



# Annexe 2

## Programmes des classes préparatoires aux Grandes Ecoles

Filière : **scientifique**

Voie : **Technologie et sciences industrielles (TSI)**

Discipline : **Physique-chimie**

**Première année**

# PROGRAMME DE PHYSIQUE-CHIMIE TSI

## Préambule

Le programme de physique-chimie de TSI s'inscrit dans une double continuité : d'une part avec les nouveaux programmes de terminale des séries technologiques et d'autre part avec l'enseignement dans les grandes écoles. Ce programme a été construit pour faire réussir tous les élèves qui ont été formés dans le cadre du lycée rénové et les amener progressivement au niveau requis pour poursuivre avec succès des études scientifiques et techniques en vue de devenir ingénieur, chercheur ou enseignant et, plus généralement, être à même de se former tout au long de la vie.

La physique et la chimie sont des sciences à la fois théoriques et expérimentales. Ces deux volets s'enrichissent mutuellement et leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement. Cela nécessite d'asseoir un socle de connaissances et de capacités dans le domaine de la physique chimie mais aussi de développer des compétences permettant de les mettre en œuvre de manière efficiente. Le programme est construit afin d'atteindre ces deux objectifs.

Le développement des compétences se fera au moyen de la mise en œuvre de modalités pédagogiques favorisant la mise en activité des élèves et s'appuyant sur des composantes de la démarche scientifique : la démarche expérimentale, la résolution de problème et l'analyse documentaire. Elles visent à développer chez l'élève, outre des compétences purement scientifiques, l'autonomie, l'esprit critique, la prise d'initiative, la capacité à acquérir par soi-même de nouvelles connaissances et capacités. Elles permettent aussi à chacun d'être acteur de sa formation et favorisent l'épanouissement des différentes intelligences.

Concernant l'aspect théorique, le socle de connaissances et de capacités scientifiques a été conçu de manière à amener les concepts scientifiques et les outils mathématiques nécessaires à leur modélisation de manière très progressive. La priorité doit être mise sur la modélisation des phénomènes et sur l'analyse des résultats obtenus. La résolution des équations issues des phases de modélisation doit faire appel autant que possible aux outils numériques afin de réduire la part des calculs analytiques dans la résolution des problèmes et, ainsi, de reporter l'attention des étudiants vers les questions de fond (modélisation, analyse des résultats...). Cela permet aussi d'aborder (même modestement) des systèmes plus proches de la réalité en enlevant la contrainte d'obtenir une équation dont la résolution analytique serait accessible à l'étudiant.

Le programme fait une très large place à la démarche expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- le premier a trait à la formation expérimentale. Les activités expérimentales permettent l'acquisition de compétences spécifiques, ainsi que d'un réel savoir-faire dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées ;
- le second concerne l'identification, tout au long du programme, de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques durant lesquelles l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Au regard de ce qui précède, le programme est organisé en trois parties :

- 1 dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer à travers certaines de ces composantes : la démarche expérimentale, les approches documentaires et la résolution de problème. Ces compétences et les capacités associées seront exercées et mises en œuvre dans des

- situations variées tout au long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Elles continueront à l'être en deuxième année. Leur acquisition doit donc faire l'objet d'un suivi dans la durée ;
- 2 dans la deuxième partie « **formation expérimentale** » sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre à travers les activités doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la troisième partie. Elles doivent faire l'objet de la part du professeur d'une programmation visant à s'assurer de l'apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.
  - 3 dans la troisième partie sont décrites les connaissances et capacités associées aux contenus disciplinaires. Elles sont organisées en deux colonnes : à la première colonne « notions et contenus » correspond une ou plusieurs « capacités exigibles » de la deuxième colonne. Celle-ci met ainsi en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Elle est organisée sur deux semestres :
    - **premier semestre** : la partie « **signaux physiques** » est construite autour de la notion de grandeurs physiques scalaires dépendant du temps et, éventuellement, d'une variable d'espace. Elle aborde différents champs de la physique afin de montrer la transférabilité de certains modèles. La partie « **transformation de la matière** » permet de continuer à installer les outils nécessaires à la description et l'évolution d'un système chimique. La partie « **architecture de la matière** » vient compléter les connaissances acquises par les élèves au lycée.
    - **second semestre** : les grandeurs vectorielles sont introduites dans les parties « **mécanique** » et « **induction** ». La partie « **thermodynamique** » permet l'utilisation de fonctions de plusieurs variables. La partie « **transformations chimiques en solution aqueuse** » a pour objectif principal de permettre à l'élève de reconnaître les principaux types de réactions chimiques en solution, à travers les phénomènes ou dispositifs faisant intervenir des réactions d'oxydo-réduction et d'apprendre à utiliser les diagrammes potentiel-pH.

Les outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie en fin de première année de TSI sont précisés en appendice.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les élèves. Il ne représente en aucun cas une progression imposée à l'intérieur de chaque semestre. Le professeur doit organiser son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- la mise en activité des élèves : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les élèves seront acteurs de leur formation. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problème permettent cette mise en activité. Le professeur peut mettre en œuvre d'autres activités allant dans le même sens ;
- la mise en contexte des contenus scientifiques : la physique et la chimie se sont développées uniquement afin de répondre à des questions que l'Homme se pose. Ainsi en TSI, le questionnement scientifique, prélude à la construction des notions et concepts, se déploiera à partir d'objets technologiques emblématiques du monde contemporain, de procédés simples ou complexes, de phénomènes naturels. Toute démarche purement descendante est à proscrire ;
- **une nécessaire mise en cohérence des différents enseignements scientifiques et technologiques : la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les enseignements de mathématiques et de sciences industrielles.**

# Démarche scientifique

## Démarche expérimentale

### Compétences mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales mises en œuvre dans le cadre d'une démarche scientifique mobilisent les compétences 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.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres composantes du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence.

Compétence	Capacités exigibles associées
<b>S'approprier</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation</li><li>- énoncer une problématique</li><li>- définir des objectifs</li></ul>
<b>Analyser</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- formuler une hypothèse</li><li>- proposer une stratégie pour répondre à une problématique</li><li>- proposer un modèle</li><li>- choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental</li><li>- évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations</li></ul>
<b>Réaliser</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- mettre en œuvre un protocole</li><li>- utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « Grandeurs et instruments », avec aide pour tout autre matériel</li><li>- mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates</li><li>- effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales</li></ul>
<b>Valider</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes</li><li>- confronter un modèle à des résultats expérimentaux</li><li>- confirmer ou infirmer une hypothèse, une information</li><li>- analyser les résultats de manière critique</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 son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible</li><li>o utiliser un vocabulaire scientifique adapté</li><li>o s'appuyer sur des schémas, des graphes</li></ul></li><li>- faire preuve d'écoute, confronter son point de vue</li></ul>
<b>Être autonome, faire preuve d'initiative</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- travailler seul ou en équipe</li><li>- solliciter une aide de manière pertinente</li><li>- s'impliquer, prendre des décisions, anticiper</li></ul>

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler

## Démarche scientifique

l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de bien préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

Concernant la compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** », elle est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

## Résolution de problème

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problème » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problème permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problème. La résolution de problème mobilise les compétences 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.

Compétence	Capacités exigibles associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue. ...
Etablir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées. ...
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en

## Démarche scientifique

	comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue. ...
Communiquer	Présenter la résolution, en expliquant le raisonnement et les résultats. ...

### Remarques complémentaires

Suivent des possibilités d'articulation entre la résolution de problème et les autres types de compétences développées.

En lien avec les incertitudes :

- évaluer ou déterminer la précision de la solution proposée, notamment lorsqu'il s'agit d'une solution approchée sans la surestimer ni la sous estimer (on a souvent tendance à dire que l'on fait un calcul d'ordre de grandeur alors que l'on a un résultat à 10% près) ;
- déterminer ce qu'il faudrait faire pour améliorer la précision d'un résultat ;

En lien avec l'analyse de documents :

- analyser de manière critique un texte dont l'objet est scientifique ou technique, en mobilisant ses connaissances, notamment sur les valeurs quantitatives annoncées. Être capable de vérifier la cohérence des chiffres proposés en développant un modèle simple ;
- vérifier à l'aide d'un document technique, d'une photographie ... le résultat d'une modélisation.

En lien avec la démarche expérimentale :

- l'approche « résolution de problème » peut se prêter à des activités expérimentales pour lesquelles une tâche précise sera demandée sans que la méthode ne soit donnée. Par exemple : mesurer une quantité physique donnée, comparer deux grandeurs, mettre en évidence un phénomène ... ;
- la vérification d'une modélisation sera effectuée en réalisant l'expérience. Cela peut s'effectuer en prédisant quantitativement l'issue d'une expérience, puis en effectuant les mesures pour vérifier les valeurs prédites.

En lien avec les compétences de « rédaction » :

- rédiger de manière concise et directe une solution qui a souvent été trouvée par un long cheminement.

## Approches documentaires

Dans un monde où le volume d'informations disponibles rend en pratique difficile l'accès raisonné à la connaissance, il importe de continuer le travail commencé au collège et au lycée sur la recherche, l'extraction et l'organisation de l'information afin d'en permettre l'accès en toute autonomie avec la conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné entre la méconnaissance (et donc la découverte) et la maîtrise absolue.

Le programme de physique-chimie prévoit qu'un certain nombre de rubriques, identifiées dans la colonne capacités exigibles, relèvent d'une « **approche documentaire** ». L'objectif est double ; il s'agit :

## Démarche scientifique

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver différemment en utilisant des documents au support varié (texte, vidéo, photo...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (grandes idées, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs) dans les domaines de la physique et de la chimie du XX<sup>ème</sup> et XXI<sup>ème</sup> siècle et de leurs applications.

Ces approches documentaires sont aussi l'occasion d'apporter des éléments de compréhension de la construction du "savoir scientifique" (histoire des sciences, débats d'idées, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...). Elles permettent de développer des compétences d'analyse et de synthèse. Sans que cette liste de pratiques soit exhaustive on pourra, par exemple, travailler sur un document extrait directement d'un article de revue scientifique, sur une vidéo, une photo ou sur un document produit par le professeur ; il est également envisageable de demander aux élèves de chercher eux-mêmes des informations sur un thème donné ; ce travail pourra se faire sous forme d'analyse de documents dont les résultats seront présentés aussi bien à l'écrit qu'à l'oral.

