























































































































Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>2. Énergie échangée par un système au cours d'une transformation</b>	
Transformation thermodynamique subie par un système.	Définir le système.  Utiliser le vocabulaire usuel : évolutions isochore, isotherme, isobare, monobare, monotherme.
Travail des forces de pression. Transformations isochore, monobare.	Calculer le travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné dans le cas d'une seule 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.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<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 à pression constante 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 expérimental de mesure de capacité thermique.</b>

	Citer l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.
Enthalpie associée à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation.	Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des transitions de phases.  <b>Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une enthalpie de transition de phase.</b>

Notions et contenus	Capacités exigibles
<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.  <b>Approche documentaire</b> : interpréter qualitativement l'entropie en terme de désordre en s'appuyant sur la formule de Boltzmann.
Variation d'entropie d'un système.  Loi de Laplace.  Cas particulier d'une transition de phase.	Utiliser l'expression fournie de la fonction d'état entropie.  Exploiter l'extensivité de l'entropie.  Citer la loi de Laplace et ses conditions d'application.  Énoncer et utiliser la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase : $\Delta h_{12}(T) = T \Delta s_{12}(T)$

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>5. Machines thermiques</b>	
Application du premier principe et du deuxième principe aux machines thermiques cycliques dithermes : rendement, efficacité, théorème de Carnot.	Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme.  Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme.  Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Justifier et utiliser le théorème de Carnot.  Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles.

### 3. Statique des fluides

#### Présentation et objectifs généraux de formation

La physique des milieux continus constitue une part importante des programmes de deuxième année. Dans ce domaine, on fait appel à des méthodes de pensée et des techniques de calcul qu'il est souhaitable d'aborder dès la première année. Cette partie du programme est donc conçue pour introduire sur le support concret de la statique des fluides le principe du découpage d'un domaine

physique (volume, surface) en éléments infinitésimaux et de la sommation d'une grandeur extensive (force) pour ce découpage.

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

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

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Éléments de statique des fluides dans un référentiel galiléen.</b>	
Forces surfaciques, forces volumiques.	Distinguer le statut des forces de pression et des forces de pesanteur.
Statique dans le champ de pesanteur uniforme : relation $dp/dz = -\rho g$ .	Citer des ordres de grandeur des champs de pression dans le cas de l'océan et de l'atmosphère.  Exprimer l'évolution de la pression avec l'altitude dans le cas d'un fluide incompressible et homogène et dans le cas de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait.
Facteur de Boltzmann.	S'appuyer sur la loi d'évolution de la densité moléculaire de l'air dans le cas de l'atmosphère isotherme pour illustrer la signification du facteur de Boltzmann.  <b>Approche documentaire</b> : identifier un facteur de Boltzmann. Comparer $k_B T$ aux écarts d'énergie dans un contexte plus général.
Résultante de forces de pression.	Exprimer une surface élémentaire dans un système de coordonnées adaptées.  Utiliser les symétries pour déterminer la direction d'une résultante de forces de pression.  Évaluer une résultante de forces de pression.
Poussée d'Archimède.	Expliquer l'origine de la poussée d'Archimède.  Exploiter la loi d'Archimède.
Équivalent volumique des forces de pression.	Exprimer l'équivalent volumique des forces de pression à l'aide d'un gradient.
Équation locale de la statique des fluides.	Établir l'équation locale de la statique des fluides.

#### 4. Induction et forces de Laplace

##### 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 s'appuie sur les nombreuses applications présentes dans notre environnement immédiat : boussole, moteur électrique, alternateur, transformateur, haut-parleur, plaques à induction, carte RFID... Il s'agit de

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

restituer toute la richesse de ces applications dans un volume horaire modeste, ce qui limite les géométries envisagées et le formalisme utilisé. Elle a pour objectif d'installer les concepts de base permettant de modéliser les phénomènes de conversion électromagnétique. Le point de vue adopté cherche donc à mettre l'accent sur les phénomènes et sur la modélisation sommaire de leurs applications. 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, soit dans le modèle 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.

### Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- maîtriser les notions de champ de vecteurs et de flux d'un champ de vecteurs ;
- évaluer les actions d'un champ magnétique extérieur sur un circuit parcouru par un courant ou par analogie sur un aimant ;
- connaître ou savoir évaluer des ordres de grandeur ;
- 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.

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.

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.  <b>Approche numérique</b> : tracer des lignes de champ à partir d'équations fournies.  Décrire 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 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.  Orienter le champ magnétique créé par une bobine « infinie » et citer son expression.

Dans la **partie 2. « Forces de Laplace »**, le professeur est libre d'introduire la force de Laplace avec ou sans référence à la force de Lorentz. Il s'agit ici de se doter d'expressions opérationnelles pour étudier le mouvement dans un champ uniforme et stationnaire d'une barre en translation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>2. Forces de Laplace</b>	
Densité linéique de la force de Laplace dans le cas d'un élément de courant filiforme.	Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme.
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.	Établir 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.

La **partie 3. « Lois de l'induction »** repose sur la loi de Faraday  $e = - \frac{d\phi}{dt}$  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 sur le même phénomène selon le référentiel dans lequel on se place.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>3. Lois de l'induction</b>	
<b>Flux d'un champ magnétique</b>	
Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
<b>Loi de Faraday</b>	
Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit.	<b>Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.</b>
Loi de 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.

