



# **Classes préparatoires aux grandes écoles**

## **Filière scientifique**

### **Voie Technologie, physique et chimie (TPC)**

#### **Annexe 2**

#### **Programme de physique de 1<sup>ère</sup> année**

# Programme de physique — TPC1

## Préambule

### Objectifs de formation

Le programme de physique de la classe de TPC1 constitue un ensemble cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques qui préparent les étudiants à la deuxième année de classe préparatoire et, au-delà, à un cursus d'ingénieur, de chercheur ou d'enseignant. Il s'agit de consolider les compétences de chaque étudiant, forgées durant le cycle terminal de la voie technologique du lycée, inhérentes à la pratique de la démarche scientifique : observer et s'approprier, analyser et modéliser, réaliser et valider, et enfin communiquer et valoriser ses résultats.

L'acquisition de ce socle de connaissances scientifiques par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur. En tant que science expérimentale, la physique est une discipline qui développe la curiosité, la créativité et l'analyse critique. Il est donc naturel que l'expérience se situe au cœur de son enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ils auront à le faire dans l'exercice de leur métier.

L'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte le caractère incontournable des sciences numériques dans la formation des scientifiques, notamment dans le domaine de la simulation, et vise également à développer chez les étudiants des compétences transférables dans d'autres champs que le seul champ disciplinaire de la physique.

La démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits et celui des modèles, des concepts et des théories. Le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle exige bien souvent une utilisation maîtrisée des mathématiques dont Galilée, fondateur de la physique expérimentale, soulignait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. De façon complémentaire, l'utilisation de l'outil numérique offre aujourd'hui aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation plus poussée du monde réel que ne le permettent les outils mathématiques usuels.

Enfin, l'autonomie et la prise d'initiative sont spécifiquement développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes » qui visent à exercer les étudiants à mobiliser des connaissances et des capacités pour répondre à un questionnement ou atteindre un but sans qu'aucune démarche de résolution ne soit fournie.

### Organisation du programme

Le programme est globalement organisé en deux parties.

Dans la première partie, intitulée « **Formation expérimentale** », sont décrits les objectifs de formation sur le thème « Mesures et incertitudes » ainsi que les méthodes et les capacités expérimentales que les étudiants doivent maîtriser à la fin de la première année de classe préparatoire TPC1. Leur mise en œuvre s'appuie sur des problématiques concrètes qui mobilisent aussi les capacités expérimentales spécifiques, également exigibles, qui sont identifiées en gras dans la seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». La formation expérimentale doit reposer sur un apprentissage progressif et structuré de l'ensemble des capacités attendues, tout au long des deux années de classe préparatoire TPC. La seconde partie, intitulée « **Contenus thématiques** » est articulée autour de trois thèmes fédérateurs : « **thème E – énergie : conversions et transferts** », « **thème M – mouvements et interactions** », et « **thème S – ondes et signaux** ». La présentation en deux colonnes « notions et contenus » et, en regard, « capacités exigibles » met en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres. Certains items de cette seconde partie, identifiés en caractères gras dans la colonne « capacités exigibles », se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils

doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant doivent être privilégiées. La présence de capacités numériques explicitées atteste par ailleurs de la volonté de renforcer ce volet de la formation des étudiants; l'annexe dédiée à cette composante en précise les objectifs et les attendus en termes de contenus comme de capacités exigibles.

Trois annexes sont consacrées d'une part au matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes, d'autre part aux outils mathématiques et aux outils numériques que les étudiants doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique en fin d'année en TPC1.

Ce programme précise les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il n'impose en aucun cas une progression pour chacun des deux semestres. Celle-ci est laissée à la libre appréciation du professeur et relève de sa liberté pédagogique.

### Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'ensemble des activités proposées en classe préparatoire aux grandes écoles – activités expérimentales, résolutions de problèmes, TIPE, etc. – permet de travailler les compétences de la démarche scientifique qui figurent dans le tableau ci-dessous. Chaque compétence est illustrée par un ensemble de capacités associées qui permettent d'en préciser le contour sans pour autant constituer une liste exhaustive. Certaines peuvent parfois relever de plusieurs compétences. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les différentes compétences doivent être acquises à l'issue des deux années de formation en CPGE. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

Compétences	Exemples de capacités associées
<b>S'approprier</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Rechercher, extraire et organiser de l'information ou des données en lien avec la situation étudiée.</li> <li>— Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...)</li> <li>— Énoncer ou dégager une problématique scientifique en prenant en compte ses différents aspects (technique, scientifique, sociétal).</li> <li>— Représenter la situation par un schéma modèle.</li> <li>— Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole.</li> <li>— Relier le problème à une situation modèle connue.</li> <li>— Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.</li> </ul>
<b>Analyser/Raisonner</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Formuler des hypothèses.</li> <li>— Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples.</li> <li>— Proposer une stratégie pour répondre à une problématique.</li> <li>— Choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle, des lois physiques ou chimiques.</li> <li>— Estimer des ordres de grandeur.</li> <li>— Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations.</li> <li>— Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de plusieurs documents.</li> </ul>

<p><b>Réaliser</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Mettre en œuvre les étapes d’une démarche, un protocole, un modèle.</li> <li>— Extraire une information d’un texte, d’un graphe, d’un tableau, d’un schéma, d’une photographie.</li> <li>— Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure.</li> <li>— Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant des règles de sécurité.</li> <li>— Construire des représentations graphiques à partir de données.</li> <li>— Mener des calculs analytiques ou à l’aide d’un langage de programmation, effectuer des applications numériques.</li> <li>— Conduire une analyse dimensionnelle.</li> </ul>
<p><b>Valider</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes.</li> <li>— Confronter les résultats d’un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document ou dans de la bibliographie scientifique, à ses connaissances.</li> <li>— Discuter de la recevabilité d’une hypothèse, d’une information.</li> <li>— Analyser les résultats de manière critique.</li> <li>— Repérer les points faibles d’une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude,...).</li> <li>— Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.</li> </ul>
<p><b>Communiquer</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— À l’écrit comme à l’oral : <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente.</li> <li>◦ rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation.</li> <li>◦ appuyer son propos sur des supports appropriés.</li> <li>◦ utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, représentations graphiques, cartes mentales, etc.).</li> <li>◦ citer l’origine des sources utilisées.</li> </ul> </li> <li>— Écouter, confronter son point de vue.</li> </ul>

Pour atteindre le plein niveau de maîtrise de ces compétences et de ces capacités, les étudiants doivent progressivement développer, dans les différentes activités proposées par le professeur, leur **autonomie**, leur **esprit d’initiative** et leur **esprit critique**. La mise en œuvre des programmes doit aussi être l’occasion d’aborder avec les étudiants des questions liées à la poursuite d’études scientifiques, à l’histoire de l’évolution des idées, des modèles et des théories en physique, des questions liées à la recherche scientifique actuelle, des enjeux de citoyenneté comme l’engagement, la responsabilité individuelle et collective, la sécurité pour soi et autrui, ou des enjeux environnementaux et climatiques.

### Repères pour l’enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, le professeur organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- privilégier la mise en activité des étudiants en évitant tout dogmatisme : l’acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d’autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment favoriser la réflexion, le raisonnement, la participation et l’autonomie des étudiants. L’investigation expérimentale et la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité ;
- recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés industriels ou d’objets technologiques. Le recours à des approches documentaires, pouvant être en langue anglaise, est un moyen pertinent pour diversifier les supports d’accès à l’information scientifique et technologique et ainsi former l’étudiant à mieux en appréhender la complexité. Lorsque

le thème traité s'y prête, l'enseignant peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, avec des questions d'actualité ou des débats d'idées;

- contribuer à la nécessaire mise en cohérence des différents enseignements scientifiques de physique, de chimie, de mathématiques et d'informatique ainsi que l'enseignement de sciences en langue vivante (ESLV).