Quelle que soit la façon d'aborder ces approches documentaires, le rôle du professeur est de travailler à un niveau adapté à sa classe et d'assurer une synthèse de ce qu'il convient de retenir. Elles doivent être en cohérence avec le socle du programme. Elles peuvent être l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances ou d'approcher de nouveaux modèles mais il faut proscrire toute dérive en particulier calculatoire.

## Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la pratique de la démarche expérimentale lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la troisième partie du programme – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie. Elle permet de poursuivre la formation initiée en terminale dans le domaine de la « **mesure et des incertitudes** » et l'acquisition des capacités expérimentales présentées dans la partie « **mesures et savoir-faire** » afin qu'elles soient pratiquées en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE.

Au laboratoire de chimie, les élèves doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet de produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque.

### Mesures et incertitudes

L'importance de la composante expérimentale de la formation des étudiants des CPGE scientifiques est réaffirmée. Pour pratiquer une démarche expérimentale autonome et raisonnée, les élèves doivent posséder de solides connaissances et savoir-faire dans le domaine des mesures et des incertitudes : celles-ci interviennent aussi bien en amont au moment de l'analyse du protocole, du choix des instruments de mesure ..., qu'en aval lors de la validation et de l'analyse critique des résultats obtenus.

Les notions explicitées ci-dessous sur le thème « mesures et incertitudes » s'inscrivent dans la continuité de celles abordées dans les programmes du cycle terminal des filières STI2D et STL du lycée.

Les élèves doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure, en connaître les origines, et comprendre et s'approprier ainsi les objectifs visés par l'évaluation des incertitudes. Les compétences acquises pourront être réinvesties dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés.

Pour assurer le succès de cette formation en filière TSI, il est essentiel que ces notions diffusent dans chacun des thèmes du programme tout au long des deux années préparatoires et qu'elles soient régulièrement évaluées. Dans un souci de contextualisation, on évitera toutes séquences de cours spécifiques. L'informatique fournit aux élèves les outils nécessaires à l'évaluation des incertitudes (notamment composées) sans qu'ils soient conduits à entrer dans le détail des concepts mathématiques sous-jacents.

Notions et contenu	Capacités exigibles
Erreur ; composante aléatoire et composante systématique de l'erreur.	Utiliser le vocabulaire de base de la métrologie : mesurage, valeur vraie, grandeur d'influence, erreur aléatoire, erreur systématique.  Identifier les sources d'erreurs lors d'une mesure.
Notion d'incertitude, incertitude-type.  Évaluation d'une incertitude-type.	Savoir que l'incertitude est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être raisonnablement attribuées à la grandeur mesurée.  Procéder à l'évaluation de type A de l'incertitude-type (incertitude de répétabilité).  Procéder à l'évaluation de type B de l'incertitude-type dans des cas simples (instruments gradués) ou à l'aide de données fournies par le constructeur (résistance, multimètre, oscilloscope, thermomètre, verrerie...).



## Formation expérimentale

Incertitude-type composée.	<p>Evaluer l'incertitude-type d'une mesure obtenue à l'issue de la mise en œuvre d'un protocole présentant plusieurs sources d'erreurs indépendantes à l'aide d'une formule fournie ou d'un logiciel.</p> <p>Comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreurs.</p>
Incertitude élargie.	<p>Associer un niveau de confiance de 95 % à une incertitude élargie.</p>
Présentation d'un résultat expérimental.	<p>Exprimer le résultat d'une mesure par une valeur et une incertitude associée à un niveau de confiance.</p>
Acceptabilité du résultat et analyse du mesurage (ou processus de mesure).	<p>Commenter qualitativement le résultat d'une mesure en le comparant, par exemple, à une valeur de référence.</p> <p>Analyser les sources d'erreurs et proposer des améliorations du processus de mesure.</p>

### Mesures et savoir-faire

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les élèves doivent acquérir au cours de l'année durant les séances de travaux pratiques. Comme précisé dans le préambule consacré à la formation expérimentale, une séance de travaux pratiques s'articule autour d'une problématique, que les thèmes - repérés en gras dans le corps du programme - peuvent servir à définir.

Les capacités rassemblées ici ne constituent donc en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel : par exemple, toutes les capacités mises en œuvre autour de l'oscilloscope ne sauraient être l'objectif d'une séance unique, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

Les différentes capacités à acquérir sont, pour plus de clarté, regroupées par domaine, les deux premiers étant davantage transversaux. Cela ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale 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 décrites plus haut dans la partie consacrée à la démarche expérimentale.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<p><b>1. Mesures d'angles, de longueurs, de volume et de masse</b></p> <p>Longueurs : sur un banc d'optique.</p> <p>Longueurs : à partir d'une photo ou d'une vidéo.</p> <p>Angles : avec un goniomètre.</p>	<p>Mettre en œuvre une mesure de longueur par déplacement d'un viseur entre deux positions.</p> <p>Pouvoir évaluer avec précision, par comparaison à un étalon, une longueur (ou les coordonnées d'une position) sur une image numérique.</p> <p>Utiliser un viseur à frontale fixe, une lunette autocollimatrice.</p>

## Formation expérimentale

<p>Longueurs d'onde.</p> <p>Volume : avec une pipette, éprouvette, fiole, burette. Verrerie jaugée et graduée.</p> <p>Masse : avec une balance de précision.</p>	<p>Utiliser des vis micrométriques et un réticule pour tirer parti de la précision affichée de l'appareil utilisé.</p> <p>Étudier un spectre à l'aide d'un spectromètre à fibre optique.</p> <p>Mesurer une longueur d'onde acoustique à l'aide d'un support gradué et d'un oscilloscope bicourbe.</p> <p>Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise.</p> <p>Distinguer verrerie in et verrerie ex.</p> <p>Préparer une solution aqueuse de concentration donnée à partir d'un solide ou d'une solution de concentration molaire connue.</p>
<p>2. Mesures de temps et de fréquences</p> <p>Fréquence ou période : mesure directe au fréquencemètre numérique, à l'oscilloscope ou via une carte d'acquisition.</p> <p>Analyse spectrale.</p> <p>Décalage temporel, déphasage à l'aide d'un oscilloscope numérique.</p>	<p>Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage, et la durée totale d'acquisition.</p> <p>Effectuer l'analyse spectrale d'un signal périodique à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.</p> <p>Reconnaître une avance ou un retard.</p> <p>Passer d'un décalage temporel à un déphasage et inversement.</p> <p>Repérer précisément le passage par un déphasage de 0 ou Pi en mode XY.</p>
<p>3. Électricité</p> <p>Mesurer une tension :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique.</li> </ul> <p>Mesurer un courant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mesure directe à l'ampèremètre numérique ;</li> <li>- mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée.</li> </ul> <p>Mesurer une résistance ou une impédance :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mesure directe à l'ohmmètre ou au capacimètre ;</li> <li>- mesure indirecte à l'oscilloscope ou au voltmètre sur un diviseur de tension.</li> </ul>	<p>Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- préciser la perturbation induite par l'appareil de mesure sur le montage et ses limites (bande passante, résistance d'entrée) ;</li> <li>- définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête,...).</li> </ul>

## Formation expérimentale

<p>Caractériser un dipôle quelconque.</p> <p>Élaborer un signal électrique analogique périodique simple à l'aide d'un GBF.</p> <p>Agir sur un signal électrique à l'aide des fonctions simples suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- amplification, filtrage ;</li> <li>- sommation.</li> </ul>	<p>Tracer la caractéristique statique d'un capteur.</p> <p>Obtenir un signal de valeur moyenne, de forme, d'amplitude et de fréquence données.</p> <p>Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison masse.</p> <p>Mettre en œuvre les fonctions de base de l'électronique réalisées par des blocs dont la structure ne fait pas l'objet d'une étude spécifique.</p> <p>Associer ces fonctions de base pour réaliser une fonction complexe en gérant les contraintes liées aux impédances d'entrée et/ou de sortie des blocs.</p>
<p>4. Optique</p> <p>Former une image.</p> <p>Créer ou repérer une direction de référence.</p> <p>Analyser une lumière</p>	<p>Éclairer un objet de manière adaptée. Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, et choisir leur focale de façon raisonnée. Estimer l'ordre de grandeur d'une distance focale.</p> <p>Régler et mettre en œuvre une lunette autocollimatrice et un collimateur.</p> <p>Obtenir et analyser un spectre à l'aide d'un spectromètre.</p>
<p>5. Mécanique</p> <p>Visualiser et décomposer un mouvement.</p> <p>Mesurer une vitesse, une accélération.</p> <p>Quantifier une action.</p>	<p>Mettre en œuvre une méthode de stroboscopie. Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.</p> <p>Mettre en œuvre un capteur de vitesse, un accéléromètre.</p> <p>Utiliser un dynamomètre, un capteur de force.</p>
<p>6. Thermodynamique</p> <p>Mesurer une pression.</p> <p>Mesurer une température.</p> <p>Effectuer des bilans d'énergie.</p>	<p>Mettre en œuvre un capteur, en distinguant son caractère différentiel ou absolu.</p> <p>Mettre en œuvre un capteur de température.</p> <p>Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.</p>
<p>7. Chimie</p>	

## Formation expérimentale

Méthode conductimétrique.	Suivre un titrage par conductimétrie. Repérer l'équivalence et l'exploiter pour le calcul de la valeur d'une concentration.
Méthode pH-métrique.	Suivre un titrage par pH-métrie. Repérer l'équivalence et l'exploiter pour le calcul de la valeur d'une concentration. Déterminer la valeur d'une constante d'équilibre.
Indicateurs colorés.	Effectuer un titrage en utilisant un indicateur de fin de réaction.
Méthode potentiométrique.	Suivre un titrage par potentiométrie à intensité nulle. Exploiter la courbe de titrage pour le calcul des potentiels standard.
Cinétique chimique.	Établir une loi de vitesse à partir du suivi temporel d'une grandeur physique.

# CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

## Signaux physiques

### Présentation

Cette partie constitue le programme de physique du premier semestre. Elle est construite autour du signal physique, et du caractère central qu'occupe le signal sinusoïdal dans l'étude des systèmes linéaires. Dans le cycle terminal du lycée, les principales grandeurs physiques associées aux phénomènes physiques ont été introduites. Une approche énergétique a été mise en œuvre permettant ainsi d'installer le principe de conservation de l'énergie. Il convient maintenant de familiariser les élèves avec la modélisation de systèmes dont les grandeurs physiques varient de manière temporelle ou spatiale en se limitant dans cette partie aux grandeurs scalaires.