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 partiel et propose une approche documentaire de la production et du transport de l'énergie électrique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>4. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps</b>	
<b>Auto-induction</b>  Flux propre et inductance propre.  Étude énergétique.	Différencier le flux propre des flux extérieurs.  Utiliser la loi de modération de Lenz.  Évaluer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur, le champ magnétique créé par une bobine infinie 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.
Circuits électriques à une maille couplés par le phénomène de mutuelle induction en régime sinusoïdal forcé.  Transformateur de tension parfait.  Étude énergétique.	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.  <b>Approche numérique</b> : résoudre le système d'équations.  Établir la « loi des tensions ».  Conduire un bilan de puissance et d'énergie.
Production et transport de l'énergie électrique.	<b>Approche documentaire</b> : <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>– citer 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>

La partie 5. « Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire » est centrée sur la conversion de puissance. Des situations géométriques simples permettent de dégager les paramètres physiques pertinents afin de modéliser le principe d'un haut-parleur électrodynamique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>5. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire</b>	
<b>Conversion de puissance mécanique en puissance électrique</b>  Rail de Laplace.	Interpréter qualitativement les phénomènes observés.  Écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe.

	<p>Effectuer un bilan énergétique.</p> <p>Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.</p>
<p><b>Conversion de puissance électrique en puissance mécanique</b></p> <p>Haut-parleur électrodynamique.</p>	<p>Expliquer le principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique dans la configuration simplifiée des rails de Laplace.</p> <p>Effectuer un bilan énergétique.</p> <p><b>Mettre en œuvre une étude expérimentale d'un haut parleur électrodynamique visant à illustrer son principe de fonctionnement ou à déterminer quelques-unes de ses caractéristiques.</b></p>

## Appendice 1 : matériel

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

### 1. Domaine optique

- Goniomètre
- Viseur à frontale fixe
- Lunette auto-collimatrice
- Spectromètre à fibre optique
- Polariseur dichroïque
- Laser à gaz
- Lampes spectrales
- Source de lumière blanche à condenseur

### 2. Domaine électrique

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

### 3. Domaines mécanique et thermodynamique

- Dynamomètre
- Capteur de pression
- Accéléromètre
- Stroboscope
- Webcam avec logiciel dédié
- Appareil photo numérique ou caméra numérique avec cadence de prise de vue supérieure à 100 images par seconde
- Thermomètre, thermocouple, thermistance, capteur infra-rouge
- Calorimètre

## Appendice 2 : outils mathématiques

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

La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année de TPC1. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année. Il sera complété dans le programme de seconde année.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique ou formel).

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 mathématiques	Capacités exigibles
<b>1. Équations algébriques</b>	
Systèmes linéaires de $n$ équations à $p$ inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$ . Utiliser des outils numériques ou formels dans les autres cas.
Équations non linéaires	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$ . Interpréter graphiquement la ou les solutions. Dans le cas général, résoudre à l'aide d'un outil numérique ou de calcul formel.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
<b>2. Équations différentielles</b>	
Équation différentielle linéaire à coefficients constants.	Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique.
Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$	Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \cos(\omega x + \phi)$ (en utilisant la notation complexe).
Équations différentielles linéaires du deuxième ordre à coefficients constants : $y'' + ay' + by = f(x)$	Utiliser l'équation caractéristique pour trouver la solution générale de l'équation sans second membre. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \exp(\lambda x)$ avec $\lambda$ complexe. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution.
Autres équations différentielles d'ordre 1 ou 2.	Intégrer numériquement avec un outil fourni. Obtenir une intégrale première d'une équation de Newton $x' = f(x)$ et l'exploiter graphiquement. Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et le graphe de la solution correspondante.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
<b>3. Fonctions</b>	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle $x \rightarrow x^a$ . Cosinus hyperbolique et sinus hyperbolique (les fonctions hyperboliques, non traitées dans le cours de mathématiques, sont introduites par le professeur de physique).
Dérivée. Notation dx/dt.  Développements limités.	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement.  Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1 + x)^a$ , $e^x$ , $\ln(1 + x)$ et $\sin(x)$ , et à l'ordre 2 de la fonction $\cos(x)$ .
Primitive et intégrale.  Valeur moyenne.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques.  Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions $\cos$ , $\sin$ , $\cos^2$ et $\sin^2$ .
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation $y = f(x)$ donnée. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier <u>fourni</u> par un formulaire (cette capacité est développée par le professeur de physique, la notion de série de Fourier n'étant pas abordée dans le cours de mathématiques).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
<b>4. Géométrie</b>	
Vecteurs et système de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée d'un espace de dimension inférieure ou égale à 3. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Produit vectoriel.	Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe. Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel. Faire le lien avec l'orientation des trièdres.  Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace.

	Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Courbes planes.  Courbes planes paramétrées.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une ellipse, d'une branche d'hyperbole, d'une parabole. (Concernant les coniques, cette capacité est développée par le professeur de physique, l'étude des coniques n'étant pas traitée en mathématiques).  Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur. Identifier une ellipse à l'aide de sa représentation paramétrique ( $x = a \cdot \cos(\omega t)$ , $y = b \cdot \cos(\omega t - \varphi)$ ) et la tracer dans les cas particuliers $\varphi = 0$ , $\varphi = \pi/2$ et $\varphi = \pi$ .
Longueurs, aires et volumes classiques.	Connaître les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
<b>5. Trigonométrie</b>	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles dans un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles de rotation autour de cet axe.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$ , relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(\pi \pm x)$ et $\cos(\frac{\pi}{2} \pm x)$ , parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels.  Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
<b>6. Analyse vectorielle</b>	
Gradient d'un champ scalaire.	Connaître le lien entre le gradient et la différentielle. Connaître l'expression de la différentielle en fonction des dérivées partielles. Connaître l'expression du gradient en coordonnées cartésiennes ; utiliser un formulaire fourni en coordonnées cylindriques ou sphériques. Utiliser le fait que le gradient d'une fonction $f$ est perpendiculaire aux surfaces iso- $f$ et orienté dans le sens des valeurs de $f$ croissantes.  Ces capacités sont développées par le professeur de physique, la notion de différentielle n'étant pas abordée en mathématiques.





# Annexe 2b

## Programmes des classes préparatoires aux Grandes Ecoles

---

Filière : **scientifique**

---

Voie : **Technologie, physique, chimie (TPC)**

---

Discipline : **Chimie**

**Première année**

# Programme de chimie TPC1

Le programme de chimie de la classe de TPC1 s'inscrit entre deux continuités, en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement avec les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

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

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

Pour acquérir sa validité, l'expérience nécessite le support d'un modèle. La notion même de modèle est centrale pour la discipline. Par conséquent modéliser est une compétence essentielle développée en TPC1. Pour apprendre à l'étudiant à modéliser de façon autonome, il convient de lui faire découvrir les différentes facettes de la chimie, qui toutes peuvent le guider dans la compréhension des phénomènes. Ainsi le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

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

Enfin l'autonomie de l'étudiant et la prise d'initiative sont développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à un questionnement ou atteindre un but.

Le programme est organisé en trois parties :

- 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 problèmes. 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. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
- dans la deuxième partie, intitulée « **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.
- 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. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres.

Certains items de cette troisième partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche numérique ou d'une approche documentaire.

Deux appendices sont consacrés aux types de matériel et aux outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de chimie en fin de l'année de TPC1.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. Comme le rappellent les programmes du lycée, la liberté pédagogique de l'enseignant est le pendant de la liberté scientifique du chercheur.

Dans le cadre de cette liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou

des débats d'idées. L'enseignant peut ainsi avoir intérêt à mettre son enseignement « en culture » si cela rend sa démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.

- il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en chimie doit être articulée avec celles mise en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique et physique.

L'évaluation des étudiants doit répondre aux principes suivants :

- informé des compétences testées dans les différentes formes d'évaluation, l'étudiant doit être en mesure de suivre son évolution dans l'acquisition des compétences ;
- l'objectif de l'évaluation n'est pas de classer ou de trier les étudiants, mais de leur donner une image de leurs acquis en mettant l'accent sur les progrès réalisés. Une évaluation bien conçue doit être stimulante en s'inscrivant dans une dynamique constructive et une perspective d'évolution positive.

## Démarche scientifique

### 1. Démarche expérimentale

La chimie est une science à la fois théorique et expérimentale. Ces deux composantes de la démarche expérimentale s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement. Ce programme fait donc une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'important volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, 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. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie ;
- le second concerne l'identification, tout au long de la formation disciplinaire, dans la troisième partie (contenus disciplinaires), 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 où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées ;

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la chimie (modélisation macroscopique-microscopique, relation structure-propriétés, facteurs d'influence, par exemple).
- les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée, et chaque fois que cela est possible transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans l'élaboration et la mise en œuvre de protocoles simples associés à la quantification des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement

en appendice du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

### Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en CPGE mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous et dont l'acquisition progressive a commencé au collège, puis au lycée. 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 parties 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 ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire dans toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, être autonome, travailler en équipe, etc.)

Compétence	Exemples de capacités associées
<b>S'approprier</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale</li> <li>énoncer une problématique d'approche expérimentale</li> <li>définir des objectifs correspondants</li> </ul>
<b>Analyser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>formuler et échanger des hypothèses</li> <li>proposer une stratégie pour répondre à la problématique</li> <li>proposer un modèle associé</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 « matériel », 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>présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible</li> <li>utiliser un vocabulaire scientifique adapté</li> <li>s'appuyer sur des schémas, des graphes</li> </ul> </li> <li>faire preuve d'écoute, confronter son point de vue</li> </ul>

**Être autonome, faire preuve d'initiative**

- travailler seul ou en équipe
- solliciter une aide de manière pertinente
- s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

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 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 chercheurs ou d'ingénieurs. 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 à l'initiative.

## 2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » 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 et capacités en autonomie 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 le regard critique tout au long de la démarche et sur le résultat.

La résolution de problèmes 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 problèmes. La résolution de problèmes 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.