Concernant l'évaluation, qui vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants, le professeur veillera soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

## Première partie

# Formation expérimentale

Cette partie est spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiants. Dans un premier temps, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**. Elle présente ensuite de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et pratiquées en autonomie par les étudiants à l'issue de leur formation en première année de classe préparatoire TPC. Enfin, elle aborde la question de la prévention du risque au laboratoire de physique. Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans une annexe du présent programme.

## 1 Mesures et incertitudes

Les notions et capacités identifiées ci-dessous couvrent les deux années de formation en classe préparatoire aux grandes écoles; leur pleine maîtrise est donc bien un objectif de fin de seconde année. Elles sont communes aux enseignements de physique et de chimie et leur apprentissage s'effectue de manière coordonnée entre les professeurs concernés.

L'accent est mis sur la variabilité de la mesure d'une grandeur physique et sa caractérisation à l'aide de l'incertitude-type. La comparaison entre deux valeurs d'une même grandeur physique est conduite au moyen de l'écart normalisé, l'objectif principal étant de développer l'esprit critique des étudiants en s'appuyant sur un critère quantitatif. Le même esprit prévaut dans l'analyse des résultats d'une régression linéaire qui ne saurait s'appuyer sur l'exploitation non raisonnée du coefficient de corrélation ( $R^2$ ).

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	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Incertitude. 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.
Incertitudes-types composées.	Évaluer, à l'aide d'une relation fournie, l'incertitude-type d'une grandeur qui s'exprime en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, par une relation du type somme, différence, produit ou quotient. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée. <b>Capacité numérique :</b> simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire – simulation de Monte-Carlo – permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
Écriture du résultat d'une mesure.	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. <b>Capacité numérique :</b> à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, simuler un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation de Monte-Carlo – pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle.

## 2 Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales générales que les étudiants doivent acquérir durant les séances de travaux pratiques en première année de classe préparatoire TPC1. Le travail des capacités présentées ci-dessous et leur consolidation se poursuivent en seconde année.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret. À ce titre, elle vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la colonne « Capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

### 2.1 Mesures de grandeurs physiques

Les activités expérimentales doivent développer, tout au long de la formation des étudiants, la capacité à mettre en œuvre un dispositif de mesure d'une grandeur physique, à choisir le matériel adapté et à l'utiliser de façon autonome, éventuellement à l'aide d'une notice succincte.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<b>Grandeurs physiques diverses</b> Acquisition et analyse d'une image numérique.	Acquérir (webcam, appareil photo numérique,...) l'image d'un phénomène physique sous forme numérique, et l'exploiter à l'aide d'un logiciel pour conduire l'étude d'un phénomène.
Mesure de longueur à partir d'une photo ou d'une vidéo.	Évaluer, par comparaison à un étalon, une longueur (ou les coordonnées d'une position) sur une image numérique et en estimer la précision.
<b>Mesures de durées et de fréquences</b> Fréquence ou période : mesure directe au fréquence-mètre numérique, à l'oscilloscope ou via une carte d'acquisition.	Mettre en œuvre une méthode directe de mesure de fréquence ou de période.
Décalage temporel/différence de phase à l'aide d'un oscilloscope numérique.	Reconnaître une avance ou un retard de phase. Convertir un décalage temporel en une différence de phase et inversement. Repérer précisément une différence de phase nulle ou égale à $\pi$ en mode XY.
<b>Mesures électriques</b> Mesure d'une tension : — mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique. Mesure de l'intensité d'un courant : — mesure directe à l'ampèremètre numérique ; — mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée. Mesure d'une résistance ou d'une capacité : — mesure directe à l'ohmmètre/capacimètre ; — mesure indirecte d'une résistance à l'oscilloscope ou au voltmètre sur un diviseur de tension.	Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques : — choisir une résolution, un calibre et un nombre de points adaptés à la mesure ; — préciser la perturbation induite par l'appareil de mesure sur un montage et ses limites (bande passante, résistance d'entrée) ; — définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête, etc.). — gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses.
Caractérisation d'un dipôle quelconque.	Visualiser la caractéristique d'un dipôle à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.
Production d'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.

<p>Agir sur un signal électrique à l'aide des fonctions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— isolation, amplification, filtrage ;</li> <li>— sommation, intégration</li> </ul>	<p>Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses.</p> <p>Mettre en œuvre les fonctions de base de l'électronique réalisées par des blocs dont la structure ne fait pas l'objet d'une étude spécifique.</p> <p>Associer ces fonctions de base pour réaliser une fonction complexe en gérant les contraintes liées aux impédances d'entrée et/ou de sortie des blocs.</p>
<p><b>Optique</b> Former une image.</p>	<p>Éclairer un objet de manière adaptée.</p> <p>Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, et choisir leur focale de façon raisonnée.</p> <p>Optimiser la qualité d'une image (alignement, limitation des aberrations...).</p> <p>Estimer une valeur approchée d'une distance focale.</p>
<p>Créer ou repérer une direction de référence.</p>	<p>Régler et mettre en œuvre une lunette autocollimatrice et un collimateur.</p>
<p>Analyser une image numérique.</p>	<p>Acquérir (webcam, appareil photographique numérique...) l'image d'un phénomène physique sous forme numérique, et l'exploiter à l'aide d'un logiciel pour conduire l'étude d'un phénomène.</p>
<p><b>Mécanique</b> Mesurer une masse.</p>	<p>Utiliser une balance de précision.</p> <p>Repérer la position d'un centre de masse.</p>
<p>Visualisation et décomposition d'un mouvement.</p>	<p>Mettre en œuvre une méthode de stroboscopie. Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.</p>
<p>Mesure d'une accélération.</p>	<p>Mettre en œuvre un accéléromètre, par exemple avec l'aide d'un microcontrôleur.</p>
<p>Mesure d'une action mécanique.</p>	<p>Utiliser un dynamomètre.</p>
<p><b>Thermodynamique</b> Mesure d'une pression.</p>	<p>Mettre en œuvre un capteur de pression, en identifiant son caractère différentiel ou absolu.</p>
<p>Repérage d'une température.</p>	<p>Mettre en œuvre un capteur de température, par exemple avec l'aide d'un microcontrôleur.</p> <p>Choisir le capteur en fonction de ses caractéristiques (linéarité, sensibilité, gamme de fonctionnement, temps de réponse), et du type de mesures à effectuer.</p>
<p>Bilans d'énergie.</p>	<p>Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.</p>

### 3 Prévention du risque au laboratoire

L'apprentissage et le respect des règles de sécurité dans tous les domaines recensés ci-après permettent aux étudiants de prévenir et de minimiser les risques lorsqu'ils évoluent au laboratoire de physique. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Prévention des risques au laboratoire</b> Règles de sécurité au laboratoire.</p>	<p>Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire.</p> <p>Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.</p>
<p>Risque électrique.</p>	<p>Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.</p>
<p>Risque optique.</p>	<p>Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.</p>
<p>Risques liés à la pression et à la température.</p>	<p>Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.</p>

## Deuxième partie

# Contenus thématiques

L'organisation des semestres est la suivante.