L'enseignement de cette partie doit faire très largement appel à la démarche expérimentale, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou de travaux pratiques.

Dans la **partie 1** consacrée à la propagation, il est indispensable 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, sans qu'aucune référence soit faite ici à une expression mathématique du signal. L'introduction de la somme de deux sinusoïdes 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 ici d'introduire l'approximation de l'optique géométrique.

La **partie 2** portant sur l'optique géométrique ne doit pas être enseignée ou évaluée pour elle-même mais avec comme seuls objectifs de servir de point d'appui pour des approches expérimentales en première année et pour l'étude de l'optique physique en deuxième année.

La **partie 3** présente l'aspect corpusculaire de la lumière, son interaction avec la matière et les conséquences de la théorie des quanta sur le fonctionnement d'une diode électroluminescente ou d'une cellule photovoltaïque. On évitera tout développement théorique ; ainsi, on admettra l'existence de deux bandes d'énergie dans un semi-conducteur, la bande de conduction et la bande de valence, séparées par une bande interdite inaccessible aux électrons. On pourra profiter de l'occasion pour faire un peu d'histoire des sciences et pour sensibiliser les élèves aux limites d'une théorie : évoquer le problème de la stabilité des atomes dans le modèle de Bohr, les spectres de raies des lampes spectrales, le rayonnement du corps noir, l'effet photoélectrique ... autant de questionnements qui ont conduit à l'émergence d'une nouvelle physique à l'origine des révolutions technologiques du 20<sup>ème</sup> et du 21<sup>ème</sup> siècle.

La **partie 4** pose les bases nécessaires pour l'étude des circuits dans l'Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS). Compte tenu du peu de connaissances acquises au lycée dans ce domaine, le choix a été fait de se concentrer sur les dipôles R, L et C. Bien entendu, les travaux pratiques peuvent faire appel à des composants intégrés ou non linéaires (amplificateurs linéaires intégrés ALI, filtres à capacité commutée, échantillonneur-bloqueur, diodes, photorésistances, capteurs...) dès lors qu'aucune connaissance préalable n'est nécessaire.

Les **parties 5 et 6** abordent l'étude des systèmes linéaires du premier et du second ordre en régime libre puis forcé, et une introduction au filtrage linéaire. Il s'agit avant tout de comprendre les principes des outils utilisés, et l'exploitation de tels outils pour analyser l'évolution des signaux dans un système linéaire. Ainsi l'évaluation ne peut-elle porter sur le tracé d'un diagramme de Bode à partir d'une fonction de transfert, ou sur la connaissance a priori de catalogues de filtres, même s'il va de soi que le professeur pourra, s'il le souhaite, détailler sur l'exemple simple d'un filtre du premier ordre le passage de la fonction de transfert au diagramme de Bode. L'objectif est bien plutôt ici de comprendre le rôle central de la linéarité des systèmes pour interpréter le signal de sortie d'après le spectre du signal d'entrée. L'étude de régimes libres à partir d'un portrait de

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

phases est une première introduction à l'utilisation de tels outils qui seront enrichis dans le cours de mécanique pour aborder la physique non linéaire.

La présentation de la partie mécanique de la partie 6 doit, dans mesure du possible, s'appuyer sur des systèmes réels et concrets choisis par le professeur. Par exemple, on peut envisager d'étudier une suspension de voiture: la modélisation porterait tout d'abord sur le ressort seul (6-1), mettant ainsi en évidence la nécessité d'intégrer un système de dissipation de l'énergie cinétique amortissant les oscillations du véhicule (6-2). Le système global permet de filtrer les irrégularités de la chaussée (6-3). On privilégiera l'utilisation de l'outil numérique.

La fonction filtrage est présentée en physique. En SII, l'opération de filtrage se limite à une approche par gabarit et les filtres seront mis en œuvre dans le contexte de la mesure sur un système.

### Objectifs généraux de formation

Outre la maîtrise des compétences reliées aux notions abordées, cette partie a pour vocation l'acquisition par l'étudiant des compétences transversales suivantes :

- comprendre le rôle joué par une équation différentielle dans la modélisation de l'évolution temporelle d'un système ;
- comprendre sa traduction dans un portrait de phases ;
- relier linéarité et superposition ;
- exploiter la décomposition sinusoïdale d'un signal pour prévoir son évolution à travers un système linéaire ;
- interpréter physiquement et distinguer les représentations spatiales et temporelles d'un signal qui se propage ;
- dégager les similitudes de comportement entre systèmes analogues par une mise en équation pertinente utilisant variables réduites et paramètres caractéristiques adimensionnés ;
- réaliser des constructions graphiques claires et précises pour appuyer un raisonnement ou un calcul.

Il importe toutefois de réaliser qu'à l'issue de cette partie de programme, ces compétences ne sauraient être complètement acquises, et qu'il convient d'y revenir à chaque fois que l'occasion s'en présente dans la suite de la formation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Propagation d'un signal	
Exemples de signaux, spectre.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.  Connaître quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustiques et électromagnétiques.
Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle linéaire non dispersive. Célérité, retard temporel.	Prévoir dans le cas d'une onde progressive pure l'évolution temporelle à position fixée, et prévoir la forme à différents instants.
Onde progressive sinusoïdale : déphasage, double périodicité	Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.

© Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

spatiale et temporelle.	<b>Mesurer la célérité, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire.</b>
Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence.	<b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes.</b>  Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives.
<b>Diffraction à l'infini.</b>	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>
<b>2. Optique géométrique</b>	
Sources lumineuses.  Modèle de la source ponctuelle monochromatique.	Caractériser une source lumineuse par son spectre.
Indice d'un milieu transparent.	Établir la relation entre la longueur d'onde dans le vide et la longueur d'onde dans le milieu.
Approximation de l'optique géométrique et notion de rayon lumineux.	Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites.
Réflexion - Réfraction. Lois de Descartes.	Établir la condition de réflexion totale.
Miroir plan.	Construire l'image d'un objet, identifier sa nature réelle ou virtuelle.
<b>Conditions de Gauss.</b>	Énoncer les conditions permettant un stigmatisme approché et les relier aux caractéristiques d'un détecteur.
<b>Lentilles minces.</b>	Utiliser les définitions et les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence.  Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide des rayons lumineux.  Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal fournies (Descartes uniquement).  <b>Mettre en oeuvre expérimentalement à l'aide de deux lentilles un dispositif optique d'utilisation courante.</b>
L'œil.	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 numérique.	Approche documentaire : en comparant des images produites par un appareil photographique numérique, discuter l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image et le rôle du capteur sur la qualité de cette

© Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

	image.
<b>3. Aspect corpusculaire de la lumière</b>	
Dualité onde-particule pour la lumière et la matière. Énergie d'un photon et d'un flux de photons.	Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière.  Quantifier l'énergie reçue par une cellule photovoltaïque.  Exploiter des données techniques de performances d'une diode électroluminescente (efficacité énergétique, durée de vie, température de couleur, IRC ...).
<b>4. Circuits électriques dans l'ARQS</b>	
Charge électrique, intensité du courant.  Potentiel, référence de potentiel, tension.  Dipôles : résistances, condensateurs, bobines, sources décrites par un modèle linéaire.	Exprimer une charge électrique sous forme quantifiée. Distinguer la nature des différents porteurs de charges et les origines du courant électrique.  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 mailles.  Algébriser les grandeurs électriques et connaître les conventions récepteur et générateur.  Connaître les ordres de grandeur des intensités et des tensions dans différents domaines d'application.  Citer les relations entre l'intensité et la tension et les ordres de grandeurs pour les composants R, L, C.  Modéliser une source non idéale en utilisant la représentation de Thévenin.
Puissance.	Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance.  Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur ou dans une bobine.
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.	<b>Étudier l'influence de ces résistances sur le signal délivré par un GBF sur la mesure effectuée par un oscilloscope ou un multimètre.</b>  Extraire les grandeurs d'une notice ou d'un appareil afin d'appréhender les conséquences de leurs valeurs sur le

© Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013



## CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

	fonctionnement d'un circuit.
Caractéristique d'un dipôle. Point de fonctionnement	<b>Étudier la caractéristique d'un dipôle pouvant être éventuellement non-linéaire et mettre en œuvre un capteur dans un dispositif expérimental</b>
5. Circuit linéaire du premier ordre	
Régime libre, réponse à un échelon.	<p><b>Réaliser, pour un circuit, l'acquisition d'un régime transitoire du premier ordre et analyser ses caractéristiques. Confronter les résultats expérimentaux aux expressions théoriques.</b></p> <p>Distinguer sur un relevé expérimental, régime transitoire et régime permanent au cours de l'évolution d'un système du premier ordre soumis à un échelon.</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 dans une bobine.</p> <p>Établir la relation différentielle du premier ordre vérifiée par une grandeur électrique dans un circuit comportant une ou deux mailles.</p> <p>Prévoir qualitativement l'évolution du système avant toute résolution de l'équation différentielle.</p>
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser des bilans énergétiques.
6. Comportement dynamique d'un système au voisinage d'une position d'équilibre stable. Réponse à une excitation	
6-1. Oscillation harmonique	
Mouvement horizontal sans frottement d'une masse accrochée à un ressort linéaire sans masse. Position d'équilibre.	<p>Établir et reconnaître l'équation différentielle qui caractérise un oscillateur harmonique.</p> <p>Exprimer la solution compte tenu des conditions initiales.</p> <p>Caractériser le mouvement en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence, de pulsation.</p> <p>Tracer le portrait de phase.</p> <p>Contrôler la cohérence de la solution obtenue avec la conservation de l'énergie mécanique, l'expression de l'énergie potentielle élastique étant ici affirmée.</p> <p>Déterminer, en s'appuyant uniquement sur des arguments physiques et une analyse dimensionnelle, la position d'équilibre et le mouvement d'une masse fixée à un ressort vertical.</p>
6-2. Oscillateurs amortis Circuit RLC série et oscillateur	<b>Mettre en évidence la similitude des comportements des</b>