Compétences	Exemples de capacités 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. ....
Établir 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. Utiliser l'analyse dimensionnelle ...
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 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 solution, ou la rédiger, en en expliquant le raisonnement et les résultats.

### 3. 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. L'objectif reste de permettre l'accès à la connaissance en toute autonomie et avec la prise de conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné, de la méconnaissance (et donc la découverte) à la maîtrise totale.

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 :

- 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 XXe et XXIe 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 doivent permettre 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 méthodologie expérimentale lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la partie « contenus disciplinaires » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

D'une part, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**, dans la continuité de la nouvelle épreuve d'Évaluation des Compétences Expérimentales (ECE) du baccalauréat STL, avec cependant un niveau d'exigence plus élevé qui correspond à celui des deux premières années d'enseignement supérieur.

D'autre part, elle présente de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et mises en œuvre en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans l'appendice 1 du présent programme.

## 1. 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 S, STI2D et STL du lycée. Les objectifs sont identiques, certains aspects sont approfondis : utilisation du vocabulaire de base de la métrologie, connaissance de la loi des incertitudes composées, ... ; une première approche sur la validation d'une loi physique est proposée. Les capacités identifiées sont abordées dès la première année et doivent être maîtrisées à l'issue des deux années de formation. Les activités expérimentales permettent de les introduire et de les acquérir de manière progressive et authentique. Elles doivent régulièrement faire l'objet d'un apprentissage intégré et d'une évaluation.

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.

Notions et contenus	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.	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

<p>Évaluation d'une incertitude-type.</p> <p>Incertitude-type composée.</p> <p>Incertitude élargie.</p>	<p>grandeur mesurée.</p> <p>Procéder à l'évaluation de type A de l'incertitude-type (incertitude de répétabilité).</p> <p>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...).</p> <p>Évaluer l'incertitude-type d'une mesure obtenue à l'issue de la mise en œuvre d'un protocole présentant plusieurs sources d'erreurs indépendantes dans les cas simples d'une expression de la valeur mesurée sous la forme d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient ou bien à l'aide d'une formule fournie ou d'un logiciel.</p> <p>Comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreurs.</p> <p>Associer un niveau de confiance de 95 % à une incertitude élargie.</p>
<p>Présentation d'un résultat expérimental.</p> <p>Acceptabilité du résultat et analyse du mesurage (ou processus de mesure).</p>	<p>Exprimer le résultat d'une mesure par une valeur et une incertitude associée à un niveau de confiance.</p> <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>
<p>Vérification d'une loi physique ou validation d'un modèle ; ajustement de données expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène.</p>	<p>Utiliser un logiciel de régression linéaire.</p> <p>Expliquer en quoi le coefficient de corrélation n'est pas un outil adapté pour juger de la validité d'un modèle linéaire.</p> <p>Juger qualitativement si des données expérimentales avec incertitudes sont en accord avec un modèle linéaire.</p> <p>Extraire à l'aide d'un logiciel les incertitudes sur la pente et sur l'ordonnée à l'origine dans le cas de données en accord avec un modèle linéaire.</p>

## 2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les étudiants doivent avoir acquises, durant les séances de travaux pratiques, à l'issue des deux années. 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'organiseraient autour d'une découverte du matériel. Par exemple, toutes les capacités mises en œuvre autour d'un appareil de mesure ne sauraient être l'objectif unique d'une séance, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion de l'étude d'un problème concret.

Les différentes capacités à acquérir sont, pour plus de clarté, regroupées en quatre domaines en chimie, les deux premiers étant davantage transversaux :

1. Prévention du risque au laboratoire de chimie
2. Mesures de grandeurs physiques
3. Synthèses organiques et inorganiques
4. Analyses qualitatives et quantitatives

Cela ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale à un seul domaine. En effet, lors de la mise en œuvre d'une synthèse au laboratoire, il peut être utile de procéder à une analyse du produit formé ou à une mesure de grandeur physique caractéristique et, bien entendu, il est indispensable de prendre en compte les consignes de sécurité. Il convient également de favoriser l'autonomie et la prise d'initiative décrites dans la partie « Compétences expérimentales ».

Le matériel nécessaire à l'acquisition de l'ensemble des capacités ci-dessous figure en **Appendice 1** du programme.

### 1. Prévention du risque au laboratoire de chimie

Les élèves doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1. Prévention du risque chimique</b> Règles de sécurité au laboratoire. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Phrases H et P.	Adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire. Relever les indications sur le risque associé au prélèvement et au mélange des produits chimiques.  Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
<b>2. Impact environnemental</b> Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques.  Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

### 2. Mesures de grandeurs physiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Mesures de : - Volume	Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise.

- Masse	Préparer une solution aqueuse de concentration donnée à partir d'un solide, d'un liquide, d'une solution de concentration molaire connue ou d'une solution de titre massique et de densité connus.
- pH	
- Conductance et conductivité	
- Tension	Utiliser les méthodes et le matériel adéquats pour transférer l'intégralité du solide ou du liquide pesé.
- Intensité d'un courant	
- Température	Distinguer les instruments de verrerie In et Ex.
- Pouvoir rotatoire	Utiliser les appareils de mesure (masse, pH, conductance, tension, température, indice de réfraction, absorbance) en s'aidant d'une notice.
- Indice de réfraction	
- Absorbance	Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.

