



# Classes préparatoires aux grandes écoles

## Programme de physique-chimie de la classe TSI 1<sup>ère</sup> année

# Programme de physique-chimie de la voie TSI

## Classe de première année

### Préambule

#### Objectifs de formation

Le programme de physique-chimie de la classe de TSI première année est conçu comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques préparant 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 renforcer chez l'étudiant les compétences déjà travaillées au 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 par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour l'enseignant. Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales qui développent la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est 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.

De même, l'introduction de capacités 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. Elles offrent aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation avancée du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires.

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 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, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde.

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 de façon complémentaire connaissances et 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 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 l'année scolaire. Leur mise en œuvre doit notamment s'appuyer sur des problématiques concrètes identifiées en gras dans la seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». Elles doivent être programmées par l'enseignant de façon à assurer un apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.

La seconde partie, intitulée « **Contenus thématiques** » est structurée autour de quatre thèmes : « ondes et signaux », « mouvements et interactions », « l'énergie : conversions et transferts » et

« constitution et transformations de la matière ». La présentation en deux colonnes (« Notions et contenus » et « 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. Pour faciliter la progressivité des acquisitions, au premier semestre les grandeurs physiques introduites sont le plus souvent des grandeurs scalaires dépendant du temps et éventuellement d'une variable d'espace.

Certains items de cette seconde partie, **identifiés en caractères gras**, 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.

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-chimie à la fin de l'année de la classe de TSI première année.

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 relève de la liberté pédagogique de l'enseignant.

### 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. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la 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.

Compétence	Exemples de capacités associées
<b>S'approprier</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la situation étudiée.</li> <li>- Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau, etc.).</li> <li>- Énoncer ou dégager une problématique scientifique.</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 ou des lois physiques.</li> <li>- Évaluer des ordres de grandeur.</li> <li>- Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de documents.</li> </ul>
<b>Réaliser</b>	<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 photo.</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>- Effectuer 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>
<b>Valider</b>	<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, à ses connaissances.</li> <li>- Confirmer ou infirmer une hypothèse, une information.</li> <li>- Analyser les résultats de manière critique.</li> <li>- Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude, etc.).</li> <li>- Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.</li> </ul>
<b>Communiquer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> <li>o présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente.</li> <li>o rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation.</li> <li>o utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, graphes, cartes mentales, etc.).</li> </ul> </li> <li>- Écouter, confronter son point de vue.</li> </ul>

Le niveau de maîtrise de ces compétences dépend de **l'autonomie et de l'initiative** requises dans les activités proposées aux étudiants sur les notions et capacités exigibles du programme.

La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à l'histoire de l'évolution des idées, des modèles et des théories en physique-chimie, à des questions liées à la recherche scientifique actuelle et à des enjeux citoyens comme la responsabilité individuelle et collective, la **sécurité** pour soi et pour autrui, **l'environnement** et le **développement durable** ou encore le **réchauffement climatique**.

### Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, l'enseignant 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 est d'autant plus efficace que les étudiants sont 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 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 et à apprendre par lui-même. 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 enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines scientifiques : mathématiques, informatique, sciences industrielles de l'ingénieur.

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, l'enseignant veille soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Enfin, le professeur veille aussi à développer chez les étudiants des compétences transversales et préprofessionnelles relatives aux capacités suivantes :

- identifier les différents champs professionnels et les parcours pour y accéder ;
- valoriser ses compétences scientifiques et techniques en lien avec son projet de poursuite d'études ou professionnel.

## Formation expérimentale

Cette partie est spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiants lors des séances de travaux pratiques.

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 en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE. Enfin, elle aborde la question de la prévention du risque au laboratoire de physique-chimie.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans l'annexe 1 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 un objectif de fin de seconde année. 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 mesurées 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 le cas des incertitudes-types composées.

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 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.  <u>Capacité numérique</u> : 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.
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.  <u>Capacité numérique</u> : 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.

## 2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les étudiants doivent acquérir au cours de l'année durant les séances de travaux pratiques. Une séance de travaux pratiques s'articule autour d'une problématique, que les thèmes – repérés en gras dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » du programme – peuvent servir à définir. Le travail de ces capacités et leur consolidation se poursuit en seconde année.

Dans le tableau ci-dessous, les différentes capacités à acquérir sont groupées par domaines thématiques ou transversaux. Cela ne signifie pas qu'une activité expérimentale se limite à un seul domaine. La capacité à former une image de bonne qualité, par exemple, peut être mobilisée au cours d'une expérience de mécanique ou de thermodynamique, cette transversalité de la formation devant être un moyen, entre d'autres, de favoriser l'autonomie et la prise d'initiative.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<b>1. Mesures de longueurs et d'angles</b> Longueurs : sur un banc d'optique.	Mettre en œuvre une mesure de longueur par déplacement d'un viseur entre deux positions.
Longueurs : 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.
Angles : avec un goniomètre.	Utiliser un viseur à frontale fixe, une lunette autocollimatrice. Utiliser des vis micrométriques et un réticule. Mesurer l'indice de réfraction d'un prisme.
Longueurs d'onde.	Relever des longueurs d'onde sur un spectre à l'aide d'un spectromètre à fibre optique. Mesurer une longueur d'onde acoustique à l'aide d'un support gradué et d'un oscilloscope bicourbe.
<b>2. Mesures de temps et de fréquences</b> Fréquence ou période : mesure au fréquencemètre numérique, à l'oscilloscope ou <i>via</i> une carte d'acquisition.	Mettre en œuvre une méthode de mesure de fréquence ou de période.
Analyse spectrale.	Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage et la durée totale d'acquisition. Effectuer l'analyse spectrale d'un signal périodique à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.
Décalage temporel, déphasage à l'aide d'un oscilloscope numérique.	Reconnaître une avance ou un retard de phase. Passer d'un décalage temporel à un déphasage et inversement. Repérer précisément le passage par un déphasage de 0 ou $\pi$ en mode XY.

<p><b>3. Électricité</b>  Mesurer une tension :  - mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique.</p> <p>Mesurer l'intensité d'un courant :  - mesure directe à l'ampèremètre numérique ;  - mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée.</p> <p>Mesurer une résistance ou une impédance :  - mesure directe à l'ohmmètre/capacimètre ;  - mesure indirecte à l'oscilloscope ou au voltmètre sur un diviseur de tension.</p>	<p>Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques :  - choisir les calibres adaptés à la mesure faite ;  - préciser la perturbation induite par l'appareil de mesure sur le 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.).</p>
<p>Produire un signal électrique analogique périodique simple à l'aide d'un GBF.</p>	<p>Obtenir un signal de valeur moyenne, de forme, d'amplitude et de fréquence données.</p>
<p>Agir sur un signal électrique à l'aide des fonctions simples suivantes :  - filtrage ;  - intégration.</p>	<p>Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses. 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.  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>4. Optique</b>  Former une image.</p>	<p>Éclairer un objet de manière adaptée. Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, choisir leur focale de façon raisonnée et aligner l'ensemble du système optique.  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 (avec une webcam, un appareil photo numérique, etc.) l'image, et l'exploiter à l'aide d'un logiciel pour conduire l'étude d'un phénomène.</p>
<p><b>5. Mécanique</b>  Mesurer une masse, un moment d'inertie.</p>	<p>Utiliser une balance de précision. Mesurer un moment d'inertie à partir d'une période.</p>
<p>Visualiser et décomposer 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</p>