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

<p>mécanique amorti par frottement visqueux.</p> <p>Régime sinusoïdal forcé, impédances complexes. Association de deux impédances. Oscillateur électrique ou mécanique soumis à une excitation sinusoïdale. Résonance.</p>	<p><b>oscillateurs mécanique et électronique. Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques.</b></p> <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>Prévoir l'évolution du système en utilisant un portrait de phase fourni.</p> <p>Écrire sous forme canonique la relation différentielle afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité.</p> <p>Connaître la nature de la réponse en fonction du facteur de qualité.</p> <p>Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire, selon la valeur du facteur de qualité. Établir et connaître l'impédance d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine en régime harmonique. Remplacer une association série ou parallèle de deux impédances par une impédance équivalente.</p> <p><b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental autour du phénomène de résonance.</b></p> <p>Utiliser la méthode des complexes pour étudier le régime forcé.</p> <p>A l'aide d'un outil de résolution numérique, mettre en évidence le rôle du facteur de qualité pour l'étude de la résonance en élongation ou en tension.</p> <p>Relier l'acuité d'une résonance au facteur de qualité.</p> <p>Déterminer la pulsation propre et le facteur de qualité à partir de graphes expérimentaux d'amplitude et de phase.</p>
<p>6.3. Filtrage linéaire Signaux périodiques.</p> <p>Gabarit d'un filtre. Fréquences de coupure.</p> <p>Fonction de transfert harmonique. Diagrammes de Bode.</p>	<p>Exploiter le spectre d'un signal périodique ; déterminer la composante continue, le fondamental et les harmoniques.</p> <p>Définir la valeur moyenne et la valeur efficace. Reconnaître les gabarits des filtres passe-bas, passe-haut et passe-bande.</p> <p>Déterminer qualitativement le spectre du signal de sortie d'un filtre, le spectre du signal d'entrée et le gabarit ou le diagramme de Bode du filtre étant donnés.</p> <p>Prévoir le comportement d'un filtre en hautes et basses</p>

© Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

<p>Modèles simples de filtres passifs: passe-bas et passe-haut d'ordre 1, passe-bas et passe-bande d'ordre 2.</p>	<p>fréquences.</p> <p>Utiliser une fonction de transfert donnée d'ordre 1 ou 2 et ses représentations graphiques pour l'étude de la réponse d'un système linéaire à une excitation sinusoïdale, à une somme finie d'excitations sinusoïdales.</p> <p>Utiliser les échelles logarithmiques et interpréter les zones rectilignes des diagrammes de Bode d'après l'expression de la fonction de transfert.</p> <p><b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental illustrant la fonction de filtrage d'un système linéaire.</b></p> <p>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.</p> <p>Approche documentaire : expliquer la nature du filtrage introduit par un dispositif mécanique (sismomètres, amortisseurs, accéléromètre...).</p> <p><b>Étudier le filtrage linéaire d'un signal non sinusoïdal à partir d'une analyse spectrale.</b></p>
---	--

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

### Transformation de la matière

La chimie est une science de la nature, science de la matière et de sa transformation. Afin d'approcher la chimie par un angle macroscopique, ce sont les espèces chimiques et les transformations de la matière qui seront abordées en premier lieu. Les exemples choisis seront nombreux afin d'illustrer la variété de domaines concernés par cette discipline. L'approche expérimentale sera privilégiée.

Dans un premier temps, les outils nécessaires à la description et l'évolution d'un système chimique seront présentés. On se limite alors à un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique symbolisée par une équation chimique à laquelle est associée une constante d'équilibre thermodynamique. Sur des exemples variés de transformations chimiques rencontrées dans la vie courante, au laboratoire, dans le monde du vivant ou en milieu industriel, on prévoit le sens d'évolution de systèmes homogènes ou hétérogènes et on en détermine la composition à l'état final. Les capacités travaillées au premier semestre seront réinvesties au second semestre, dans le cas particulier des transformations chimiques en solution aqueuse. Cette partie du programme permet ainsi de rappeler et de réinvestir les acquis du lycée concernant les transformations acido-basiques et d'oxydo-réduction.

Dans un deuxième temps, l'évolution temporelle des systèmes chimiques sera étudiée. Cette partie va permettre d'accéder à la vitesse de la réaction chimique étudiée d'abord dans le cas d'un réacteur fermé parfaitement agité. L'approche expérimentale permettra de dégager les différents facteurs cinétiques que sont les concentrations, la présence ou non d'un catalyseur et la température. Si la réaction chimique admet un ordre, le suivi temporel de la transformation chimique doit permettre l'établissement de la loi de vitesse. La notion d'ordre émergera du suivi temporel d'une transformation chimique. D'un point de vue expérimental, il pourra s'agir de la mesure de l'absorbance ou de la conductivité du milieu réactionnel. L'outil informatique sera mis à profit pour établir la loi cinétique à partir de ce suivi.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. La transformation de la matière	
Transformations de la matière. Transformations physique, chimique, nucléaire.	Reconnaître la nature d'une transformation.
Transformations physiques. États de la matière : gaz, liquide, solide cristallin, solide amorphe et solide semi-cristallin. Notion de phase.	Reconnaître une transformation allotropique.
Système physico-chimique. Constituants physico-chimiques.	Recenser les constituants physico-chimiques présents dans un système. Utiliser de manière précise le vocabulaire : élément, corps simple, corps composé, corps pur, espèce chimique. Déterminer la masse molaire d'une espèce chimique.

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

<p>Mole, masse molaire.</p> <p>Corps purs et mélanges : concentration molaire, fraction molaire, pression partielle. Composition d'un système physico-chimique.</p>	<p>Décrire la composition d'un système à l'aide des grandeurs physiques pertinentes.</p>
<p>Transformation chimique. Réaction chimique : équation de réaction, avancement, constante thermodynamique d'équilibre.</p>	<p>Décrire qualitativement et quantitativement un système chimique dans l'état initial ou dans un état d'avancement quelconque.</p>
<p>Évolution d'un système lors d'une transformation chimique modélisée par une réaction chimique unique: activité, quotient réactionnel, critère d'évolution.</p>	<p><b>Déterminer une constante d'équilibre.</b></p> <p>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. Exprimer le quotient réactionnel. Prévoir le sens d'évolution spontanée d'un système chimique.</p>
<p>Composition chimique du système dans l'état final : état d'équilibre chimique, transformation totale.</p>	<p>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.</p>
<p>2. Évolution temporelle des systèmes chimiques</p>	
<p><i>Dans le cas d'un réacteur fermé de composition uniforme :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- vitesses de disparition d'un réactif et de formation d'un produit ;</li> <li>- vitesse de réaction pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</li> </ul>	<p><b>Déterminer l'influence d'un paramètre sur la vitesse d'une réaction chimique.</b></p> <p>Relier la vitesse de réaction à la vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit.</p>
<p><i>Lois de vitesse : réactions sans ordre, réactions avec ordre simple (0, 1, 2), ordre global, ordre apparent.</i></p> <p>Temps de demi-réaction.</p>	<p><b>Établir une loi de vitesse à partir du suivi temporel d'une grandeur physique.</b></p> <p>Exprimer la loi de vitesse quand la réaction chimique admet un ordre et déterminer la valeur de la constante cinétique à une température donnée. Évaluer un ordre de réaction à l'aide de la méthode différentielle ou à l'aide des temps de demi-réaction.</p>

### Architecture de la matière

Depuis la classe de seconde, les élèves ont appréhendé différentes notions relatives à l'architecture de la matière. L'objectif de cette partie est de compléter ces connaissances. Pour cela, l'étude est centrée sur la classification périodique des éléments, outil important du chimiste ; le programme vise à développer les capacités relatives à son utilisation : extraction des informations qui y sont contenues, prévisions de réactivité des corps simples, prévision de la nature de la liaison chimique dans les corps composés...

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

La quantification des niveaux d'énergie et l'introduction des nombres quantiques seront l'occasion pour le professeur de faire le lien avec le bloc « modèle corpusculaire de la lumière » de la partie « Signaux physiques » du programme de physique.

L'objectif de la deuxième partie est de proposer une représentation simple d'entités chimiques moléculaires à l'aide du modèle de Lewis. On ne l'applique qu'à des structures contenant les éléments C, H, O et N. On pourra montrer, sur quelques exemples, les limites du modèle de Lewis. Quelques notions sur les cristaux parfaits terminent cette partie. Aucun calcul de cristallographie n'est au programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1. Classification périodique des éléments</b>	
Atomes et éléments. Electrons, protons, neutrons  Le noyau : nombres $Z$ , $A$ , isotopes.	Donner la composition d'un élément à partir de $A$ et $Z$ .  Comparer les ordres de grandeur de la dimension d'un atome à celle de son noyau. Estimer l'ordre de grandeur de la masse d'un atome.
Nombres quantiques $n$ , $l$ , $m_l$ et $m_s$ .	Établir un diagramme qualitatif des niveaux d'énergie électronique d'un atome donné.
Configuration électronique d'un atome et d'un ion monoatomique. Électrons de cœur et de valence	Établir la configuration électronique d'un atome dans son état fondamental (la connaissance des exceptions à la règle de Klechkowski n'est pas exigible).  Prévoir la formule des ions monoatomiques d'un élément.
Classification périodique des éléments.	Relier la position d'un élément dans le tableau périodique à la configuration électronique et au nombre d'électrons de valence de l'atome correspondant. Positionner et reconnaître dans le tableau périodique métaux et non métaux. Situer dans le tableau les familles suivantes et énoncer leurs caractéristiques : métaux alcalins halogènes et gaz nobles.
<b>2. Molécules et cristaux</b>	
Description des entités chimiques moléculaires. Schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique constitué des éléments C, H, O et N. Liaison covalente localisée (modèle limite).	Utiliser la règle de l'octet et du duet.
Modèle du cristal parfait.  Exemples de cristaux métalliques, ioniques et covalents.	Décrire un cristal parfait comme un assemblage de mailles parallélépipédiques. Sur des mailles simples, reconnaître la formule chimique qui représente le solide.  <b>Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et des sites interstitiels et pour déterminer des paramètres géométriques.</b>

# CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

## Mécanique

### Présentation

Après la partie « signaux physiques » du programme où on ne s'intéresse qu'à des grandeurs scalaires associées à au plus une variable d'espace ou de temps, la partie « mécanique » constitue une entrée concrète vers la manipulation de grandeurs vectorielles associées à plusieurs variables d'espace.

Le programme de mécanique s'inscrit dans le prolongement du programme du cycle terminal des séries technologiques qui privilégie une approche énergétique. L'objectif majeur est la maîtrise opérationnelle des lois fondamentales (loi de l'inertie, principe fondamental de la dynamique, loi du moment cinétique, loi de l'énergie cinétique, loi des actions réciproques). On se limite à l'étude de la mécanique dans un référentiel galiléen.

