

Royaume du Maroc



Ministère de l'Education Nationale,
du Préscolaire et des Sports

Ministère de l'Éducation Nationale, du Préscolaire et des Sports
Classes Préparatoires aux Grandes Écoles
Filière : Mathématiques, Physique et Sciences de l'Ingénieur (MPSI)
Programme de physique
Première année

Table des matières

Préambule

1.	Objectifs de formation en physique	3
2.	Repères pour l'enseignant.....	4
3.	Communication à l'écrit et à l'oral.....	4
4.	Évaluation des élèves.....	4
5.	Organisation des programmes.....	5

A. Formation expérimentale

1.	Objectifs de la formation expérimentale.....	6
2.	Organisation de la formation expérimentale.....	7
2.1.	Mesures et incertitudes.....	7
2.2.	Prévention du risque au laboratoire de physique	8
2.3.	Thèmes de travaux pratiques et objectifs.....	9
2.4.	Compte rendu.....	12

B. Contenus thématiques

1.	Électronique	
1.1.	Lois générales dans le cadre de l'approximation des régimes quasi-stationnaires.....	14
1.2.	Éléments de circuits linéaires en régime continu ou quasi-stationnaires.....	15
1.3.	Régime transitoire.....	16
1.4.	Régime sinusoïdal forcé.....	16
1.5.	Filtrage linéaire.....	17
1.6.	Amplificateur Linéaire Intégré.....	17
2.	Optique	
2.1.	Approximation de l'optique géométrique.....	18
2.2.	Formation des images dans les conditions de GAUSS.....	19
2.3.	Modèles de quelques dispositifs optiques.....	20
3.	Mécanique	
3.1.	Description et paramétrage du mouvement d'un point.....	20
3.2.	Dynamique du point matériel dans un référentiel galiléen, lois de NEWTON	21
3.3.	Puissance et travail d'une force. Théorème de l'énergie cinétique.....	22
3.4.	Mouvement de particules chargées dans des champs électrique et magnétique, uniformes et stationnaires.....	22
3.5.	Oscillateur linéaire à un degré de liberté.....	23
3.6.	Théorème du moment cinétique.....	23
3.7.	Mouvements dans un champ de forces centrales conservatives, mouvement newtonien.....	24
3.8.	Dynamique du point matériel dans un référentiel non galiléen.....	24
4.	Introduction à la physique quantique.....	25
5.	Thermodynamique	
5.1.	Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre.....	26
5.2.	Statique des fluides dans un référentiel galiléen.....	27
5.3.	Premier principe de la thermodynamique pour un système fermé.....	28
5.4.	Deuxième principe de la thermodynamique pour un système fermé.....	28
5.5.	Changement de phase d'un corps pur.....	29
5.6.	Étude des machines thermiques.....	29
6.	Électromagnétisme	
6.1.	Champ et potentiel électrostatiques.....	30
6.2.	Dipôle électrostatique.....	31
6.3.	Champ magnétostatique.....	32
6.4.	Dipôle magnétique.....	33

Annexes

1.	Liste de matériel de physique.....	33
2.	Outils mathématiques pour la physique	34
3.	Outils numériques pour la physique	36

Préambule

1. Objectifs de formation en physique

La réforme du programme de physique de la classe de MPSI est rendue nécessaire par l'évolution des contextes, scientifique, technique et pédagogique, sur le plan international. Elle permettra de réduire le décalage croissant entre la physique enseignée et la physique pratiquée telle qu'elle se manifeste en permanence via ses applications technologiques et numériques. Elle s'inscrit aussi dans la continuité de l'esprit des programmes du secondaire qualifiant menant au baccalauréat scientifique. Le programme de physique de la première année vise à préparer les élèves à la deuxième année de classe préparatoire et à apporter les connaissances fondamentales indispensables à la formation générale d'un futur, ingénieur, enseignant ou chercheur.

La physique est une science à la fois théorique et expérimentale. Elle permet de découvrir l'Univers de l'infiniment petit jusqu'à l'infiniment grand en passant par les échelles intermédiaires de la vie de tous les jours. Son enseignement s'appuie sur une approche théorique mathématisée de la discipline et vise à élaborer des modèles, des plus simples aux plus complexes, qui seront confrontés à l'expérience. Ces deux composantes de la démarche scientifique s'enrichissent mutuellement et de façon cohérente. La formation dispensée au cours des deux années de préparation doit ainsi, dans une approche équilibrée entre théorie et expérience, apporter à l'élève 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. Les méthodes utilisées doivent encourager l'élève à devenir 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 démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les élèves à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers - retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits, et celui des modèles et des théories. L'enseignant 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 aussi par l'utilisation maîtrisée des mathématiques dont un des fondateurs de la physique expérimentale, GALILEE, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde.

L'enseignement de physique est renforcé par une réhabilitation de la formation expérimentale des élèves à travers les travaux pratiques (TP) et les expériences de cours.

L'enseignement de la physique est enrichi par l'introduction **d'activités numériques** qui permettront d'aborder de nombreux champs de la discipline. L'introduction **d'activités numériques** dans le programme prend en compte la place nouvelle des sciences numériques dans la formation des scientifiques notamment dans le domaine de la simulation. Ces activités offrent aux élèves la possibilité :

- d'effectuer une modélisation avancée du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires ;
- de réaliser un programme complet structuré allant de la prise en compte de données expérimentales à la mise en forme des résultats permettant de résoudre un problème scientifique donné ;
- d'étudier l'effet d'une variation des paramètres sur le temps de calcul, sur la précision des résultats, sur la forme des solutions pour des programmes d'ingénierie numérique choisis ;
- d'utiliser les fonctions de l'environnement logiciel pour résoudre un problème scientifique mis en équation lors des enseignements de physique ;
- d'utiliser les fonctions de l'environnement logiciel pour afficher les résultats sous forme graphique ;
- de tenir compte des aspects pratiques comme l'impact des erreurs d'arrondi sur les résultats, le temps de calcul ou le stockage en mémoire.

Pour certains thèmes, les **activités numériques** à développer sont explicitement signalées en **caractères gras italiques** dans la colonne des commentaires du tableau des contenus thématiques. Deux **activités numériques** sont associées au thème « **Mesures et incertitudes** ». Elles définissent des savoir-faire numériques exigibles. Une simulation informatique en langage Python est requise. Dans ce cas, le professeur mettra à la disposition de ces élèves, un exemple de programme informatique écrit dans ce langage de programmation familier à l'élève en cours

d'informatique. Les outils numériques développés pourront être largement appliqués lors des différentes activités d'enseignement et particulièrement lors des évaluations écrites et orales réalisées en classe.

Avec un code préalablement écrit, le professeur et l'élève pourront mettre en œuvre les outils numériques :

- avant une activité pour la préparer : estimer une incertitude, ajuster des valeurs expérimentales, comparer des prévisions théoriques et des observations expérimentales, prolonger informatiquement l'expérience, préparer un exercice, réaliser une illustration (calcul, courbe, animation, ...) ;
- pendant l'activité : faire un exercice, présenter une illustration ... ;
- après l'activité : rédiger un compte-rendu.

En plus des activités exigibles, on pourra utiliser l'outil informatique à chaque fois que celui-ci est susceptible d'apporter un gain de temps ou une meilleure illustration des enseignements. C'est ainsi qu'on pourra faire appel, selon les circonstances, à des logiciels de calcul formel et de représentation graphique, ou à des banques de données.

L'esprit de la démarche scientifique adoptée dans l'exécution du programme de physique, empreinte de rigueur et de sens critique permanent, doit permettre à l'élève, 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 ;
- de devenir 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

2. Repères pour l'enseignant

Lors de la mise en application du programme et dans le cadre de la liberté pédagogique, l'enseignant organise son enseignement en respectant les principes directeurs suivants :

- privilégier la mise en activité des élèves en évitant tout dogmatisme ;
- adopter une progressivité dans la difficulté des exercices de travaux dirigés permettant ainsi aux élèves l'assimilation, l'entraînement et l'approfondissement ;
- permettre et encadrer l'expression par les élèves de leurs conceptions initiales ;
- valoriser l'approche expérimentale ;
- contextualiser les apprentissages pour leur donner du sens ;
- procéder régulièrement à des synthèses pour expliciter et structurer les savoirs et savoir-faire et les appliquer dans des contextes différents ;
- tisser des liens aussi bien entre les notions du programme qu'avec les autres enseignements, notamment les mathématiques, les génies, électrique et mécanique, et l'informatique, communs à tous les élèves de la voie MPSI ;
- favoriser l'acquisition d'automatismes et développer l'autonomie et l'initiative des élèves en proposant des temps de travail personnel ou en groupe.

3. Communication à l'écrit et à l'oral

La phase de mise au point d'un raisonnement et de rédaction d'une solution permet à l'élève de développer les savoirs et les savoir-faire d'expression écrite. La qualité de la rédaction et de la présentation, ainsi que la clarté et la précision des raisonnements, constituent des objectifs très importants. La qualité de structuration des échanges entre le professeur et sa classe, entre le professeur et chacun de ses élèves, entre les élèves eux-mêmes, doit également contribuer à développer des savoirs et des savoir-faire de communication (écoute et expression orale) à travers la formulation d'une question, d'une réponse, d'une idée, d'hypothèses, l'argumentation de solutions ou l'exposé de démonstrations. Les travaux individuels ou en petits groupes proposés aux élèves en dehors du temps d'enseignement, au lycée ou à la maison, (interrogations orales, devoirs libres, comptes rendus de travaux pratiques ou de travaux dirigés ou d'interrogations orales) contribuent fortement à développer la communication à l'écrit et à l'oral. La communication utilise des moyens diversifiés : les élèves doivent être capables de présenter un travail clair et soigné, à l'écrit ou à l'oral, au tableau ou à l'aide d'un dispositif de projection.

4. Évaluation des élèves

L'évaluation des apprentissages en classes préparatoires se définit comme une démarche de collecte d'informations conduisant à un jugement sur la valeur du travail et du résultat d'un élève, par rapport aux objectifs

d'une activité d'enseignement, en vue de prendre une décision quant au cheminement ultérieur de l'apprenant. C'est un acte pédagogique ; formatif et sommatif. Elle vise à mesurer le degré de maîtrise des savoirs et savoir-faire tels que définis par le programme et le niveau d'autonomie et d'initiative des élèves. L'élaboration d'une situation d'évaluation prévoit une progression dans les difficultés suffisamment large pour apprécier les différents niveaux des élèves. L'évaluation doit être établie en relation avec les objectifs de formation et les performances attendues des élèves.

Rappelons que la voie MPSI s'adresse aux élèves intéressés par une approche théorique des sciences fondamentales et qui désirent comprendre le fonctionnement des différents objets par l'approche expérimentale. Il va de soi que les spécificités de cette voie doivent se retrouver dans le contenu des deux approches, théorique et expérimentale, ainsi que dans l'évaluation et le contrôle des connaissances. Les pratiques d'évaluation doivent respecter l'esprit des objectifs : tester l'aptitude de l'élève moins à résoudre les équations qu'à les poser, puis à analyser les résultats, tant dans leur caractère théorique que pratique.

5. Organisation des programmes

Le programme de physique est organisé en deux parties « **Formation expérimentale** » et « **Contenus thématiques** ».

Dans la première partie, sont décrits l'organisation de la formation expérimentale et les objectifs de cette formation que les élèves doivent développer et acquérir à la fin de l'année scolaire. La mise en œuvre de la formation expérimentale doit s'appuyer sur des problématiques concrètes et clairement identifiées. Elles doivent être programmées par l'enseignant de façon à assurer un apprentissage progressif de l'ensemble des connaissances et des savoir-faire attendus.

La seconde partie, intitulée « **Contenus thématiques** », est structurée autour de six thèmes. Elle met en valeur les éléments clefs constituant l'ensemble des savoirs et des savoir-faire dont l'assimilation par les élèves est requise. Il est recommandé d'aborder les items de cette partie qui se prêtent à l'exercice, par une approche expérimentale démonstrative ou par une simulation numérique. L'expérience de cours démonstrative menée par l'enseignant pendant le cours éveillerait la curiosité des élèves et susciterait un questionnement actif et collectif, ce qui permettrait de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation. Le choix des thèmes des expériences de cours relève de l'initiative pédagogique et de la responsabilité du professeur.

Pour faciliter la progressivité des acquisitions, pour tenir compte des contraintes liées à la formation expérimentale et afin d'avoir une vision globale à l'échelle nationale, il est impératif de suivre la progression des six thèmes de cette partie dans l'ordre suivant :

1. **Électronique ;**
2. **Optique ;**
3. **Mécanique ;**
4. **Introduction à la physique quantique ;**
5. **Thermodynamique ;**
6. **Électromagnétisme.**

L'ordre d'exposition, au sein de chaque thème, relève bien sûr de la liberté pédagogique du professeur, cependant, il devra faciliter la progressivité des acquisitions.

Trois annexes sont consacrées :

- au matériel de physique nécessaire à la mise en œuvre des programmes ;
- aux outils mathématiques et numériques que les élèves doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique à la fin de l'année de la classe de MPSI.

A. Formation expérimentale

La physique, à l'instar de toutes les sciences, est un entrelacement subtil de modèles théoriques et de validations expérimentales. Les travaux dirigés permettent aux élèves de s'entraîner et de mieux s'approprier les concepts et techniques enseignés. Les travaux pratiques leur apportent quant à eux une compréhension plus concrète des phénomènes naturels et technologiques étudiés et développent leurs savoirs et savoir-faire expérimentaux. Ils permettent ainsi de tisser un lien étroit entre le réel et sa représentation et constituent pour les élèves un moyen d'appropriation de techniques, de méthodes, mais aussi de notions et de concepts.

D'un autre côté, l'activité expérimentale part d'un questionnement inscrit dans un cadre de réflexion théorique

et conduit l'élève à analyser la tâche qui lui est demandée, à s'approprier la problématique attachée, à envisager un protocole comportant des expériences, puis à le réaliser. L'élève est alors invité à porter un jugement critique sur la pertinence des résultats obtenus, ce qui permet de conclure quant à la validité des hypothèses formulées. Une séance de travaux pratiques 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.