	l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.
Mesurer une vitesse, une accélération.	Mettre en œuvre un capteur de vitesse, un accéléromètre, par exemple à l'aide d'un microcontrôleur.
Quantifier une action.	Utiliser un dynamomètre, un capteur de force.
<b>6. Thermodynamique</b> Mesurer une pression.	Mettre en œuvre un capteur, en distinguant son caractère différentiel ou absolu.
Mesurer une température.	Mettre en œuvre un capteur de température, par exemple à l'aide d'un microcontrôleur.
Effectuer des bilans d'énergie.	Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.
<b>7. Mesures de grandeurs en chimie</b> Mesurer un volume, une masse, un pH, une conductance et une conductivité, une absorbance.	Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise. Préparer une solution de concentration en masse ou en quantité de matière donnée à partir d'un solide, d'un liquide, d'une solution de composition connue avec le matériel approprié. Utiliser les méthodes et le matériel adéquats pour transférer l'intégralité du solide ou du liquide pesé. Utiliser les appareils de mesure (masse, pH, conductance) en s'aidant d'une notice. Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.
<b>8. Analyses qualitatives et quantitatives</b> Effectuer des tests qualitatifs.	Proposer ou mettre en œuvre, à partir d'informations fournies, des tests qualitatifs préalables à l'élaboration d'un protocole.
Réaliser des dosages par étalonnage.	Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage. Déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-Visible.
Réaliser des dosages par titrage direct. Équivalence. Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, conductimétrie, indicateurs colorés de fin de titrage.	Exploiter la réaction support d'un titrage unique (recenser les espèces présentes dans le milieu au cours du titrage, repérer l'équivalence, justifier qualitativement l'allure de la courbe ou le changement de couleur observé). Justifier le protocole d'un titrage à l'aide de données fournies ou à rechercher. Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage direct. Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage.

Exploiter des courbes expérimentales de titrage.	Exploiter une courbe de titrage pour déterminer la concentration en espèce titrée. Utiliser un logiciel de simulation pour confronter la courbe de titrage simulée à la courbe expérimentale. Distinguer l'équivalence et le repérage du virage d'un indicateur coloré de fin de titrage.
Mettre en œuvre des suivis cinétiques de transformations chimiques. Suivi en continu de l'évolution temporelle d'une grandeur physique.	Exploiter les résultats d'un suivi temporel de concentration pour déterminer les caractéristiques cinétiques d'une réaction. Mettre en œuvre des conditions expérimentales permettant la simplification de la loi de vitesse. Déterminer la valeur d'une énergie d'activation.

### 3. Prévention du risque au laboratoire de physique-chimie

Les étudiants doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique, optique et celles liées à la pression et à la température leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. 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
<b>1. Prévention des risques au laboratoire</b>	Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
- <b>Risque chimique</b> 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.
- <b>Risque électrique</b>	Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
- <b>Risque optique</b>	Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.
- <b>Risques liés à la pression et à la température</b>	Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.
<b>4. Prévention de l'impact environnemental</b> 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.

# Contenus thématiques

L'organisation des semestres est la suivante.

## Premier semestre

### Thème 1 : ondes et signaux (1)

- 1.1. Propagation d'un signal
- 1.2. Formation des images
- 1.3. Signaux électriques dans l'ARQS
- 1.4. Circuit linéaire du premier ordre et oscillateurs libres

### Thème 4 : constitution et transformations de la matière (1)

- 4.1. Molécules, ions et cristaux
- 4.2. Relations structure des entités - propriétés physiques macroscopiques
- 4.3. Transformations de la matière
- 4.4. Évolution temporelle d'un système chimique

### Thème 2 : mouvements et interactions

- 2.1. Description et paramétrage du mouvement d'un point
- 2.2. Lois de Newton
- 2.3. Approche énergétique du mouvement d'un point matériel
- 2.4. Mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe fixe

## Deuxième semestre

### Thème 1 : ondes et signaux (2)

- 1.5. Oscillateurs forcés
- 1.6. Filtrage linéaire
- 1.7. Champ magnétique
- 1.8. Actions d'un champ magnétique
- 1.9. Lois de l'induction
- 1.10. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps
- 1.11. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire
- 1.12. Convertisseurs électromécaniques

### Thème 3 : l'énergie : conversions et transferts

- 3.1. Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre
- 3.2. Énergie échangée par un système au cours d'une transformation
- 3.3. Premier principe. Bilans d'énergie
- 3.4. Deuxième principe. Bilans d'entropie
- 3.5. Machines thermiques

### Thème 4 : constitution et transformations de la matière (2)

- 4.5. Réactions acide-base et de précipitation
- 4.6. Réactions d'oxydo-réduction

## A. Premier semestre

### Thème 1 : ondes et signaux (1)

Dans la partie 1.1. « **Propagation d'un signal** », il est recommandé de s'appuyer sur l'approche expérimentale et sur des logiciels de simulation pour permettre aux étudiants de faire le lien entre l'observation physique des signaux qui se propagent et leurs représentations spatiales et temporelles. L'introduction de la somme de deux sinusoides à travers le phénomène d'interférences permet de faire ressortir le rôle essentiel que joue le déphasage entre deux signaux dans le signal résultant obtenu. L'approche de la diffraction est purement descriptive et expérimentale, et envisagée comme une propriété universelle des ondes ; l'objectif est notamment d'introduire l'approximation de l'optique géométrique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.1. Propagation d'un signal</b>	
Signaux.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.
Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle linéaire non dispersive. Célérité, retard temporel.	Écrire les signaux sous la forme $f(x-ct)$ ou $g(x+ct)$ . Écrire les signaux sous la forme $f(t-x/c)$ ou $g(t+x/c)$ . Prévoir, dans le cas d'une onde progressive, l'évolution temporelle à position fixée, et l'évolution spatiale à un instant donné.
Onde progressive sinusoïdale : phase, double périodicité spatiale et temporelle.	Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustiques et électromagnétiques. Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.  <b>Mesurer la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive sinusoïdale.</b>
Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence. Déphasage.	Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives.  <b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes.</b>
Diffraction à l'infini.	Utiliser la relation $\theta \approx \lambda/d$ entre l'échelle angulaire du phénomène de diffraction et la taille caractéristique de l'ouverture.  <b>Choisir les conditions expérimentales permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction en optique ou en mécanique.</b>

La partie 1.2. « **Formation des images** » portant sur l'optique géométrique ne doit pas être enseignée ou évaluée pour elle-même mais avec comme objectifs principaux de servir de point d'appui pour des approches expérimentales en première année et pour l'étude de l'optique physique en deuxième année.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.2. Formation des images</b>	

Lumière : aspects particulaire et ondulatoire. Énergie d'un photon.	Utiliser l'expression reliant l'énergie d'un photon à la fréquence.
<b>Sources lumineuses</b> Modèle de la source ponctuelle monochromatique.	Caractériser une source lumineuse par son spectre. Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.
Indice d'un milieu transparent.	Établir la relation entre la longueur d'onde dans le vide et la longueur d'onde dans un milieu.
<b>Modèle de l'optique géométrique</b> Approximation de l'optique géométrique et modèle du rayon lumineux.	Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites.
Réflexion - Réfraction. Lois de Snell-Descartes.	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, identifier sa nature réelle ou virtuelle.
Conditions de l'approximation de Gauss.	Énoncer les conditions permettant un stigmatisme approché et les relier aux caractéristiques d'un détecteur.
Lentilles minces. Formules de conjugaison et de grandissement transversal.	Utiliser les définitions et les propriétés du centre optique, des foyers, de la distance focale, de la vergence. Construire l'image d'un objet réel ou virtuel situé à distance finie ou infinie à l'aide des rayons lumineux, identifier sa nature réelle ou virtuelle. Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal (de Descartes uniquement).  <b>Mettre en œuvre un dispositif optique d'utilisation courante modélisable à l'aide de deux lentilles.</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 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 mince 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>
La fibre optique à saut d'indice.	Établir les expressions du cône d'acceptance et de la dispersion intermodale d'une fibre à saut d'indice.