Premier semestre	
<b>Thème S – ondes et signaux</b>	8
S.1 Formation des images . . . . .	8
S.2 Signaux et composants électriques dans l'ARQS . . . . .	9
S.3 Circuits linéaires du premier ordre . . . . .	10
<b>Thème E – énergie : conversions et transferts</b>	11
E.1 Descriptions microscopique et macroscopique d'un système . . . . .	11
E.2 Bilans d'énergie pour un système thermodynamique . . . . .	12
<b>Thème M – mouvements et interactions</b>	13
M.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point . . . . .	13
M.2 Lois de Newton . . . . .	13
M.3 Approche énergétique du mouvement d'un point matériel . . . . .	15
Second semestre	
<b>Thème M – mouvements et interactions</b>	15
M.4 Mouvement de particules chargées dans des champs électriques et magnétiques, uniformes et stationnaires	15
<b>Thème S – ondes et signaux</b>	16
S.4 Oscillateurs électriques et mécaniques en régime libre . . . . .	16
S.5 Régime sinusoïdal forcé . . . . .	17
S.6 Propagation d'un signal . . . . .	18
S.7 Induction électromagnétique . . . . .	19
<b>Thème E – énergie : conversions et transferts</b>	20
E.3 Statique des fluides . . . . .	20
E.4 Bilan énergétique pour un fluide en écoulement stationnaire . . . . .	21
E.5 Machines thermiques . . . . .	22

## Premier semestre

### Thème S – ondes et signaux

#### S.1 Formation des images

Dans cette partie, le professeur s'appuie sur les compétences expérimentales des étudiants dans le domaine de la formation des images pour mettre en évidence l'apport de la modélisation et d'une description algébrique du réel. De nombreuses applications technologiques peuvent être abordées; certaines sont précisées par le programme, d'autres sont laissées à la libre appréciation des enseignants (lunette, microscope, optique d'un smartphone, etc.).

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Sources lumineuses</b> Modèle de la source ponctuelle monochromatique. Spectre	Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur. Caractériser une source lumineuse par son spectre.
<b>Modèle de l'optique géométrique</b> Modèle de l'optique géométrique. Notion de rayon lumineux. Indice d'un milieu transparent. Réflexion, réfraction. Lois de Snell-Descartes.	Définir le modèle de l'optique géométrique. Indiquer les limites du modèle de l'optique géométrique. Établir la condition de réflexion totale.
<b>Conditions de l'approximation de Gauss et applications</b> Stigmatisme. Miroir plan.	Construire l'image d'un objet par un miroir plan.

Conditions de l'approximation de Gauss.	Énoncer les conditions de l'approximation de Gauss et ses conséquences. Relier le stigmatisme approché aux caractéristiques d'un détecteur.
Lentilles minces dans l'approximation de Gauss.	Définir les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence. Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux, identifier sa nature réelle ou virtuelle. Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal de Descartes et de Newton. Établir et utiliser la condition de formation de l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente. <b>Former l'image d'un objet dans des situations variées.</b>
<b>Modèles de quelques dispositifs optiques</b> L'œil. Punctum proximum, punctum remotum.	Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur plan fixe. Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.
L'appareil photographique.	Modéliser l'appareil photographique comme l'association d'une lentille et d'un capteur. Construire géométriquement la profondeur de champ pour un réglage donné. <b>Étudier l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image.</b>
Système optique à plusieurs lentilles.	<b>Modéliser, à l'aide de plusieurs lentilles, un dispositif optique d'utilisation courante.</b>

## S.2 Signaux et composants électriques dans l'ARQS

La partie « **S.2 Signaux et composants électriques dans l'ARQS** » 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 spécifique préalable n'est nécessaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Grandeurs électriques</b> Charge électrique, intensité du courant électrique. Régime continu, régime variable quasi-stationnaire. Potentiel, potentiel de référence, tension. Puissance électrique.	Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charges électriques. Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence. Utiliser la loi des nœuds et la loi des mailles. Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur. Citer des ordres de grandeur d'intensités, de tensions et de puissances dans différents domaines d'application.
<b>Dipôles électriques usuels</b> Source de tension.	Modéliser une source en utilisant la représentation de Thévenin. <b>Évaluer la résistance de sortie d'une source de tension réelle.</b>
Système à comportement résistif.	Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance.

Association de deux résistances. Ponts diviseurs de tension et de courant.	Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente. Exploiter les relations des diviseurs de tension ou de courant. <b>Mettre en évidence l'influence de la résistance d'entrée d'un voltmètre ou d'un ampèremètre sur les valeurs mesurées.</b>
Système à comportement capacitif : modèle du condensateur idéal. Relation entre charge et tension ; capacité d'un condensateur. Énergie stockée.	Relier l'intensité algébriquement reçue à la tension aux bornes d'un condensateur. Exploiter l'expression fournie de la capacité d'un condensateur en fonction de ses caractéristiques. Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur.
Système à comportement inductif : modèle de la bobine idéale. Relation entre intensité et tension ; inductance d'une bobine.	Relier l'intensité algébriquement reçue à la tension aux bornes d'une bobine. Exprimer l'énergie stockée dans une bobine.
Caractéristique d'un dipôle. Point de fonctionnement.	<b>Étudier la caractéristique d'un dipôle pouvant être non-linéaire et mettre en œuvre un capteur dans un dispositif expérimental.</b>

### S.3 Circuits linéaires du premier ordre

La partie « **S.3 Circuits linéaires du premier ordre** » est consacrée à l'étude de l'évolution temporelle transitoire vers un régime permanent d'un système linéaire du premier ordre soumis à un échelon de tension ou en régime libre. Cette partie amène à opérer une distinction entre les régimes transitoires et permanents, et, plus généralement, permet d'introduire le modèle du système linéaire du premier ordre et de faire émerger la notion essentielle de temps caractéristique d'évolution.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle du circuit $RC$ alimenté par une source idéale de tension constante. Charge et décharge d'un condensateur, temps caractéristique.	Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur. Déterminer en fonction du temps la tension aux bornes d'un condensateur dans le cas de sa charge ou de sa décharge. Exploiter la continuité de la tension aux bornes d'un condensateur. Déterminer un ordre de grandeur de la durée d'un régime transitoire.
Modèle du circuit $RL$ série.	Établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par l'intensité du courant dans le circuit. Exploiter la continuité du courant circulant dans une bobine. Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.
Capteurs capacitifs. Capteurs inductifs.	<b>Mettre en œuvre un capteur capacitif ou inductif et identifier les paramètres influençant ses performances.</b>
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser un bilan énergétique sur le circuit $RC$ série. Réaliser un bilan énergétique sur le circuit $RL$ série.
Circuit du premier ordre à une ou deux mailles.	<b>Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire pour un circuit linéaire du premier ordre dans un circuit comportant une ou deux mailles et analyser ses caractéristiques.</b> <b>Capacité numérique :</b> 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.

## Thème E – énergie : conversions et transferts

Cette partie propose, en introduction, une présentation de différents états de la matière. La description d'un état d'équilibre thermodynamique d'un système à l'aide d'un jeu réduit de variables d'état s'appuie sur les modèles usuels du gaz parfait et de la phase condensée peu dilatable et peu compressible, dont les limites sont cependant mentionnées par comparaison avec les propriétés physiques de systèmes réels.

Le premier principe de la thermodynamique est ensuite énoncé et permet d'établir les premiers bilans énergétiques, dont la formulation rigoureuse constitue un des objectifs de formation privilégiés. Les capacités identifiées doivent être introduites en s'appuyant, dès que possible, sur des dispositifs expérimentaux qui permettent leur acquisition progressive et authentique.