### 3. Synthèses organiques et inorganiques

À l'issue des deux années de formation, l'élève devra :

- maîtriser expérimentalement les différentes techniques mises en œuvre dans les synthèses : réalisation des montages et utilisation des appareillages ;
- connaître les fondements théoriques de ces techniques, en lien avec les propriétés physico-chimiques concernées (à l'exception des spectroscopies d'absorption IR et de RMN) ;
- être capable de proposer des stratégies de transformation des réactifs, de séparation et de purification des produits synthétisés.

Les différentes techniques utilisées permettent de réaliser les opérations de :

- chauffage et refroidissement ;
- séparation et purification : extraction liquide-liquide ou liquide-solide, filtrations, séchage d'un liquide ou d'un solide, distillations sous pression ambiante et sous pression réduite (cette dernière étant strictement limitée à l'usage de l'évaporateur rotatif), recristallisation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Transformation chimique</b>	Choisir la verrerie adaptée à la transformation réalisée et aux conditions opératoires mises en œuvre.
Transformations à chaud, à froid, à température ambiante.	Réaliser le ou les montages appropriés et en expliquer le principe et l'intérêt. Choisir ou justifier l'ordre d'introduction des réactifs. Réaliser et réguler une addition au goutte à goutte. Utiliser le moyen de chauffage ou de refroidissement adéquat.
Contrôle et régulation de la température du milieu réactionnel.	Suivre et contrôler l'évolution de la température dans le réacteur.
Suivi de l'évolution de la transformation.	Choisir un moyen approprié pour réguler une éventuelle ébullition. Utiliser un réfrigérant à reflux, contrôler et réguler le reflux.

	Mettre en œuvre des méthodes permettant de suivre qualitativement ou quantitativement l'avancement de la transformation.
<b>Séparation et purification</b>	Choisir ou justifier un protocole de séparation ou de purification d'un produit, sur la base de données fournies ou issues d'observations et/ou de mesures expérimentales.
Séparation de deux liquides non miscibles.	Réaliser une extraction liquide-liquide. Identifier la nature des phases dans une ampoule à décanter.
Séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.	Distinguer extraction et lavage d'une phase. Élaborer et mettre en œuvre un protocole de séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.
Distillations	Mettre en œuvre différents types de distillation. Choisir ou proposer la méthode la plus adaptée au système étudié.
Séparation d'un liquide et d'un solide	Expliquer l'intérêt de l'évaporateur rotatif. Réaliser et mettre en œuvre une filtration simple, une filtration sous pression réduite. Choisir et justifier la méthode de filtration adaptée au système étudié.
Lavage d'un solide	Réaliser et justifier les différentes étapes du lavage d'un solide : ajout du solvant de lavage froid ou saturé, trituration, essorage.
Recristallisation d'un solide	Expliquer et mettre en œuvre la technique de recristallisation. Adapter la quantité de solvant à utiliser à la recristallisation réalisée. Justifier à l'aide de données pertinentes et/ou par l'observation le choix d'un solvant de recristallisation et la quantité mise en œuvre.
Séchage d'un solide	Mettre en œuvre « une pesée à masse constante » d'un solide humide.
Séchage d'un liquide	Choisir un desséchant solide et estimer correctement par l'observation la quantité à utiliser.
Détermination d'un rendement	À partir d'une mesure appropriée, déterminer le rendement d'une synthèse, d'une méthode de séparation.

#### 4. Analyses qualitatives et quantitatives

On distinguera la caractérisation, le contrôle de pureté et le dosage d'une espèce chimique.

À l'issue des deux années de formation, l'élève devra :

- maîtriser les différentes techniques expérimentales mises en œuvre lors des analyses qualitatives et quantitatives ;
- être capable de proposer une stratégie de mesures de concentrations ou de quantités de matière, une méthode de caractérisation d'un composé, tenant compte des propriétés physico-chimiques du système étudié ;
- distinguer les méthodes d'analyse destructives et non destructives.

Les techniques utilisées lors des analyses quantitatives sont les suivantes :

- pH-métrie
- Conductimétrie
- Potentiométrie à intensité nulle
- Spectrophotométrie UV-visible
- Polarimétrie
- Réfractométrie
- Chromatographie sur couche mince

