », « principe dit de l'action et de la réaction » ou « des interactions réciproques ».

Relativité galiléenne, référentiel non galiléen.

Quantité de mouvement, moment cinétique. Théorème du moment cinétique en un point fixe.

Puissance et travail d'une force, énergie cinétique, énergie potentielle, énergie mécanique. Théorème de la puissance et de l'énergie cinétique.

Lois de conservation : conditions et implications de la conservation de la quantité de mouvement, du moment cinétique et de l'énergie mécanique.

Les formalismes lagrangien et hamiltonien sont hors programme. On n'étudie que les chocs de particules ponctuelles. Les systèmes ouverts, par exemple les problèmes faisant intervenir une masse variable avec le temps (« fusée »...) sont hors programme.

Système de deux particules. Cas où le système est isolé : masse réduite, mobile équivalent, énergie potentielle d'interaction.

Cette étude donne l'occasion de présenter sur l'exemple le plus simple des concepts et des résultats dont on affirme la validité pour tout système de points matériels : référentiel barycentrique, théorèmes de la quantité de mouvement et du moment cinétique. On fait de même ressortir comme un résultat général l'intervention dans le théorème de l'énergie cinétique du travail des forces intérieures, indépendant du référentiel, et non nul au sein d'un système déformable, même si le système de forces correspondant a une somme et un moment nuls. Le concept d'énergie potentielle, ou d'interaction, sera utilement revu à l'occasion du cours de thermodynamique.

Mouvement à force centrale, potentiel efficace, états liés et états de diffusion.

Applications

Mouvement dans un champ newtonien.

Aucune démarche n'est imposée. En conséquence, on ne peut exiger aucune formulation particulière.

À l'occasion de l'étude du cas gravitationnel, on fait ressortir le caractère remarquable de la coïncidence entre masse inertielle et masse gravitationnelle. Le calcul explicite de la déviation RUTHERFORD est hors programme.

Force de LORENTZ. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme. Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme et permanent.

Oscillateurs linéaires : oscillateur harmonique amorti, temps de relaxation, facteur de qualité. Oscillations libres, oscillations forcées, résonance.

En ce qui concerne les oscillations libres, on montre que la conservation de l'énergie limite le domaine possible des positions et peut suffire à entraîner le caractère périodique des oscillations, sans que celles-ci soient nécessairement sinusoidales. La notion d'espace et de portrait de phase ne sont introduits que dans le cas de mouvements ne dépendant que d'une seule variable d'espace. La connaissance des propriétés générales et l'utilisation systématique de ces concepts est hors programme : on se contente de descriptions qualitatives, ou d'observations.

Oscillateurs non-linéaires : exemples de non-linéarités. Rôle des non-linéarités pour l'oscillateur entretenu.

On se limite à une étude descriptive, illustrée par des manipulations et des simulations, tout développement analytique étant exclu. Quand l'état d'avancement du cours d'électrocinétique le permet, on dégage des analogies électromécaniques et on peut présenter divers oscillateurs en travaux pratiques d'électronique.

2.2. Electrocinétique

L'électronique apparaît en travaux pratiques exclusivement. Pour des raisons de commodité, les montages de travaux pratiques peuvent utiliser l'amplificateur opérationnel. Néanmoins, aucune connaissance sur ce composant ne peut être exigée autre que celles permettant son utilisation dans un montage.

Aucune technicité mathématique ne doit être recherchée dans les calculs.

Régime continu, ou lentement variable.

Le cadre précis de l'approximation des régimes quasi-permanents (dits aussi quasi-stationnaires) sera discuté en seconde année. On se contente d'en affirmer les modalités pratiques.

Tension électrique, loi des mailles.
Courant électrique, bilan de charges. Loi des nœuds

Loi d'Ohm.
Théorème de MILLMAN.
Diviseurs de courants et de tensions.
Caractéristique d'un dipôle électrocinétique.
Générateur et récepteur d'énergie électrocinétique, bilans d'énergie et de puissance.

Les différents domaines de la physique et de la chimie où apparaissent des bilans-conservation sont suffisamment étendus pour que le programme revienne fréquemment sur ces bilans.

Théorème de superposition.
Théorèmes de NORTON et de THÉVENIN.

Les méthodes matricielles ne sont pas au programme.

Régimes transitoire et sinusoïdal forcé.
Bilans d'énergie et de puissance. Grandeurs efficaces.

Le théorème de BOUCHEROT est hors programme.

Notation complexe : impédance, admittance, fonction de transfert, pulsation de coupure, facteur de qualité.
Diagramme de BODE de filtres du premier ordre.

La fonction de transfert de référence étant la réponse en charge ou en courant d'un R-L-C série, on se limite aux associations en série et en parallèle de R, L, C qui

conduisent à des fonctions de transfert de ce type. On s'attache à prévoir directement les asymptotes B.F. et H.F. de filtres dont les pôles et les zéros sont d'ordre 1, en comparant les admittances et impédances des branches du circuit étudié.

La fonction de transfert est uniquement étudiée et utilisée pour calculer un rapport d'amplitude et un déphasage en régime sinusoïdal forcé.