La **partie 1** donne des éléments de cinématique du point (les exemples étant limités aux mouvements plans) et de cinématique du solide (limitée aux cas de la translation et de la rotation autour d'un axe fixe). Il convient de construire les outils sans formalisme excessif en motivant l'étude par des exemples réels, tirés par exemple d'expériences de cours et d'enregistrements vidéo. Ainsi, l'introduction des systèmes de repérage est illustrée par le mouvement à accélération constante pour le cas du repérage cartésien et par le cas du mouvement circulaire pour le repérage polaire. Il importe d'être conscient que la géométrie est peu étudiée dans les cours de mathématiques : à cet égard la compréhension du rôle de l'accélération normale dans un mouvement curviligne plan quelconque est une compétence attendue mais tout calcul à ce sujet est hors de portée des élèves qui ne connaissent pas la géométrie différentielle (rayon de courbure, trièdre de Frenet). Pour le solide en rotation autour d'un axe fixe, il s'agit simplement de définir le mouvement par le fait que tout point du solide décrit un cercle autour de l'axe avec une même vitesse angulaire  $\omega$  et d'explicitier la vitesse de chaque point en fonction de  $\omega$  et de la distance à l'axe de rotation : la connaissance du vecteur-rotation n'est pas exigible même s'il est recommandé d'en parler pour que les élèves puissent faire le lien avec le cours de SII.

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

Dans la **partie 3**, l'étude du mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe gardant une direction fixe dans un référentiel galiléen mais pour lequel l'axe de rotation ne serait pas fixe est exclue. Il est essentiel de faire le lien avec le cours de SII et de bien faire comprendre aux élèves que dans le cas particulier d'un solide en mouvement autour d'un axe fixe, une équation scalaire est suffisante pour caractériser le mouvement.

### Objectifs généraux de formation

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

La mécanique doit contribuer par-ailleurs plus particulièrement à développer des compétences transversales suivantes.

- faire preuve de rigueur : définir un système, procéder à un bilan complet des forces appliquées ;
- faire preuve d'autonomie : choisir un référentiel, choisir un système de repérage, identifier les inconnues, choisir une méthode de mise en équations lorsque plusieurs méthodes sont possibles ;
- modéliser une situation : choisir un niveau de modélisation adapté ; prendre conscience des limites d'un modèle ; comprendre l'intérêt de modèles de complexité croissante (prise en compte des frottements, des effets non-linéaires) ;
- utiliser divers outils (discussions graphiques, résolution analytique, résolution numérique) pour confronter les informations qu'ils fournissent sur la ou les équations différentielles modélisant l'évolution temporelle d'un système ;
- identifier et utiliser des grandeurs conservatives ;
- rechercher les paramètres significatifs d'un problème ;
- mener un raisonnement qualitatif ou semi-quantitatif rigoureux ;
- faire apparaître et exploiter des analogies : circuit RLC en électrocinétique, pendule simple aux petits angles et système masse-ressort ;
- schématiser une situation et en étayer l'analyse à l'aide d'un schéma pertinent (bilan des forces...) ;
- confronter les résultats d'une étude à ce qu'on attendait ou à des observations.

Pour que l'ensemble de ces compétences soit pleinement développé, il est indispensable de ne pas proposer aux étudiants exclusivement des situations modélisées à l'extrême (masse accrochée à un ressort...) et de ne pas se limiter à des situations débouchant sur la résolution analytique d'une équation différentielle. L'étude approfondie d'un nombre limité de dispositifs réels doit être préférée à l'accumulation d'exercices standardisés.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Éléments de cinématique	
1.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point	
Espace et temps classiques. Référentiel d'observation. Caractère relatif du mouvement. Description d'un mouvement. Vecteur-position, vecteur-vitesse, vecteur-accélération.	<b>Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.</b>
Systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques.	Utiliser les expressions des composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur-accélération dans le seul cas des coordonnées cartésiennes et polaires.  Choisir un système de coordonnées adapté au problème posé.
Mouvement rectiligne à accélération constante.	Exprimer la vitesse et la position en fonction du temps.

© Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013



## CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

Mouvement courbe de vecteur-accélération constant.	Prévoir qualitativement les mouvements projetés sur des axes parallèle et perpendiculaire au vecteur accélération.
Mouvement circulaire uniforme et non uniforme.	Exprimer les composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur-accélération en coordonnées polaires.  Identifier 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.
1.2 Description du mouvement d'un solide dans deux cas particuliers.	
Définition d'un solide.	Distinguer un solide d'un système déformable.
Translation.	Reconnaître et décrire une translation rectiligne, une translation circulaire.
Rotation autour d'un axe fixe.	Décrire la trajectoire d'un point quelconque du solide et exprimer sa vitesse en fonction de sa distance à l'axe et de la vitesse angulaire.
<b>2. Mécanique newtonienne</b>	
<b>2.1 Principe fondamental de la dynamique</b>	
Notions sur les quatre interactions fondamentales.	Distinguer les interactions de portée illimitée de celles dont la portée est limitée à la dimension du noyau atomique.
Forces. Loi des actions réciproques.	Utiliser les forces usuelles (en particulier : poids, force de rappel d'un ressort, tension d'un fil, forces de frottements fluide et solide, poussée d'Archimède)  Établir un bilan des forces et en rendre compte sur une figure.
Quantité de mouvement d'un point matériel	Utiliser l'expression de la quantité de mouvement d'un point matériel.
Référentiel galiléen. Loi de l'inertie.	Définir le mouvement relatif d'un référentiel galiléen par rapport à un autre référentiel galiléen.
Quantité de mouvement d'un point. Principe fondamental de la dynamique dans un référentiel galiléen.	Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel ou du centre d'inertie d'un solide.
Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme.	Mettre en équation le mouvement sans frottement et le caractériser comme un mouvement à vecteur-accélération constant.
Influence de la résistance de l'air.	Prendre en compte par une approche numérique des frottements fluides pour modéliser une situation réelle.  Exploiter numériquement une équation différentielle sans la résoudre analytiquement : analyse en ordres de grandeur, détermination de la vitesse limite, utilisation d'un logiciel d'intégration numérique.  <b>Proposer un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.</b>
Pendule simple.	Établir l'équation du mouvement du pendule simple.

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

	<p>Justifier l'analogie avec l'oscillateur harmonique dans le cadre de l'approximation linéaire.</p> <p>Établir l'équation du portrait de phase (intégrale première) dans ce cadre et le tracer.</p>
Lois de Coulomb du frottement de glissement dans le seul cas d'un solide en translation.	<p>Exploiter les lois de Coulomb fournies dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage.</p> <p>Formuler une hypothèse (quant au glissement ou non) et la valider.</p> <p><b>Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de mesurer un coefficient de frottement solide.</b></p>
<b>2.2 Approche énergétique du mouvement d'un point matériel.</b>	
Puissance et travail d'une force.	Reconnaitre le caractère moteur ou résistant d'une force.
Loi de l'énergie cinétique et loi de la puissance cinétique dans un référentiel galiléen.	Utiliser la loi appropriée en fonction du contexte.
Energie potentielle. Énergie mécanique.	Utiliser les expressions des énergies potentielles de pesanteur (champ uniforme) et de l'énergie potentielle élastique.
Mouvement conservatif.  Mouvement conservatif à une dimension.	<p>Distinguer force conservative et force non conservative. Reconnaitre les cas de conservation de l'énergie mécanique. Utiliser les conditions initiales.</p> <p>Déduire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement qualitatif : trajectoire bornée ou non, mouvement périodique, positions de vitesse nulle.</p>
Positions d'équilibre. Stabilité.	Déduire d'un graphe d'énergie potentielle l'existence de positions d'équilibre, et la nature stable ou instable de ces positions.
<b>3. Mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe fixe</b>	
Moment cinétique scalaire d'un solide en rotation autour d'un axe. Moment d'inertie.	<p>Utiliser la relation pour le solide entre le moment cinétique scalaire, la vitesse angulaire de rotation et le moment d'inertie fourni.</p> <p>Relier qualitativement le moment d'inertie à la répartition des masses.</p>
Moment d'une force par rapport à un axe orienté.  Couple.  Liaison pivot.	<p>Calculer le moment d'une force par rapport à un axe orienté.</p> <p>Définir un couple de forces, le moment d'un couple.</p> <p>Définir une liaison pivot et justifier la valeur du moment. Faire le lien avec les torseurs d'actions vus en SII, distinguer moment et résultante.</p>
Loi scalaire du moment cinétique appliquée 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.

© Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

Pendule pesant.	<p>Etablir l'équation du mouvement.</p> <p>Expliquer l'analogie avec l'équation de l'oscillateur harmonique. Établir une intégrale première du mouvement.</p> <p>Lire et interpréter le portrait de phase : bifurcation entre un mouvement pendulaire et un mouvement révolutif.</p> <p>Utiliser un logiciel d'intégration numérique ou des simulations pour mettre en évidence le non isochronisme des oscillations.</p> <p><b>Réaliser l'acquisition expérimentale du portrait de phase d'un pendule pesant. Mettre en évidence une diminution de l'énergie mécanique du pendule.</b></p>
Énergie cinétique d'un solide en rotation.	Utiliser l'expression de l'énergie cinétique, le moment d'inertie étant fourni.
Loi de l'énergie cinétique.	Constater l'équivalence dans ce cas entre la loi scalaire du moment cinétique et celle de l'énergie cinétique.

# CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

## Induction et conversion électromécanique

### Présentation

Cette partie est nouvelle pour les étudiants pour lesquels seule une approche descriptive du champ magnétique a fait l'objet d'une présentation en classe de terminale dans les séries technologiques. Elle a pour objectif d'installer les concepts de base permettant de modéliser les phénomènes de conversion électromagnétique. Le point de vue adopté cherche à mettre l'accent sur les phénomènes et sur la modélisation sommaire de leurs applications. On se limitera aux structures ne comportant pas de matériaux magnétiques. L'étude sera menée à partir du flux magnétique en n'envisageant que des champs magnétiques uniformes à l'échelle de la taille des systèmes étudiés. 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, dans la géométrie des rails de Laplace.

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 « Champ magnétique »** vise à faire le lien avec le programme de terminale et à permettre à l'étudiant de disposer des outils minimaux nécessaires ; l'accent est mis sur le concept de champ vectoriel, sur l'exploitation des représentations graphiques et sur la connaissance d'ordres de grandeur.