On utilise les notations suivantes : pour une grandeur extensive  $A$ ,  $a$  désigne la grandeur massique associée et  $A_m$  la grandeur molaire associée.

### E.1 Descriptions microscopique et macroscopique d'un système

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Les états de la matière</b> État solide, liquide et gazeux. Échelles microscopique, mésoscopique et macroscopique. Distance moyenne entre particules.</p>	<p>Définir et caractériser les différents états de la matière. Définir l'échelle mésoscopique et en expliquer la nécessité. Citer quelques ordres de grandeur de distances moyennes entre entités dans un solide, un liquide et un gaz.</p>
<p>Système thermodynamique.</p>	<p>Identifier un système ouvert, un système fermé, un système isolé.</p>
<p>État d'équilibre thermodynamique et variables d'état.</p>	<p>Présenter les paramètres usuellement utilisés pour la description d'un système thermodynamique : pression, température, volume, densité volumique de particules, masse volumique. Associer qualitativement la pression aux propriétés physiques du système à l'échelle microscopique. Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique. Dédire une température d'une condition d'équilibre thermique.</p>
<p><b>Gaz parfait</b> Modèle du gaz parfait.</p>	<p>Comparer le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait sur des réseaux d'isothermes expérimentales en coordonnées de Clapeyron ou d'Amagat.</p>
<p>Équation d'état du gaz parfait.</p>	<p>Citer quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température. Citer et exploiter l'équation d'état des gaz parfaits.</p>
<p>Mélange idéal de gaz parfaits. Pression partielle. Loi de Dalton.</p>	<p>Donner la définition de la pression partielle. Exploiter la loi de Dalton.</p>
<p>Énergie interne du gaz parfait. Capacité thermique à volume constant d'un gaz considéré comme parfait.</p>	<p>Exprimer la variation de l'énergie interne d'un gaz parfait en fonction de la variation de température, la capacité thermique à volume constant étant donnée.</p>
<p><b>Phase condensée peu dilatable et peu compressible</b> Modèle de la phase condensée peu dilatable et peu compressible.</p>	<p>Interpréter graphiquement la différence de compressibilité entre un liquide et un gaz à partir d'isothermes expérimentales.</p>
<p>Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée peu dilatable et peu compressible.</p>	<p>Exprimer la variation de l'énergie interne d'une phase condensée peu dilatable et peu compressible en fonction de la variation de température, la capacité thermique à volume constant étant donnée.</p>
<p><b>Description d'un corps pur en équilibre diphasé</b></p>	

<p>Corps pur en équilibre diphasé. Diagramme de phases (<math>P, T</math>), point critique, point triple.</p> <p>Cas particulier de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (<math>P, v</math>), pression de vapeur saturante, titre en vapeur.</p>	<p>Analyser un diagramme de phases expérimental (<math>P, T</math>) et nommer les différents changements de phase.</p> <p>Positionner les différentes phases d'un corps pur dans les diagrammes (<math>P, T</math>) et (<math>P, v</math>).</p> <p>Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (<math>P, v</math>).</p>
---	---

## E.2 Bilans d'énergie pour un système thermodynamique

Cette partie, centrée sur le premier principe de la thermodynamique, aborde les bilans d'énergie. Les relations entre variables d'état thermodynamiques considérées dans cette partie se limitent exclusivement à celles qui relèvent du modèle du gaz parfait ou du modèle de la phase condensée peu dilatable et peu compressible. La loi de Laplace qui caractérise l'évolution adiabatique et réversible d'un gaz parfait n'est pas exigible, pas plus que ses conditions de validité. Elle peut néanmoins être utilisée à condition d'être fournie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Transformations thermodynamiques</b></p> <p>Transformation thermodynamique d'un système.</p> <p>Transformations isochore, isobare et monobare.</p> <p>Thermostat, transformations monotherme et isotherme.</p>	<p>Exploiter les conditions imposées par le milieu extérieur au système pour déterminer l'état d'équilibre final.</p> <p>Identifier dans une situation expérimentale le ou les systèmes qui peuvent être modélisés par un thermostat ou dont la pression peut être supposée constante.</p>
<p><b>Premier principe de la thermodynamique. Bilans d'énergie.</b></p> <p>Premier principe de la thermodynamique.</p>	<p>Utiliser le premier principe de la thermodynamique entre deux états d'équilibre thermodynamique.</p> <p>Exploiter les propriétés d'extensivité et de fonction d'état de l'énergie interne.</p>
<p><b>Travail</b></p> <p>Travail des forces de pression.</p>	<p>Évaluer un travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné dans le cas d'une seule variable.</p> <p>Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron ou de Watt.</p>
<p><b>Transferts thermiques</b></p> <p>Modes de transferts thermiques.</p> <p>Puissance thermique proportionnelle à l'écart des températures du système étudié et du milieu extérieur au système.</p> <p>Modélisation de l'évolution de la température d'un système considéré comme peu compressible et peu dilatable au contact d'un thermostat.</p>	<p>Caractériser qualitativement les trois modes de transfert thermique : conduction, convection et rayonnement.</p> <p>Interpréter qualitativement le signe de la puissance thermique reçue par le système en fonction du signe de l'écart des températures du système étudié et du milieu extérieur au système.</p> <p>Effectuer un bilan d'énergie pour un système considéré comme peu compressible et peu dilatable en contact avec un thermostat : établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par la température du système.</p>
<p><b>Fonction d'état enthalpie</b></p> <p>Fonction d'état enthalpie; capacité thermique à pression constante d'un gaz parfait et d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable.</p>	<p>Exprimer le premier principe de la thermodynamique sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et dans l'état final.</p> <p>Exploiter les propriétés d'extensivité et de fonction d'état de l'enthalpie.</p> <p>Exprimer la variation d'enthalpie d'un gaz parfait ou d'une phase condensée peu dilatable et peu compressible en fonction de la variation de température, la capacité thermique à pression constante étant donnée.</p> <p>Citer la valeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.</p>

Enthalpie massique de fusion, de vaporisation et de sublimation. Variation d'enthalpie associée à un changement d'état.	Réaliser un bilan énergétique en prenant en compte des changements d'état. Citer les ordres de grandeur de l'enthalpie massique de fusion et de vaporisation de l'eau. <b>Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une grandeur thermodynamique énergétique (capacité thermique, enthalpie massique de changement d'état, etc.).</b>
---	---

## Thème M – mouvements et interactions

### M.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point

La partie « **M.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point** » vise notamment à mettre en place les principaux systèmes de coordonnées : cartésiennes, polaires, cylindriques et sphériques. Le but est de permettre aux étudiants de disposer d'outils efficaces pour décrire une grande variété de mouvements de points. Pour atteindre cet objectif, il convient de les familiariser progressivement avec les projections et dérivations de vecteurs ainsi qu'avec l'algébrisation des grandeurs dans un contexte relevant de la physique. Enfin, cette partie est l'occasion de procéder à des analyses qualitatives des comportements cinématiques de systèmes réels assimilés à un point, notamment sur les exemples simples des mouvements rectilignes et circulaires.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Repérage dans l'espace et dans le temps</b> Espace et temps classiques. Notion de référentiel. Caractère relatif du mouvement. Caractère absolu des distances et des intervalles de temps.	Citer une situation où la description classique de l'espace ou du temps est prise en défaut.
<b>Cinématique du point</b> Description du mouvement d'un point. Vecteurs position, vitesse et accélération. Systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.	Exprimer à partir d'un schéma le déplacement élémentaire dans les différents systèmes de coordonnées, construire le trièdre local associé et en déduire géométriquement les composantes du vecteur vitesse en coordonnées cartésiennes et cylindriques. Établir les expressions des composantes des vecteurs position, déplacement élémentaire, vitesse et accélération dans les seuls cas des coordonnées cartésiennes et cylindriques. Identifier les degrés de liberté du mouvement. Choisir un système de coordonnées adapté au problème.
Mouvement à vecteur accélération constant.	Exprimer le vecteur vitesse et le vecteur position en fonction du temps. Établir l'expression de la trajectoire en coordonnées cartésiennes.
Mouvement circulaire uniforme et non uniforme.	Exprimer les composantes du vecteur position, du vecteur vitesse et du vecteur accélération en coordonnées polaires planes.
Repérage d'un point dont la trajectoire est connue.	Situer qualitativement la direction du vecteur vitesse et du vecteur accélération pour une trajectoire plane. <b>Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.</b>