La partie 1.3. « **Signaux 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, diodes, photorésistances, etc.) dès lors qu'aucune connaissance préalable n'est nécessaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.3. Signaux électriques dans l'ARQS</b>	
Charge électrique, intensité du courant électrique. Potentiel, référence de potentiel, tension. Puissance.	Utiliser les ordres de grandeur des charges des électrons et des ions en vue de légitimer l'utilisation de grandeurs électriques continues. Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charge. Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence. Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge. Utiliser la loi des nœuds et celle des mailles. Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur. Citer des ordres de grandeur des intensités, des tensions et des puissances dans différents domaines d'application.
Dipôles : résistances, condensateurs, bobines, sources décrites par un modèle linéaire.	Utiliser les relations entre l'intensité et la tension. Citer des ordres de grandeurs de valeurs de résistances, de capacités et d'inductances. Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance. Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur ou dans une bobine. Modéliser une source en utilisant la représentation de Thévenin.
Association de deux résistances.	Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente. Établir et exploiter les relations de diviseurs de tension ou de courant.
Résistance de sortie, résistance d'entrée.	Extraire des grandeurs électriques de la notice d'un appareil afin d'appréhender les conséquences de son utilisation sur le fonctionnement d'un circuit.  <b>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.</b>

La partie 1.4. « **Circuit linéaire du premier ordre et oscillateurs libres** » 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. Le choix est fait de présenter simultanément les oscillateurs électriques et mécaniques de manière à mettre l'accent sur les analogies formelles et comportementales.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.4. Circuit linéaire du premier ordre et oscillateurs libres</b>	
Régime libre, réponse à un échelon de tension.	<p>Distinguer sur un relevé expérimental, le régime transitoire et le régime permanent d'un signal à la sortie d'un système du premier ordre soumis à un échelon de tension.</p> <p>Utiliser un modèle équivalent aux dipôles pour déterminer les grandeurs électriques en régime permanent.</p> <p>Interpréter et utiliser les continuités de la tension aux bornes d'un condensateur ou de l'intensité du courant traversant une bobine.</p> <p>Établir l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par une grandeur électrique dans un circuit comportant une ou deux mailles.</p> <p>Déterminer la réponse temporelle dans le cas d'un régime libre ou d'un échelon de tension.</p> <p>Déterminer un ordre de grandeur de la durée d'un régime transitoire.</p> <p><b>Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire pour un circuit linéaire du premier ordre et analyser ses caractéristiques. Confronter les résultats expérimentaux aux résultats d'un modèle.</b></p> <p><u>Capacité numérique</u> : 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.</p>
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser un bilan énergétique.
Oscillateur harmonique. Exemples du mouvement sans frottement d'une masse accrochée à un ressort linéaire sans masse, et du circuit LC.	<p>Établir et reconnaître l'équation différentielle qui caractérise un oscillateur harmonique ; la résoudre compte tenu des conditions initiales.</p> <p>Caractériser l'évolution en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence, de pulsation.</p> <p>Déterminer, en s'appuyant sur des arguments physiques et une analyse dimensionnelle, la position d'équilibre et le mouvement d'une masse fixée à un ressort vertical.</p> <p>Réaliser le bilan énergétique du circuit LC.</p>
Oscillateur amorti. Exemples du mouvement amorti par frottement visqueux d'une masse accrochée à un ressort linéaire sans masse, et du circuit RLC.	<p>Analyser, sur des relevés expérimentaux, l'évolution de la forme des régimes transitoires en fonction des paramètres caractéristiques.</p> <p>Prévoir l'évolution du système à partir de considérations énergétiques.</p> <p>Écrire sous forme canonique l'équation différentielle afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité.</p>

	<p>Décrire la nature de la réponse en fonction du facteur de qualité. Établir l'expression de la réponse dans le cas d'un régime libre ou d'un système soumis à un échelon. Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire, selon la valeur du facteur de qualité.</p> <p><b>Mettre en évidence la similitude des comportements des oscillateurs mécanique et électronique.</b></p> <p><b>Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire pour un système linéaire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques.</b></p>
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser le bilan énergétique du circuit RLC série.

### Thème 4 : Constitution et transformations de la matière (1)

Un des objectifs de la partie 4.1. « **Molécules, ions et cristaux** » est de proposer une représentation simple d'entités chimiques moléculaires à l'aide du modèle de Lewis. On peut montrer, sur quelques exemples, les limites du modèle de Lewis. Un deuxième objectif est de prévoir les éventuelles polarisations des liaisons dans une entité chimique et d'en déduire les moments dipolaires associés. Les notions sur les cristaux parfaits présents dans cette partie ne doivent conduire à aucun calcul de cristallographie, si ce n'est celui de la valeur de la masse volumique d'un cristal parfait.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>4.1. Molécules, ions et cristaux</b>	
<p><b>Modèle de la liaison covalente</b> Liaison covalente localisée. Schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion monoatomique ou d'un ion polyatomique. Règle de l'octet.</p>	<p>Établir un ou des schémas de Lewis pertinent(s) pour une molécule ou un ion constitué des éléments C, H, O et N.</p>
<p><b>Géométrie et polarité des entités chimiques</b> Électronégativité : liaison polarisée, moment dipolaire, molécule polaire.</p>	<p>Associer qualitativement la géométrie d'une entité à une minimisation de son énergie. Comparer les électronégativités de deux atomes à partir de données ou de leurs positions dans le tableau périodique. Prévoir la polarisation d'une liaison à partir des électronégativités comparées des deux atomes mis en jeu. Relier l'existence ou non d'un moment dipolaire permanent à la structure géométrique donnée d'une molécule. Déterminer direction et sens du vecteur moment dipolaire d'une liaison ou d'une molécule de géométrie donnée.</p>



Modèle du cristal parfait. Exemples de cristaux métalliques, ioniques et covalents.	Décrire un cristal parfait comme un assemblage de mailles parallélépipédiques. Déterminer la formule chimique qui représente un cristal parfait, sa structure étant donnée. Déterminer la valeur de la masse volumique d'un cristal parfait.  <b>Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et pour déterminer des paramètres géométriques.</b>
--	--

La partie 4.2. « **Relations structure des entités - propriétés physiques macroscopiques** » a pour objectif de permettre l'identification des interactions entre entités moléculaires ou ioniques afin d'interpréter, de prévoir ou de comparer certaines propriétés physiques : température de changement d'état, miscibilité, solubilité dans l'eau.