Dans la **partie 2 « Forces de Laplace »**, la force de Laplace est introduite sans référence à la force de Lorentz. Il s'agit de se doter d'expressions opérationnelles pour étudier le mouvement dans un champ uniforme.

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

La **partie 4 « Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps »** aborde le phénomène d'auto-induction puis le couplage par mutuelle entre deux circuits fixes. Elle traite du modèle du transformateur parfait et propose une approche documentaire de la production et du transport de l'énergie électrique. En SII les transformateurs pourront être utilisés dans le cadre de l'étude de systèmes en faisant référence au cours de physique.

La **partie 5 « Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire »** présente des systèmes simples de conversion de puissance.

Enfin, la **partie 6 « Convertisseurs électromécaniques »** présente les convertisseurs de puissance les plus courants. Les principes de fonctionnement sont expliqués qualitativement et l'étude se focalise sur le transfert d'énergie et son caractère réversible. Cette partie doit mettre en évidence la limitation en puissance des dispositifs n'utilisant pas de matériaux magnétiques et les limites du modèle de la force de Laplace.

### Objectifs généraux de formation

Outre la maîtrise des capacités reliées aux notions abordées, cette partie a pour vocation l'acquisition par l'étudiant des compétences transversales suivantes :

- maîtriser les notions de champ de vecteurs et de flux d'un champ de vecteurs ;
- évaluer les actions d'un champ magnétique sur un circuit parcouru par un courant ou, par analogie, sur un aimant ;
- utiliser la notion de moment magnétique ;
- évaluer des ordres de grandeur ;

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

- analyser qualitativement les systèmes où les phénomènes d'induction sont à prendre en compte ;
- maîtriser les règles d'orientation et leurs conséquences sur l'obtention des équations mécaniques et électriques ;
- effectuer des bilans énergétiques ;
- connaître des applications relevant du domaine de l'industrie ou de la vie courante où les phénomènes d'induction sont présents et déterminants dans le fonctionnement des dispositifs ;
- mettre en œuvre des expériences illustrant la manifestation des phénomènes d'induction.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1. 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.  Identifier 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.  Par analogie avec une boucle de courant, associer à un aimant un moment magnétique.
<b>2. Forces de Laplace</b>	
Résultante et puissance des forces de Laplace s'exerçant sur une barre conductrice en translation rectiligne sur deux rails parallèles (rails de Laplace) dans un champ magnétique extérieur uniforme, stationnaire et orthogonal à la barre.	Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme.  Établir et connaître l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire.  Évaluer la puissance des forces de Laplace.
Couple et puissance des actions mécaniques de Laplace dans le cas d'une spire rectangulaire, parcourue	Établir et connaître l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique de la spire rectangulaire.

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux de cotés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.	
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>
Création d'un mouvement circulaire	<b>Mettre en mouvement de rotation une aiguille aimantée grâce au champ magnétique créé par plusieurs bobines.</b>
<b>3. Lois de l'induction</b>	
Flux d'un champ magnétique.  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.
Loi de Faraday.  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 modulation 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'algèbrisation.
<b>4. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps</b>	
Auto-induction. Flux propre et inductance propre.  Étude énergétique.	Différencier le flux propre des flux extérieurs.  Utiliser la loi de modulation 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>  Conduire 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.
Cas de deux bobines en interaction. Inductance mutuelle entre deux bobines.	Déterminer l'inductance mutuelle entre deux bobines de même

© Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

	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.	Conduire un bilan de puissance et d'énergie.
Transformateur de tension parfait.	Établir la loi des tensions.
Production et transport de l'énergie électrique.	Approche documentaire : <ul style="list-style-type: none"> <li>• mobiliser les connaissances acquises pour expliquer le principe d'une chaîne de production et de transport d'énergie électrique.</li> <li>• connaître des ordres de grandeur de la puissance consommée ou produite par une lampe, un téléviseur, un radiateur électrique, une éolienne, un barrage, une centrale nucléaire.</li> </ul>
<b>5. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire</b>	
Conversion de puissance mécanique en puissance électrique. Rail de Laplace.  Freinage par induction.	Interpréter qualitativement les phénomènes observés.  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.  Expliquer l'origine des courants de Foucault et en connaître des exemples d'utilisation.  <b>Mettre en évidence qualitativement les courants de Foucault.</b>
Conversion de puissance électrique en puissance mécanique. Haut-parleur électrodynamique.  Moteur à courant continu à entrefer plan.	Expliquer le principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique.  Utiliser la relation entre la puissance de la force de Laplace et la puissance électrique.  Effectuer un bilan énergétique.  Expliquer le principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu à entrefer plan en utilisant les forces de Laplace.

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

6. Convertisseurs électromécaniques	
Moteur à courant continu, machine synchrone, machine asynchrone.	Décrire qualitativement les principes des machines.  Expliquer les avantages et inconvénients des différentes machines et donner des exemples d'utilisation.  <b>Effectuer un bilan énergétique.</b>
Pilotage des moteurs.	<b>Modifier le fonctionnement des moteurs (vitesse ou couple) en agissant sur certains paramètres électriques.</b>



## Thermodynamique

### Présentation

Dans le cycle terminal de la filière technologique du lycée, les élèves ont été confrontés à la problématique des transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques. L'énergie interne d'un système a été introduite puis reliée à la grandeur température via la capacité thermique dans le cas d'une phase condensée. Les étudiants ont alors été amenés à se questionner sur le moyen de parvenir à une modification de cette énergie interne ce qui a permis d'introduire le premier principe et les deux types de transfert énergétique, le travail et le transfert thermique.

Après avoir mis l'accent sur le passage fondamental d'une réalité microscopique à des grandeurs mesurables macroscopiques, cette partie propose, en s'appuyant sur des exemples concrets, de poursuivre la description et l'étude de la matière à l'échelle macroscopique, l'objectif étant de d'aborder des applications concrètes et motivantes. Les capacités identifiées doivent être introduites en s'appuyant dès que possible sur des dispositifs expérimentaux permettant ainsi leur acquisition progressive et authentique. Ces capacités se limitent à l'étude du corps pur subissant des transformations finies, excluant ainsi toute thermodynamique différentielle : le seul recours à une quantité élémentaire intervient lors de l'évaluation du travail algébriquement reçu par un système par intégration du travail élémentaire. En particulier, pour les bilans finis d'énergie, les expressions des fonctions d'état  $U_m(T, V_m)$  et  $H_m(T, P)$  seront données si le système ne relève pas du modèle gaz parfait ou du modèle de la phase condensée incompressible et indilatable. Pour les bilans finis d'entropie, l'expression de la fonction d'état entropie sera systématiquement donnée et on ne s'intéressera pas à sa construction.

Le cours de thermodynamique de première année prépare à l'application des principes aux machines thermiques avec écoulement stationnaire développées en deuxième année. C'est dans ce cadre, qu'une approche documentaire (principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire) est proposée à la fin du cours et dont l'objet est de faire le lien avec les applications industrielles de la thermodynamique abordées en deuxième année.

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

### Objectifs généraux de formation

Il est essentiel de bien situer le niveau de ce cours de thermodynamique comme une initiation à un domaine complexe dont le traitement complet relève de la physique statistique inabordable à ce stade. On s'attachera néanmoins, de façon prioritaire, à la rigueur des raisonnements mis en place (définition du système, lois utilisées...).

Outre la maîtrise des capacités reliées aux notions abordées, cette partie a pour vocation l'acquisition par l'étudiant des compétences transversales suivantes :

- définir un système qui permette de faire les bilans nécessaires à l'étude ;
- faire le lien entre un système réel et sa modélisation ;
- comprendre qu'il peut exister plusieurs modèles de complexité croissante pour rendre compte des observations expérimentales ;
- utiliser des tableaux de données ou des représentations graphiques complexes.

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre	
Échelles microscopique et macroscopique.	Citer l'ordre de grandeur du nombre d'Avogadro.
Système thermodynamique.	Définir si un système est ouvert, fermé, isolé.
État d'équilibre d'un système soumis aux seules forces de pression: variables d'état, fonctions d'état, équation d'état. Exemples d'un gaz réel aux faibles pressions et d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable. Grandeur extensive, grandeur intensive.	Comparer le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait sur des réseaux d'isothermes expérimentales en coordonnées de Clapeyron ou d'Amagat.  Utiliser l'équation d'état des gaz parfait, l'interpréter à l'échelle microscopique.  Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique.  Déduire une température d'une condition d'équilibre thermique.  Citer quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température.
Énergie interne d'un système d'un gaz parfait monoatomique. Extension qualitative aux gaz parfaits polyatomiques. Capacité thermique $C_v$ d'un gaz parfait.	Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique à partir de l'interprétation microscopique de la température.  Utiliser $U_m = U_m(T)$ pour un gaz parfait.
Énergie interne et capacité thermique $C_v$ d'une phase condensée considérée incompressible et indilatable.	Utiliser $U_m = U_m(T)$ pour une phase condensée incompressible et indilatable.
Corps pur diphasé en équilibre. Diagramme de phases (P, T). Cas de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P, v), titre.	Analyser un diagramme de phase expérimental (P, T).  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.  Positionner les phases dans les diagrammes (P, T) et (P, v).  Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P, v).
2. Énergie échangée par un système au cours d'une transformation	
Transformation thermodynamique subie par un système.	Définir le système.  Utiliser le vocabulaire usuel : transformations isochore, monotherme, isotherme, monobare, isobare.
Travail des forces de pression. Transformations isochore,	Calculer le travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné dans le cas d'une seule

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

monobare.	variable.  Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.
Transfert thermique. Transformation adiabatique. Thermostat, transformations monotherme et isotherme.	Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement.  Identifier dans une situation expérimentale le ou les systèmes modélisables par un thermostat.  Proposer de manière argumentée le modèle limite le mieux adapté à une situation réelle entre une transformation adiabatique et une transformation isotherme.
<b>3. Premier principe. Bilans d'énergie</b>	
Premier principe de la thermodynamique : $\Delta U + \Delta E_c = Q + W$	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir travail $W$ et transfert thermique $Q$ .  Exploiter l'extensivité de l'énergie interne.  Distinguer le statut de la variation de l'énergie interne du statut des termes d'échange.  Calculer le transfert thermique $Q$ sur un chemin donné connaissant le travail $W$ et la variation de l'énergie interne $\Delta U$ .
Enthalpie d'un système. Capacité thermique $C_p$ dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable.	Exprimer l'enthalpie $H_m(T)$ du gaz parfait à partir de l'énergie interne.  Comprendre pourquoi l'enthalpie $H_m$ d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable peut être considérée comme une fonction de l'unique variable $T$ .  Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare.  <b>Mettre en œuvre un protocole de mesure d'une capacité thermique.</b>  Connaître l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.
Enthalpie associée à un changement 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 de mesure d'une enthalpie de transition de phases.</b>
<b>4. Deuxième principe. Bilans d'entropie.</b>	
Deuxième principe : fonction d'état entropie, entropie créée, entropie échangée. $\Delta S = S_{ech} + S_{créé}$ avec $S_{ech} = \sum Q_i/T_i$	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan entropique. Relier l'existence d'une entropie créée à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité.
Variation d'entropie d'un	Utiliser l'expression fournie de la fonction d'état entropie.