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>1. Caractérisation d'un composé et contrôle de sa pureté</b> Chromatographies sur couche mince.</p> <p>Tests de reconnaissance ; témoin.</p> <p>Détermination expérimentale de grandeurs physiques ou spectroscopiques caractéristiques du composé (les principes théoriques de la RMN et de la spectroscopie d'absorption IR sont hors programme).</p>	<p>Mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince. Justifier la méthode de révélation utilisée.</p> <p>Interpréter l'ordre d'élution des différents composés en relation avec leurs propriétés physico-chimiques et les caractéristiques de la phase stationnaire et de l'éluant. Proposer à partir d'une banque de données et mettre en œuvre un test de reconnaissance pour identifier une espèce chimique présente (ou susceptible de l'être) dans un système.</p> <p>Extraire d'une banque de données des informations sur les propriétés physiques des produits. Relever la température d'un palier de distillation. Mesurer une température de fusion. Mesurer un indice de réfraction. Mesurer un pouvoir rotatoire.</p> <p>Comparer les données tabulées aux valeurs mesurées et interpréter d'éventuels écarts. Comparer les caractéristiques d'un produit synthétisé avec celles du produit commercial.</p>
<p><b>2. Dosages par étalonnage</b></p>	<p>Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques du composé ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage. Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-Visible.</p>
<p><b>3. Dosages par titrage</b> Titrages directs, indirects. Équivalence. Titrages simples, successifs, simultanés. Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, conductimétrie, potentiométrie à intensité nulle, indicateurs colorés de fin de titrage.</p>	<p>Identifier et exploiter la réaction support du titrage (recenser les espèces présentes dans le milieu au cours du titrage, repérer l'équivalence, justifier qualitativement l'allure de la courbe ou le changement de couleur observé). Proposer ou justifier le protocole d'un titrage à l'aide de données fournies ou à rechercher. Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage direct ou indirect.</p>

<p>Méthodes d'exploitation des courbes expérimentales.</p>	<p>Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage.  Exploiter une courbe de titrage pour déterminer le titre en espèce dosée.  Exploiter une courbe de titrage pour déterminer une valeur expérimentale d'une constante thermodynamique d'équilibre.  Utiliser un logiciel de simulation pour déterminer des courbes de répartitions et confronter la courbe de titrage simulée à la courbe expérimentale.</p> <p>Justifier la nécessité de faire un titrage indirect.</p> <p>Distinguer l'équivalence et le virage d'un indicateur coloré de fin de titrage.  Déterminer les conditions optimales qui permettent à l'équivalence et au repérage de la fin du titrage de coïncider.</p>
<p><b>4. Suivi cinétique de transformations chimiques</b>  Suivi en continu d'une grandeur physique.  Limitation de l'évolution temporelle (trempe) d'un système par dilution, transformation chimique ou refroidissement.  Régulation de la température.</p>	<p>Choisir une méthode de suivi tenant compte de la facilité de mise en œuvre, des propriétés des composés étudiés, du temps de réaction estimé ou fourni.  Exploiter les résultats d'un suivi temporel de concentration pour déterminer les caractéristiques cinétiques d'une réaction.  Proposer et mettre en œuvre des conditions expérimentales permettant la simplification de la loi de vitesse.  Déterminer la valeur d'une énergie d'activation.</p>

### Utilisation de l'outil informatique

L'outil informatique sera utilisé, par exemple :

- dans le domaine de la simulation : pour interpréter et anticiper des résultats ou des phénomènes chimiques, pour comparer des résultats obtenus expérimentalement à ceux fournis par un modèle et pour visualiser des modèles de description de la matière. Les domaines d'activités qui se prêtent particulièrement à la simulation sont les titrages en solution aqueuse, la cristallographie, la modélisation moléculaire, la cinétique chimique. Cette liste n'est bien entendu pas exhaustive et l'usage de toutes les animations numériques qui facilitent l'apprentissage est recommandé.
- pour l'acquisition de données, en utilisant un appareil de mesure interfacé avec l'ordinateur.
- pour la saisie et le traitement de données à l'aide d'un tableur ou d'un logiciel dédié.

## Contenus disciplinaires

L'organisation de la formation disciplinaire est semestrielle :

### Premier semestre

- I. Transformation de la matière
  1. Description et évolution d'un système vers un état final

2. Évolution temporelle d'un système et mécanismes réactionnels
- II. Architecture de la matière
1. Classification périodique des éléments et électronégativité
  2. Structure des molécules et relations structure-propriétés
- III. Structure en chimie organique

### Deuxième semestre

- IV. Architecture de la matière condensée : solides cristallins
- V. Transformations chimiques en solutions aqueuses
- VI. Réactivité et synthèses en chimie organique 2

## Premier Semestre

### I. Transformation de la matière

La chimie est une science de la nature, science de la matière et de sa transformation. Les différents états de la matière et les différents types de transformation de la matière ont déjà été en partie étudiés dans le parcours antérieur de l'élève, au collège et au lycée. Il s'agit de réactiver et de compléter ces connaissances déjà acquises, afin d'amener les élèves à les mobiliser de manière autonome pour décrire, au niveau macroscopique, un système physico-chimique et son évolution. Dans ce cadre, on se limite à un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique symbolisée par une équation de réaction à laquelle est associée une constante thermodynamique d'équilibre. Sur des exemples variés de transformations chimiques rencontrées dans la vie courante, au laboratoire, dans le monde du vivant ou en milieu industriel, l'objectif visé est la prévision du sens d'évolution de systèmes homogènes ou hétérogènes et la détermination de leur composition dans l'état final. Dans un souci de continuité de formation, les acquis du lycée concernant les réactions acido-basiques et d'oxydo-réduction, la conductimétrie, la pH-métrie et les spectroscopies sont réinvestis lors des démarches expérimentales. L'ensemble des compétences relatives à cette partie du programme sera ensuite mobilisé régulièrement au cours de l'année, plus particulièrement au second semestre lors des transformations en solution aqueuse, et en seconde année, notamment dans le cadre de l'étude de la thermodynamique chimique.