1. Objectifs de la formation expérimentale

Le programme de physique introduit les activités expérimentales avec deux principaux objectifs : un objectif d'éducation scientifique et d'apprentissage des principaux concepts qui permettent de comprendre le monde moderne en tant que citoyen éclairé et un objectif de préparation à l'évaluation des savoirs et savoir-faire expérimentaux acquis et par la suite au monde professionnel.

À ce propos, le programme de physique souligne l'importance :

- de la pratique expérimentale (travaux pratiques et expériences de cours) comme caractéristique des sciences physiques ;
- de l'acquisition des connaissances scientifiques et techniques de base (ordres de grandeur, schémas d'explication qualitative, modélisation, information sur le monde technique et les connaissances fondamentales en physique y compris les plus récentes) ;
- de l'entraînement à la manipulation, à l'observation, à la réalisation et à la représentation d'objets et de phénomènes ;
- de l'entraînement aux modes de raisonnement des sciences physiques, en essayant de présenter aux élèves l'interaction dialectique entre théorie et expériences.

Effectués en binôme ou trinôme, les TP apprennent aux élèves :

- à se familiariser avec le matériel et à s'adapter à ses contraintes ;
- à réaliser des mesures et des acquisitions, à les commenter, les interpréter et les confronter à un modèle théorique ;
- à concevoir progressivement leurs propres protocoles expérimentaux afin de mettre en œuvre une démarche leur permettant de réaliser les TP ; puis, plus tard, **s'approprier les concepts de la démarche scientifique durables et indispensables** à tous les futurs ingénieurs, chercheurs ou enseignants.

La formation expérimentale des élèves est réalisée à travers deux composantes : les expériences de cours et les travaux pratiques. Ces deux composantes, complémentaires, ne répondent pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- les expériences de cours démonstratives menées par l'enseignant pendant le cours suscitent un questionnement actif et collectif autour d'une situation expérimentale bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique, de montrer aux élèves que « la théorie et l'expérience sont indissociablement liées » et enfin de mieux se situer par rapport aux objectifs de la leçon. Le choix des thèmes des expériences de cours relève de l'initiative pédagogique et de la responsabilité du professeur.
- les travaux pratiques permettent, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée et, chaque fois que cela est possible, transversale, l'acquisition de savoirs et savoir-faire techniques, de savoirs dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la mesure des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

Afin d'améliorer la pratique expérimentale et rendre les apprentissages plus efficaces, il convient :

- de questionner les élèves avant, pendant et après le TP sur ce qu'ils sont en train de faire et surtout sur le pourquoi ;
- de faire usage d'un matériel sophistiqué (carte d'acquisition, oscilloscope numérique, spectromètre à fibre optique ...) de façon consciente et réfléchie. La mesure effectuée avec l'ordinateur, par exemple, ne doit pas se réduire à un presse-bouton. Les enjeux doivent être clairs pour les élèves ;
- d'être attentif aux exigences des élèves et à l'attendu des différentes évaluations. Ces exigences doivent être clairement motivées et non pas seulement dictées par la volonté de minimiser l'effort à fournir) ;

- de varier le plus possible la typologie des TP. Par exemple, en alternant le fait d'exposer la théorie avant le TP ou laisser les élèves découvrir la théorie, en alternant entre un texte protocolaire et un bref texte les invitant à développer la mise en œuvre expérimentale après une recherche documentaire.

Il est important de préciser par écrit, en préambule de l'énoncé de chaque TP, les objectifs et les savoir-faire visés et de ne pas manquer à évaluer rapidement le degré de réalisation et de maîtrise à la fin de chaque étape ou à la fin de la séance.

2. Organisation de la formation expérimentale

Cette partie précise les connaissances et les savoir-faire associés à la formation expérimentale des élèves et que ces derniers doivent acquérir à travers les activités expérimentales. Elle aborde la thématique de l'évaluation des incertitudes des mesures et la question de la prévention du risque au laboratoire de physique-chimie. Elle précise aussi la liste des thèmes de travaux pratiques et fixe les objectifs de chaque thème. Elle souligne enfin l'importance de l'évaluation régulière des acquis des élèves inscrits dans le volet de la formation expérimentale.

Une liste de matériel de physique, que les élèves doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans l'annexe « **1. Liste de matériel de physique** » du présent programme. Son placement en annexe du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

2.1. Mesures et incertitudes

La notion d'incertitude est indispensable dans la démarche expérimentale. En effet, elle est nécessaire pour juger de la qualité d'une mesure ou de sa pertinence. Sans elle on ne peut examiner la compatibilité d'une mesure avec une loi physique. Ce thème intitulé « **Mesures et incertitudes** » vise à fournir les outils nécessaires à l'analyse de résultats expérimentaux.

Les élèves doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure d'une grandeur physique et sa caractérisation à l'aide de l'incertitude-type, en connaître les origines et les sources, estimer leur influence sur le résultat final, et comprendre et s'appropriier 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, théoriques et expérimentaux, tout au long des deux années préparatoires et qu'elles soient régulièrement évaluées.

Le tableau ci-dessous explicite les savoir-faire exigibles sur le thème « **Mesures et incertitudes** ». Le recours à la simulation vise à illustrer, sur la base de mesures expérimentales, différents effets de la variabilité de la mesure d'une grandeur physique dans les cas des incertitudes-types composées et de la régression linéaire.

Notions et contenus	Savoir-faire exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Notion d'incertitude. Incertitude-type. Erreur ; composante aléatoire et composante systématique de l'erreur. Incertitude-type A. Incertitude-type B. Propagation des incertitudes. Écart normalisé. Évaluation d'une incertitude-type.	Identifier les incertitudes liées, par exemple, à l'opérateur, à l'environnement, aux instruments ou à la méthode de mesure. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B). Associer un intervalle de confiance à l'écart-type dans l'hypothèse d'une distribution suivant la loi normale.
Incertitude-type composée. Incertitude élargie.	Évaluer l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, à l'aide d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée. <i>Activité numérique : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.</i>

Écriture du résultat d'une mesure. Chiffres significatifs.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs ; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé. Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.
Régression linéaire.	Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle. Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude ou analyse des écarts normalisés. <i>Activité numérique : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation Monte-Carlo – pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle.</i>

2.2. Prévention du risque au laboratoire de physique et de chimie

L'apprentissage et le respect des règles de sécurité dans les laboratoires et les salles de travaux pratiques visent d'une part à réduire les risques liés aux activités expérimentales et d'autre part à sensibiliser les élèves au respect de la législation ainsi qu'à l'impact de leur activité sur l'environnement. L'élève doit adopter une approche méthodique, prudente et soignée et se concentrer sur ce qu'il est en train de faire.

Des savoirs et des « savoir-faire » sont attachés au thème « **Prévention du risque au laboratoire de physique et de chimie** ». Ils sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

Notions et contenus	Savoir-faire exigibles
1. Prévention des risques au laboratoire	Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
- Risque chimique Règles de sécurité au laboratoire. Classes et catégories de danger. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Mentions de danger (H) et conseils de prudence (P). Fiches de sécurité.	Relever les indications sur le risque associé au prélèvement, au mélange et au stockage des produits chimiques et adopter une attitude responsable lors de leur utilisation.
- Risque électrique Le risque électrique comprend le risque de contact, direct ou non, avec une pièce nue sous tension, le risque de court-circuit, et le risque d'arc électrique. Ses conséquences sont l'électrisation, l'électrocution, l'incendie, l'explosion...	Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
- Risque optique et électromagnétique Les rayonnements optique et électromagnétique auxquels peuvent être exposés les élèves sont parfois nocifs pour les yeux et pour la peau. Une démarche de prévention adaptée permet de réduire les risques pour la santé et la sécurité.	Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée. Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation des émetteurs d'ondes hyperfréquences.
- Risque thermique L'exposition à une ambiance thermique chaude ou la manipulation de corps chauds ou froids peut être à l'origine de brûlures ou de gelures localisées potentiellement graves.	Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou froids.
- Risque mécanique Le risque mécanique englobe la coupure, la laceration ou la piqûre, l'écrasement, ...	Adopter une attitude responsable lors de manipulations de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions ou lors de la conjonction d'un élément d'un montage et l'énergie d'un mouvement.
- Risque sonore Le bruit dans les salles de travail constitue une nuisance majeure	Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation des émetteurs d'onde infrasonores, sonores ou

et peut provoquer des surdités mais aussi stress et fatigue qui, à la longue, ont des conséquences sur la santé et la qualité du travail.	ultrasonores.
2. Prévention de l'impact environnemental	
Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

2.3. Thèmes de travaux pratiques et objectifs

La liste suivante est une proposition non exhaustive de thèmes des TP. Le choix des sujets, des manipulations à réaliser et de la progression des TP (comme celui des expériences de cours) relève de l'initiative pédagogique et de la responsabilité du professeur : les thèmes proposés par le programme sont purement indicatifs, 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. Cependant, leur contenu doit répondre aux objectifs fixés par le programme. Les connaissances et les savoir-faire expérimentaux développés à travers les objectifs des différents thèmes de travaux pratiques sont exigibles aux épreuves d'évaluation, écrites et expérimentales, en classe et éventuellement aux concours. Ils peuvent faire l'objet de questions aux épreuves écrites et orales. Rappelons qu'à travers les thèmes des travaux pratiques, il faudra procéder à l'évaluation des incertitudes types A et types B, à l'étude de leur propagation à l'aide d'un langage de programmation et à la présentation de la valeur numérique d'un résultat expérimental.

N°	Thèmes des travaux pratiques	Objectifs
Mesures et incertitudes		
1	Incertitudes de mesures.	- Connaître les origines des incertitudes. - Évaluer une incertitude de mesure et leur propagation. - Savoir évaluer une incertitude type et une incertitude élargie. - Estimer correctement le nombre de chiffres significatifs à retenir dans le résultat. - Savoir utiliser une régression linéaire. - Simuler un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée. - simuler un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation MONTE-CARLO – pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle. - Confronter plus efficacement l'expérience avec un modèle théorique. - Réaliser une critique plus constructive du protocole expérimental et/ou du modèle théorique.
Électronique		
2	Instrumentation électronique au laboratoire, présentation, réglage et règles d'utilisation (1/2)	- Connaître des caractéristiques essentielles de chaque appareil à l'aide de sa notice ou directement de l'appareil : impédance d'entrée, impédance de sortie, bande passante selon le cas. - Maîtriser l'utilisation des instruments électroniques. - Gérer les contraintes liées à la liaison entre masses.
3	Instrumentation électronique au laboratoire, présentation, réglage et règles d'utilisation (2/2)	- Évaluer une résistance d'entrée ou de sortie à l'aide d'une notice ou d'un appareil afin d'appréhender les conséquences de leurs valeurs sur le fonctionnement d'un circuit. - Étudier l'influence des résistances d'entrée ou de sortie sur le signal délivré par un GBF, sur la mesure effectuée par un oscilloscope ou un multimètre.
4	Régimes transitoires de circuits électriques RC et RL.	- Élaborer un signal électrique analogique périodique simple à l'aide d'un GBF. - Obtenir un signal de valeur moyenne, de forme, d'amplitude et de fréquence données. - Mesurer les caractéristiques d'un signal électrique, amplitude, période,

5	Régimes transitoires du circuit électrique RLC.	fréquence, valeur moyenne, valeur efficace, décalage temporel et déphasage. - Passer d'un décalage temporel à un déphasage et inversement. - Repérer précisément le passage par un déphasage de 0 ou π en mode XY.
6	Régime sinusoïdal forcé et résonances du circuit RLC.	- Reconnaître une avance ou un retard de phase. - Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage et la durée totale d'acquisition. - Visualiser un signal à l'aide de la carte d'acquisition. - Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire pour un circuit linéaire du premier ordre et analyser ses caractéristiques. - Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire pour un circuit linéaire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques.
7	Mesure de résistances et d'impédances.	- Estimer la durée du régime transitoire. - Mesurer une constante de temps. - Mesurer un temps de montée. - Confronter les résultats expérimentaux aux expressions théoriques.
8	Étude d'un filtre passif de premier ordre et d'un filtre passif de second ordre.	- Caractériser un phénomène de résonance. - Déterminer rapidement le type de filtre étudié et de sa fréquence de coupure. - Tracer le diagramme de BODE en gain et en phase. - Obtenir la réponse du filtre à un signal créneau et à un signal triangulaire.
9	Présentation et utilisation d'une station d'acquisition.	- Mettre en évidence le caractère intégrateur ou dérivateur d'un filtre dans son diagramme asymptotique. - Illustrer l'utilité des fonctions de transfert pour un système linéaire à un ou plusieurs étages. - Vérifier la nécessité de la rétroaction sur l'entrée inverseuse d'un amplificateur linéaire intégré pour que le régime linéaire soit possible.
10	ALI en régime linéaire : amplificateur inverseur, amplificateur non inverseur et suiveur.	- Observer les limitations dues aux imperfections de l'amplificateur linéaire intégré : limitations en courant, en tension et en fréquence. - Mettre en évidence le caractère intégrateur du montage intégrateur et la condition sur la période du signal à intégrer.
11	ALI en régime linéaire : intégrateur, dérivateur.	- Comparer les caractéristiques de deux filtres de même ordre, l'un passif et l'autre actif. - Illustrer l'utilité des fonctions de transfert pour un système linéaire à un ou plusieurs étages.
12	Étude d'un filtre actif de premier ordre et d'un filtre actif de second ordre.	- Identifier une résistance calibrée, une résistance variable et un potentiomètre. - Mesurer une résistance et une impédance. - Détecter le caractère non linéaire d'un système par l'apparition de nouvelles fréquences. - Utiliser un microcontrôleur.
13	ALI en régime saturé : comparateur simple, comparateur à hystérésis, multivibrateur astable à amplificateur linéaire intégré.	
Optique		
14	Lois de la réflexion et de la réfraction.	- Vérifier les lois de SNELL-DESCARTES. - Vérifier les conditions de GAUSS. - Mettre en évidence les aberrations géométriques de distorsion et chromatiques. - Reconnaître une lentille et un miroir convergents et une lentille et un miroir divergents. - Éclairer un objet de manière adaptée. - Optimiser la qualité d'une image. - Vérifier l'existence des foyers.