### M.2 Lois de Newton

Dans la partie « **M.2 Lois de Newton** », on cherche d'abord à renforcer les compétences des étudiants relatives à la mise en équations d'un problème, qu'il s'agisse des étapes de bilan des actions mécaniques, de représentation de la situation étudiée par un schéma adapté, de projection de la deuxième loi de Newton sur la base choisie, ou de résolution des équations

du mouvement. On cherche par ailleurs, sur l'exemple de quelques mouvements simples, à renforcer les compétences d'analyse qualitative d'une équation différentielle : stabilité des solutions, positions d'équilibre, type d'évolution, durée ou période typique d'évolution, etc. Cette pratique s'articule avec l'utilisation d'un langage de programmation pour résoudre des équations différentielles. Enfin, il s'agit aussi de confronter les étudiants aux limites de validité de certains modèles de forces, et ainsi de donner toute leur importance aux étapes de modélisation et de validation d'un modèle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Quantité de mouvement</b> Masse d'un système matériel. Conservation de la masse pour un système fermé.	Exploiter la conservation de la masse pour un système matériel fermé.
Quantité de mouvement d'un système matériel. Lien avec la vitesse du centre de masse d'un système fermé.	Réduire le mouvement d'un système matériel à celui d'un point. Écrire la quantité de mouvement d'un système matériel en fonction de la vitesse de son centre de masse : $\vec{p} = m \vec{v}(G)$
Première loi de Newton : principe d'inertie. Référentiels galiléens.	Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens.
Modélisation d'une action mécanique par une force. Troisième loi de Newton.	Établir un bilan des actions mécaniques sur un système ou sur plusieurs systèmes en interaction et en rendre compte en représentant les forces associées sur un schéma adapté.
Deuxième loi de Newton. Théorème de la quantité de mouvement.	Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel ou du centre de masse d'un système matériel fermé dans un référentiel galiléen. <b>Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force.</b>
Force de gravitation. Modèle du champ de pesanteur uniforme au voisinage de la surface d'une planète. Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme.	Étudier le mouvement d'un système modélisé par un point matériel dans un champ de pesanteur uniforme en l'absence de frottement.
Modèles d'une force de frottement fluide. Influence de la résistance de l'air sur un mouvement de chute.	Exploiter, sans la résoudre analytiquement, une équation différentielle : analyse en ordres de grandeur, détermination de la vitesse limite, utilisation des résultats obtenus par simulation numérique. <b>Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.</b>
Modèle linéaire de l'élasticité d'un matériau.	Modéliser un comportement élastique par une loi de force linéaire; extraire une constante de raideur et une longueur à vide à partir de données mesurées ou fournies. Analyser la limite d'une modélisation linéaire à partir de documents expérimentaux. <b>Mettre en œuvre un microcontrôleur lors d'un test de traction.</b>
Système masse-ressort en l'absence de frottement. Pulsation propre.	Établir l'équation différentielle qui caractérise un oscillateur harmonique; la résoudre compte tenu des conditions initiales. Identifier l'expression de la pulsation propre dans l'équation différentielle d'un oscillateur harmonique. Caractériser le mouvement en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence, de pulsation.
Tension d'un fil. Pendule simple.	Établir l'équation du mouvement du pendule simple. Justifier l'analogie avec l'oscillateur harmonique dans le cadre de l'approximation linéaire.
Modèle des lois de frottement de glissement : lois de Coulomb.	Exploiter les lois de Coulomb fournies dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage. Formuler une hypothèse (quant au glissement ou non) et la valider.

## M.3 Approche énergétique du mouvement d'un point matériel

La partie « **M.3 Approche énergétique du mouvement d'un point matériel** » vise à construire une démarche alternative et complémentaire pour l'étude d'une situation relevant de la mécanique – et plus généralement de la physique – fondée sur la conservation de certaines grandeurs – ici, l'énergie mécanique. Cette approche est l'occasion d'illustrer la capacité prédictive des analyses graphiques et numériques, par exemple pour pouvoir décrire un comportement à partir d'une représentation graphique de l'énergie potentielle dans le cas d'un mouvement conservatif.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Puissance, travail et énergie cinétique</b> Puissance et travail d'une force dans un référentiel. Théorèmes de l'énergie cinétique et de la puissance cinétique dans un référentiel galiléen, dans le cas d'un système modélisé par un point matériel.</p>	<p>Reconnaître le caractère moteur ou résistant d'une force. Utiliser le théorème approprié en fonction du contexte.</p>
<p><b>Champ de force conservative et énergie potentielle</b> Énergie potentielle. Lien entre un champ de force conservative et l'énergie potentielle.</p>	<p>Établir et citer les expressions de l'énergie potentielle de pesanteur (champ uniforme), de l'énergie potentielle gravitationnelle (champ créé par un astre ponctuel) et de l'énergie potentielle élastique. Déterminer l'expression d'une force à partir de l'énergie potentielle pour un système à un degré de liberté. Dédire qualitativement, en un point du graphe d'une fonction énergie potentielle, le sens et l'intensité de la force associée.</p>
<p><b>Énergie mécanique</b> Énergie mécanique. Théorème de l'énergie mécanique. Mouvement conservatif.</p>	<p>Distinguer force conservative et force non conservative. Justifier et exploiter la conservation de l'énergie mécanique. Utiliser les conditions initiales.</p>
<p>Mouvement conservatif à une dimension.</p>	<p>Identifier sur un graphe d'énergie potentielle une barrière et un puits de potentiel. Dédire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement qualitatif : trajectoire bornée ou non, mouvement périodique, positions de vitesse nulle.</p>
<p>Positions d'équilibre. Stabilité.</p>	<p>Dédire d'un graphe d'énergie potentielle l'existence de positions d'équilibre. Analyser qualitativement la nature, stable ou instable, de ces positions.</p>
<p>Petits mouvements au voisinage d'une position d'équilibre stable, approximation locale par un puits de potentiel harmonique.</p>	<p>Établir l'équation différentielle du mouvement au voisinage d'une position d'équilibre stable. <b>Capacité numérique</b> : 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.</p>

## Second semestre

### Thème M – mouvements et interactions

#### M.4 Mouvement de particules chargées dans des champs électriques et magnétiques, uniformes et stationnaires

Dans cette partie, l'accent est d'abord porté sur la production d'un champ électrique ou magnétique. L'examen de cartes de champs électrostatiques et magnétostatiques permet non seulement de localiser leurs sources dont la nature physique (charge ou courant électrique) est affirmée, mais aussi d'identifier les zones de l'espace où le champ, électrostatique ou magnétostatique, peut être modélisé par un champ uniforme. Cette approche prépare l'étude plus approfondie de l'électrostatique et de la magnétostatique menée en seconde année.