De nombreuses illustrations et applications dans la vie courante, au niveau du laboratoire ou dans le domaine du vivant peuvent être proposées.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>4.2. Relations structure des entités - propriétés physiques macroscopiques</b>	
<b>Interaction entre entités</b> Interactions de van der Waals. Liaison hydrogène ou interaction par pont hydrogène.	Comparer les énergies de l'interaction de van der Waals, de la liaison hydrogène et de la liaison covalente. Interpréter l'évolution de températures de changement d'état de corps purs moléculaires à l'aide de l'existence d'interactions de van der Waals ou par pont hydrogène.
<b>Solubilité ; miscibilité</b> Grandeurs caractéristiques et propriétés de solvants moléculaires : moment dipolaire, caractère protogène. Mise en solution d'une espèce chimique moléculaire ou ionique.	Interpréter la solubilité d'une espèce chimique moléculaire ou ionique dans l'eau.

L'objectif de la partie 4.3. « **Transformations de la matière** » est d'amener les étudiants à mobiliser de manière autonome les notions et modèles pour décrire, au niveau macroscopique, un système physique ou physico-chimique et son évolution. Il convient que les problématiques abordées, les illustrations et les applications prennent largement appui sur des transformations chimiques rencontrées dans la vie courante, au laboratoire, en milieu industriel ou dans le monde du vivant.

Les concepts développés dans cette partie permettent d'envisager l'optimisation des transformations ou des analyses. L'étude quantitative de l'état final d'un système, siège d'une transformation chimique, est réalisée à partir d'une modélisation par une seule réaction chimique symbolisée par une équation de réaction à laquelle est associée une constante thermodynamique d'équilibre. Il s'agit de prévoir le sens d'évolution de systèmes homogènes ou hétérogènes et de déterminer leur composition dans l'état final. Les compétences relatives à cette partie du programme sont ensuite réinvesties au cours de l'année, plus particulièrement au second semestre lors des transformations en solution aqueuse, et en seconde année, notamment dans le cadre de la thermodynamique chimique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>4.3. Transformations de la matière</b>	
Transformations physique, chimique, nucléaire.	Identifier la nature d'une transformation.

Transformations physiques. États de la matière : gaz, liquide, solide cristallin, solide amorphe et solide semi-cristallin. Notion de phase.	Identifier la nature d'une transformation physique.
<b>Système physico-chimique</b> Espèces physico-chimiques.	Recenser les espèces physico-chimiques présentes dans un système.
Corps purs et mélanges : concentrations en quantité de matière et en masse, fractions molaire et massique, pression partielle. Composition d'un système physico-chimique.	Décrire la composition d'un système à l'aide de grandeurs physiques pertinentes.
<b>Transformation chimique d'un système</b> Modélisation d'une transformation par une réaction chimique.	Écrire l'équation de la réaction qui modélise une transformation chimique donnée.
Équation de réaction, constante thermodynamique d'équilibre.	<b>Déterminer une constante thermodynamique d'équilibre.</b>
Évolution d'un système lors d'une transformation chimique modélisée par une réaction chimique unique : avancement, activité, quotient de réaction, critère d'évolution.	Décrire qualitativement et quantitativement un système chimique dans l'état initial ou dans un état d'avancement quelconque. Exprimer l'activité d'une espèce chimique pure ou dans un mélange dans le cas de solutions aqueuses très diluées ou de mélange de gaz parfaits avec référence à l'état standard. Exprimer le quotient de réaction. Prévoir le sens d'évolution spontanée d'un système chimique.
Composition chimique du système dans l'état final : état d'équilibre chimique, transformation totale.	Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.  <u>Capacité numérique</u> : déterminer, à l'aide d'un langage de programmation, l'état final d'un système, siège d'une transformation, modélisée par une réaction chimique unique à partir des conditions initiales et de la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre.

La partie 4.4. « **Évolution temporelle d'un système chimique** » permet de dégager expérimentalement les facteurs cinétiques concentration et température. Cette mise en évidence est prolongée par les premières modélisations macroscopiques d'évolution des concentrations avec des lois de vitesse d'ordre simple et d'influence de la température avec la loi d'Arrhenius. Les déterminations d'ordre global ou apparent mettent en œuvre la méthode intégrale, et peuvent s'effectuer à l'aide de logiciels dédiés ou de programmes élaborés en langage de programmation, pour l'exploitation des mesures expérimentales dans le cadre d'un réacteur fermé parfaitement agité.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>4.4. Évolution temporelle d'un système chimique</b>	

<p>Vitesses volumiques de consommation d'un réactif et de formation d'un produit. Vitesse de réaction pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p>	<p>Relier la vitesse de réaction à la vitesse volumique de consommation d'un réactif ou de formation d'un produit.</p> <p><b>Déterminer l'influence d'une concentration sur la vitesse d'une réaction chimique.</b></p>
<p>Lois de vitesse : réactions sans ordre, réactions avec ordre simple (0, 1, 2), ordre global, ordre apparent. Temps de demi-réaction.</p>	<p>Exprimer, pour une transformation modélisée par une seule réaction chimique, la loi de vitesse si la réaction chimique admet un ordre. Déterminer la valeur de la constante de vitesse à une température donnée. Déterminer la vitesse de réaction à différentes dates en utilisant une méthode graphique. Déterminer un ordre de réaction à l'aide des temps de demi-réaction. Déterminer la valeur d'un ordre par la méthode intégrale, en se limitant à une décomposition d'ordre 0, 1 ou 2 d'un unique réactif, ou en se ramenant à un tel cas par dégénérescence de l'ordre ou conditions initiales stœchiométriques.</p> <p><b>Établir une loi de vitesse à partir du suivi temporel d'une grandeur physique.</b></p> <p><u>Capacité numérique</u> : mettre en œuvre la méthode d'Euler à l'aide d'un langage de programmation pour simuler l'évolution temporelle de la concentration des constituants.</p>
<p>Loi d'Arrhenius ; énergie d'activation</p>	<p>Déterminer la valeur de l'énergie d'activation d'une réaction chimique à partir de valeurs de la constante cinétique à différentes températures.</p> <p><b>Déterminer l'énergie d'activation d'une réaction chimique.</b></p>

## Thème 2 : mouvements et interactions

La partie 2.1. « **Description et paramétrage du mouvement d'un point** » vise notamment à mettre en place les principaux systèmes de coordonnées : cartésiennes, polaires et cylindriques. Le but est de permettre aux étudiants de disposer d'outils efficaces pour décrire une assez 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 décrits par un point, notamment sur les exemples simples des mouvements rectilignes et circulaires.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>2.1. Description et paramétrage du mouvement d'un point</b>	