15	Focométrie des lentilles minces et des miroirs sphériques.	- Estimer une valeur approchée d'une distance focale. - Mesurer une longueur sur un banc d'optique. - Vérifier les relations de conjugaison et du grandissement. - Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales. - Comprendre et réaliser le réglage de la lunette autocollimatrice et du collimateur sur un spectrogoniomètre à prisme. - Créer ou repérer une direction de référence avec ces systèmes optiques.
16	Étude de quelques instruments optiques de laboratoire et leur utilisation.	- Mettre en évidence le minimum de déviation. - Effectuer une mesure d'angle sur un goniomètre. - Mesurer une longueur d'onde optique à l'aide d'un goniomètre à prisme. - Mesurer l'indice du prisme et vérifier la loi de CAUCHY. - Procéder à l'évaluation des incertitudes-types B et leur propagation grâce à l'aide d'un langage de programmation. - Vérifier l'égalité des angles d'incidence et d'émergence. - Visualiser les spectres d'émission atomique du sodium, du mercure et de l'hydrogène.
17	Réglage et utilisation d'un spectrogoniomètre, spectroscopie à prisme.	- Déterminer un spectre à l'aide d'un spectromètre à fibre optique. - Comprendre et réaliser le réglage d'un système optique. - Éclairer un objet de manière adaptée. - Optimiser la qualité d'une image. - Étudier l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image. - Utiliser ces instruments en focométrie : détermination simple de la distance focale image d'une lentille.
Mécanique		
18	Étude de mouvements par enregistrements numériques : la chute libre.	- Mettre en œuvre une méthode de stroboscopie. - Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération. - Mettre en œuvre des capteurs de vitesse et d'accélération. - Utiliser un capteur de force. - Étudier une loi de force par exemple à l'aide d'un microcontrôleur. - Mesurer des frottements fluides.
Thermodynamique		
19	Étude des isothermes d'un corps pur.	- Tracer le diagramme (P, v) lors d'un changement de phase. - Exploiter les graphiques obtenus afin de déterminer un point critique, une chaleur latente de vaporisation, et de visualiser le domaine de validité du modèle des gaz parfaits.
20	Caractéristique statique d'un capteur. Mise en œuvre d'un capteur de pression, de température.	- Tracer les isothermes d'un gaz. - Mesurer une température à l'aide d'un thermomètre, d'une thermistance ou d'un capteur infra-rouge. - Mesurer une pression. - Distinguer le caractère différentiel ou absolu du capteur.
21	Mesures calorimétriques : mesure d'une capacité thermique et d'une chaleur latente.	- Mesurer une capacité thermique, - Mesurer une enthalpie de fusion. - Mettre en œuvre une machine thermique cyclique ditherme. - Étudier une machine thermique cyclique ditherme. - Faire un bilan énergétique.
22	Étude d'une machine thermique cyclique ditherme.	- Tracer le cycle parcouru par le réfrigérant sur le diagramme enthalpique ou le diagramme de CLAPEYRON. - Calculer le rendement ou l'efficacité d'une machine thermique.
Électromagnétisme		

23	Production et mesure du champ magnétique. Spectre magnétique.	- Mesurer un champ magnétique. - Vérifier la loi de BIOT et SAVART sur des bobines de différentes formes. - Déterminer la topographie de champs, électrostatique et magnétique. - Étudier la relation entre le champ magnétique et le courant électrique. - Étudier la relation entre le champ magnétique et le nombre de spires dans une bobine. - Créer un champ magnétique uniforme.
----	---	--

2.4. Compte-rendu

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

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 aux épreuves orales et au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur.

L'élève doit rédiger dans son cahier, au fur et à mesure, un compte-rendu :

- définissant les objectifs du thème de travaux pratiques ;
- précisant la problématique préalablement définie ;
- expliquant les choix expérimentaux effectués et les techniques de mesure utilisées ;
- comprenant les mesures effectuées, et les courbes tracées et visualisées, les photos des écrans d'appareil de mesure ou de visualisation et précisant bien les choix des paramètres de mesure (amplitudes, fréquences, calibres, etc.) ;
- interprétant les différentes courbes et mesures en relation avec les résultats théoriques fournis.

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.

D'autre part, les différentes activités pratiques doivent être couronnées par l'évaluation **hebdomadaire et trimestrielle** des savoirs et savoir-faire expérimentaux. Lors de cette évaluation, il faudrait bien expliciter les distinctions entre savoir et savoir-faire, et entre savoir utiliser et savoir mettre en œuvre.

B. Contenus thématiques

Chaque thème du programme de physique comporte une introduction spécifique indiquant les objectifs de formation et les domaines d'application. Elle est complétée par un tableau en deux colonnes qui identifient, d'une part, les notions et contenus à connaître, et donc exigibles, d'autre part, des commentaires ainsi que les activités numériques, supports de la formation. Les activités numériques sont identifiées en **caractères gras italiques** ; le langage de programmation conseillé est le **langage Python**. Les thèmes des **activités numériques** sont choisis de manière à représenter la diversité des applications possibles. Le professeur veillera à ce qu'une concertation régulière avec l'enseignant d'informatique soit développée autour de l'exécution de ces activités.

Le programme a été rédigé et abondamment commenté, avec le souci majeur de faciliter la transition entre l'enseignement secondaire et le système des classes préparatoires. Pour atteindre ce but, il a été jugé indispensable :

- d'introduire progressivement les outils et les méthodes de l'enseignement de physique post-baccalauréat sur des situations conceptuelles aussi proches que possible de celles qui ont été rencontrées au lycée ; en évitant, quand c'est possible, l'emploi d'outils mathématiques non encore maîtrisés, liés à des concepts physiques nouveaux ;
- de coordonner entre les enseignements de mathématiques, sciences industrielles, informatique, physique et chimie utilisant des outils souvent communs, pour faciliter le travail d'assimilation des élèves. Ceci rejette tout cloisonnement des enseignements scientifiques et suppose au contraire une concertation étroite au sein de l'équipe pédagogique ;

- de valoriser l'approche expérimentale des phénomènes pour stimuler chez l'élève une attitude active et créatrice, favorisant l'appropriation des connaissances et le développement d'un certain savoir-faire manuel. Les travaux pratiques (TP) et les expériences de cours sont les temps forts de cette valorisation.
- de valoriser l'approche numérique afin de permettre aux élèves de mettre en œuvre leurs connaissances en informatique dans le cadre de l'étude d'une application en physique.

Les têtes de chapitre sont très classiques, de façon que les acquis des élèves soient clairement identifiés.

Thème	Partie	Volume horaire indicatif (heure)
1. Électronique	1.1. Lois générales dans le cadre de l'approximation des régimes quasi-stationnaires	2
	1.2. Éléments de circuits linéaires en régime continu ou quasi-stationnaires	8
	1.3. Régime transitoire	6
	1.4. Régime sinusoïdal forcé	8
	1.5. Filtrage linéaire	6
	1.6. Amplificateur Linéaire Intégré	6
2. Optique	2.1. Approximation de l'optique géométrique	6
	2.2. Formation des images dans les conditions de GAUSS	6
	2.3. Modèles de quelques dispositifs optiques	4
3. Mécanique	3.1. Description et paramétrage du mouvement d'un point	8
	3.2. Dynamique du point matériel dans un référentiel galiléen, lois de NEWTON	6
	3.3. Puissance et travail d'une force. Théorème de l'énergie cinétique	5
	3.4. Mouvement de particules chargées dans des champs électrique et magnétique, uniformes et stationnaires	4
	3.5. Oscillateur linéaire à un degré de liberté	6
	3.6. Théorème du moment cinétique	4
	3.7. Mouvements dans un champ de forces centrales conservatives, mouvement newtonien	6
	3.8. Dynamique du point matériel dans un référentiel non galiléen	6
4. Introduction à la physique quantique	4. Introduction à la physique quantique	4
5. Thermodynamique	5.1. Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre	6

	5.2. Statique des fluides dans un référentiel galiléen	4
	5.3. Premier principe de la thermodynamique pour un système fermé	6
	5.4. Deuxième principe de la thermodynamique pour un système fermé	6
	5.5. Changement de phase d'un corps pur	6
	5.6. Étude des machines thermiques	6
6. Électromagnétisme	6.1. Champ et potentiel électrostatiques	8
	6.2. Dipôle électrostatique	4
	6.3. Champ magnétostatique	8
	6.4. Dipôle magnétique	4

1 Électronique

Les notions de courant et de tension, la loi des nœuds et la loi des mailles ont été abordés au cycle du baccalauréat. Le régime transitoire, dans les circuits RC, RL et RLC, a été vu pendant l'année terminale ; les élèves sont initiés à manipuler les équations différentielles qui régissent ces phénomènes. Il convient d'exploiter ces acquis pour aborder les nouvelles notions et de traiter les difficultés correspondantes. En revanche, le régime sinusoïdal, les grandeurs efficaces, l'impédance, le filtrage, ... sont des notions nouvelles. Il convient de les introduire de manière progressive.

Ce programme s'appuie exclusivement sur les composants suivants : résistance, condensateur, bobine inductive et amplificateur linéaire intégré (appelé autrefois amplificateur opérationnel). Cependant, lors des travaux pratiques, il est possible de faire appel à des composants intégrés ou non linéaires (filtres à capacité commutée, diodes, photorésistances, etc.) dès lors qu'aucune connaissance préalable n'est nécessaire.

L'électronique recoupe fortement l'automatique qui est enseigné par le professeur de sciences industrielles. Il importe donc chaque fois que cela est possible d'adopter un vocabulaire commun. Le professeur de sciences industrielles et le professeur de physique sont invités à se concerter à cet effet.

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 ;
- distinguer le régime transitoire du régime permanent ;
- déterminer les grandeurs électriques en régime permanent en remplaçant les bobines et les condensateurs par des interrupteurs fermés ou ouverts ;
- relier linéarité et principe superposition ;
- savoir tracer, analyser et exploiter un diagramme de BODE ;
- faire apparaître et exploiter les analogies formelles et comportementales entre les oscillateurs électriques et mécaniques.

1.1 Lois générales dans le cadre de l'approximation des régimes quasi-stationnaires

Cette partie 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, il est possible, lors des travaux pratiques, de faire appel à des composants intégrés ou non linéaires (filtres à capacité commutée, échantillonneur-bloqueur, diodes, photorésistances, etc.) dès lors qu'aucune connaissance préalable n'est nécessaire.

Programme	Commentaires
Approximation des régimes quasi-stationnaires.	L'ARQS est présentée d'une façon qualitative. On relie la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence. L'origine théorique de cette approximation sera discutée dans le cours d'électromagnétisme en deuxième année. La théorie générale des réseaux est hors programme.
Charge électrique, intensité du courant électrique, bilan de charges, loi des nœuds.	On justifie qualitativement que l'utilisation de grandeurs électriques continues est compatible avec la quantification de la charge électrique. On donne l'ordre de grandeur des intensités dans différents domaines d'application. L'intensité du courant électrique dans une branche orientée de circuit est définie comme le débit de charges à travers une section du conducteur. La loi des nœuds traduit une conservation de la charge en régime stationnaire. On admet l'extension de cette loi aux régimes lentement variables. La forme locale de l'équation de conservation de la charge électrique sera abordée en classe de deuxième année.
Potentiel, référence de potentiel, tension électrique, conventions d'orientation de la tension aux bornes d'un dipôle, loi de KIRCHHOFF des mailles. La puissance électrique reçue par un dipôle. Caractères générateur et récepteur.	On donne l'ordre de grandeur des tensions dans différents domaines d'application.

1.2 Éléments de circuits linéaires en régime continu ou quasi- stationnaires

Cette partie aborde les lois de comportement reliant l'intensité et la tension pour les dipôles modèles (résistance, condensateur, bobine, sources idéales). Il convient de signaler que la mémorisation de toute formulation mathématique du théorème de MILLMAN est exclue.

Programme	Commentaires
Modélisation de dipôles : résistors (R), condensateurs (C), bobines (L). Relation tension-courant.	On cite les ordres de grandeurs des composants R, L, C. Un comportement linéaire est décrit par une équation différentielle linéaire à coefficients constants. On signale que tous les éléments d'un circuit réel sont représentés par des modèles dont les domaines de validité possèdent des limites ; cet aspect est surtout vu en travaux pratiques. On affirme les relations : $q = C u_C$ et $u_L = r i + L di/dt$ La première sera établie dans le cours d'électromagnétisme en première année et la seconde dans le cours d'électromagnétisme en deuxième année.
Sources libres ou indépendantes, sources liées ou contrôlées, décrites par un modèle linéaire.	On définit les sources et on en donne des exemples.
Association des résistances et des capacités en série, en parallèle.	Le théorème de KENNELY est hors programme.
Résistance de sortie, résistance d'entrée.	On explique les conséquences des valeurs de ces résistances pour un appareil de mesure ou un générateur sur le fonctionnement d'un circuit. On étudie l'influence des résistances d'entrée ou de sortie sur le signal délivré par un générateur sur la mesure effectuée par un appareil de mesure.
Propriétés des dipôles : Caractéristique courant – tension d'un dipôle. Point de fonctionnement. Association de deux dipôles quelconques. Limitations en courant et tension d'un dipôle. Classification des dipôles.	On étudie la caractéristique d'un dipôle pouvant être éventuellement non-linéaire. On signale que la caractéristique intensité – tension d'un dipôle est bornée.