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

<p>système.</p> <p>Loi de Laplace.</p> <p>Cas particulier d'une transition de phase</p>	<p>Utiliser la loi de Laplace après avoir rappelé ses conditions d'application.</p> <p>Exploiter l'extensivité de l'entropie.</p> <p>Utiliser la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase : <math>\Delta h_{12}(T) = T \Delta s_{12}(T)</math></p>
<p><b>5. Machines thermiques</b></p>	
<p>Application du premier principe et du deuxième principe aux machines thermiques cycliques dithermes: rendement, efficacité, théorème de Carnot.</p>	<p>Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme.</p> <p>Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme.</p> <p><b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental autour d'une évolution thermodynamique, et confronter modélisation et évolutions réelles.</b></p> <p>Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Justifier et utiliser le théorème de Carnot.</p> <p>Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles.</p> <p>Approche documentaire : Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire.</p>

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

### Transformations chimiques en solution aqueuse

Les transformations chimiques en solution aqueuse jouent un rôle essentiel en chimie, en biochimie et dans les processus environnementaux.

Un nombre considérable de développements technologiques (générateurs électrochimiques, lutte contre la corrosion, traitement des eaux, méthodes d'analyse...) reposent sur des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse. L'influence du milieu (pH, possibilité de formation de composés insolubles...) est primordiale dans la compréhension et la prévision des phénomènes mis en jeu.

Cette partie du cours a pour objectif principal de permettre à l'élève de reconnaître les principaux types de réactions chimiques en solution, à travers notamment les phénomènes ou dispositifs faisant intervenir une ou des réactions d'oxydo-réduction.

Elle débute par l'oxydo-réduction : les notions de couples redox et de piles, rencontrées dans le secondaire, sont reprises. Cette étude est complétée par l'utilisation de la relation de Nernst (admise) et de la relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels standard. Une fois la constante thermodynamique déterminée, les capacités acquises au premier semestre dans la partie « transformations de la matière » peuvent être réinvesties pour la détermination de l'état final du système chimique.

Afin de pouvoir étudier l'influence du milieu sur les espèces redox effectivement présentes, les notions d'acido-basicité (rencontrées dans le secondaire) sont rappelées. Ensuite, les phénomènes de précipitation et de dissolution de solides sont abordés, la condition de saturation d'une solution aqueuse est précisée.

Compte tenu des différentes conventions existantes, l'équation de la réaction accompagnera au besoin la donnée de la constante thermodynamique correspondante.

Ces différentes transformations en solution aqueuse sont abordées en montrant bien qu'elles 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 (la réaction prépondérante est fournie).

Une fois les outils mis en place, le principe de construction des diagrammes potentiel-pH est présenté sur l'exemple de l'élément fer mais l'objectif principal en 1<sup>ère</sup> année est l'interprétation et l'utilisation de ce diagramme. Cette première approche sera réinvestie en 2<sup>ème</sup> année dans l'utilisation d'autres diagrammes.

L'ensemble des séances de travaux pratiques concernant les transformations en solution aqueuse permettra d'aborder globalement ou spécifiquement les capacités relevant d'une démarche expérimentale mentionnées dans le programme. On notera que les dosages par titrage seront présentés au travers de ces séances de travail expérimental qui permettront d'insister sur la qualité de la mesure.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Oxydo-réduction	
Oxydants et réducteurs - nombre d'oxydation ; - potentiel d'électrode, formule de Nernst ; - diagrammes de prédominance ou d'existence.	Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple. Décrire le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrodes. Déterminer la capacité d'une pile. Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.

© Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

<p>Réactions d'oxydo-réduction</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- aspect thermodynamique ;</li> <li>- dismutation et médimutation.</li> </ul>	<p>Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction.</p> <p><b>Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu des réactions d'oxydo-réduction.</b></p>
<p>2. Acido-basicité, précipitation</p>	
<p>Réactions acido-basiques</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- constante d'acidité ;</li> <li>- diagramme de prédominance.</li> </ul> <p>Réactions de dissolution ou de précipitation</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- constante de l'équation de dissolution, produit de solubilité <math>K_s</math> ;</li> <li>- solubilité et condition de précipitation ;</li> <li>- domaine d'existence</li> <li>- facteurs influençant la solubilité.</li> </ul> <p>Traitement des effluents dans une usine chimique.</p>	<p>Identifier la nature des réactions en solutions aqueuses</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 d'équilibre pour une équation de réaction, combinaison linéaire d'équations dont les constantes d'équilibre sont connues.</p> <p>Retrouver les valeurs de constantes d'équilibre par lecture de courbes de distribution.</p> <p>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.</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 de solubilité en fonction d'une variable pertinente.</p> <p>Prévoir l'état de saturation ou de non saturation d'une solution, en solide.</p> <p><b>Pratiquer une démarche expérimentale illustrant la dissolution ou la précipitation en solution aqueuse.</b></p> <p>Approche documentaire : à partir de documents décrivant le traitement des effluents d'une usine chimique, dégager les notions de détection d'espèces (méthodes physiques ou chimiques), d'évaluation des concentrations, de valeurs limites acceptables et les transformations mises en jeu pour la séparation des espèces et la dépollution.</p>
<p>3. Diagrammes potentiel-pH de l'eau et du fer</p>	
<p>Principe de construction, lecture et utilisation des diagrammes potentiel-pH de l'eau et du fer.</p>	<p>Retrouver la valeur de la pente d'une frontière dans le diagramme potentiel-pH du fer.</p> <p>Justifier la position d'une frontière verticale.</p> <p>Prévoir le caractère thermodynamiquement favorisé ou non d'une transformation par superposition des deux diagrammes ; en déduire la stabilité des espèces dans l'eau.</p>

## CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

	<p>Confronter les prévisions à des données expérimentales (mise en évidence du facteur cinétique).</p> <p><b>Mettre en œuvre une démarche expérimentale s'appuyant sur un diagramme potentiel-pH.</b></p>
--	---

## APPENDICE : outils mathématiques

Au niveau des classes préparatoires, le rôle structurant des outils fournis par les mathématiques est incontournable en physique et en chimie, mais il convient d'éviter les dérives formelles ou calculatoires : le recours au calcul analytique doit être limité aux cas les plus simples et on utilisera des outils de calcul numérique ou formel dans tous les autres cas, y compris dans certains cas où des calculs analytiques seraient a priori possibles mais en réalité hors de portée des étudiants du fait de leur longueur ou de leur technicité.

Afin de cibler au mieux la formation et l'évaluation, cet appendice liste les outils mathématiques dont une bonne maîtrise est indispensable pour que les objectifs de formation des programmes de physique et de chimie puissent être pleinement atteints. Le niveau d'exigence requis est systématiquement précisé pour chaque outil afin d'éviter toute dérive.

**L'apprentissage de ces outils doit être réparti sur l'année en fonction de l'avancement des cours en ayant un souci permanent de contextualisation. Ceci suppose notamment une concertation au sein de l'équipe pédagogique.**

Pour le cas où d'autres outils seraient ponctuellement nécessaires, il conviendrait de les mettre à disposition des candidats sous une forme opérationnelle (formulaires...) et de faire en sorte que leur manipulation ne puisse pas constituer un obstacle.

OUTILS	NIVEAU D'EXIGENCE
<b>1. Équations algébriques</b>	
Système linéaire de n équations à p inconnues	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifier un nombre minimal d'inconnues, confronter au nombre d'équations indépendantes disponibles,</li> <li>• Exprimer la dépendance dans le seul cas <math>n=p=2</math>.</li> <li>• Résoudre analytiquement dans le seul cas <math>n=p=2</math>.</li> <li>• Utiliser des outils numériques ou formels dans les autres cas.</li> </ul>
Équation non linéaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discuter graphiquement dans le cas où l'équation se présente sous la forme <math>f(x)=g(x)</math> de l'égalité de deux fonctions f et g classiques.</li> <li>• Résoudre dans le cas général à l'aide d'un outil numérique.</li> </ul>
<b>2. Équations différentielles</b>	
Equation différentielle linéaire du premier et du second ordre à coefficients constants	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifier l'ordre, expliciter les conditions initiales.</li> <li>• Exploiter le polynôme caractéristique.</li> <li>• Prévoir le caractère borné ou non des solutions de l'équation homogène (critère de stabilité).</li> <li>• Mettre une équation sous forme canonique. Tracer numériquement l'allure du graphe des solutions en tenant compte des conditions initiales (CI).</li> <li>• Résoudre analytiquement (solution complète) dans le seul cas d'une équation du premier ordre et d'un second membre constant.</li> <li>• Obtenir analytiquement (notation complexe) le seul régime sinusoïdal forcé dans le cas d'un second membre sinusoïdal.</li> </ul>
Équation quelconque.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intégrer numériquement avec un outil fourni.</li> </ul>