<b>Cinématique du point</b> Espace et temps classiques. Notion de référentiel. Caractère relatif du mouvement. Description du mouvement d'un point. Vecteurs position, vitesse et accélération. Systèmes de coordonnées cartésiennes, polaires et cylindriques.	Utiliser les expressions des composantes des vecteurs position, vitesse et accélération dans le seul cas des coordonnées cartésiennes, polaires et cylindriques.
	Identifier les degrés de liberté d'un mouvement. Choisir un système de coordonnées adapté au problème posé. Construire le trièdre local associé au repérage d'un point.
Mouvement à vecteur accélération constant.	Exprimer les vecteurs position et vitesse en fonction du temps. Établir l'expression de la trajectoire en coordonnées cartésiennes.
Mouvement circulaire uniforme et non uniforme.	Exprimer les composantes des vecteurs position, vitesse et accélération en coordonnées polaires. Exploiter les liens entre les composantes du vecteur accélération, la courbure de la trajectoire, la norme du vecteur vitesse et sa variation temporelle. Situer qualitativement la direction du vecteur accélération dans la concavité d'une trajectoire plane.
	<b>Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.</b>

Dans la partie **2.2. « 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 bilans de forces ou de projection de la deuxième loi de Newton sur la base choisie. On vise 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 sensibiliser les étudiants aux limites de validité de certains modèles, et ainsi de donner toute leur importance aux étapes de modélisation et de validation d'un modèle. On ne considère que des systèmes fermés. Concernant les satellites et les planètes, on se limite aux mouvements circulaires.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>2.2. Lois de Newton</b>	
Référentiel galiléen. Première loi de Newton.	Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens.
Notion de force. Troisième loi de Newton.	Établir un bilan des forces et en rendre compte sur un schéma.
Deuxième loi de Newton.	Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel.

	<b>Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force par exemple à l'aide d'un microcontrôleur.</b>
Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme en l'absence de frottement.	Mettre en équation le mouvement sans frottement d'un point matériel et le caractériser comme un mouvement à vecteur accélération constant.
Modèles d'une force de frottement fluide. Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme en présence de frottement fluide.	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>  <u>Capacité numérique</u> : tracer la trajectoire d'un point matériel dans le cas d'une chute en présence de frottements.
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.  <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, résoudre numériquement l'équation différentielle du deuxième ordre non linéaire et mettre en évidence le non-isochronisme des oscillations.
Mouvement dans un champ de gravitation. Mouvements des satellites et des planètes. Orbites circulaires. Période de révolution. Lois de Kepler.	Établir et exploiter la troisième loi de Kepler dans le cas d'un mouvement circulaire.

La partie **2.3. « 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 éventuelle 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
<b>2.3. Approche énergétique du mouvement d'un point matériel.</b>	
<b>Puissance, travail et énergie cinétique</b> Travail élémentaire d'une force. Travail d'une force entre deux points. Puissance d'une force.	Déterminer le travail d'une force au cours d'un déplacement élémentaire. Reconnaître le caractère moteur ou résistant d'une force.

Théorèmes de l'énergie cinétique et de la puissance cinétique dans un référentiel galiléen.	Utiliser le théorème approprié en fonction du contexte.
<b>Force conservative et énergie potentielle</b>	Distinguer force conservative et force non conservative. Établir et citer les expressions de l'énergie potentielle de pesanteur (champ uniforme) et de l'énergie potentielle élastique.
<b>Énergie mécanique</b> Théorème de l'énergie mécanique. Mouvement conservatif.	Identifier les cas de conservation de l'énergie mécanique. Utiliser les conditions initiales.
Mouvement conservatif à une dimension.	Identifier sur un graphe d'énergie potentielle une barrière et un puits de potentiel. Dédire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement qualitatif d'un système : trajectoire bornée ou non, mouvement périodique, positions de vitesse nulle.
Positions d'équilibre. Stabilité.	Dédire d'un graphe d'énergie potentielle l'existence de positions d'équilibre, et le caractère stable ou instable de ces positions.
Oscillateurs mécaniques.	Réaliser le bilan énergétique d'un oscillateur mécanique en absence, puis en présence, de frottement en régime libre.

Concernant la partie **2.4. « Mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe fixe »**, il s'agit de définir le mouvement en remarquant que tout point du solide décrit un cercle autour de l'axe avec une même vitesse angulaire et de déterminer la vitesse de chaque point en fonction de celle-ci et de la distance à l'axe de rotation.

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

Cette partie se termine par l'étude d'un système déformable pour souligner le rôle des forces intérieures dans le bilan énergétique d'un système.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>2.4. Mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe fixe</b>	
Définition d'un solide.	Différencier un solide d'un système déformable.
Rotation autour d'un axe fixe.	Décrire la trajectoire d'un point quelconque d'un solide en rotation autour d'un axe fixe et exprimer sa vitesse en fonction de sa distance à l'axe et de la vitesse angulaire.
<b>Théorème scalaire du moment cinétique appliqué au solide mobile autour d'un axe fixe</b> Moment cinétique scalaire d'un solide en rotation autour d'un axe. Moment d'inertie.	Exploiter la relation pour le solide entre le moment cinétique scalaire, la vitesse angulaire de rotation et le moment d'inertie fourni. Relier qualitativement le moment d'inertie à la répartition des masses.

Moment d'une force par rapport à un axe orienté.  Couple.	Exprimer le moment d'une force par rapport à un axe orienté, en privilégiant l'utilisation du bras de levier. Définir un couple de forces, le moment d'un couple.
Liaison pivot.	Définir une liaison pivot et justifier la valeur du moment qu'elle peut produire.
Théorème scalaire du moment cinétique appliqué au solide en rotation autour d'un axe fixe orienté dans un référentiel galiléen.	Déterminer l'équation du mouvement, le moment d'inertie du solide par rapport à l'axe de rotation étant donné.
Pendule pesant.	Établir l'équation du mouvement. Établir une intégrale première du mouvement.
<b>Approche énergétique du mouvement d'un solide autour d'un axe fixe orienté, dans un référentiel galiléen</b> Énergie cinétique d'un solide en rotation autour d'un axe fixe.	Utiliser l'expression de l'énergie cinétique, le moment d'inertie étant fourni.
Théorème de l'énergie cinétique pour un solide en rotation autour d'un axe fixe.	Établir, dans ce cas, l'équivalence entre le théorème scalaire du moment cinétique et celui de l'énergie cinétique.
<b>Système déformable</b> Théorème de l'énergie cinétique pour un système déformable.	Prendre en compte le travail des forces intérieures. Utiliser sa nullité dans le cas d'un solide. Réaliser le bilan énergétique du tabouret d'inertie.

## B. Second semestre

### Thème 1 : Ondes et signaux (2)

Le thème 1 « Ondes et signaux » traite, au second semestre, des oscillations forcées, du filtrage linéaire, de l'induction et de la conversion électromécanique. Il s'appuie sur les nombreuses applications présentes dans notre environnement immédiat : boussole, moteur électrique, alternateur, transformateur, haut-parleur, plaques à induction, carte RFID... Il s'agit de restituer toute la richesse de ces applications dans un volume horaire modeste, ce qui limite les géométries envisagées et le formalisme utilisé. Le point de vue adopté cherche à mettre l'accent sur les phénomènes et sur la modélisation de leurs applications. Toute étude du champ électromoteur est exclue. L'induction et les forces de Laplace dans un circuit mobile sont introduites dans le cas d'un champ uniforme et stationnaire, soit dans le modèle des rails de Laplace, soit dans celui d'un cadre rectangulaire en rotation. Ce dernier modèle permet d'introduire la notion de dipôle magnétique et une analogie de comportement permet de l'étendre au cas de l'aiguille d'une boussole. Le thème s'achève avec l'étude des convertisseurs électromécaniques les plus classiques.