2.3. Électromagnétisme

L'ensemble de l'électrostatique et de la magnétostatique n'est pas centré 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 \vec{E} et \vec{B} .

2.3.1. Electrostatique

En dehors de la relation entre le champ électrostatique et le potentiel dont il dérive, toute autre relation locale est exclue en première année.

Loi de COULOMB. Champ électrostatique \vec{E} , sa topographie.

Circulation de \vec{E} : potentiel électrostatique. Flux de \vec{E} : théorème de GAUSS. Propriétés de symétrie du champ \vec{E} . On se limite pour l'étude des propriétés de symétrie à la recherche des plans de symétrie de la distribution de charges et à la recherche des invariances par translation et par rotation de cette distribution.

Dipôle électrostatique : champ créé, action d'un champ électrique uniforme. Le développement multipolaire est hors programme.

2.3.2. Magnétostatique

Champ magnétostatique \vec{B} , sa topographie.

On se borne à présenter des cartes de champ et à commenter l'allure de celles-ci. On peut comparer des spectres magnétiques avec des cartes de champ tracées à l'aide d'un logiciel.

Flux de \vec{B} : sa conservation. Circulation de \vec{B} : théorème d'AMPÈRE. Loi de BIOT et SAVART. Propriétés de symétrie du champ \vec{B} . On se borne à affirmer ces propriétés et à faire constater, dans quelques cas simples, leur cohérence avec les résultats expérimentaux. On se limite pour l'étude des propriétés de symétrie à la recherche des plans de symétrie de la distribution de courants et à la recherche des invariances par translation et par rotation de cette distribution.

Champs d'un fil rectiligne illimité, sur l'axe d'une spire circulaire et d'un solénoïde de section circulaire ; limite du solénoïde infiniment long.

Dipôle magnétique.

Introduites à partir de la considération du champ à l'infini sur l'axe d'une spire circulaire, les conditions d'applicabilité de l'approximation dipolaire et

l'expression intrinsèque du champ \vec{B} sont admises. On ne manque pas de faire observer que, en dehors de l'approximation dipolaire, les lignes de champ de systèmes électrostatiques et de systèmes magnétiques ne sont pas les mêmes.

Loi de LAPLACE, appliquée à un circuit filiforme.

Il suffit de l'affirmer, sans justification.

Comparaison des propriétés des champs \vec{E} et \vec{B} , en particulier de leurs symétries respectives.

2.4. Optique

L'enseignement de première année est essentiellement expérimental ; seules des épreuves à caractère expérimental peuvent avoir comme objet principal l'optique géométrique.

2.4.1. Optique géométrique

L'enseignement de cette partie se fait essentiellement dans le cadre de travaux pratiques, aux cours desquels les étudiants se familiarisent avec des montages simples. De cette approche empirique et expérimentale, on dégage et on énonce quelques lois générales. Le caractère de cet enseignement donne inévitablement au professeur l'occasion de faire observer des phénomènes, tels les aberrations, dont le traitement est hors programme. On se borne dans ces conditions à l'observation de ces phénomènes, en l'accompagnant éventuellement d'un bref commentaire, mais on ne cherche pas à en rendre compte par une théorie détaillée.

Approximation de l'optique géométrique :
Rayon lumineux. Réflexion et réfraction.
Objet et image.

On se limite à une présentation qualitative de l'approximation de l'optique géométrique. Le principe de FERMAT peut être mentionné en raison de son intérêt culturel, mais il est hors de question de le « démontrer » à partir des lois de DESCARTES ou d'adopter la démarche inverse. Le dioptrique sphérique n'est pas au programme.

Miroirs sphériques et lentilles minces dans l'approximation de GAUSS.

On admet la propriété d'aplanétisme et la notion de foyer pour établir les relations de conjugaison. L'essentiel est de maîtriser la construction de l'image d'un objet.

2.5. Thermodynamique

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

Modèle du Gaz parfait monoatomique ; définition cinétique de la pression et de la température. Équation d'état, énergie interne. Limite du modèle du gaz parfait.

La loi de distribution des vitesses de MAXWELL-BOLTZMANN est hors programme. On indique ce qui est spécifique au gaz parfait monoatomique et ce qui est généralisable au gaz parfait non monoatomique et aux fluides.

Présentation qualitative des gaz réels.

La connaissance d'aucune équation d'état de gaz réel n'est exigible.

Éléments de statique des fluides : conditions d'équilibre. Cas d'un fluide incompressible et homogène.

La tension superficielle est hors programme.

