

Le programme de physique de la classe de PCSI s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

A travers l'enseignement de la physique, il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique et de ses grandes étapes : observer et mesurer, comprendre et modéliser, agir pour créer, pour produire, pour appliquer cette science aux réalisations humaines. Ces compétences ne sauraient être opérationnelles sans connaissances, ni savoir-faire ou capacités. C'est pourquoi ce programme définit un socle de connaissances et de capacités, conçu pour être accessible à tous les étudiants, en organisant de façon progressive leur introduction au cours de la première année. L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Parce que la physique est avant tout une science expérimentale, parce que l'expérience intervient dans chacune des étapes de la démarche scientifique, parce qu'une démarche scientifique rigoureuse développe l'observation, l'investigation, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est mise au cœur de l'enseignement de la discipline, en cours et lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales répondent à la nécessité de se confronter au réel, nécessité que l'ingénieur, le chercheur, le scientifique auront inévitablement à prendre en compte dans l'exercice de leur activité, notamment dans le domaine de la mesure.

Pour acquérir sa validité, l'expérience nécessite le support d'un modèle. La notion même de modèle est centrale pour la discipline. Par conséquent modéliser est une compétence essentielle développée en PCSI. Pour apprendre à l'étudiant à modéliser de façon autonome, il convient de lui faire découvrir les différentes facettes de la physique, qui toutes peuvent le guider dans la compréhension des phénomènes. Ainsi le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle passe par l'utilisation nécessaire des mathématiques, symboles et méthodes, dont le fondateur de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. Si les mathématiques sont un outil puissant de modélisation, que l'étudiant doit maîtriser, elles sont parfois plus contraignantes lorsqu'il s'agit d'en extraire une solution. L'évolution des techniques permet désormais d'utiliser aussi l'approche numérique afin de faire porter prioritairement l'attention des étudiants sur l'interprétation et la discussion des résultats plutôt que sur une technique d'obtention. Cette approche permet en outre une modélisation plus fine du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est aussi l'occasion pour l'étudiant d'exploiter les compétences acquises en informatique. C'est enfin l'opportunité de mener avec le professeur de mathématiques d'éventuelles démarches collaboratives.

Enfin l'autonomie de l'étudiant et la prise d'initiative sont développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre

à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à un questionnement ou atteindre un but.

A. Premier semestre **Contenus disciplinaires**

1. Signaux Physiques

Le **bloc 1** s'articule autour d'un système simple connu, l'oscillateur harmonique non amorti en mécanique. Ce système permet d'introduire le concept fondamental d'équation différentielle modèle de l'évolution temporelle, dans un contexte où la mise en équations ne pose pas de difficulté majeure, et d'introduire un vocabulaire précis qui sera réinvesti par la suite.

Le **bloc 2** est consacré à la propagation du signal. Il est ici indispensable de s'appuyer sur l'approche expérimentale ou sur des logiciels de simulation pour permettre aux étudiants de faire le lien entre l'observation de signaux qui se propagent et la traduction mathématique de cette propagation, sans qu'aucune référence ne soit faite ici à une équation d'ondes. L'étude de la somme de deux signaux sinusoïdaux de même fréquence et du phénomène d'interférences associé permet de mettre en évidence le rôle essentiel joué par le déphasage entre les deux signaux dans le signal résultant. Les ondes stationnaires 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. La diffraction est abordée de manière purement descriptive et expérimentale, et est envisagée comme une propriété universelle des ondes ; l'objectif est ici d'une part d'introduire l'approximation de l'optique géométrique et d'autre part de préparer l'interprétation ultérieure de l'inégalité de Heisenberg. Ce bloc se termine par une première approche, expérimentale elle aussi, de la manifestation vectorielle d'une onde transverse, autour de la loi de Malus.

Le **bloc 3** porte sur l'optique géométrique. Il ne doit pas être enseigné ou évalué pour lui-même, mais doit servir de point d'appui à des approches expérimentales en première année et à l'étude de l'optique physique de deuxième année.

L'introduction au monde quantique fait l'objet du **bloc 4**. Elle est restreinte, comme dans toute cette partie « Signaux physiques » à l'étude de systèmes unidimensionnels. La réflexion sur les thèmes abordés ici doit avant tout être qualitative ; toute dérivation calculatoire devra être soigneusement évitée. Les concepts essentiels abordés sont la dualité onde-corpuscule, l'interprétation probabiliste de la fonction d'onde, et les conséquences de l'inégalité de Heisenberg spatiale dans des situations confinées.