Le succès de cet enseignement suppose le respect de ces limitations : il ne s'agit pas d'une étude générale des phénomènes d'induction. Corrélativement, l'enseignement de cette partie doit impérativement s'appuyer sur une démarche expérimentale authentique, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou d'activités expérimentales.

La partie **1.5. « Oscillateurs forcés »** prolonge l'étude faite au premier semestre sur les oscillateurs libres. Le choix est fait ici aussi de présenter simultanément les oscillateurs électriques et mécaniques de manière à mettre l'accent sur les analogies formelles et comportementales.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.5. Oscillateurs forcés</b>	
Impédances complexes.	Établir et citer 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.
Oscillateur mécanique ou électrique soumis à une excitation sinusoïdale. Résonance.	Utiliser la représentation complexe pour étudier le régime forcé. Relier 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 permettant d'étudier le phénomène de résonance.</b>  <u>Capacité numérique</u> : mettre en évidence le rôle du facteur de qualité pour l'étude de la résonance en élongation ou en tension.

L'objectif principal de la partie **1.6. « Filtrage linéaire »** n'est pas de former les étudiants 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.

Notions et contenus	Capacités exigibles
---------------------	---------------------



<b>1.6. Filtrage linéaire</b>	
Signaux périodiques.	Identifier sur le spectre d'un signal périodique la composante continue, le fondamental et les harmoniques. Définir la valeur moyenne d'un signal et sa valeur efficace.
Fonction de transfert harmonique. Diagramme de Bode.	Prévoir le comportement d'un filtre en hautes et basses fréquences. Tracer le diagramme de Bode (amplitude et phase) associé à une fonction de transfert d'ordre 1. Utiliser 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. Interpréter les zones rectilignes des diagrammes de Bode fournis d'après l'expression de la fonction de transfert.  <b>Mettre en œuvre un dispositif illustrant la fonction de filtrage d'un système linéaire.</b>
Modèles de filtres passifs : passe-bas et passe-haut d'ordre 1, passe-bas et passe-bande d'ordre 2.	Expliquer 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. Expliquer la nature du filtrage introduit par un dispositif mécanique (sismomètre, amortisseur, accéléromètre, etc.).  <b>Étudier le filtrage linéaire d'un signal non sinusoïdal à partir d'une analyse spectrale.</b>  <u>Capacité numérique</u> : 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.

La partie **1.7. « Champ magnétique »** vise à relier le champ magnétique et ses sources ; l'accent est mis sur le concept de champ vectoriel, l'exploitation des représentations graphiques et la connaissance d'ordres de grandeur.

<b>Notions et contenus</b>	<b>Capacités exigibles</b>
<b>1.7. Champ magnétique</b>	

Sources de champ magnétique ; cartes de champ magnétique.	Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible, et l'emplacement des sources. Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue. Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme. Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans une machine électrique, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.
Lien entre le champ magnétique et l'intensité du courant.	Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies.
Moment magnétique.	Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane. Associer un moment magnétique à un aimant, par analogie avec une boucle de courant. Citer un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.

Dans la partie **1.8. « Actions d'un champ magnétique »**, il s'agit de se doter d'expressions opérationnelles pour étudier un mouvement dans un champ uniforme et stationnaire : celui d'une barre en translation ou celui d'un moment magnétique en rotation modélisé par un cadre rectangulaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.8. Actions d'un champ magnétique</b>	
Résultante et puissance des forces de Laplace.	Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme. Établir et citer l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice en translation rectiligne sur deux rails parallèles (rails de Laplace) placée dans un champ magnétique extérieur uniforme, stationnaire et orthogonal à la barre. Exprimer la puissance des forces de Laplace.
Couple et puissance des actions mécaniques de Laplace dans le cas d'une spire rectangulaire, parcourue par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux de côtés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.	Établir et exploiter l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique. Exprimer la puissance des actions mécaniques de Laplace.
Action d'un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant. Positions d'équilibre et stabilité.	<b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'action d'un champ magnétique uniforme sur une boussole.</b>

Effet moteur d'un champ magnétique tournant.	<b>Créer un champ magnétique tournant à l'aide de deux ou trois bobines et mettre en rotation une aiguille aimantée.</b>
--	--

La partie **1.9. « Lois de l'induction »** repose 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 différents points de vue possibles sur le même phénomène selon le référentiel dans lequel on se place.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.9. Lois de l'induction</b>	
<b>Flux d'un champ magnétique</b> Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
<b>Loi de Faraday</b> Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit.	<b>Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.</b>
Loi de modération de Lenz.	Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.
Force électromotrice induite, loi de Faraday.	Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algébrisation.

La partie **1.10. « Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps »** aborde le phénomène d'auto-induction puis le couplage par mutuelle inductance entre deux circuits fixes. Elle traite du modèle du transformateur de tension.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.10. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps</b>	
<b>Auto-induction</b> Flux propre et inductance propre.	Différencier le flux propre des flux extérieurs. Vérifier la compatibilité du signe de l'inductance propre avec la loi de modération de Lenz. Évaluer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur, le champ magnétique créé par la bobine étant donné.  <b>Mesurer la valeur de l'inductance propre d'une bobine.</b>
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 », le champ magnétique créé par une bobine étant donné.

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.
Étude énergétique.	Réaliser un bilan de puissance et d'énergie.
Transformateur de tension parfait.	Établir la loi des tensions. Citer des applications du transformateur de tension pour le transport d'énergie électrique ou l'isolement.

La partie 1.11. « **Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire** » est centrée sur la conversion de puissance. Des situations géométriques simples permettent de dégager les paramètres physiques pertinents afin de modéliser le principe d'un moteur à courant continu ou un dispositif de freinage.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.11. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire</b>	
<b>Conversion de puissance mécanique en puissance électrique</b>	Interpréter qualitativement les phénomènes créés lors du mouvement d'une barre sur des rails de Laplace et lors du mouvement d'une spire rectangulaire soumise à un champ magnétique extérieur uniforme et en rotation uniforme autour d'un axe fixe orthogonal au champ magnétique. Établir les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. Établir et interpréter la relation entre la puissance de la force de Laplace et la puissance électrique. Effectuer un bilan énergétique. Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.
Freinage par induction.	Expliquer l'origine des courants de Foucault et en citer des exemples d'utilisation.  <b>Mettre en évidence qualitativement les courants de Foucault.</b>
<b>Conversion de puissance électrique en puissance mécanique</b> Moteur à courant continu à entrefer plan.	Expliquer le principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu à entrefer plan en utilisant les forces de Laplace. Utiliser la relation entre la puissance de la force de Laplace et la puissance électrique. Effectuer un bilan énergétique.