L'importance du facteur temporel dans la description de l'évolution d'un système chimique apparaît assez significativement dans l'observation du monde qui nous entoure et a déjà fait l'objet d'une première approche expérimentale en classe de première STL permettant de dégager les différents facteurs cinétiques que sont les concentrations, la présence ou non d'un catalyseur et la température. La prise de conscience de la nécessité de modéliser cette évolution temporelle des systèmes chimiques est naturelle. Si la réaction chimique admet un ordre, le suivi temporel de la transformation chimique doit permettre l'établissement de la loi de vitesse. Cette détermination fait appel à la méthode différentielle ou à la méthode intégrale, pour l'exploitation de mesures expérimentales d'absorbance ou de conductivité du milieu réactionnel par exemple, dans le cadre d'un réacteur fermé parfaitement agité. Les équations différentielles étant abordées en mathématiques en terminale STL mais non utilisées en physique-chimie au lycée, il conviendra de faire le lien entre les notations utilisées en mathématiques ( $y'+ay=b$ ) et celles adoptées en chimie.

La modélisation au niveau microscopique d'une transformation chimique par un mécanisme réactionnel complète l'étude cinétique macroscopique et permet d'aborder la notion de catalyse ; des exemples de catalyses homogènes, hétérogènes et enzymatiques seront également présentés dans cette partie du programme.

Une ouverture à la cinétique en réacteur ouvert, dans un cadre très limité, permet en complément d'appréhender la différence d'approche à l'échelle industrielle.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Faire preuve de rigueur dans la description d'un système physico-chimique
- Distinguer modélisation d'une transformation (écriture de l'équation de réaction) et description quantitative de l'évolution d'un système prenant en compte les conditions expérimentales choisies pour réaliser la transformation.
- Exploiter les outils de description des systèmes chimiques pour modéliser leur évolution temporelle.
- Proposer des approximations simplifiant l'exploitation quantitative de données expérimentales et en vérifier la pertinence.
- Confronter un modèle mathématique avec des mesures expérimentales.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1 Description et évolution d'un système chimique vers un état final</b>	
<p><b>Transformations de la matière</b> Transformations physique, chimique, nucléaire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconnaître la nature d'une transformation.</li> </ul>
<p><b>Transformations physiques</b> États de la matière : gaz, liquide, solide cristallin, solide amorphe et solide semi-cristallin. Modélisation microscopique des états physiques. Notion de phase. Les transformations physiques : diagramme d'état (<math>P</math>, <math>T</math>). Fluides supercritiques : principales propriétés, utilisation en génie des procédés.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nommer les transformations relatives au changement d'état.</li> <li>• Reconnaître une transformation allotropique.</li> <li>• Modéliser un état physique et une transformation physique.</li> <li>• Déterminer l'état physique d'une espèce chimique pour des conditions expérimentales données de <math>P</math> et <math>T</math>.</li> </ul> <p><b>Approche documentaire :</b> à partir de documents, analyser le rôle des fluides supercritiques en génie des procédés dans le cadre d'une chimie respectueuse de l'environnement.</p>
<p><b>Système chimique</b> Constituants physico-chimiques. Corps purs et mélanges : concentration molaire, fraction molaire, pression partielle. Composition d'un système chimique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recenser les constituants physico-chimiques présents dans un système.</li> <li>• Utiliser l'équation d'état du gaz parfait pour les composés gazeux.</li> <li>• Décrire la composition d'un système chimique à l'aide des grandeurs physiques pertinentes.</li> </ul>
<p><b>Transformation chimique</b> Modélisation d'une transformation par une ou plusieurs réactions chimiques. Réaction chimique : équation chimique, avancement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifier la (ou les) réaction(s) qui modélise(nt) une transformation chimique.</li> <li>• Décrire qualitativement et quantitativement un système chimique dans l'état initial, dans un état intermédiaire quelconque.</li> </ul>

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Évolution d'un système lors d'une transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique : quotient réactionnel, activité, critère d'évolution.</p> <p>Equation de réaction : constante d'équilibre</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> <li>• Exprimer le quotient réactionnel.</li> <li>• Prévoir le sens d'évolution spontanée d'un système chimique ; état d'équilibre.</li> </ul> <p><b>• Déterminer une constante d'équilibre ; dégager le critère d'évolution.</b></p>
<p>Composition du système dans l'état final : état d'équilibre chimique, transformation totale.</p> <p>Optimisation d'un procédé industriel.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> </ul> <p><b>• Approche documentaire :</b> à partir de documents sur un procédé industriel, rechercher les paramètres sur lesquels on peut jouer pour optimiser le rendement d'une synthèse.</p>
<b>2 Evolution temporelle des systèmes chimiques et mécanismes réactionnels</b>	
<b>En réacteur fermé de composition uniforme</b>	
<p>Définition générale de la vitesse d'une réaction chimique dans le cas d'un réacteur fermé de composition uniforme : vitesses de disparition d'un réactif et de formation d'un produit, vitesse de réaction pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Déterminer l'influence d'un paramètre sur la vitesse d'une réaction chimique.</b></li> <li>• Relier la vitesse de réaction à la vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit.</li> </ul>
<p>Lois de vitesse ; réactions sans ordre, réactions avec ordre simple, ordre global, ordre apparent.</p> <p>Temps de demi-réaction.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Établir une loi de vitesse à partir du suivi temporel d'une grandeur physique.</b></li> <li>• Déterminer la vitesse de réaction à différentes dates en utilisant une méthode numérique ou graphique.</li> <li>• Reconnaître une réaction avec ordre, sans ordre.</li> <li>• Évaluer un ordre de réaction à l'aide de la méthode différentielle ou à l'aide des temps de demi-réaction.</li> <li>• Donner une expression générale de la loi de vitesse quand la réaction chimique admet un ordre.</li> <li>• Confirmer, par la méthode intégrale, la valeur d'un ordre simple (0, 1, 2) dans la loi de vitesse.</li> <li>• Choisir ou reconnaître des conditions expérimentales provoquant une dégénérescence de l'ordre</li> </ul>