L'introduction de la force de Lorentz est ensuite le point de départ pour l'étude du mouvement d'une particule chargée

dans un champ électrique ou magnétique, uniforme et stationnaire, en évitant tout développement calculatoire excessif. Grâce à l'examen de situations concrètes et motivantes, les étudiants sont amenés à analyser des trajectoires, à conduire une réflexion sur les moyens qui peuvent être mis en œuvre pour accélérer une particule chargée. Cette étude peut être articulée avec celle menée en chimie au sujet de la spectrométrie de masse.

#### M.4.1 Champs électrique et magnétique

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Champ électrique</b> Sources de champ électrique ; cartes de champ électrique.	Tracer l'allure des cartes de champ électrique pour une charge ponctuelle et un condensateur plan. Identifier sur une carte de champ électrique les zones où le champ peut être modélisé par un champ uniforme. Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ électrique à partir d'expressions fournies. Citer l'ordre de grandeur de la rigidité diélectrique de l'air sec.
<b>Champ magnétique</b> Sources de champ magnétique ; cartes de champ magnétique.	Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue. Identifier sur une carte de champ magnétique les zones où le champ peut être modélisé par un champ uniforme. Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies. Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.

#### M.4.2 Mouvement de particules chargées

Notions et contenus	Capacités exigibles
Force de Lorentz exercée sur une particule chargée.	Évaluer les ordres de grandeur des forces électrique ou magnétique et les comparer à ceux des forces gravitationnelles.
Puissance de la force de Lorentz.	Justifier 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.
Énergie potentielle d'une charge soumise à un champ électrique.	Exprimer l'énergie potentielle d'une particule chargée en fonction de sa charge et du potentiel électrique.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme.	Mettre en équation le mouvement et le caractériser comme un mouvement à vecteur accélération constant. Effectuer un bilan énergétique pour déterminer la valeur de la vitesse d'une particule chargée accélérée par une différence de potentiel.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme dans le cas où le vecteur vitesse initial est perpendiculaire au champ magnétostatique.	Déterminer le rayon de la trajectoire et le sens de parcours.

## Thème S – ondes et signaux

### S.4 Oscillateurs électriques et mécaniques en régime libre

Dans le prolongement des parties M.2 et S.3, on aborde désormais l'étude temporelle de systèmes du deuxième ordre, en prenant en compte des effets dissipatifs. L'oscillateur  $LC$  est d'abord introduit de manière à mettre l'accent sur l'universalité du modèle de l'oscillateur harmonique. L'étude conjointe des oscillateurs amortis mécaniques et électriques s'ap-

puie sur leur analogie formelle et de comportement. L'approche énergétique peut aussi donner l'occasion de déterminer l'équation différentielle caractéristique de l'évolution temporelle d'un oscillateur harmonique à partir de la propriété de conservation de son énergie, qu'il soit de nature électrique ou mécanique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Oscillateurs harmoniques</b> Modèle du circuit $LC$ .	Établir l'équation différentielle qui caractérise un circuit $LC$ ; la résoudre compte tenu des conditions initiales. Identifier l'expression de la pulsation propre dans l'équation différentielle d'un circuit $LC$ .
<b>Oscillateurs amortis</b> Modèles du circuit $RLC$ série et de l'oscillateur mécanique amorti par frottement visqueux.	Analyser, sur des relevés expérimentaux, l'évolution de la forme des régimes transitoires en fonction des paramètres caractéristiques. Prévoir qualitativement l'évolution du système à partir de considérations énergétiques. Écrire sous forme canonique l'équation différentielle afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité. Décrire la nature de la réponse en fonction de la valeur du facteur de qualité. Déterminer la réponse détaillée dans le cas d'un régime libre ou indiciel en recherchant les racines du polynôme caractéristique et en tenant compte des conditions initiales. Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire selon la valeur du facteur de qualité. <b>Mettre en évidence la similitude des comportements des oscillateurs mécanique et électrique.</b> <b>Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire pour un système linéaire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques.</b>
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser un bilan énergétique.

## S.5 Régime sinusoïdal forcé

La partie « **S.5 Régime sinusoïdal forcé** » est l'occasion d'introduire les notions d'impédance et de résonance. En lien avec la partie **S.4**, le professeur est invité à signaler l'existence d'analogies comportementales avec des situations relevant du domaine de la mécanique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Régime sinusoïdal forcé. Description du comportement d'un dipôle en régime sinusoïdal forcé. Impédance complexe.	Identifier une situation de régime sinusoïdal forcé. Utiliser la représentation complexe des signaux pour étudier le régime forcé. Interpréter physiquement le module et l'argument de l'impédance complexe d'un dipôle. Établir l'expression de l'impédance d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine.
Association de deux impédances.	Remplacer une association série ou parallèle de deux impédances par une impédance équivalente.
Oscillateurs électriques soumis à une excitation sinusoïdale. Résonance.	Relier qualitativement l'acuité d'une résonance au facteur de qualité. Déterminer la pulsation propre et le facteur de qualité à partir de graphes expérimentaux d'amplitude et de phase. <b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental visant à caractériser un phénomène de résonance.</b>

## S.6 Propagation d'un signal

Dans la partie « **S.6 Propagation d'un signal** », il est recommandé de s'appuyer sur une approche expérimentale ou sur des logiciels de simulation pour permettre aux étudiants de faire le lien entre l'observation de signaux qui se propagent et la traduction mathématique de cette propagation, sans qu'aucune référence ne soit faite à une équation d'onde. L'étude de la somme de deux signaux sinusoïdaux de même fréquence et du phénomène d'interférences associé permet de mettre en évidence le rôle essentiel joué par la différence de phase entre les deux signaux dans le signal résultant. L'étude des interférences lumineuses est l'occasion d'introduire la notion de différence de chemin optique et de la relier à la différence de phase. Les ondes stationnaires permettent d'illustrer le rôle des conditions aux limites dans l'apparition de modes propres.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Exemples de signaux.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, mécaniques, électromagnétiques.
<p><b>Propagation d'un signal dans un milieu illimité, non dispersif et transparent</b></p> <p>Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle non dispersive. Célérité, retard temporel.</p>	<p>Écrire les signaux sous la forme <math>f(x - ct)</math> ou <math>g(x + ct)</math>. Écrire les signaux sous la forme <math>f(t - x/c)</math> ou <math>g(t + x/c)</math>. Prévoir, dans le cas d'une onde progressive, l'évolution temporelle à position fixée et l'évolution spatiale à différents instants.</p>
<p>Modèle de l'onde progressive sinusoïdale unidimensionnelle. Phase, phase à l'origine, vitesse de phase, double périodicité spatiale et temporelle.</p>	<p>Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustique, mécanique et électromagnétique. Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de phase. Relier la différence de phase entre les signaux perçus en deux points distincts au retard dû à la propagation. <b>Mesurer la vitesse de phase, la longueur d'onde et la différence de phase dues à la propagation d'un phénomène ondulatoire.</b></p>
<p><b>Phénomène d'interférences</b></p> <p>Interférences de deux ondes de même fréquence. Interférences constructives, interférences destructives.</p>	<p>Caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes et en citer des conséquences concrètes. Établir les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène. Déterminer l'amplitude de l'onde résultante en un point en fonction de la différence de phase. <b>Capacité numérique :</b> représenter, à l'aide d'un langage de programmation, la somme de deux signaux sinusoïdaux périodiques synchrones en faisant varier la phase à l'origine de l'un des deux.</p>
<p>Interférences de deux ondes lumineuses de même fréquence, différence de chemin optique. Exemple du dispositif des trous de Young éclairé par une source monochromatique.</p>	<p>Déterminer les lieux d'interférences constructives et les lieux d'interférences destructives dans le cas des trous de Young. Relier la différence de phase entre les deux ondes à la différence de chemin optique. Établir l'expression littérale de la différence de chemin optique linéarisée entre les deux ondes. Établir l'expression de l'interfrange. <b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes.</b></p>
<b>Ondes stationnaires mécaniques</b>	