La partie 1.12 « **Convertisseurs électromécaniques** » présente les convertisseurs de puissance les plus courants. Les principes de fonctionnement sont expliqués sans entrer dans le détail des réalisations technologiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.12. Convertisseurs électromécaniques</b>	

Moteur à courant continu.	Établir les relations reliant respectivement la vitesse de rotation à la force électromotrice et le couple à l'intensité du courant.
Machine synchrone.	Établir la condition d'existence d'un couple moyen non nul d'un moteur synchrone.
Machine asynchrone.	Établir l'expression du couple moyen du moteur asynchrone en fonction de la vitesse de rotation afin de mettre en évidence un fonctionnement moteur et un fonctionnement génératrice.
	Expliquer les avantages et inconvénients des différentes machines et donner des exemples d'utilisation.  <b>Modifier le fonctionnement des moteurs (vitesse ou couple) en agissant sur certains paramètres électriques.</b>

### Thème 3 : l'énergie : conversions et transferts

Après avoir mis l'accent sur le passage d'une réalité microscopique à des grandeurs mesurables macroscopiques, les parties 3.1. « **Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre** » et 3.2 « **Énergie échangée par un système au cours d'une transformation** » proposent, en s'appuyant sur des exemples concrets, de poursuivre la description et l'étude de la matière à l'échelle macroscopique, et d'aborder les deux principes fondamentaux de la thermodynamique. Les capacités identifiées doivent être introduites en s'appuyant dès que possible sur des dispositifs expérimentaux qui permettent ainsi leur acquisition progressive et authentique.

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

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>3.1. Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre</b>	
Échelles microscopique, mésoscopique et macroscopique.	Définir l'échelle mésoscopique et en expliquer la nécessité.
Système thermodynamique.	Identifier un système ouvert, un système fermé, un système isolé.
État d'équilibre d'un système soumis aux seules forces de pression. Pression, température, volume : équation d'état. Grandeur extensive, grandeur intensive. Exemples du gaz parfait et d'une phase condensée indilatable et incompressible. Exemples d'un gaz réel aux faibles pressions et d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable.	Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique. Déduire une température d'une condition d'équilibre thermique.  Utiliser l'équation d'état des gaz parfaits, l'interpréter à l'échelle microscopique. Comparer, à l'aide de réseaux d'isothermes expérimentales en coordonnées de Clapeyron ou d'Amagat, le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait. Citer quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température.

<p><b>Énergie interne d'un système</b>  Énergie interne du gaz parfait monoatomique.  Énergie interne des gaz parfaits polyatomiques.  Capacité thermique à volume constant d'un gaz parfait.</p>	<p>Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique en fonction de la température.</p> <p>Exploiter la propriété <math>U_m = U_m(T)</math> pour un gaz parfait.</p>
<p>Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée considérée incompressible et indilatable.</p>	<p>Exploiter la propriété <math>U_m = U_m(T)</math> pour une phase condensée incompressible et indilatable.</p>
<p>Corps pur diphasé en équilibre. Diagramme de phases (P, T).  Cas de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P, v), titre en vapeur.</p>	<p>Analyser un diagramme de phases expérimental (P, T).</p> <p>Proposer un jeu de variables d'état suffisant pour caractériser l'état d'équilibre d'un corps pur diphasé soumis aux seules forces de pression.</p> <p>Positionner les phases dans les diagrammes (P, T) et (P, v).</p> <p>Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P, v).</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>3.2. Énergie échangée par un système au cours d'une transformation</b>	
<p>Transformation thermodynamique subie par un système.  Évolutions isochore, monotherme, isotherme, monobare, isobare.</p>	<p>Définir un système adapté à une problématique donnée.</p>
<p>Travail des forces de pression. Transformations isochore, monobare.</p>	<p>Évaluer le travail des forces de pression 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.</p>
<p>Transfert thermique.  Transformation adiabatique.  Thermostat, transformations monotherme et isotherme.</p>	<p>Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement.</p> <p>Identifier, dans une situation expérimentale, le ou les systèmes modélisables par un thermostat.</p> <p>Proposer de manière argumentée le modèle limite le mieux adapté à une situation réelle entre une transformation adiabatique et une transformation isotherme.</p>

Concernant les bilans d'énergie abordés dans la partie **3.3. « Premier principe. Bilans d'énergie »**, 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.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>3.3. Premier principe. Bilans d'énergie</b>	

Premier principe de la thermodynamique.	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir travail et transfert thermique. Exploiter l'extensivité de l'énergie interne. Distinguer le statut de la variation d'énergie interne du statut des termes d'échange. Calculer le transfert thermique sur un chemin donné connaissant le travail et la variation de l'énergie interne.
Enthalpie d'un système. Capacité thermique à pression constante dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable.	Exprimer le premier principe 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. Exprimer l'enthalpie molaire $H_m(T)$ du gaz parfait à partir de son énergie interne. Justifier sur un exemple 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 $T$ . Citer l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.
Enthalpie associée à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation.	Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des transitions de phases.  <b>Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une grandeur thermodynamique énergétique (capacité thermique, enthalpie de fusion, etc.).</b>

Concernant la partie 3.4. « **Deuxième principe. Bilans d'entropie** », l'expression de la fonction d'état entropie est systématiquement donnée et sa construction n'est pas une capacité visée. On cite sans aucun développement quantitatif son interprétation en termes de désordre de façon à faciliter une interprétation intuitive des bilans d'entropie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>3.4. Deuxième principe. Bilans d'entropie.</b>	
Deuxième principe : fonction d'état entropie, entropie créée, entropie échangée. $\Delta S = S_{\text{éch}} + S_{\text{créée}}$ avec $S_{\text{éch}} = \sum Q_i/T_i$ .	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan entropique. Relier la création d'entropie à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité. Analyser le cas particulier d'un système en évolution adiabatique.
Variation d'entropie d'un système.	Utiliser l'expression fournie de la fonction d'état entropie. Exploiter l'extensivité de l'entropie.
Loi de Laplace.	Citer et utiliser la loi de Laplace après avoir rappelé ses conditions d'application.

Cas particulier d'une transition de phase.	Citer et utiliser la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase : $\Delta h_{12}(T) = T \Delta s_{12}(T)$ .
--	--

Dans la partie 3.5. « **Machines thermiques** », l'enseignement de la thermodynamique est orienté vers des applications industrielles réelles.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>3.5. Machines thermiques</b>	
Application du premier principe et du deuxième principe aux machines thermiques cycliques dithermes : rendement, efficacité, théorème de Carnot.	Donner le sens réel des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme. Définir un rendement – ou une efficacité – et le relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Démontrer et utiliser le théorème de Carnot. Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme. Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles.  <b>Mettre en œuvre une machine thermique cyclique ditherme.</b>

## Thème 4 : Constitution et transformations de la matière (2)

Les transformations chimiques en solution aqueuse jouent un rôle essentiel en chimie, en biochimie, dans le domaine du vivant et dans les procédés industriels. Un nombre considérable de développements technologiques et d'analyses environnementales (traitement des eaux, méthodes d'analyse, extraction d'ions métalliques des minerais, générateurs électrochimiques, lutte contre la corrosion, etc.) repose sur des transformations acido-basiques, de solubilisation-précipitation et d'oxydo-réduction en solution aqueuse dont la maîtrise est importante pour prévoir, interpréter et optimiser les phénomènes mis en jeu.

L'objectif de cette seconde partie du thème « **Constitution et transformations de la matière** » est donc de présenter différents types de réactions susceptibles d'intervenir en solution aqueuse, d'en déduire des diagrammes de prédominance ou d'existence d'espèces chimiques, et de les utiliser comme outil de prévision et d'interprétation des transformations chimiques quel que soit le milieu donné.