Le **bloc 5** pose les bases nécessaires à l'étude des circuits dans l'Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS). Si le programme se concentre sur l'étude des dipôles R, L et C, lors des travaux pratiques il est possible de faire appel à des composants intégrés ou non linéaires (amplificateurs opérationnels, filtres à capacité commutée, échantillonneur-bloqueur, diodes, photorésistances, etc.) dès lors qu'aucune connaissance préalable n'est nécessaire.

Les **blocs 6, 7 et 8** abordent l'étude des circuits linéaires du premier et du second ordre en régime libre puis forcé, et une introduction au filtrage linéaire. Il s'agit avant tout de comprendre les principes des outils utilisés, et leur exploitation pour étudier le comportement d'un signal traversant un système linéaire. Ainsi l'évaluation ne peut-elle porter sur le tracé d'un diagramme de BODE à partir

d'une fonction de transfert, ou sur la connaissance *a priori* de catalogues de filtres. Cependant, le professeur pourra, s'il le souhaite, détailler sur l'exemple simple du filtre du premier ordre le passage de la fonction de transfert au diagramme de BODE. L'objectif est bien plutôt ici de comprendre le rôle central de la linéarité des systèmes pour interpréter le signal de sortie. L'étude de régimes libres à partir de portraits de phase est une première introduction à l'utilisation de tels outils qui seront enrichis dans le cours de mécanique pour aborder la physique non linéaire.

2. Mécanique 1

Le **bloc 1** est une approche de la cinématique du point, les exemples étant limités aux mouvements plans, et de la cinématique du solide, limitée aux cas de la translation et de la rotation autour d'un axe fixe. Il convient de construire les outils sans formalisme excessif, en motivant l'étude par des exemples réels, tirés par exemple d'expériences de cours ou d'enregistrements vidéo. Ainsi, l'introduction du repérage en coordonnées cartésiennes s'appuie sur l'étude du mouvement à accélération constante et l'introduction du repérage en coordonnées polaires s'appuie sur l'étude du mouvement circulaire. Si la compréhension du rôle de l'accélération normale dans un mouvement curviligne plan quelconque est une compétence attendue, tout calcul à ce sujet est hors de portée des élèves qui ne connaissent pas la géométrie différentielle (rayon de courbure, trièdre de FRENET). Pour le solide en rotation autour d'un axe fixe, 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'explicitier la vitesse de chaque point en fonction de ω et de la distance à l'axe de rotation ; la connaissance du vecteur-rotation n'est pas exigible.

Le **bloc 2** introduit les bases de la dynamique newtonienne. Il est essentiel de ne pas se limiter à l'étude de situations simplifiées à l'excès afin de parvenir à une solution analytique. Au contraire il convient d'habituer les étudiants à utiliser les outils de calcul numérique (calculatrices graphiques, logiciels de calcul numérique...) qui permettent de traiter des situations réelles dans toute leur richesse (rôle des frottements, effets non linéaires...). Le programme insiste sur le portrait de phase considéré comme un regard complémentaire sur les équations différentielles. Les portraits de phase ne doivent pas donner lieu à des débordements calculatoires : leur construction explicite est donc limitée au cas des oscillations harmoniques au voisinage d'une position d'équilibre. En revanche les étudiants devront savoir interpréter un portrait de phase plus complexe qui leur serait fourni ou qu'ils auraient obtenu expérimentalement ou à l'aide d'un logiciel.

Le **bloc 3**, centré sur l'étude des mouvements de particules chargées, se prête à une ouverture vers la dynamique relativiste, qui ne doit en aucun cas être prétexte à des débordements, en particulier sous forme de dérives calculatoires ; la seule compétence attendue est l'exploitation des expressions fournies de l'énergie et de la quantité de mouvement d'une particule relativiste pour analyser des documents scientifiques.

B. Deuxième semestre

1. Mécanique 2

Dans le **bloc 4**, 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. La rubrique 4.3 a pour seul objectif de montrer la nécessité de prendre en compte le travail des forces intérieures lorsqu'on applique la loi de l'énergie cinétique à un système déformable.