Modes propres.	<p>Caractériser une onde stationnaire par l'existence de nœuds et de ventres.</p> <p>Exprimer les fréquences des modes propres connaissant la célérité et la longueur de la corde.</p> <p>Utiliser la propriété énonçant qu'une vibration quelconque d'une corde accrochée entre deux extrémités fixes se décompose en modes propres.</p> <p>Relier les notions sur les ondes stationnaires avec celles utilisées en musique.</p> <p><b>Décrire une onde stationnaire observée par stroboscopie sur la corde de Melde.</b></p> <p><b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'analyser le spectre du signal acoustique produit par une corde vibrante.</b></p> <p><b>Capacité numérique :</b> représenter, à l'aide d'un langage de programmation, une somme de signaux sinusoïdaux de fréquences multiples de celle du fondamental.</p>
----------------	---

## S.7 Induction électromagnétique

### S.7.1 Lois de l'induction

Cette partie repose intégralement sur la loi de Faraday, qui se prête parfaitement à une introduction expérimentale et qui constitue un bel exemple d'illustration de l'histoire des sciences. On évoque, à ce sujet, les différentes descriptions possibles d'un même phénomène selon le référentiel dans lequel on se place pour le modéliser.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Flux d'un champ magnétique</b></p> <p>Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.</p>	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
<p><b>Loi de Faraday</b></p> <p>Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit.</p> <p>Loi de modération de Lenz.</p>	<p><b>Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.</b></p> <p>Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.</p>
Force électromotrice induite, loi de Faraday.	Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algèbre.

### S.7.2 Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps

Dans la continuité de l'introduction de la loi de Faraday, on aborde le phénomène d'auto-induction, puis le couplage par mutuelle inductance entre deux circuits fixes. Le transformateur de tension est présenté comme un exemple concret de système exploitant ce couplage.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Auto-induction</b></p> <p>Flux propre et inductance propre.</p>	<p>Différencier le flux propre des flux extérieurs.</p> <p>Utiliser la loi de modération de Lenz.</p> <p>Évaluer et citer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur.</p> <p><b>Mesurer la valeur de l'inductance propre d'une bobine.</b></p>
Étude énergétique.	Réaliser un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent.

<b>Cas de deux bobines en interaction</b> Inductance mutuelle entre deux bobines.	Déterminer l'inductance mutuelle entre deux bobines de même axe de grande longueur en « influence totale ». <b>Mesurer la valeur de l'inductance mutuelle entre deux bobines et étudier l'influence de la géométrie.</b>
Circuits électriques à une maille couplés par le phénomène de mutuelle induction en régime sinusoïdal forcé.	Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Établir le système d'équations en régime sinusoïdal forcé en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents.
Transformateur de tension.	Établir la loi des tensions.
Étude énergétique.	Réaliser un bilan de puissance et d'énergie.

### S.7.3 Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire

La conversion de puissance électromécanique constitue le cœur de cette partie, dans laquelle le professeur est libre d'introduire la force de Laplace avec ou sans référence à la force de Lorentz. L'objectif est de se doter d'expressions opérationnelles pour pouvoir étudier le mouvement d'une barre en translation dans un champ magnétique uniforme et stationnaire. Cette situation, simple sur plan géométrique, permet de dégager les concepts et les paramètres physiques pertinents pour la modélisation des convertisseurs électromécaniques, dont le haut-parleur électrodynamique fait figure d'exemple de référence.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Force de Laplace</b> Densité linéique de la force de Laplace dans le cas d'un élément de courant filiforme. Résultante et puissance de la force de Laplace.	Distinguer le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme. Établir et exploiter l'expression de la résultante de la force de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire. Exprimer la puissance de la force de Laplace.
<b>Conversion de puissance mécanique en puissance électrique</b> Rail de Laplace.  Freinage par induction.	Interpréter qualitativement les phénomènes observés. Écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. Effectuer un bilan énergétique. Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Expliquer l'origine des courants de Foucault et en citer des exemples d'utilisation.
<b>Conversion de puissance électrique en puissance mécanique</b> Haut-parleur électrodynamique.	Analyser le fonctionnement du haut-parleur électrodynamique en s'appuyant sur la configuration des rails de Laplace. Réaliser un bilan énergétique. <b>Mettre en œuvre une étude expérimentale d'un haut-parleur électrodynamique visant à illustrer son principe de fonctionnement ou à déterminer quelques-unes de ses caractéristiques.</b>

## Thème E – énergie : conversions et transferts

### E.3 Statique des fluides

La partie « E.3 Statique des fluides » s'organise en deux sous-parties. L'établissement de la relation fondamentale de la statique des fluides donne l'occasion de mettre en œuvre un raisonnement à l'échelle locale de la particule de fluide. Il

convient d'insister sur 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. La notion de gradient d'un champ scalaire est hors programme. L'étude d'un fluide à l'équilibre hydrostatique dans le champ de pesanteur est ensuite conduite à l'aide de deux exemples : le modèle de l'atmosphère isotherme et la modélisation du champ de pression dans un fluide considéré comme incompressible. L'utilisation de l'outil numérique permet d'aller au-delà de ces modèles introductifs pour s'approcher d'une description plus réaliste.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Pression dans un fluide au repos</b> Forces volumiques, forces surfaciques. Résultante de forces de pression sur une surface.</p>	<p>Citer des exemples de forces surfaciques ou volumiques. Utiliser les symétries pour déterminer la direction d'une résultante de forces de pression. Déterminer l'expression ou la valeur de la résultante des forces de pression sur une surface plane.</p>
<p>Statique des fluides dans le champ de pesanteur uniforme.</p>	<p>Établir la relation <math>\frac{dP}{dz} = \pm \rho g</math>.</p>
<p><b>Équilibre hydrostatique dans le champ de pesanteur terrestre</b> Modèle de l'atmosphère isotherme. Échelle de hauteur caractéristique de variation de la pression.</p>	<p>Établir l'expression de la pression en fonction de l'altitude dans le cas de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait. Citer la valeur de la pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer. <b>Capacité numérique :</b> à l'aide d'un langage de programmation, étudier les variations de température et de pression dans l'atmosphère.</p>
<p>Distribution de pression dans un fluide homogène incompressible.</p>	<p>Établir l'expression de la pression en fonction de la profondeur dans le cas d'un fluide incompressible.</p>
<p>Poussée d'Archimède.</p>	<p>Expliquer l'origine de la poussée d'Archimède.</p>