Ponts diviseurs de tension et de courant.	
Aspects énergétiques : énergie emmagasinée dans un condensateur et dans une bobine, puissance dissipée dans une résistance (effet JOULE).	On montre, par des considérations énergétiques, que la charge d'un condensateur et le courant qui traverse une bobine sont continus en fonction du temps.
Modélisations linéaires d'un dipôle actif : générateur de courant (représentation de NORTON) et générateur de tension (représentation de THÉVENIN) ; équivalence entre les deux modélisations.	On montre à travers des exemples que l'équivalence THÉVENIN - NORTON permet de simplifier l'étude des circuits.
Loi des nœuds exprimée en termes de potentiels ou théorème de MILLMAN.	La mémorisation de toute formulation mathématique du théorème de MILLMAN est exclue.

1.3 Régime transitoire

Cette partie aborde l'étude des circuits linéaires du premier et du second ordre en régime libre. Il s'agit avant tout de comprendre les principes des méthodes mises en œuvre et leur exploitation pour étudier l'effet d'un système linéaire sur un signal. On mettra l'accent sur la notion du régime transitoire et celle du régime permanent.

Programme	Commentaires
Étude des circuits RC, RL et RLC série soumis à un échelon de tension. Régime libre. Régime transitoire et régime permanent. Pulsation propre. Facteur de qualité.	On écrit les équations différentielles sous les formes canoniques. Cette écriture est l'occasion pour habituer les élèves à faire un rapprochement avec un autre phénomène physique analogue. On distingue, sur un relevé expérimental, régime transitoire et régime permanent au cours de l'évolution d'un système du premier ordre soumis à un échelon. On détermine un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire. On met l'accent sur les analogies formelles et comportementales entre les oscillateurs électriques et mécaniques. Activité numérique : mettre en œuvre la méthode d'EULER à l'aide d'un langage de programmation pour simuler la réponse d'un système linéaire du premier ordre à une excitation de forme quelconque.
Stockage et dissipation d'énergie. Bilan énergétique.	On réalise un bilan énergétique.
Portrait de phase.	On se contente de reconnaître le type de régime transitoire à partir du portrait de phase. On peut utiliser un logiciel approprié pour le tracé des portraits de phase.

1.4 Régime sinusoïdal forcé

Cette partie aborde l'étude des circuits linéaires du premier et du second ordre en régime forcé. Il s'agit avant tout de comprendre les principes des méthodes mises en œuvre et leur exploitation pour étudier le comportement d'un signal traversant un système linéaire. On mettra, en cours de mécanique, l'accent sur les analogies formelles et comportementales.

Programme	Commentaires
Régime alternatif sinusoïdal forcé ou établi. Signaux sinusoïdaux : amplitude, phase, pulsation, fréquence, valeur moyenne, valeur efficace, différence de phase entre deux signaux synchrones.	Les concepts de régime transitoire et de régime sinusoïdal établi sont dégagés à partir de l'équation différentielle. On justifie qualitativement l'intérêt des régimes sinusoïdaux forcés par leur rôle générique pour l'étude des régimes périodiques forcés. Le développement quantitatif sur l'analyse de FOURIER sera vu en deuxième année.
Représentation complexe d'une grandeur sinusoïdale.	On insiste sur la simplification apportée par la notation complexe qui permet de remplacer une équation différentielle par une équation algébrique sur le corps des nombres complexes. On utilise la notation symbolique ($j\omega$ ou d/dt) pour une détermination rapide des régimes sinusoïdaux établis ou des régimes transitoires.

Impédance et admittance complexes. Associations série et parallèle. Construction de FRESNEL.	
Loi des nœuds, loi des mailles, théorème de MILLMAN.	
Étude du circuit LC. Étude du circuit RLC série : résonance du courant et de la tension aux bornes du condensateur, facteur de qualité, acuité d'une résonance.	On met en évidence le rôle du facteur de qualité pour l'étude de la résonance en élongation ou en tension.
Stockage et dissipation d'énergie. Puissance instantanée, puissance moyenne en régime sinusoïdal forcé, grandeurs efficaces. Facteur de puissance ($\cos(\varphi)$).	La notion de puissance réactive et le théorème de Boucherot sont hors programme.
Bilan énergétique du circuit RLC série et du circuit LC.	On fait remarquer que le condensateur et la bobine ne participent pas au bilan énergétique moyen en régime sinusoïdal forcé alors qu'ils jouent un rôle essentiel pendant le régime transitoire.
Transfert maximal de puissance d'un générateur vers une impédance de charge : notion de charge adaptée, résonance en puissance.	

1.5 Filtrage linéaire

L'objectif principal de cette partie n'est pas de former les élèves aux aspects techniques des calculs des fonctions de transfert et des tracés de diagrammes de BODE mais de mettre l'accent sur l'interprétation des propriétés du signal de sortie connaissant celles du signal d'entrée et d'appréhender le rôle central de la linéarité des systèmes utilisés.

Programme	Commentaires
Fonction de transfert. Gain en décibels, déphasage, diagramme de BODE (amplitude et phase). fréquence(s) de coupure à -3 décibels, bande passante, facteur de qualité.	On utilise une fonction de transfert donnée d'ordre 1 ou 2 (ou ses représentations graphiques) pour étudier la réponse d'un système linéaire à une excitation sinusoïdale, à une somme finie d'excitations sinusoïdales, à un signal périodique. On habitue les élèves à prévoir les comportements asymptotiques à haute fréquence et à basse fréquence avant tout calcul explicite de la fonction de transfert. On les habitue aussi à interpréter les zones rectilignes des diagrammes de BODE en amplitude d'après l'expression de la fonction de transfert. On utilise la forme canonique de la fonction de transfert.
Filtres du premier et du second ordre, passifs ou actifs : comportements asymptotiques.	On habitue les élèves à choisir un modèle de filtre en fonction d'un cahier des charges. On explicite les conditions d'utilisation d'un filtre afin de l'utiliser comme moyennneur, intégrateur, ou dérivateur. Les filtres actifs font appel à l'amplificateur linéaire intégré. Celui-ci est supposé idéal et en fonctionnement linéaire. On signale le passage de l'expression de la fonction de transfert à l'équation différentielle. La synthèse des filtres est hors programme. Capacité numérique : simuler, à l'aide d'un langage de programmation, l'action d'un filtre sur un signal périodique dont le spectre est fourni. Mettre en évidence l'influence des caractéristiques du filtre sur l'opération de filtrage.
Mises en cascade de filtres linéaires.	On explique l'intérêt, pour garantir leur fonctionnement lors de mises en cascade, de réaliser des filtres de tension de faible impédance de sortie et forte impédance d'entrée.

1.6 Amplificateur linéaire intégré

Cette partie est une introduction de l'amplificateur linéaire intégré (ALI), en régime linéaire puis en régime saturé ; elle doit être perçue comme une découverte et ne pas donner lieu à des dérives calculatoires. L'amplificateur

linéaire intégré est supposé idéal.

Programme	Commentaires
L'amplificateur linéaire intégré : - Présentation, symbole, polarisation. - Caractéristique de transfert statique : les deux régimes de fonctionnement de l'amplificateur linéaire intégré.	On cite les ordres de grandeur du gain différentiel statique et du temps de réponse. Les hypothèses du modèle idéal sont dégagées, en faisant référence à l'impédance d'entrée infinie, à l'impédance de sortie nulle, au gain différentiel statique infini, une saturation de la tension de sortie, une saturation de l'intensité de sortie et à l'absence de décalages constants en courant ou en tension.
Amplificateur linéaire intégré en régime linéaire :	L'amplificateur linéaire intégré est supposé idéal.
Exemples de fonctionnement d'un amplificateur linéaire intégré idéal : montage amplificateur non inverseur, montage amplificateur inverseur, suiveur (adaptation d'impédance), dérivateur et intégrateur.	On fait constater la nécessité d'une rétroaction sur l'entrée inverseuse pour que le régime linéaire soit possible. Les limitations en tension, en courant et en fréquence (slew-rate) ainsi que les défauts seront vus exclusivement TP.
Amplificateur linéaire intégré en régime saturé :	L'amplificateur linéaire intégré est supposé idéal.
Comparateur simple. Comparateur à hystérésis : montage, caractéristique de transfert, bistabilité. Application : multivibrateur astable.	

2 Optique

Cette partie traite de la formation des images dans les conditions de GAUSS et propose une ouverture sur la notion de guidage de la lumière par une fibre optique. Son objectif est de maîtriser les applications pratiques dans ces conditions. Il permet ainsi d'aborder de nombreuses applications technologiques (lunette, appareil photographique, microscope, optique d'un smartphone, etc.).

L'enseignement de l'optique géométrique, fondamentalement ancré sur l'expérience, pourra être effectué pour l'essentiel dans le cadre de séances de travaux pratiques, au cours desquels les élèves se familiarisent avec des montages simples. De cette approche expérimentale, complétée avantageusement par l'utilisation de logiciels de simulation, on dégage et on énonce quelques lois générales.

Le caractère de cet enseignement donne inévitablement au professeur l'occasion d'interroger le concept de modèle en physique et d'en identifier les limites de validité, et aussi de faire observer des phénomènes, telles 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. Dans cet esprit, les élèves sont initiés à l'ensemble des aspects expérimentaux de l'optique géométrique. Il convient ainsi de renforcer leur niveau sur le plan expérimental et de présenter quelques notions théoriques. L'objectif est de ramener les élèves à maîtriser les constructions géométriques et l'utilisation des relations de conjugaison, et de les préparer à l'utilisation des composants dans le thème de l'optique ondulatoire en seconde année.

Les objectifs généraux de cette partie sont :

- connaître l'approximation de l'optique géométrique et les conditions de GAUSS ;
- maîtriser les outils de l'optique géométrique (rayon lumineux, principe d'indépendance des rayons lumineux, principe du retour inverse, relations de conjugaison) ;
- caractériser une source lumineuse par son spectre ;
- savoir utiliser les instruments de l'optique géométrique.

2.1 Approximation de l'optique géométrique

Cette partie a pour objectifs de classer les sources lumineuses selon leur spectre, de décrire la propagation de la lumière dans le cadre de l'optique géométrique, d'énoncer les lois de SNELL-DESCARTES et d'étudier quelques applications de ces lois.

Programme	Commentaires
Présentation des sources lumineuses : lampes spectrales, sources de lumière blanche, laser et diode laser. Spectre. Modèle de la source lumineuse ponctuelle monochromatique.	Aucune connaissance sur les sources de lumière, notamment les mécanismes d'émission n'est exigible. On caractérise une source lumineuse par son spectre. On relie la longueur d'onde dans le vide et la couleur.
Propagation de la lumière dans les milieux matériels. Indice d'un milieu transparent.	On se limite à un milieu transparent, linéaire, homogène et isotrope. On relie la longueur d'onde dans le vide et la longueur d'onde dans le milieu.
Approximation de l'optique géométrique. Notion de rayon lumineux, propagation rectiligne dans un milieu homogène, cas d'un milieu non homogène. Limite du modèle. Principe du retour inverse de la lumière. Principe d'indépendance des rayons lumineux.	On introduit l'approximation de l'optique géométrique lors d'une approche descriptive et expérimentale de la diffraction. La notion du rayon lumineux est l'occasion pour mettre en valeur l'importance du modèle dans la physique.
Lois de SNELL-DESCARTES : réflexion et réfraction d'un faisceau lumineux, plan d'incidence, lois de la réflexion, lois de la réfraction, réfraction limite, réflexion totale.	On vérifie expérimentalement les lois de la réflexion et de la réfraction lors d'une séance de travaux pratiques. Le dioptre sphérique est hors programme.
Fibre optique à saut d'indice : cône d'acceptance. Dispersion intermodale d'une fibre à saut d'indice.	On fait remarquer que les rayons parvenant dans la fibre avec des angles d'incidence différents suivent des chemins optiques (ou modes) différents et qu'à chaque mode correspond un temps de parcours entraînant une dispersion intermodale. On montre, en se limitant au cadre de l'optique géométrique, que les signaux associés aux rayons d'angles nul et maximal se brouillent au bout d'une distance dont on estimera l'ordre de grandeur.
Prisme optique : section principale, angle au sommet d'un prisme, déviation vers la base, angle de déviation, minimum de déviation, indice d'un prisme, dispersion de la lumière par un prisme.	On exploite l'unicité du minimum de déviation et le principe du retour inverse pour montrer l'égalité des angles d'incidence et d'émergence.

2.2 Formation des images dans les conditions de GAUSS

Cette partie traite de la construction des images dans les conditions de GAUSS et de l'exploitation des formules de conjugaison et de grandissement transversal de DESCARTES et de NEWTON fournies.

Programme	Commentaires
Système optique centré. Notion de stigmatisme et d'aplanétisme. Miroir plan, relation de conjugaison, grandissement transversal.	
Conditions de l'approximation de GAUSS. Notions sur les aberrations.	On énonce et on vérifie expérimentalement les conditions de GAUSS, et on met en évidence les aberrations géométriques de distorsion et chromatiques. On admet le stigmatisme et l'aplanétisme dans les conditions de GAUSS. On relie les conditions de GAUSS aux caractéristiques d'un détecteur.
Éléments des systèmes optiques centrés dans les conditions de GAUSS, foyers principaux et secondaires, plans focaux, système afocal.	
Lentilles sphériques minces dans les conditions de GAUSS : représentation symbolique, propriétés du centre optique, foyers principaux et secondaires, distance focale, vergence, formation d'image ; mise en œuvre d'un objet réel ou virtuel, à distance finie ou infinie. Relations de conjugaison, grandissement transversal, grandissement angulaire.	On insiste sur la construction des rayons lumineux et sur les contraintes de distance objet-image et de grandissement linéaire pour le choix des lentilles de projection. On montre que les constructions géométriques permettent d'obtenir les formules de conjugaison et de grandissement. On établit la condition $D \geq 4f'$ pour former l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente.