Le **bloc 5** est motivé par ses nombreuses applications. On se limite à discuter la nature de la trajectoire sur un graphe donnant l'énergie potentielle effective et on ne poursuit l'étude dans le cas d'un champ newtonien (lois de Kepler) que dans le cas d'une trajectoire circulaire. Le caractère elliptique des trajectoires associées à un état lié est affirmé sans qu'aucune étude géométrique des ellipses ne soit prévue ; on utilise dans ce cas les constantes du mouvement (moment cinétique et énergie mécanique) pour exprimer l'énergie de la trajectoire elliptique en fonction du demi-grand axe. Enfin l'approche de l'expérience de Rutherford est exclusivement documentaire : tout calcul de la déviation est exclu, il s'agit en revanche d'utiliser le graphe de l'énergie potentielle effective pour relier la distance minimale d'approche à l'énergie mise en jeu.

2. Thermodynamique

Après avoir mis l'accent sur le passage fondamental d'une réalité microscopique à des grandeurs mesurables macroscopiques, cette partie propose, en s'appuyant sur des exemples concrets, de poursuivre la description et l'étude de la matière à l'échelle macroscopique, l'objectif étant d'aborder des applications motivantes. Les capacités identifiées doivent être introduites en s'appuyant dès que possible sur des dispositifs expérimentaux qui permettent ainsi leur acquisition progressive et authentique. Ces capacités se limitent à l'étude du corps pur subissant des transformations finies, excluant ainsi toute thermodynamique différentielle : le seul recours à une quantité élémentaire intervient lors de l'évaluation du travail algébriquement reçu par un système par intégration du travail élémentaire. En particulier, pour les bilans finis d'énergie, les expressions des fonctions d'état U et H seront données si le système ne relève pas du modèle gaz parfait ou du modèle de la phase condensée incompressible et indilatable. Pour les bilans finis d'entropie, l'expression de la fonction d'état entropie sera systématiquement donnée et on ne s'intéressera pas à sa construction.

S'agissant de l'application des principes de la thermodynamique aux machines thermiques avec écoulement stationnaire, il s'agit d'une introduction modeste : les étudiants doivent avoir compris pourquoi l'enthalpie intervient mais l'essentiel n'est pas la démonstration (qui sera reprise en deuxième année) ; il s'agit en revanche d'orienter l'enseignement de la thermodynamique vers des applications industrielles réelles motivantes grâce à l'utilisation de diagrammes.

3. Statique des fluides

Partant du cas particulier de la statique des fluides dans le champ de pesanteur qui ne nécessite qu'un formalisme minimal, un des objectifs est de montrer à la fin de cette partie l'intérêt d'un formalisme plus poussé (introduction de l'opérateur gradient) pour passer à une formulation universelle d'une loi de la

physique. La statique des fluides permet également d'introduire le facteur de Boltzmann dont on affirmera la généralité.

4. Induction et forces de Laplace

Le **bloc 1. « Champ magnétique »** vise à faire le lien avec le programme de la classe de première S et à permettre à l'étudiant de disposer des outils minimaux nécessaires ; l'accent est mis sur le concept de champ vectoriel, sur l'exploitation des représentations graphiques et sur la connaissance d'ordres de grandeur. Une étude plus approfondie de la magnétostatique sera conduite en seconde année.

Dans le **bloc 2. « Actions d'un champ magnétique »**, le professeur est libre d'introduire la force de Laplace avec ou sans référence à la force de Lorentz. Il s'agit ici de se doter d'expressions opérationnelles pour étudier le mouvement dans un champ uniforme et stationnaire (soit d'une barre en translation, soit d'un moment magnétique en rotation modélisé par un cadre rectangulaire).

Le **bloc 3. « Lois de l'induction »** repose sur la loi de Faraday qui se prête parfaitement à une introduction expérimentale et qui peut constituer un bel exemple d'illustration de l'histoire des sciences. On n'omettra pas, à ce sujet, d'évoquer les différents points de vue possibles sur le même phénomène selon le référentiel dans lequel on se place.

Le **bloc 4. « Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps »** aborde le phénomène d'auto-induction puis le couplage par mutuelle inductance entre deux circuits fixes. Elle traite du modèle du transformateur de tensions.

Le **bloc 5. « Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire »** est centré sur la conversion de puissance. Des situations géométriques simples permettent de dégager les paramètres physiques pertinents afin de modéliser le principe d'un moteur à courant continu ou un dispositif de freinage, puis par adjonction d'une force de rappel un haut-parleur électrodynamique.