#### E.4 Bilan énergétique pour un fluide en écoulement stationnaire

La partie « E.4 Bilan énergétique pour un fluide en écoulement stationnaire » s'appuie sur les compétences développées par les étudiants dans la voie technologique du lycée. Il s'agit ici d'introduire les outils théoriques nécessaires à la description de systèmes hydrauliques sur le plan énergétique. Le premier principe de la thermodynamique est appliqué à l'étude de l'écoulement stationnaire d'un fluide dans un système hydraulique. Sa démonstration permet non seulement de comprendre pourquoi la fonction d'état enthalpie intervient mais aussi d'insister sur le fait que les différentes variations sont calculées entre l'entrée et la sortie du système. Pour autant, cette démonstration n'est pas exigible des étudiants. La relation de Bernoulli est admise dans le cas particulier de l'écoulement adiabatique et stationnaire d'un fluide considéré comme incompressible, la parenté de sa formulation avec le premier principe appliqué à l'étude de l'écoulement stationnaire d'un fluide étant soulignée.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Bilans de masse. Débit de masse. Conservation du débit de masse pour un écoulement stationnaire.</p>	<p>Établir et exploiter un bilan de masse en raisonnant sur un système ouvert ou fermé adapté.</p>
<p><b>Bilan énergétique pour un fluide en écoulement stationnaire</b> Premier principe de la thermodynamique pour l'écoulement d'un fluide en régime stationnaire dans un système muni d'une seule entrée et d'une seule sortie. Travail utile et transfert thermique massiques.</p>	<p>Exploiter le premier principe de la thermodynamique pour l'écoulement d'un fluide en régime stationnaire, en termes de grandeurs massiques, notamment pour l'étude d'un détenteur, d'un compresseur, d'une turbine, d'un échangeur thermique.</p>
<p>Diagramme <math>(P, h)</math> d'un fluide réel.</p>	<p>Repérer l'état thermodynamique d'un fluide par un point sur le diagramme. Décrire qualitativement ou quantitativement l'état thermodynamique d'un fluide repéré par un point du diagramme.</p>

**Cas particulier de l'écoulement adiabatique et stationnaire d'un fluide considéré comme incompressible.**

Relation de Bernoulli pour l'écoulement adiabatique et stationnaire d'un fluide considéré comme incompressible dans un système muni d'une seule entrée et d'une seule sortie.

Exploiter la relation de Bernoulli, fournie sous la forme  $\frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2) \pm g(z_2 - z_1) = w_u$ , en procédant, le cas échéant, à la simplification de termes négligeables.

**E.5 Machines thermiques**

La partie « **E.5 Machines thermiques** » se limite à la modélisation du fonctionnement d'une machine thermique par une évolution cyclique ditherme. Elle s'inscrit dans le prolongement de la section **E.4** où sont étudiés, sur le plan énergétique, différents éléments hydrauliques constitutifs de machines thermiques réelles. La limitation de la performance d'une machine thermique imposée par le second principe de la thermodynamique, vu en deuxième année, est abordée grâce à l'inégalité de Clausius, admise à ce stade de la formation des étudiants. Le recours au diagramme  $(P, h)$  d'un fluide réel permet d'étudier des situations concrètes, de se libérer de calculs excessifs et de s'interroger sur les limites des modèles de fluides idéalisés. Les diagrammes  $(T, s)$  sont hors-programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Application du premier principe de la thermodynamique aux machines thermiques cycliques dithermes. Rendement, efficacité.	Décrire le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme. Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme. Étudier des propriétés des machines thermiques réelles à l'aide de diagrammes $(P, h)$ . Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Citer quelques ordres de grandeur des rendements ou efficacités des machines thermiques réelles actuelles. Expliquer le principe de la cogénération.
Inégalité de Clausius. Limitation du rendement ou de l'efficacité d'une machine thermique cyclique ditherme.	Exploiter l'inégalité de Clausius fournie. Identifier quelques phénomènes physiques responsables de la limitation du rendement ou de l'efficacité d'une machine thermique.

## Annexe 1 : matériel

La liste ci-dessous regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

### 1. Domaine optique

- Goniomètre
- Viseur à frontale fixe
- Lunette auto-collimatrice
- Laser à gaz
- Lampes spectrales
- Source de lumière blanche à condenseur

### 2. Domaine électrique

- Oscilloscope numérique
- Carte d'acquisition et logiciel dédié
- Générateur de signaux basse fréquence
- Multimètre numérique
- Multiplieur analogique
- Émetteur et récepteur acoustique (domaine audible et domaine ultrasonore)
- Microcontrôleur

### 3. Domaines mécanique et thermodynamique

- Dynamomètre
- Capteur de pression
- Accéléromètre
- Stroboscope
- Webcam avec logiciel dédié
- Appareil photo numérique ou caméra numérique
- Thermomètre ou thermocouple
- Calorimètre
- Machines thermiques dithermes

## Annexe 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique. 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).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
<b>1. Équations algébriques</b>	
Systèmes linéaires de $n$ équations à $p$ inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$ .
Équations non linéaires.	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$ . Interpréter graphiquement la ou les solutions.
<b>2. Équations différentielles</b>	
Équations différentielles linéaires à coefficients constants.	Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique.

Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$ .	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).
Équations différentielles linéaires du deuxième ordre à coefficients constants : $y'' + ay' + by = f(x)$ .	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 $\lambda$ complexe. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution.
Autres équations différentielles d'ordre 1 ou 2.	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.
<b>3. Fonctions</b>	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ( $x \rightarrow x^a$ ).
Dérivée. Notation $\frac{dx}{dt}$ .	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux; interpréter graphiquement.
Développements limités.	Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1+x)^a$ , $e^x$ et $\ln(1+x)$ , et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$ .
Primitive et intégrale.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques.
Valeur moyenne.	Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions $\cos$ , $\sin$ , $\cos^2$ et $\sin^2$ .
Représentation graphique d'une fonction.	Déterminer un comportement asymptotique; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni par un formulaire.
<b>4. Géométrie</b>	
Vecteurs et système de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	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.
Produit vectoriel.	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.
Transformations géométriques.	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.

Courbes planes.	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.
Longueurs, aires et volumes classiques.	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.
<b>5. Trigonométrie</b>	
Angle orienté.	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.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation 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 $\cos(\pi/2 \pm x)$ , 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.
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.

## Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python dans la formation des étudiants inclut l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques. Elle vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est par ailleurs toujours recommandée. Elle a aussi pour objectif de mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités 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 ces outils ainsi que les capacités exigibles en fin de première année.

Domaines numériques	Capacités exigibles
<b>1. Outils graphiques</b>	
Représentation graphique d'un nuage de points.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour représenter un nuage de points.
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour tracer la courbe représentative d'une fonction.
Courbes planes paramétrées.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour tracer une courbe plane paramétrée.
<b>2. Équations algébriques</b>	
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 <code>bisect</code> de la bibliothèque <code>scipy.optimize</code> (sa spécification étant fournie).
Systèmes linéaires de $n$ équations indépendantes à $n$ inconnues.	Définir les matrices $A$ et $B$ à la représentation matricielle $AX = B$ du système à résoudre. Utiliser la fonction <code>solve</code> de la bibliothèque <code>numpy.linalg</code> (sa spécification étant fournie).
<b>3. Intégration – Dérivation</b>	

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.
<b>4. Équations différentielles</b>	
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 <code>odeint</code> de la bibliothèque <code>scipy.integrate</code> (sa spécification étant fournie).
<b>5. Probabilité - statistiques</b>	
Variable aléatoire.	Utiliser les fonctions de base des bibliothèques <code>random</code> et/ou <code>numpy</code> (leurs spécifications étant fournies) pour réaliser des tirages d'une variable aléatoire. Utiliser la fonction <code>hist</code> de la bibliothèque <code>matplotlib.pyplot</code> (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.
<b>6. Traitement de données numériques</b>	
Régression linéaire.	Utiliser la fonction <code>polyfit</code> de la bibliothèque <code>numpy</code> (sa spécification étant fournie) pour exploiter des données. Utiliser la fonction <code>random.normal</code> de la bibliothèque <code>numpy</code> (sa spécification étant fournie) pour simuler un processus aléatoire.