Les choix pédagogiques relatifs au contenu des séances de travail expérimental permettront de contextualiser ces enseignements. Les dosages par titrage sont étudiés exclusivement en travaux pratiques. L'analyse des conditions choisies ou la réflexion conduisant à une proposition de protocole expérimental pour atteindre un objectif donné constituent des mises en situation des enseignements évoqués précédemment. Ces séances de travail expérimental constituent une nouvelle occasion d'aborder qualité et précision de la mesure.

Les différentes transformations en solution aqueuse abordées dans la partie 4.5. « Réactions acide-base et de précipitation » constituent des illustrations de l'évolution des systèmes chimiques introduites au premier semestre, les étudiants étant amenés à déterminer l'état final d'un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique. On montre qu'il est ainsi possible d'analyser et de simplifier une situation complexe pour parvenir à la décrire rigoureusement et quantitativement, en l'occurrence dans le cas des solutions aqueuses par une seule réaction. Il est cependant important de



noter qu'on évite tout calcul inutile de concentration, en privilégiant l'utilisation des diagrammes pour valider le choix de la réaction mise en jeu. Dans ce cadre, aucune formule de calcul de pH n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>4.5. Réactions acide-base et de précipitation</b>	
<p><b>Réactions acide-base</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- constante d'acidité ;</li> <li>- diagrammes de prédominance et de distribution.</li> <li>- exemples usuels d'acides et bases : nom, formule et nature - faible ou forte - des acides chlorhydrique et acétique, de la soude, de l'ammoniac.</li> </ul> <p><b>Réactions de dissolution ou de précipitation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- constante de solubilité ;</li> <li>- solubilité et condition de précipitation ;</li> <li>- domaine d'existence ;</li> <li>- facteurs influençant la solubilité.</li> </ul>	<p>Reconnaître une réaction acide-base à partir de son équation.</p> <p>Extraire de ressources disponibles les données thermodynamiques pertinentes pour prévoir qualitativement l'état final d'un système en solution aqueuse ou interpréter des observations expérimentales.</p> <p>Déterminer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre pour une équation de réaction, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques d'équilibre sont connues.</p> <p>Retrouver les valeurs de constantes thermodynamiques d'équilibre par lecture de courbes de distribution et de diagrammes de prédominance.</p> <p>Déterminer la composition chimique d'un système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p> <p>Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.</p> <p>Exploiter des courbes d'évolution de la solubilité d'un solide en fonction d'une variable pertinente.</p> <p>Prévoir l'état de saturation d'une solution.</p> <p><b>Mettre en œuvre une réaction acide-base et une réaction de précipitation pour réaliser une analyse qualitative ou quantitative en solution aqueuse.</b></p>

L'analyse de transformations mettant en jeu des oxydants et réducteurs usuels et des piles permettent d'aborder, dans la partie **4.6. « Réactions d'oxydo-réduction »** les différents concepts associés aux phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse. La relation de Nernst ainsi que la relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels standard permettent de prévoir l'évolution des systèmes et le caractère favorisé des transformations.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>4.6. Réactions d'oxydo-réduction</b>	
<p><b>Oxydants et réducteurs, réactions d'oxydo-réduction</b></p> <p>Nombre d'oxydation.</p> <p>Exemples d'oxydants et de réducteurs minéraux usuels : nom, nature et formule des ions thiosulfate, permanganate, hypochlorite, du peroxyde d'hydrogène.</p>	<p>Relier la position d'un élément dans le tableau périodique et le caractère oxydant ou réducteur du corps simple correspondant.</p> <p>Prévoir les nombres d'oxydation extrêmes d'un élément à partir de sa position dans le tableau périodique.</p> <p>Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple.</p>

Pile, tension à vide, potentiel d'électrode, formule de Nernst, électrodes de référence	Décrire le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrode. Déterminer la capacité électrique d'une pile.
Diagrammes de prédominance ou d'existence.	Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.
Aspect thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction. Dismutation et médiatisation.	Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction à partir des potentiels standard des couples.  <b>Mettre en œuvre une réaction d'oxydo-réduction pour réaliser une analyse quantitative en solution aqueuse.</b>  <b>Réaliser une pile et étudier son fonctionnement.</b>

### 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 autocollimatrice
- Spectromètre à fibre optique
- 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
- 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, thermocouple, thermistance, capteur infra-rouge
- Calorimètre
- Machines thermiques dithermes

#### 4. Domaine constitution et transformations de la matière

- Verrerie classique de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, béchers, etc.
- Matériel classique du laboratoire de chimie : dispositifs de chauffage ou de refroidissement (bain-marie, bain froid, etc.), dispositifs d'agitation, matériel de filtration sous pression atmosphérique et sous pression réduite
- Spectrophotomètre UV-visible
- pH-mètre et électrodes de mesure
- Voltmètre et électrodes
- Conductimètre et cellule de mesure
- Thermomètre
- Balance de précision

### Annexe 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique comme en chimie.

La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie 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 $A \cdot \cos(\omega x + \varphi)$ (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.

	<p>Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité).</p> <p>Trouver l'expression des solutions lorsque <math>f(x)</math> est constante ou de la forme <math>A \cdot \exp(\lambda x)</math> avec <math>\lambda</math> complexe.</p> <p>Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données.</p> <p>Représenter graphiquement cette solution.</p>
<b>3. Fonctions</b>	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithmes népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ( $x \rightarrow x^a$ ).
Dérivée. Notation $dx/dt$ .	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre 1 ou 2 ; interpréter graphiquement.
Développements limités.	Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1+x)^a$ , $e^x$ , $\ln(1+x)$ et $\sin(x)$ , et à l'ordre 2 de la fonction $\cos(x)$ .
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 systèmes de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, polaires et cylindriques.
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.

Courbes planes paramétrées.	Identifier une ellipse à l'aide de sa représentation paramétrique ( $x = a \cdot \cos(\omega t)$ , $y = b \cdot \cos(\omega t - \varphi)$ ) et la tracer dans les cas particuliers $\varphi = 0$ , $\varphi = \pi/2$ et $\varphi = \pi$ .
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.
Barycentre d'un système de points.	Énoncer la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène.
<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 trigonométriques 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 et de la chimie. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités utiles à la physique-chimie 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. Il sera complété dans le programme de physique-chimie de seconde 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 <b>matplotlib</b> pour représenter un nuage de points.
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <b>matplotlib</b> pour tracer la courbe représentative d'une fonction.

Courbes planes paramétrées.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <b>matplotlib</b> 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 <b>bisect</b> de la bibliothèque <b>scipy.optimize</b> (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 <b>odeint</b> de la bibliothèque <b>scipy.integrate</b> (sa spécification étant fournie).
<b>5. Probabilité – statistiques</b>	
Variable aléatoire.	Utiliser les fonctions de base des bibliothèques <b>random</b> et/ou <b>numpy</b> (leurs spécifications étant fournies) pour réaliser des tirages d'une variable aléatoire. Utiliser la fonction <b>hist</b> de la bibliothèque <b>matplotlib.pyplot</b> (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 <b>polyfit</b> de la bibliothèque <b>numpy</b> (sa spécification étant fournie) pour exploiter des données. Utiliser la fonction <b>random.normal</b> de la bibliothèque <b>numpy</b> (sa spécification étant fournie) pour simuler un processus aléatoire.