	L'étude générale des systèmes centrés et des systèmes catadioptriques est hors programme. La formule de GULLSTRAND est hors programme.
Miroirs sphériques dans les conditions de GAUSS : propriétés du centre optique, foyers principaux et secondaires, distance focale, vergence, formation d'image ; mise en œuvre d'un objet réel ou virtuel, à distance finie ou infinie. Relations de conjugaison, grandissement transversal, grandissement angulaire.	Les relations de conjugaison et de grandissement des miroirs sphériques sont fournies.

2.3 Modèles de quelques dispositifs optiques

Cette partie a pour objectif d'étudier quelques dispositifs optiques modélisés par une lentille ou une association de lentilles.

Programme	Commentaires
Modèle de l'œil Modélisation, punctum proximum, punctum remotum, accommodation. Limite de résolution.	On modélise l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur plan fixe. On dégage le rôle de l'œil : processus d'accommodation, distance minimale de vision distincte, limite de résolution angulaire et vision de détails, champ visuel. Aucune question ne peut porter sur le fonctionnement de l'œil.
Modèle de l'appareil photographique Modélisation, profondeur de champ. Influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image. Rôle du capteur sur la qualité de cette image.	On modélise l'appareil photographique comme l'association d'une lentille et d'un capteur. On compare des images produites par un appareil photographique numérique fournies et on discute l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image et le rôle du capteur sur la qualité de cette image.
Lunette astronomique Constitution de la lunette astronomique, système afocal, grossissement.	On modélise une lunette astronomique par l'association d'un objectif et d'un oculaire.

3 Mécanique

De façon générale, l'étude de la mécanique vise à doter l'élève d'un socle de connaissances et de compétences de base nécessaires pour la compréhension des lois du mouvement et avoir une certaine maîtrise des outils mathématiques ou numériques indispensables.

Hormis l'étude du mouvement dans un référentiel non galiléen, la majorité des notions ont été abordées en secondaire. Il convient de les rappeler et de traiter les difficultés correspondantes en insistant sur les applications.

Les objectifs généraux de cette partie sont :

- conduire de manière autonome l'étude d'un problème de mécanique : 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 ;
- modéliser une situation et prendre conscience des limites d'un modèle ou d'une théorie ;
- identifier et utiliser des grandeurs conservatives ;
- effectuer un bilan énergétique en mécanique ;
- réaliser des constructions graphiques claires et précises pour appuyer un raisonnement ou un calcul ;
- comprendre la représentation des solutions dans un portrait de phase ;
- 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 ;
- dégager les similitudes de comportement entre systèmes analogues par une mise en équation pertinente utilisant variables réduites et paramètres caractéristiques adimensionnés.

3.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point

Dans cette partie, il s'agit d'aborder la description et paramétrage du mouvement d'un point, ce qui nécessite d'introduire les principaux systèmes de coordonnées : cartésiennes, polaires, cylindriques et sphériques. Le but est de

permettre aux élèves de disposer d'outils efficaces sans formalisme excessif. Il convient de motiver l'étude par des exemples variés de mouvements de systèmes réels assimilable à des points, afin de familiariser progressivement les élèves avec l'algébrisation des grandeurs dans un contexte relevant de la physique et de familiariser les élèves progressivement avec les opérations de projection et de dérivation de grandeurs vectorielles. Les mouvements rectilignes et circulaires, tirés par exemple d'expériences de cours ou d'enregistrements photo ou vidéo, constituent une occasion pour habituer les élèves à la pratique des analyses qualitatives des comportements cinématiques de systèmes réels assimilés à un point. Dans ce dernier cas, on réalise et on exploite quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement en étudiant l'évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.

Programme	Commentaires
Cinématique du point	
Espace et temps classiques. Référentiel d'observation. Caractère relatif du mouvement. Caractère absolu des distances et des intervalles de temps.	On se limite à la description du mouvement sans s'intéresser aux causes du mouvement. On précise la différence entre référentiel et repère. On cite une situation où la description classique de l'espace ou du temps est prise en défaut.
Paramétrage d'un point en mouvement. Vecteurs position, vitesse et accélération. Systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques, polaires et sphériques. Vecteurs position, déplacement élémentaire, vitesse et accélération en coordonnées cartésiennes et cylindriques, vecteurs position et vitesse en coordonnées sphériques.	On définit les coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques, ainsi que les bases associées. On souligne que le paramétrage et la base de projection doivent être adaptés au problème posé. On exprime à partir d'un schéma le déplacement élémentaire dans les différents systèmes de coordonnées, on construit le trièdre local associé et on en déduit géométriquement les composantes du vecteur vitesse en coordonnées, cartésiennes, cylindriques et sphériques.
Exemples de mouvement : mouvement de vecteur accélération constant, mouvement rectiligne sinusoïdal, mouvement circulaire uniforme et non uniforme.	On identifie les degrés de liberté d'un mouvement. On choisit un système de coordonnées adapté au problème.
Repérage d'un point dont la trajectoire est connue. Expressions intrinsèques de la vitesse et de l'accélération : coordonnée curviligne, rayon de courbure, repère de FRENET. Vitesse et accélération dans le repère de FRENET pour une trajectoire plane.	On situe qualitativement la direction du vecteur vitesse et du vecteur accélération pour une trajectoire plane. On exploite les liens entre les composantes du vecteur accélération, la courbure de la trajectoire, la norme du vecteur vitesse et sa variation temporelle.

3.2 Dynamique du point matériel dans un référentiel galiléen, lois de NEWTON

Dans cette partie, on vise à renforcer chez l'élève l'aptitude à conduire de manière autonome l'étude d'un problème de mécanique : définir un système, choisir un référentiel d'étude 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. Un autre but de cette partie est de confronter les élèves, à travers quelques exemples, aux subtilités de la modélisation d'une situation physique et de prendre conscience des limites du modèle adopté.

Programme	Commentaires
Notion de masse. Notion de point matériel.	On définit le point matériel comme un solide dont les dimensions sont négligeables devant une distance caractéristique du système.
Quantité de mouvement d'un point matériel.	
Première loi de NEWTON : principe d'inertie. Référentiels galiléens.	On affirme l'existence de référentiels galiléens sans se préoccuper de les rechercher. On décrit le mouvement relatif de deux référentiels galiléens.
Notions sur les quatre interactions fondamentales.	On distingue les interactions de portée illimitée de celles dont la portée est limitée à la dimension du noyau atomique.
Notion de force. Force de gravitation, poids d'un corps, force électrostatique ou interaction coulombienne, tension du fil, force de rappel élastique, réaction du support, force de	On établit un bilan des forces sur un point matériel et on en rend compte sur un schéma.

LORENTZ, force de frottement fluide linéaire. Poussée d'ARCHIMEDE.	
Troisième loi de NEWTON, ou loi des actions réciproques.	
Deuxième loi de NEWTON pour un point matériel dans un référentiel galiléen.	
Modèle du champ de pesanteur uniforme au voisinage de la surface d'une planète. Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme en l'absence de frottement.	
Modèles d'une force de frottement fluide. Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme en présence de frottement fluide,	On exploite l'équation différentielle : analyse en ordres de grandeur, détermination de la vitesse limite, utilisation des résultats obtenu par simulation numérique. On écrit l'équation différentielle sous forme adimensionnée. Activité numérique : tracer la trajectoire d'un point matériel dans le cas d'une chute en présence de frottements.
Tension d'un ressort. Pendule élastique. Tension d'un fil. Pendule simple.	

3.3 Puissance et travail d'une force. Théorème de l'énergie cinétique

Cette partie vise à construire une démarche fondée sur la conservation de certaines grandeurs : effectuer un bilan énergétique en mécanique, identifier et utiliser des grandeurs conservatives, réaliser des analyses graphiques ou numériques par exemple pour décrire un comportement à partir d'une représentation graphique de l'énergie potentielle dans le cas d'un mouvement conservatif.

Programme	Commentaires
Puissance et travail d'une force dans un référentiel. Énergie cinétique. Théorème de l'énergie cinétique.	On signale le caractère moteur ou résistant d'une force dans un référentiel. On précise que la puissance dépend du référentiel.
Champ de force conservative. Énergie potentielle. Lien entre un champ de force conservative et l'énergie potentielle. Gradient.	On fonde le concept d'énergie potentielle sur l'expression du travail de la force considérée. On calcule les énergies potentielles de pesanteur (g supposé constant), gravitationnelle, coulombienne, élastique. On déduit qualitativement, en un point du graphe d'une fonction énergie potentielle, le sens et l'intensité de la force associée.
Énergie mécanique. Théorème de l'énergie mécanique. Mouvement conservatif. Intégrale première de l'énergie.	On distingue force conservative et force non conservative.
Application : utilisation d'une représentation graphique de l'énergie potentielle. Positions d'équilibre d'un point matériel, stabilité. Petits mouvements au voisinage d'une position d'équilibre stable, pulsation propre. Approximation locale par un puits de potentiel harmonique. Barrière de potentiel.	On s'intéresse à des mouvements à un seul degré de liberté. On établit l'équation différentielle du mouvement du point matériel au voisinage d'une position d'équilibre. On évalue l'énergie minimale nécessaire pour franchir la barrière. Activité numérique : à l'aide d'un langage de programmation, résoudre numériquement une équation différentielle du deuxième ordre non-linéaire et faire apparaître l'effet des termes non-linéaires.

3.4 Mouvement de particules chargées dans des champs électrique et magnétique, uniformes et stationnaires

Cette partie introduit l'expression de la force de LORENTZ. L'étude porte sur deux cas particuliers importants : mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme, puis dans un champ magnétostatique uniforme où le vecteur vitesse initiale est perpendiculaire à ce dernier. À ce stade, les élèves sont censés être opérationnels sur la résolution de l'aspect mathématique. Pour illustrer cette partie, on présentera diverses applications

concrètes : accélération de particules chargées par un champ électrique dans les domaines médical et industriel (contrôle non destructif), accélérateurs de particules à haute énergie... Il convient de signaler que cette partie se prête à une ouverture vers la dynamique relativiste. Ceci ne doit en aucun cas être prétexte à des débordements, en particulier sous forme de dérives calculatoires ; l'élève doit savoir exploiter des expressions fournies de l'énergie et de la quantité de mouvement d'une particule relativiste pour interpréter certains phénomènes physiques ou résultats expérimentaux.

Programme	Commentaires
Force de LORENTZ exercée sur une particule chargée par les champs électrique et magnétique (uniformes et indépendants du temps).	On justifie par un calcul d'ordre de grandeur que le poids d'une particule chargée est négligeable devant la force électromagnétique.
Puissance de la force de LORENTZ.	On précise qu'un champ électrique peut modifier l'énergie cinétique d'une particule alors qu'un champ magnétique peut courber la trajectoire sans fournir d'énergie à la particule.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme dans le vide.	On caractérise le mouvement de la particule chargée comme un mouvement à vecteur-accélération constant. On effectue un bilan énergétique pour calculer la vitesse d'une particule chargée accélérée par une différence de potentiel. On signale la limite du domaine de validité de la mécanique newtonienne en s'appuyant sur les expressions fournies $E_c = (\gamma - 1)mc^2$ et $p = \gamma mv$.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique dans le vide dans le cas où le vecteur vitesse initiale est perpendiculaire au champ magnétique.	On montre la conservation de l'énergie cinétique.

3.5 Oscillateur linéaire à un degré de liberté

Dans cette partie, on aborde l'oscillateur linéaire à un degré de liberté amorti par frottement visqueux en régime libre puis forcé, afin de comprendre les principes des méthodes mises en œuvre et leur exploitation. L'évolution temporelle de l'oscillateur linéaire peut utiliser divers outils (discussions graphiques, résolution analytique, résolution numérique) pour discuter les solutions des équations différentielles. Les élèves sont amenés à comprendre la représentation des solutions dans un portrait de phase et à en faire l'interprétation.

Programme	Commentaires
Régimes libres d'un oscillateur harmonique à un degré de liberté amorti par frottement visqueux. Rôle de l'amortissement. Facteur de qualité. Oscillateur harmonique à un degré de liberté amorti par frottement visqueux et soumis à une excitation sinusoïdale. Régime transitoire. Régime établi. Résonance en élongation, en vitesse. Analogie avec le dipôle RLC série.	On met l'équation différentielle sous une forme canonique. On explique, à travers un exercice, la nature du filtrage introduit par un dispositif mécanique (sismomètres, amortisseurs, accéléromètre...). On met l'accent sur les analogies formelles et comportementales entre les oscillateurs électriques et mécaniques.
Portrait de phase.	Il s'agit d'apprendre à lire, commenter et interpréter un portrait de phase sans avoir besoin de la solution analytique : savoir s'il y a ou non des frottements, identifier les positions d'équilibre stables ou instables, faire le lien entre le caractère fermé d'un portrait de phase et le caractère périodique du mouvement du point matériel.

3.6 Théorème du moment cinétique

Cette partie vise à construire une démarche adéquate pour traiter certaines situations en mécanique où la notion de moment cinétique est pertinente. À travers quelques exemples, l'élève est amené à assimiler le sens concret des grandeurs, vectorielles ou scalaires, utilisées ; c'est notamment pour cela que le bras de levier est introduit. Comme souligné précédemment, l'accent est mis sur l'identification des situations où le moment cinétique est conservé.

Programme	Commentaires
Moment cinétique d'un point matériel par rapport à un point et par rapport à un axe orienté.	On relie la direction et le sens du vecteur moment cinétique aux caractéristiques du mouvement.