Cas de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait	Cette étude est l'occasion de rencontrer la loi de distribution de BOLTZMANN, relative à densité volumique de particules de gaz dans un champ extérieur, dont la validité plus générale est simplement affirmée.
Système thermodynamique ; équilibre ; système homogène, phase. Variables thermodynamiques d'état ; variables extensives et intensives. Équations d'état. Définition des coefficients thermoélastiques. Transformations réversibles et irréversibles.	
Travail échangé par un système ; travail des forces de pression.	
Premier principe de la thermodynamique ou principe d'équivalence. Énergie interne U , fonction d'état thermodynamique. Chaleur échangée par un système.	On peut utiliser au choix les termes de chaleur échangée ou de transfert calorifique. On traite la détente de Joule GAY-LUSSAC.
Bilans énergétiques	On peut calculer les chaleurs échangées pour des transformations non adiabatiques en utilisant le premier principe.
Enthalpie H , fonction d'état thermodynamique.	On introduit l'enthalpie sur l'exemple de la détente de JOULE-KELVIN (dite aussi de JOULE-THOMSON). En liaison avec le cours de chimie, on montre l'intérêt de l'enthalpie pour le calcul des transferts calorifiques au cours des évolutions isobares.
Capacités thermiques isochore et isobare.	
Second principe de la thermodynamique ou principe d'évolution.	
Entropie S , fonction d'état thermodynamique. Entropie échangée et entropie créée. Bilans entropiques.	Toute interprétation statistique de l'entropie est hors programme.
Définition thermodynamique de la température.	Les coefficients calorimétriques ℓ , h , λ et μ d'un fluide homogène, les formules de CLAPEYRON, les potentiels thermodynamiques et les relations de MAXWELL sont hors programme.
Notions sur les changements d'état du corps pur.	On se limite aux changements d'état solide–liquide–gaz.
Machines dithermes. Rendement des moteurs. Coefficient d'efficacité des récepteurs. Théorème de CARNOT.	

2.6. Travaux pratiques

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, de retour en arrière, 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. À 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. On peut ainsi multiplier les expériences en faisant varier les conditions d'expérimentation, montrant en particulier l'influence des paramètres pertinents sur le phénomène étudié et renforcer ainsi le lien entre la théorie et les travaux expérimentaux, par référence à des modèles de divers niveaux d'élaboration. Le recours à cet outil permet, en liaison avec la démarche expérimentale, de dégager l'intérêt et les limites d'une modélisation.

Les travaux pratiques sont établis à partir de la liste qui suit. Ils peuvent faire appel aux thèmes étudiés et aux connaissances acquises pendant les deux années de préparation. Ils doivent tenir compte de l'esprit dans lequel a été dispensé l'enseignement, conformément aux indications données ci-dessus. Ils doivent permettre de juger, non seulement le savoir-faire des étudiants, mais aussi le sens critique, l'initiative, le réflexe et le comportement devant les réalités expérimentales ; un compte-rendu leur est demandé. Pour ce qui concerne l'outil informatique, il peut être proposé d'utiliser un ordinateur en tant qu'assistant ; une procédure simple étant clairement indiquée, aucune connaissance préalable du matériel et des logiciels n'est requise, de façon à évaluer uniquement les capacités en physique.

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

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

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

2.6.1. Liste des thèmes et méthodes

- Mécanique : chocs, simulation de trajectoires.
- Mesures courantes d'impédances, d'intensité, de tension, de fréquence et de déphasage par des appareils analogiques ou numériques et par oscilloscope.
- Tracé de caractéristiques.
- Étude des régimes transitoires et forcés, oscillations entretenues, résonance.
- Mesures courantes des paramètres caractéristiques d'un montage amplificateur de tension réalisé à partir d'un amplificateur opérationnel : gain en tension, résistances d'entrée et de sortie, fréquences de coupure à -3dB, niveau de saturation en tension et vitesse de balayage.
- Réalisation et caractérisation d'opérateurs linéaires simples à amplificateurs opérationnels tels que : amplificateur de tension, inverseur, sommateur. . .
- Diagrammes de BODE.
- Mesures de champ magnétique.
- Spectres électriques et magnétiques, simulation.
- Formation d'images par un système optique simple.
- Réalisation de montages comportant des associations de lentilles ; réalisation et/ou analyse d'appareils tels que projecteurs, appareils photo, microscope, lunette astronomique.
- Mesure d'angles et de distances.
- Mesure de chaleur massique.
- Changement de phase.

2.6.2. Liste de matériel et logiciels

- Oscilloscopes analogique et numérique.
- Oscilloscope à mémoire numérique, interfaçable numériquement.
- Générateur de signaux (BF) avec modulation interne et sortie de l'image analogique de la fréquence.
- Alimentation stabilisée tension-courant.
- Voltmètre, ampèremètre, multimètre analogiques ou numériques.
- Phasemètre.
- Boites de résistances.
- Boites de capacités.
- Amplificateur opérationnel.
- Table traçante.
- Sonde de HALL.
- Capteurs de température.
- Capteurs de pression.
- Calorimètre.
- Banc d'optique.
- Laser.
- Sources spectrales.
- Lentilles et miroirs plans et sphériques.
- Collimateur, lunette autocollimatrice.
- Viseur à frontale fixe et viseur dioptrique.
- Goniomètre.
- Ordinateur avec écran couleur, imprimante et lecteur de disque optique compact.
- Carte d'acquisition du signal et logiciel de traitement.
- Logiciel de simulation de spectres électrostatiques et magnétostatiques.