## APPENDICE : outils mathématiques

<b>3. Fonctions</b>	
Fonctions usuelles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, <math>x \rightarrow x^2</math>, <math>x \rightarrow 1/x</math>, <math>x \rightarrow \sqrt{x}</math>.</li> </ul>
Dérivée.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interpréter géométriquement la dérivée.</li> <li>Dériver une fonction composée.</li> </ul>
Primitive et intégrale. Valeur moyenne.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales.</li> <li>Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions <math>\cos</math>, <math>\sin</math>, <math>\cos^2</math> et <math>\sin^2</math>.</li> </ul>
Représentation graphique d'une fonction.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation donnée.</li> <li>Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum.</li> <li>Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance en échelle log-log.</li> </ul>
Développements limités	<ul style="list-style-type: none"> <li>Connaître et utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement.</li> <li>Connaître et utiliser les développements limités usuels au voisinage de 0 jusqu'au premier ordre non nul : <math>(1+x)^n</math>, exponentielle, sinus, cosinus, <math>\ln(1+x)</math>.</li> </ul>
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utiliser un développement en série de Fourier <u>fourni</u> via un formulaire.</li> </ul>
<b>4. Géométrie</b>	
Vecteurs et systèmes de coordonnées	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exprimer algébriquement les coordonnées d'un vecteur.</li> <li>Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes et cylindriques.</li> </ul>
Projection d'un vecteur et produit scalaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression fonction des coordonnées sur une base orthonormée.</li> <li>Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.</li> </ul>
Produit vectoriel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression fonction des coordonnées.</li> <li>Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel.</li> <li>Faire le lien avec l'orientation des trièdres.</li> </ul>
Transformations géométriques	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations. Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace.</li> </ul>
Courbes planes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite et d'un</li> </ul>

© Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013

## APPENDICE : outils mathématiques

Courbes planes paramétrées.	<p>cercle.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser la représentation polaire d'une courbe plane ; utiliser un grapheur pour obtenir son tracé ; interpréter l'existence de points limites ou d'asymptotes à partir de l'équation <math>r(\varphi)</math>.</li> <li>• Reconnaître les équations paramétriques <math>x = a\cos(\omega t)</math> et <math>y = b\cos(\omega t - \varphi)</math> d'une ellipse et la tracer dans les cas particuliers <math>\varphi = 0</math>, <math>\varphi = \pi/2</math> et <math>\varphi = \pi</math>.</li> <li>• Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur.</li> </ul>
Longueurs, aires et volumes classiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Connaître les expressions du périmètre du cercle, de l'aire du disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.</li> </ul>
Barycentre d'un système de points.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Connaître la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène.</li> </ul>
<b>5. Trigonométrie</b>	
Angle orienté	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Définir une convention d'orientation des angles dans un plan et lire des angles orientés.</li> <li>• Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles de rotation autour de cet axe.</li> </ul>
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions trigonométriques cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation <math>\cos^2 x + \sin^2 x = 1</math>, relations entre fonctions trigonométriques, parités, valeurs des fonctions pour les angles usuels.</li> <li>• Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.</li> </ul>
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument.</li> </ul>

## Appendice aux programmes de physique-chimie et de sciences industrielles de l'ingénieur de TSI « Outils mathématiques »

Au niveau des classes préparatoires, le rôle structurant des outils fournis par les mathématiques est incontournable en physique-chimie et en sciences industrielles de l'ingénieur, mais il convient d'éviter les dérives formelles ou calculatoires : le recours au calcul analytique doit être limité aux cas les plus simples et on utilisera des outils de calcul numérique ou formel dans tous les autres cas, y compris dans certains cas où des calculs analytiques seraient a priori possibles mais hors de portée des étudiants du fait de leur longueur ou de leur technicité.

Afin de cibler au mieux la formation et l'évaluation, cet appendice liste les outils mathématiques dont une bonne maîtrise est indispensable pour que les objectifs de formation des programmes de physique-chimie et de sciences industrielles de l'ingénieur puissent être pleinement atteints. Le niveau d'exigence requis est systématiquement précisé pour chaque outil afin d'éviter toute dérive.

**L'apprentissage de ces outils doit être réparti sur l'année en fonction de l'avancement des cours en ayant un souci permanent de contextualisation. Ceci suppose notamment une concertation au sein de l'équipe pédagogique.**

Dans le cas où d'autres outils seraient ponctuellement nécessaires, il conviendrait de les mettre à disposition des étudiants sous une forme opérationnelle (formulaires...) et de faire en sorte que leur manipulation ne puisse pas constituer un obstacle.

OUTILS	NIVEAU D'EXIGENCE
<b>1. Equations algébriques</b>	
Système linéaire de $n$ équations à $p$ inconnues	Identifier un nombre minimal d'inconnues, confronter au nombre d'équations indépendantes disponibles. Exprimer la dépendance dans le seul cas $n = p = 2$ . Résoudre analytiquement dans le seul cas $n = p = 2$ . Utiliser des outils numériques ou formels dans les autres cas. <i>Exemples : systèmes d'ordre 3 : <math>n = p = 3</math> en mécanique (statique du solide).</i>
Équation non linéaire	Discuter graphiquement dans le cas où l'équation se présente sous la forme $f(x) = g(x)$ de l'égalité de deux fonctions $f$ et $g$ classiques. Résoudre, dans le cas général, à l'aide d'un outil numérique. <i>Exemples : point de fonctionnement d'un actionneur associé à sa charge, d'un générateur associé à sa charge.</i>

OUTILS	NIVEAU D'EXIGENCE
<b>2. Equations différentielles</b>	
Équation différentielle linéaire du premier et du second ordre à coefficients constants	<p>Identifier l'ordre, expliciter les conditions initiales.</p> <p>Exploiter l'équation caractéristique.</p> <p>Prévoir le caractère borné ou non des solutions de l'équation homogène (critère de stabilité).</p> <p>Mettre une équation sous forme canonique. L'écriture de l'équation différentielle doit permettre la vérification de l'homogénéité des grandeurs physiques.</p> <p>Tracer numériquement l'allure du graphe des solutions en tenant compte des conditions initiales (CI).</p> <p>Résoudre analytiquement (solution complète) dans le seul cas d'une équation du premier ordre et d'un second membre constant.</p> <p>Obtenir analytiquement (notation complexe) le seul régime sinusoïdal forcé dans le cas d'un second membre sinusoïdal. Mettre en évidence l'intérêt d'utiliser la notation complexe dans le cas d'un régime forcé sinusoïdal.</p> <p>Déterminer le module et la phase des grandeurs.</p> <p>Mettre en évidence les notions de régime libre, régime permanent, régime forcé et régime transitoire.</p> <p><i>Exemples : électrocinétique, mécanique, thermique...</i></p>
Équation quelconque	<p>Intégrer numériquement avec un outil fourni.</p> <p><i>Exemples : équations issues du principe fondamental de la dynamique.</i></p>

OUTILS	NIVEAU D'EXIGENCE
<b>3. Fonctions</b>	
Fonctions usuelles	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, $x \rightarrow x^2$ , $x \rightarrow \frac{1}{x}$ , $x \rightarrow \sqrt{x}$ .
Dérivée	Interpréter géométriquement la dérivée. Dériver une fonction composée. Rechercher un extrémum. <i>Exemples : phénomène de résonance, couple maximum d'une machine asynchrone.</i>
Primitive et intégrale  Valeurs moyenne et efficace	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales. Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions cos, sin, $\cos^2$ et $\sin^2$ . Interpréter l'intégrale en termes d'aire algébrique pour des fonctions périodiques simples. <i>Exemples : fonctions périodiques constantes par morceaux pour les convertisseurs statiques.</i>
Représentation graphique d'une fonction	Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation donnée. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance en échelle log-log. <i>Exemples : réponses fréquentielles (diagramme de Bode).</i>
Développements limités	Connaître et utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement. Connaître et utiliser les développements limités usuels au voisinage de 0 jusqu'au premier ordre non nul : $(1+x)^\alpha$ , exponentielle, sinus, cosinus, logarithme népérien.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique	Utiliser un développement en série de Fourier fourni via un formulaire. Mettre en évidence les propriétés de symétrie dans le domaine temporel (demi-période).

OUTILS	NIVEAU D'EXIGENCE
<b>4. Géométrie</b>	
Vecteurs et systèmes de coordonnées	<p>Exprimer algébriquement les coordonnées d'un vecteur.</p> <p>Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes et cylindriques.</p> <p><i>Exemple : repérage d'un point dans l'espace en cinématique.</i></p>
Projection d'un vecteur et produit scalaire	<p>Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée.</p> <p>Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.</p> <p><i>Exemples : projection en mécanique dans un repère, diagramme de Fresnel.</i></p>
Produit vectoriel	<p>Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe.</p> <p>Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel.</p> <p>Faire le lien avec l'orientation des trièdres.</p> <p><i>Exemples : calcul des moments, dérivation des vecteurs unitaires.</i></p>
Transformations géométriques	<p>Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations. Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace.</p>
<p>Courbes planes</p> <p>Courbes planes paramétrées</p>	<p>Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite et d'un cercle.</p> <p>Utiliser la représentation polaire d'une courbe plane ; utiliser un grapheur pour obtenir son tracé ; interpréter l'existence de points limites ou d'asymptotes à partir de l'équation <math>r=f(\theta)</math>.</p> <p>Reconnaître les équations paramétriques <math>x = a \cdot \cos(\omega \cdot t)</math> et <math>y = a \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi)</math> d'une ellipse et la tracer dans les cas particuliers : <math>\varphi = 0</math>, <math>\varphi = \frac{\pi}{2}</math> et <math>\varphi = \pi</math>.</p> <p>Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur.</p>
Longueurs, aires et volumes classiques	<p>Connaître les expressions du périmètre du cercle, de l'aire du disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.</p>
Barycentre d'un système de points	<p>Connaître la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène.</p> <p><i>Exemple : recherche d'un centre de gravité d'un solide.</i></p>

OUTILS	NIVEAU D'EXIGENCE
<b>5. Trigonométrie</b>	
Angle orienté	<p>Définir une convention d'orientation des angles dans un plan et lire des angles orientés.</p> <p>Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles de rotation autour de cet axe.</p>
Fonctions cosinus, sinus et tangente	<p>Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions trigonométriques cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation <math>\cos^2 x + \sin^2 x = 1</math>, relations entre fonctions trigonométriques, parités, valeurs des fonctions pour les angles usuels.</p> <p>Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.</p> <p>Passer de la forme <math>A \cdot \cos(\omega t) + B \cdot \sin(\omega t)</math> à la forme <math>C \cdot \cos(\omega t - \varphi)</math></p>
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes	<p>Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.</p> <p><i>Exemples : diagramme de Fresnel. Application aux systèmes triphasés : <math>\underline{a} = e^{i\frac{2\pi}{3}}</math> <math>1 + \underline{a} + \underline{a}^2 = 0</math></i></p>
Calcul matriciel (en SII uniquement)	<p>Effectuer le produit d'une matrice par un vecteur</p> <p><i>Exemple : calcul du moment dynamique.</i></p> <p>Choisir une base pour simplifier la structure d'une matrice.</p> <p><i>Exemple : simplification d'une matrice d'inertie.</i></p>