Moment d'une force par rapport à un point et par rapport à un axe orienté.	On calcule le moment d'une force par rapport à un axe orienté en utilisant le bras de levier.
Théorème du moment cinétique en un point fixe dans un référentiel galiléen, théorème du moment cinétique par rapport à un axe fixe. Conservation du moment cinétique.	On insiste sur le fait que le théorème du moment cinétique fournit, pour un point matériel, une autre méthode pour obtenir des résultats accessibles par la deuxième loi de NEWTON ou par le théorème de l'énergie cinétique.
Application : pendule simple.	Le pendule simple est un exemple qui permet de mettre en œuvre et de comparer simplement différentes méthodes pour obtenir l'équation du mouvement d'un point matériel. <i>Activité numérique : à l'aide d'un langage de programmation, mettre en évidence le non isochronisme des oscillations.</i>

3.7 Mouvements dans un champ de forces centrales conservatives, mouvement newtonien

Dans cette partie, on s'attend à voir une discussion qualitative de la nature de la trajectoire sur un graphe donnant l'énergie potentielle effective. Pour établir les lois de KEPLER, on se limite au cas de la trajectoire circulaire. Le caractère elliptique des trajectoires associées à un état lié est simplement affirmé, puis on utilise les constantes du mouvement (moment cinétique et énergie mécanique) pour exprimer l'énergie de la trajectoire elliptique en fonction du demi-grand axe.

Programme	Commentaires
Champ de force centrale. Conservation du moment cinétique. Mouvement plan. Loi des aires.	On définit une force centrale comme étant une force dont le support passe par un point fixe.
Champ de force centrale conservatif. Énergie potentielle. Conservation de l'énergie mécanique. Intégrale première de l'énergie.	
Cas du champ newtonien. Utilisation d'une représentation graphique de l'énergie potentielle effective pour les interactions gravitationnelle et coulombienne. Relation entre l'énergie mécanique et le type de trajectoire : états liés, états de diffusion. Énoncé des lois de KEPLER. Nature des trajectoires dans le cas d'une force attractive (ellipses, paraboles et hyperboles, existence de trajectoires circulaires) et dans le cas d'une force répulsive (diffusion de RUTHERFORD). Étude directe et propriétés particulières des trajectoires circulaires : satellite, planète, relation entre énergie cinétique et énergie potentielle, relation entre rayon et vitesse, troisième loi de KEPLER. Étude des trajectoires elliptiques : relation entre l'énergie mécanique et le demi grand axe.	On assimile le champ gravitationnel d'un astre à symétrie sphérique à celui d'une masse ponctuelle. Cette hypothèse sera justifiée dans le cours d'électromagnétisme (théorème de GAUSS). La connaissance des formules de BINET, du vecteur excentricité et des invariants dynamiques de LAPLACE ou RUNGE-LENZ n'est pas exigible. À l'occasion de l'étude des mouvements dans un champ gravitationnel, on souligne l'identité de la masse inerte et de la masse gravitationnelle. On établit la troisième loi de KEPLER dans le cas particulier de la trajectoire circulaire et on affirme sa généralisation au cas d'une trajectoire elliptique. On procède de même pour la relation entre l'énergie et le demi-grand axe. On évoque les différentes orbites des satellites terrestres en fonction de leurs missions. <i>Activité numérique : à l'aide d'un langage de programmation, obtenir des trajectoires d'un point matériel soumis à un champ de force centrale conservatif.</i>
Satellites, géostationnaire, de localisation, de navigation et météorologique.	On différencie les orbites des satellites terrestres en fonction de leurs missions. On détermine l'altitude d'un satellite géostationnaire et on justifie sa localisation dans le plan équatorial.
Vitesses cosmiques : vitesse en orbite basse et vitesse de libération.	On donne l'ordre de grandeur de ces vitesses en dynamique terrestre.

3.8 Dynamique du point matériel dans un référentiel non galiléen

Dans cette partie, on vise à compléter la démarche à adopter pour l'étude d'un problème de mécanique qui peut

nécessiter de choisir un référentiel non galiléen. On introduit les forces inertielles en précisant qu'elles ne résultent pas d'une interaction fondamentale. L'accent est mis sur le mouvement de translation et le mouvement de rotation uniforme autour d'un axe fixe.

L'élève doit être conscient que le choix d'un référentiel non galiléen peut dans certains cas s'avérer plus judicieux.

Programme	Commentaires
Cinématique : Mouvement d'un référentiel par rapport à un autre. Cas particuliers du mouvement de translation et du mouvement de rotation uniforme autour d'un axe fixe. Vecteur instantané de rotation d'un référentiel par rapport à un autre. Définition des vitesses et des accélérations dans les deux référentiels. Lois de composition des vitesses et accélérations : vitesse d'entraînement, vitesse relative, accélération relative, d'entraînement et de CORIOLIS. Application au mouvement de translation et au mouvement de rotation uniforme autour d'un axe fixe.	À l'aide de la dérivée d'un vecteur de la base locale par rapport au référentiel absolu on introduit la notion du vecteur instantané de rotation. On admet la relation fondamentale de la dérivation vectorielle. La vitesse et l'accélération d'entraînement sont interprétées comme la vitesse et l'accélération d'un point (point coïncidant) d'un référentiel par rapport à l'autre.
Dynamique dans un référentiel non galiléen : Principe de la relativité galiléenne. Référentiels galiléens. Invariance galiléenne des forces d'interaction. Lois de la dynamique du point en référentiel non galiléen. Forces d'inertie (pseudo-forces). Dynamique du point en référentiel non galiléen dans le cas où le référentiel entraîné est en translation, ou en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen.	On fait remarquer que les forces d'inertie ne résultent pas d'une interaction mais du caractère non galiléen du référentiel utilisé. On décrit et on interprète les effets des forces d'inertie dans des cas concrets : sens de la force d'inertie d'entraînement dans un mouvement de translation ; caractère centrifuge de la force d'inertie d'entraînement dans le cas où le référentiel est en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen. Les applications concernent uniquement le cas où le référentiel entraîné est en translation ou en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen.
Énergie potentielle d'entraînement. Caractère galiléen approché de quelques de référentiels d'utilisation courante : référentiel de Copernic, référentiel de KEPLER (héliocentrique), référentiel géocentrique, référentiel lié à la Terre.	On précise les conditions dans lesquelles on peut considérer certains référentiels comme galiléen. On estime, en ordre de grandeur, la contribution de la force d'inertie de Coriolis dans un problème de dynamique terrestre.
Applications : définition du poids d'un point matériel, effet de marée.	L'étude d'autres applications (déviation vers l'Est, pendule de FOUCAULT...) pourrait être faite en travaux dirigés.

4 Introduction à la physique quantique

Cette partie est structurée autour de la présentation d'expériences réalisées depuis le début du XX^{ème} siècle. Elle vise à questionner la représentation classique du monde, proposée dans les autres parties du programme. Les concepts essentiels abordés sont la dualité onde-particule, l'interprétation probabiliste de la fonction d'onde, l'inégalité d'HEISENBERG spatiale et la quantification de l'énergie dans les atomes. La réflexion sur les thèmes abordés ici est avant tout qualitative ; toute dérive calculatoire exploitant les concepts propres à la physique quantique doit être évitée.

Les objectifs de cette partie sont :

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

Programme	Commentaires
Dualité onde-particule pour la lumière et la matière : Limites de la mécanique classique. Photon : énergie et impulsion. Relation de PLANCK-EINSTEIN.	On donne des ordres de grandeurs typiques intervenant dans des phénomènes quantiques. Dans une réflexion qualitative et descriptive, on décrit

Onde de matière associée à une particule. Relation de LOUIS DE BROGLIE.	l'exemple d'expérience mettant en évidence la nécessité de la notion de photon et celui d'expérience illustrant la notion d'ondes de matière. Pour cette dernière, on signale que seuls un phénomène ondulatoire peut donner lieu à des interférences et on admet que la répartition des impacts sous la forme de bandes traduit le caractère ondulatoire de la matière.
Introduction au formalisme quantique : Fonction d'onde Ψ d'une particule sans spin. Densité de probabilité de présence. Interprétation probabiliste associée à la fonction d'onde : approche qualitative.	On interprète une expérience d'interférences (matière ou lumière) « particule par particule » en termes probabilistes.
Inégalité d'HEISENBERG spatiale $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$.	À l'aide d'une analogie avec la diffraction des ondes lumineuses vue en terminale, on établit l'inégalité d'HEISENBERG en ordre de grandeur.
Quantification de l'énergie : Modèle planétaire de BOHR. Limites.	On fournit l'expression du moment cinétique orbital. On exploite ensuite l'hypothèse de quantification du moment cinétique orbital pour obtenir l'expression des niveaux d'énergie électronique de l'atome d'hydrogène.

5 Thermodynamique

L'enseignement de la thermodynamique se répartit sur les deux années. En première année, l'enseignement de la thermodynamique est limité à l'étude du corps pur. Cet enseignement est fondé sur le concept de fonction d'état d'équilibre : les différents concepts utilisés dérivent donc des fonctions d'état. On définit notamment les capacités thermiques comme des dérivées partielles de l'énergie interne et de l'enthalpie. Lorsque le système étudié ne relève pas du modèle du gaz parfait ou du modèle d'une phase condensée incompressible et indilatable, les expressions des équations d'état et des fonctions d'état doivent être fournies. Pour une grandeur extensive A on note a la grandeur massique associée et A_m la grandeur molaire associée.

Cette partie fait appel aux notions élémentaires sur les fonctions de deux variables : différentielle, dérivées partielles. Il convient de savoir exprimer les principes de la thermodynamique au cours d'une évolution infinitésimale.

On note le long du cours ΔX comme variation de la grandeur X entre deux états macroscopiques initial et final, δX une quantité élémentaire de la grandeur X et dX comme variation élémentaire d'une grandeur d'état X .

Les objectifs généraux de cette partie sont :

- définir un système qui permette de faire les bilans nécessaires à l'étude ;
- réaliser des bilans d'énergie ;
- faire le lien entre un système réel et sa modélisation ;
- comprendre qu'il peut exister plusieurs modèles de complexité croissante pour rendre compte des observations expérimentales ;
- utiliser des tableaux de données ou des représentations graphiques complexes.
- Orienter l'enseignement de la thermodynamique vers des applications industrielles réelles grâce à l'utilisation de diagrammes.

5.1 Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre

Cette partie met l'accent sur le passage fondamental d'une réalité microscopique à des grandeurs mesurables macroscopiques. Elle propose ensuite, en s'appuyant sur des exemples concrets, de poursuivre la description et l'étude de la matière à l'échelle macroscopique.

Programme	Commentaires
Échelles microscopique, mésoscopique et macroscopique. Libre parcours moyen.	On définit les trois échelles de description de la matière. On donne quelques ordres de grandeur de libres parcours moyens.
État microscopique et état macroscopique.	On précise les paramètres nécessaires à la description d'un état microscopique et d'un état macroscopique sur un exemple.
Distribution des vitesses moléculaires d'un gaz (homogénéité et isotropie).	On se limite à évoquer l'homogénéité et l'isotropie de la distribution des vitesses moléculaires d'un gaz. L'étude du gaz parfait sert à introduire le vocabulaire de la

Vitesse quadratique moyenne. Pression cinétique. Température cinétique. Exemples : gaz parfait monoatomique, $E_c=3/2k_B T$ et gaz parfait diatomique, $E_c=5/2k_B T$.	thermodynamique sans formalisme excessif : système homogène, pression, température, équilibre thermodynamique, variable extensive, variable intensive, équation d'état, fonction d'état. Un des objectifs du programme est de faire apparaître ce qui est particulier au gaz parfait monoatomique, ce qui est généralisable au gaz parfait et ce qui est généralisable aux fluides réels. Pour établir la relation entre la pression cinétique et la vitesse quadratique moyenne, on considère le cas d'un gaz parfait monoatomique où toutes les particules sont animées de la même vitesse égale à la vitesse quadratique. On utilise un modèle unidirectionnel avec une distribution discrète de vitesse pour montrer que la pression est proportionnelle à la masse des particules, à la densité particulaire et au carré de la vitesse quadratique moyenne. On calcule l'ordre de grandeur d'une vitesse quadratique moyenne dans un gaz parfait. La loi de distribution des vitesses et le théorème du viriel sont hors programme.
Système thermodynamique : définition du système, système ouvert, système fermé, système isolé.	On définit ces systèmes et on en donne des exemples.
État d'équilibre thermodynamique d'un système soumis aux seules forces de pression. Variables thermodynamiques d'états, pression, température, volume, équation d'état. Grandeur extensive, grandeur intensive. Exemples du gaz parfait et d'une phase condensée indilatable et incompressible. Équation d'état d'un gaz parfait.	On calcule la pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique et on déduit la température d'une condition d'équilibre thermique. On cite quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température.
Écart au modèle du gaz parfait. Notion de gaz réel.	On compare le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait sur des réseaux d'isothermes expérimentales en coordonnées de CLAPEYRON ou d'AMAGAT. L'équation d'état du gaz de VAN DER WAALS peut être donnée.
Coefficients thermoélastiques	On définit les coefficients α, β et χ_T.

5.2 Statique des fluides dans un référentiel galiléen

Cette partie est conçue pour introduire sur le support concret de la statique des fluides le principe du découpage d'un domaine physique (volume, surface) en éléments infinitésimaux et de la sommation d'une grandeur extensive (force) pour ce découpage.

Un des objectifs est de montrer dans cette partie l'intérêt d'un formalisme spécifique – utilisation 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 affirme la généralité.

Programme	Commentaires
Forces surfaciques, forces volumiques. Champ de pression. Résultante de forces de pression. Équivalent volumique des forces de pression.	On se limite au cas du champ de pesanteur uniforme. On cite des ordres de grandeur des champs de pression dans le cas de l'océan et de l'atmosphère.
Équation fondamentale de la statique des fluides dans le champ de pesanteur uniforme. Forme locale de l'équation locale de la statique des fluides. Cas d'un fluide incompressible et homogène. Cas de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait. Facteur de BOLTZMANN.	On établit l'équation fondamentale de la statique des fluides projetée sur un axe en écrivant la relation d'équilibre pour une tranche élémentaire de fluide. Cette étude permet de justifier par un calcul d'ordre de grandeur que la pression dans un gaz est en général considérée comme uniforme en thermodynamique. Par ailleurs cette étude permet de reconnaître un facteur de BOLTZMANN et de faire apparaître son rôle.
Poussée d'ARCHIMEDE.	On admettra le théorème d'ARCHIMÈDE.

5.3 Premier principe de la thermodynamique pour un système fermé

Concernant les bilans d'énergie abordés dans cette partie, les expressions des fonctions d'état $U_m(T, V_m)$ et $H_m(T, P)$ sont données si le système ne relève pas du modèle gaz parfait ou du modèle de la phase condensée incompressible et indilatable.

Programme	Commentaires
Transformation thermodynamique subie par un système. Évolutions isochore, isotherme, isobare, monobare, monotherme. Notion de transformation quasi-statique.	On exploite les conditions imposées par le milieu extérieur pour déterminer l'état d'équilibre final.
Travail échangé par un système, cas particulier du travail des forces de pression. Interprétation géométrique du travail des forces de pression dans un diagramme de CLAPEYRON. Transformations, isochore et monobare.	
Transferts thermiques. Transformation adiabatique. Thermostat, transformations monotherme et isotherme.	On distingue qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement. On identifie dans une situation expérimentale le ou les systèmes modélisables par un thermostat.
Énergie interne U d'un système, fonction d'état thermodynamique. Extensivité de l'énergie interne. Premier principe de la thermodynamique : $\Delta U + \Delta E_m = Q_e + W$. Forme infinitésimale $dU + dE_m = \delta W + \delta Q_e$. Enthalpie d'un système, fonction d'état thermodynamique. Extensivité de l'enthalpie. Capacité thermique à volume constant. Capacité thermique à pression constante.	Le premier principe est énoncé dans le cas général faisant intervenir un terme d'énergie mécanique macroscopique. On souligne que le premier principe est un principe de conservation. On insiste sur la démarche pour évaluer le transfert thermique Q_e et de travail W lors d'une évolution d'un système fermé. On fait le bilan de l'énergie interne (U) et de l'enthalpie (H) pour des transformations simples tout en insistant sur la notion de fonction d'état.
Détente de JOULE – GAY LUSSAC. Détente de JOULE – THOMSON.	L'énergie interne est utilisée d'une part pour l'étude de la détente de JOULE – GAY LUSSAC et d'autre part pour exprimer le transfert thermique lors d'une évolution à volume constant, notamment en chimie. L'enthalpie est utilisée d'une part pour l'étude de la détente de JOULE – THOMSON et d'autre part pour exprimer le transfert thermique lors d'une évolution à pression constante, notamment en chimie. On insiste sur l'intérêt de ces détentes pour l'étude des fluides réels.
Applications au gaz parfait. Lois de JOULE. Capacité thermique à volume constant et capacité thermique à pression constante dans le cas du gaz parfait.	On exprime l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique à partir de l'interprétation microscopique de la température. On exploite la propriété $U_m = U_m(T)$ pour un gaz parfait et on exprime l'enthalpie $H_m(T)$ du gaz parfait à partir de l'énergie interne.
Energie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée incompressible et indilatable. Enthalpie et capacité thermique à pression constante d'une phase condensée dans le modèle incompressible et indilatable.	Pour les phases condensées, il s'agit simplement d'utiliser la relation approchée : $dU = C(T)dT$. On utilise simplement, en le justifiant, la relation approchée $dH = C(T)dT$ en se limitant aux cas où on peut confondre C_p et C_v . On donne quelques ordres de grandeur de la capacité thermique massique.
Approximation des phases condensées peu compressibles et peu dilatables.	On interprète graphiquement la différence de compressibilité entre un liquide et un gaz à partir d'isothermes expérimentales. On justifie que l'enthalpie molaire H_m d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable peut être considérée comme une fonction de l'unique variable T .

5.4 Deuxième principe de la thermodynamique pour un système fermé

Dans cette partie, on affirme que le second principe est un principe d'évolution. L'expression de la fonction

d'état entropie est systématiquement donnée et sa construction n'est pas un objectif visé. On cite sans aucun développement quantitatif son interprétation en termes de désordre statistique, de façon à faciliter une interprétation intuitive des bilans d'entropie.

Programme	Commentaires
Entropie S , fonction d'état. Entropie créée, entropie échangée. Extensivité de l'entropie.	On interprète qualitativement l'entropie en termes de désordre statistique à l'aide de la formule de BOLTZMANN que l'on admet.
Énoncé du deuxième principe : $\Delta S = S_e + S_c$ avec $S_c = \sum Q_{e_i}/T_i$. Forme infinitésimale $dS = \delta S_e + \delta S_c$ avec $\delta S_c = \delta Q_c/T_0$ pour une évolution monotherme. Variation d'entropie d'un système. Bilans entropiques. Notion de réversibilité. Expressions différentielles des fonctions d'état.	On affirme que le second principe est un principe d'évolution. On réalise le bilan d'entropie pour des transformations particulières d'un système fermé et on analyse les causes d'irréversibilité. On relie la création d'entropie à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité.
Pression et température thermodynamiques.	On affirme l'équivalence entre les définitions thermodynamiques et les définitions cinétiques de la pression et de la température.
Entropie d'un gaz parfait. Loi de LAPLACE. Applications aux détente de JOULE - GAY LUSSAC et JOULE - THOMSON.	
Entropie d'une phase condensée dans le modèle incompressible et indilatable.	On utilise simplement la relation approchée $dS = C(T)/T.dT$ en se limitant aux cas où on peut confondre C_p et C_v .
Troisième principe de la thermodynamique.	On affirme que le troisième principe est un principe de référence.

5.5 Changement de phase d'un corps pur

Programme	Commentaires
Notion générale sur le changement de phase (ou d'état) solide-liquide-gaz. Conditions d'équilibre. Formule de CLAPEYRON. Diagramme de phase. Diagramme (P, T) : pression et température de coexistence. Point triple. Point critique. Enthalpie associée à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation. Variation des fonctions d'état lors d'un changement de phase. Relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase : $\Delta h_{12}(T) = T \Delta s_{12}(T)$.	On établit la formule de CLAPEYRON.
Cas de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de CLAPEYRON (P, v), isothermes d'ANDREWS, composition du mélange diphasé, titre en vapeur, théorème des moments, stockage des fluides.	On utilise les diagrammes (P, T) et (P, v). On établit le théorème des moments. On explique la problématique du stockage des fluides.

5.6 Étude des machines thermiques

L'enseignement de la thermodynamique dans cette partie est orienté vers des applications industrielles réelles et motivantes.

Programme	Commentaires
Machines dithermes : moteur thermique, machine frigorifique et pompe à chaleur. Application du premier principe et du deuxième principe de la thermodynamique aux machines dithermes. Rendement, efficacité. Théorème de CARNOT.	On montre l'impossibilité de réaliser un moteur monotherme cyclique. On précise le sens des échanges énergétiques pour un moteur et un récepteur thermique dithermes. Outre l'étude générale des divers types de machines dithermes cycliques, on analyse et on modélise une machine réelle au choix en insistant sur la modélisation des évolutions. Cette présentation ne fait l'objet de l'acquisition d'aucune connaissance spécifique exigible. On donne quelques ordres de grandeur des rendements

	des machines thermiques réelles actuelles
Premier et second principes de la thermodynamique pour un système ouvert en écoulement permanent unidimensionnel : $\Delta h + \Delta e_c + \Delta(gz) = w_u + q_e$ et $\Delta s = s_e + s_c$.	On établit les expressions des deux principes. On étudie des exemples de machines dithermes réelles à l'aide de diagrammes (P, h).
Principe de la cogénération.	On explique le principe de la cogénération.

6 Électromagnétisme

L'étude de l'électrostatique et de la magnétostatique est centrée sur les propriétés des champs **E** et **B** et non sur les calculs. Aucune technicité de calcul n'est donc recherchée dans l'évaluation des champs ; en revanche, on insiste sur la comparaison des propriétés respectives de **E** et **B** et sur la lecture des lignes de champ et des surfaces équipotentielles.

On montre sur des exemples que l'étude de l'électromagnétisme en régime statique n'est pas un objectif en soi ; mais que c'est une discipline qui permet aussi de fournir des modèles mathématiques adaptables à de nombreux domaines.

On peut avantageusement utiliser un logiciel pour obtenir des cartes de lignes de champ. En revanche, l'utilisation d'un logiciel de calcul formel pour calculer des champs n'est pas un objectif du programme.

Cette partie fait appel à des notions mathématiques nouvelles qu'il convient de présenter simplement en insistant sur leur contenu physique : les intégrales simples, doubles, triples, curvilignes doivent être présentées comme des sommes d'une grandeur physique élémentaire (flux, circulation, charge ...). Le calcul d'intégrales doubles et triples doit être évité en se limitant aux cas où les symétries permettent de ramener le calcul à celui d'une seule intégrale simple. Pour cela, l'accent est mis sur les situations à haut degré de symétrie qui permettent l'utilisation efficace des propriétés de flux ou de circulation.

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

Le condensateur plan est introduit mais l'étude des conducteurs en équilibre électrostatique ne relève pas du programme.

Les objectifs généraux de cette partie sont :

- maîtriser les notions de champ de scalaires, de champ de vecteurs et de flux d'un champ de vecteurs ;
- conduire des analyses de symétrie et d'invariance ;
- calculer des champs à l'aide de propriétés de flux ou de circulation ;
- utiliser la notion de moments électrique et magnétique ;
- évaluer les actions d'un champ électrostatique (respectivement magnétique) extérieur sur un dipôle électrique (respectivement magnétique ou par analogie sur un aimant) ;
- connaître ou savoir évaluer des ordres de grandeur.

6.1 Champ et potentiel électrostatiques

Les notions abordées dans cette partie sont centrées sur l'essentiel : distributions de charges, champ et potentiel électrostatiques. L'accent est mis sur les propriétés intégrales du champ et sur le théorème de GAUSS pour des situations présentant un haut degré de symétrie. Le condensateur plan est introduit mais l'étude des conducteurs en équilibre électrostatique ne relève pas du programme. Les analogies avec la gravitation sont centrées sur l'application du théorème de GAUSS.

Programme	Commentaires
Loi de COULOMB dans le vide. Champ électrostatique créé par une charge ponctuelle et par un ensemble de charges ponctuelles. Principe de superposition.	On donne quelques ordres de grandeur de valeurs de champs électrostatiques.
Distributions macroscopiques de charges réparties, densité volumique de charge. Modélisation à l'aide d'une densité surfacique ou linéique de charge. Relation entre les densités de charges de deux types de distributions modélisant une même situation. Recherche des plans de symétrie et d'antisymétrie,	On détermine la charge totale d'une distribution continue dans des situations simples.

recherche des invariances par rotation, par translation, pour les distributions de charges.	
Circulation du vecteur champ électrostatique. Potentiel électrostatique. Expression de l'opérateur gradient en coordonnées cartésiennes. Relation locale $\mathbf{E} = -\text{grad}(V)$. Topographie : lignes de champ, tube de champ et surfaces équipotentielles. Propriétés de symétrie et d'invariance du champ et du potentiel électrostatiques. Caractère polaire du champ électrostatique.	On montre le lien entre la circulation du champ électrostatique et le travail de la force électrostatique. On fait le lien avec la notion de potentiel utilisée dans le cours d'électrocinétique. Sur des exemples de cartes de champ et de potentiel électrostatiques, on fait apparaître le lien entre les propriétés de symétrie des sources (distributions de charges) et celles de leurs effets (champ et potentiel). On pourra pour cela utiliser un logiciel de simulation ou de calcul formel. Pour déterminer un champ électrostatique à partir du potentiel, l'expression de l'opérateur gradient est fournie dans le cas des coordonnées sphériques et cylindriques. Activité numérique : à l'aide d'un langage de programmation, tracer quelques lignes de champ pour une distribution donnée.
Application : champ et potentiel créés par un disque uniformément chargé, cas d'un plan illimité, mise en évidence de la discontinuité.	
Flux du vecteur champ électrostatique. Théorème de GAUSS.	On admet le théorème de GAUSS. La notion d'angle solide est hors programme.
Applications : champ et potentiel créés par un fil rectiligne et un plan, illimités et uniformément chargés, par un cylindre illimité et une sphère, chargés uniformément en surface et en volume.	On met en évidence le fait que le champ électrostatique en un point des sources n'est pas défini lorsque celles-ci sont modélisées par une densité surfacique ou linéique de charge. On met en évidence l'équivalence du champ électrostatique d'une distribution à symétrie sphérique à celui d'une charge ponctuelle. Les relations de passages ne sont pas au programme de première année.
Analogie formelle avec le champ de gravitation : théorème de GAUSS pour le champ de gravitation. Application : équivalence du champ de gravitation d'une distribution à symétrie sphérique à celui d'une masse ponctuelle.	On transpose le théorème de GAUSS au cas de la gravitation.
Énergie potentielle électrostatique d'une charge ponctuelle dans un champ électrostatique extérieur.	On établit l'expression de l'énergie potentielle d'une charge ponctuelle placée dans un champ électrostatique extérieur.
Relation entre la force et le gradient de l'énergie potentielle. Énergie d'interaction d'un système de charges discret.	On signale que la relation $\mathbf{F} = -\text{grad}(E_p)$, tout comme le travail en mécanique, permet de définir le concept de force conservative.
Étude du condensateur plan dans le vide, expression de sa capacité. Énergie d'un condensateur. Densité volumique d'énergie électrique.	On définit un condensateur plan dans le vide comme la superposition de deux distributions surfaciques, de charges opposées.

6.2 Dipôle électrostatique

Cette partie a pour objectifs, de définir le dipôle électrostatique modélisé par un doublet rigide de deux charges ponctuelles, d'exploiter les propriétés de symétrie du modèle étudié et d'étudier les effets d'un champ électrostatique extérieur sur un dipôle électrostatique rigide. L'accent est mis sur les effets qualitatifs.

Programme	Commentaires
Dipôle électrostatique : définition et modélisation. Moment dipolaire.	On prend comme modèle un doublet rigide de deux charges ponctuelles $+q$ et $-q$. On évalue des ordres de grandeur du moment dipolaire dans le domaine microscopique.
Approximation dipolaire : potentiel et champ créés à grande distance. Lignes de champ et surfaces équipotentielles d'un dipôle électrostatique.	On explicite les conditions de l'approximation dipolaire. Le potentiel et le champ créés sont exprimés à la fois en coordonnées sphériques et sous forme intrinsèque.

	On définit de façon plus générale les notions de distribution dipolaire de charges et de moment dipolaire. Ceci permet de faire le lien avec la chimie : on pourra alors à travers un exemple expliquer les interactions ion-dipôle ou dipôle – dipôle lors de la mise en solution aqueuse d'un soluté. On affirme que les expressions du potentiel et du champ créés à grande distance d'une distribution dipolaire sont identiques à celles d'un doublet. Tout développement multipolaire est hors programme.
Dipôle électrostatique rigide placé dans un champ électrostatique extérieur : actions subies et énergie potentielle d'interaction. - cas d'un champ uniforme. - cas d'un champ non uniforme.	On établit et on exploite les expressions des actions mécaniques subies par un doublet de charges dans un champ électrostatique extérieur uniforme. On montre que l'action subie par le dipôle rigide se réduit à un couple dans le cas d'un champ uniforme. On exploite l'expression fournie de la force subie par un dipôle placé dans un champ électrostatique extérieur non uniforme. On met en évidence la tendance des dipôles à s'aligner sur le champ et à se déplacer vers les zones de champ fort.

6.3 Champ magnétostatique

Cette partie vise à relier le champ magnétique et ses sources ; l'accent est mis sur le concept de champ vectoriel, l'analyse des symétries et des invariances, l'exploitation des représentations graphiques et la connaissance d'ordres de grandeur.

Programme	Commentaires
Distributions de courant électrique. Vecteur densité de courant volumique. Intensité du courant. Relation entre l'intensité du courant et le flux du vecteur densité de courant volumique. Modélisation à l'aide d'une densité surfacique ou linéique du courant électrique. Recherche des plans de symétrie et d'antisymétrie, recherche des invariances par rotation, par translation, pour les distributions de courant.	On donne quelques ordres de grandeur de courants électriques. Relation entre les densités de charges de deux types de distributions modélisant une même situation.
Champ magnétostatique : loi de BIOT et SAVART pour les circuits fermés filiformes. Principe de superposition.	On donne des ordres de grandeur de champs magnétostatiques : au voisinage d'aimants, dans une machine électrique, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre...
Topographie : lignes de champ et tubes de champ. Propriétés de symétrie du champ magnétostatique. Caractère axial du champ magnétostatique.	Les équations différentielles des lignes de champ et leur intégration sont exclues en première année. Sur des exemples de cartes de champ magnétique, on fait apparaître le lien entre les propriétés de symétrie des sources et celles du champ créé. On peut comparer des spectres magnétiques avec des cartes de champ tracées à l'aide d'un logiciel.
Applications : champs d'une spire circulaire et d'un solénoïde à section circulaire en un point de leurs axes.	Aucune technicité de calcul ne doit être recherchée.
Flux du champ magnétostatique, conservation du flux magnétique.	On admet que le flux du champ magnétostatique se conserve à travers une surface fermée.
Circulation du champ magnétostatique, théorème d'AMPÈRE. Applications : champ magnétostatique créé par, un fil rectiligne infini de section nulle, un fil rectiligne infini de section non nulle, une nappe infinie de courant surfacique, un solénoïde infini et une bobine torique. Mise en évidence de la discontinuité.	On admet le théorème d'AMPÈRE.

6.4 Dipôle magnétique

Cette partie a pour objectifs, de définir le moment magnétique d'une boucle de courant plane en prenant comme modèle la spire circulaire, d'exploiter les propriétés de symétrie du modèle étudié et d'étudier les effets d'un champ magnétostatique extérieur sur un dipôle magnétique rigide.

Programme	Commentaires
Dipôle magnétique : définition et modélisation, moment magnétique.	On prend comme modèle la spire circulaire ; on définit son moment magnétique M . On donne des ordres de grandeur du moment magnétique dans les domaines macroscopique et microscopique.
Approximation dipolaire. Champ magnétique créé à grande distance par un dipôle magnétique.	On explicite les conditions de l'approximation dipolaire. On admet l'expression du champ magnétique à la fois en coordonnées sphériques et sous forme intrinsèque et on souligne l'analogie avec celle du champ électrostatique créé par un dipôle électrostatique. On présente et on exploite les propriétés de symétrie du modèle étudié.
Lignes de champ.	On signale que les lignes de champ du dipôle électrostatique et du dipôle magnétique sont différentes. En conclusion de cette partie, on compare les propriétés des champs électrostatiques et magnétostatique, en particulier leur topographie et leurs symétries respectives.
Actions d'un champ magnétostatique extérieur sur un dipôle magnétique rigide. Énergie potentielle d'interaction d'un dipôle magnétique dans un champ magnétique extérieur.	On exploite les expressions fournies des actions mécaniques subies par un dipôle magnétique dans un champ magnétostatique extérieur uniforme, puis non uniforme. On met en évidence la tendance des dipôles magnétiques à s'aligner sur le champ et à se déplacer vers les zones de champ fort.

Annexes

1. Liste de matériel de physique

Le standard national du matériel des CPGE donne la liste globale et détaillée du matériel nécessaire à la mise en œuvre du programme de physique et chimie en ces classes.

Le tableau ci-dessous donne le matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes et que les élèves doivent savoir utiliser lors d'une évaluation pratique avec l'aide d'une notice simplifiée. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'instructions appropriées et d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

	Domaine	Matériel
1	Optique	- Goniomètre - Viseur à frontale fixe - Lunette auto-collimatrice - Spectromètre à fibre optique - Laser à gaz et diode laser - Sources de lumière spectrales - Source de lumière blanche à condenseur
2	Électronique	- Oscilloscope numérique - Carte d'acquisition et logiciel dédié - Générateur de signaux électrique Basse Fréquence avec modulation interne en fréquence et sortie d'une tension image de la fréquence - Alimentation stabilisée en tension - Multimètre numérique - Multiplieur analogique - Microcontrôleur

3	Mécanique	• Capteur de force • Accéléromètre • Stroboscope • Appareil photo numérique • Pendule simple et pendule pesant • Matériel de chute libre
4	Thermodynamique	• Capteur de pression • Webcam avec logiciel dédié • Caméra thermique • Thermomètre • Thermocouple • Thermistance • Capteur infra-rouge • Calorimètre • Machines thermiques dithermes
5	Électromagnétisme	• Teslamètre • Balance de COTON

2. Outils mathématiques pour la physique

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en sciences physiques. La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année. Il est complété dans le programme de seconde année. Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité sont traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique).

Programme	Savoir-faire mathématiques exigibles
Équations algébriques : Systèmes linéaires de n équations à p inconnues. Équations non linéaires.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. On donne l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$. Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$ et on interprète graphiquement la ou les solutions.
Équations différentielles linéaires et non linéaires : Équations différentielles linéaires à coefficients constants. Forme canonique. Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$. Équations différentielles linéaires du deuxième ordre à coefficients constants : $y'' + ay' + by = f(x)$. Autres équations différentielles d'ordre 1 ou 2. Exemples d'équations différentielles non linéaires.	Identifier l'ordre d'une équation différentielle. Mettre l'équation sous forme canonique. Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cos(\omega x + \varphi)$ (en utilisant la notation complexe). Utiliser l'équation caractéristique pour trouver la solution générale de l'équation sans second membre. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \exp(\lambda x)$ avec λ complexe. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution. Obtenir une intégrale première d'une équation de NEWTON $x'' = f(x)$ et l'exploiter graphiquement. Séparer les variables d'une équation du premier ordre à

	variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et le graphe de la solution correspondante.
Fonctions : Fonctions usuelles. Dérivée. Dérivée d'une fonction composée. Dérivée temporelle d'une fonction, notation $\frac{dx}{dt}$. Développement limité d'une fonction d'une variable au voisinage d'une valeur de la variable. Formule de TAYLOR à l'ordre un ou deux ; interprétation graphiquement. Primitive et intégrale. Valeur moyenne. Représentation graphique d'une fonction.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ($x \rightarrow x^a$). Utiliser la formule de TAYLOR à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement. Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1+x)^a$ et $\ln(1+x)$, $\exp(x)$ et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$. Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques. Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions $\cos$, $\sin$, $\cos^2$ et $\sin^2$. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Géométrie dans $\mathbf{R}^2$ et dans $\mathbf{R}^3$: Vecteurs et système de coordonnées. Projection d'un vecteur et produit scalaire, interprétation géométrique. Produit vectoriel, interprétation géométrique. Produit mixte. Notions de dérivée temporelle d'un vecteur dans un référentiel donné. Transformations géométriques, symétries par rapport à un plan, translations et rotations de l'espace. Courbes planes. Courbes planes paramétrées. Longueurs, aires et volumes classiques. Barycentre d'un système de points.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques. Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire. Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe. Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel. Faire le lien avec l'orientation des trièdres. Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Utiliser leur effet sur l'orientation de l'espace. Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle. Utiliser la représentation polaire d'une courbe plane ; utiliser un grapheur pour obtenir son tracé. Identifier une ellipse à l'aide de sa représentation paramétrique ($x = a \cos(\omega t)$, $y = a \cos(\omega t - \varphi)$) et la tracer dans les cas particuliers $\varphi = 0$, $\varphi = \frac{\pi}{2}$ et $\varphi = \pi$. Citer les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre. Énoncer la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène.
Trigonométrie : Angle orienté, convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien). Lecture des lignes trigonométriques dans un triangle rectangle, cas des petits angles.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles d'un plan perpendiculaire à cet axe. Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation

Fonctions cosinus, sinus et tangente. Nombres complexes et représentation dans le plan, partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe. Somme et produit de nombres complexes. Notation complexe, utilisée pour la résolution de l'équation différentielle linéaire du second ordre à coefficients constants dont le second membre est une fonction sinusoïdale du temps.	géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(\pi \pm x)$ et $\cos(\frac{\pi}{2} \pm x)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Citer les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas. Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.
Analyse vectorielle : Gradient d'un champ scalaire, lien entre le gradient et la différentielle.	On fait le lien entre le gradient et la différentielle. Citer l'expression de la différentielle en fonction des dérivées partielles. Citer l'expression du gradient en coordonnées cartésiennes ; utiliser un formulaire fourni en coordonnées cylindriques ou sphériques. Utiliser le fait que le gradient d'une fonction f est perpendiculaire aux surfaces iso-f et orienté dans le sens des valeurs de f croissantes.

3. Outils numériques pour la physique

La prise en compte de l'enseignement de l'informatique en sciences physiques est un défi important pour notre système éducatif. L'introduction d'activités numériques dans le programme des classes préparatoires prend en compte l'importance des sciences numériques dans la formation des scientifiques notamment dans le domaine de la simulation et de la modélisation.

En sciences physiques, l'utilisation des outils numériques de codage en langage Python est centrée sur la découverte de cet outil de programmation et l'exploitation de fonctions extraites de ses diverses bibliothèques. Python - muni de ses nombreuses bibliothèques - est devenu le langage de référence dans les classes préparatoires scientifiques. Il peut être utilisé comme : simple calculatrice, outil de résolution, visualisation graphique (avec Matplotlib), simulation numérique (NumPy/SciPy), calcul formel (SymPy), réalisation d'interface graphique (TKinter, PyQt ...), production de sites, ...

Les activités numériques de codage fixées dans ce programme permettent aux élèves de développer des connaissances et des savoir-faire utiles à la physique comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples.

Le tableau ci-dessous explicite les outils relatifs aux activités numériques ainsi que les savoir-faire exigibles en fin de première année. Il sera complété dans le programme de physique de seconde année.

Programme	Savoir-faire exigibles
1. Outils numériques	
Représentation graphique d'un nuage de points.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque matplotlib pour représenter un nuage de points.
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque matplotlib pour tracer la courbe représentative d'une fonction.
Courbes planes paramétrées.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque matplotlib pour tracer une courbe plane paramétrée.
2. Équations algébriques	
Résolution d'une équation algébrique ou d'une équation transcendante : méthode dichotomique.	Déterminer, en s'appuyant sur une représentation graphique, un intervalle adapté à la recherche numérique d'une racine par une méthode dichotomique. Mettre en œuvre une méthode dichotomique afin de résoudre une équation avec une précision donnée. Utiliser la fonction bisect de la bibliothèque scipy.optimize (sa spécification étant fournie).
3. Intégration – Dérivation	

Calcul approché d'une intégrale sur un segment par la méthode des rectangles.	Mettre en œuvre la méthode des rectangles pour calculer une valeur approchée d'une intégrale sur un segment.
Calcul approché du nombre dérivé d'une fonction en un point.	Utiliser un schéma numérique pour déterminer une valeur approchée du nombre dérivé d'une fonction en un point.
4. Équations différentielles	
Équations différentielles d'ordre 1.	Mettre en œuvre la méthode d'EULER explicite afin de résoudre une équation différentielle d'ordre 1.
Équations différentielles d'ordre supérieur ou égal à 2.	Transformer une équation différentielle d'ordre n en un système différentiel de n équations d'ordre 1. Utiliser la fonction odeint de la bibliothèque scipy.integrate (sa spécification étant fournie).
5. Probabilités – statistiques	
Variable aléatoire.	Utiliser les fonctions de base des bibliothèques random et/ou numpy (leurs spécifications étant fournies) pour réaliser des tirages d'une variable aléatoire. Utiliser la fonction hist de la bibliothèque matplotlib.pyplot (sa spécification étant fournie) pour représenter les résultats d'un ensemble de tirages d'une variable aléatoire. Déterminer la moyenne et l'écart-type d'un ensemble de tirages d'une variable aléatoire.
Régression linéaire.	Utiliser la fonction polyfit de la bibliothèque numpy (sa spécification étant fournie) pour exploiter des données. Utiliser la fonction random.normal de la bibliothèque numpy (sa spécification étant fournie) pour simuler un processus aléatoire.