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Transformation nucléaire : désintégration radioactive ; activité, constante radioactive, temps de demi-vie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Établir une expression simplifiée de la loi de vitesse quand l'expérimentateur travaille en dégénérescence d'ordre.</li> <li>• Établir une expression simplifiée de la loi de vitesse quand l'expérimentateur a introduit les réactifs en proportions stœchiométriques.</li> <li>• La loi de vitesse étant connue, déterminer une valeur de la constante cinétique à une température donnée.</li> </ul> <p>• <b>Approche documentaire</b> : à partir de documents, appréhender les principales problématiques liées à l'utilisation de produits radioactifs.</p>
<p>Loi empirique d'Arrhénius ; énergie d'activation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Déterminer la valeur de l'énergie d'activation d'une transformation chimique à partir de la donnée des valeurs de la constante cinétique à différentes températures.</li> <li>• Déterminer la valeur de la constante cinétique à une température <math>T_1</math> à partir de la donnée de l'énergie d'activation de la réaction et de la valeur de la constante cinétique à la température <math>T_0</math>.</li> <li>• <b>Proposer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'étudier l'influence de la température sur la vitesse et de déterminer une énergie d'activation d'une réaction chimique.</b></li> </ul>
<p>Interprétation microscopique de l'influence des concentrations et de la température sur la vitesse d'une transformation chimique. Limite de la modélisation macroscopique par une réaction chimique</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relier la vitesse d'une réaction à la fréquence de chocs efficaces.</li> <li>• Interpréter les effets des différents paramètres influençant la vitesse sur la fréquence des chocs efficaces.</li> </ul>
<b>Mécanismes réactionnels</b>	
<p>Mécanismes réactionnels en cinétique homogène : processus élémentaire, moléularité d'un processus, intermédiaires réactionnels, état de transition, mécanisme réactionnel par stades, mécanisme réactionnel en chaîne</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distinguer une équation de réaction symbolisant une réaction chimique d'une équation traduisant un acte élémentaire.</li> <li>• Identifier les intermédiaires réactionnels, les réactifs, les produits, les catalyseurs dans un mécanisme réactionnel.</li> <li>• Discuter de la stabilité relative d'intermédiaires réactionnels rencontrés en chimie organique.</li> <li>• Distinguer un intermédiaire réactionnel d'un état de transition (complexe activé).</li> </ul>

Notions et contenus	Capacités exigibles
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exprimer la loi de vitesse d'un acte élémentaire.</li> <li>• Tracer un profil énergétique correspondant à un acte élémentaire, à deux actes élémentaires successifs.</li> <li>• Identifier un mécanisme par stades, en chaîne.</li> <li>• Identifier les différentes étapes d'un mécanisme réactionnel en chaîne.</li> </ul>
<p>Approximations classiques : pré-équilibre rapide, étape cinétiquement déterminante, approximation de l'état quasi-stationnaire (AEQS).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Approche numérique</b> : utiliser les résultats d'une méthode numérique pour mettre en évidence les approximations de l'étape cinétiquement déterminante ou de l'état quasi-stationnaire.</li> <li>• Reconnaître les conditions d'utilisation de l'approximation de l'étape cinétiquement déterminante ou de l'Approximation des états quasi-stationnaire.</li> <li>• Établir la loi de vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit à partir d'un mécanisme réactionnel en utilisant éventuellement les approximations classiques.</li> </ul>
<p>Interprétation du rôle d'un catalyseur Différents types de catalyse : homogène, hétérogène, enzymatique. Exemples de catalyse : acide-base hydrogénation des alcènes, modèle simple de Michaelis-Menten.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconnaître un catalyseur dans un mécanisme réactionnel et un effet catalytique dans un profil énergétique.</li> <li>• Établir la loi de vitesse dans le cadre du modèle de Michaelis -Menten.</li> </ul>
<b>Approche de la cinétique en réacteur ouvert</b>	
<p>Réacteur ouvert parfaitement agité continu fonctionnant en régime permanent, dans le cas où les débits volumiques d'entrée et de sortie sont égaux. Temps de passage.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exprimer la vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit, l'équation différentielle traduisant le bilan de matière pour un réactif ou un produit étant donnée.</li> <li>• Établir la loi de vitesse à partir de mesures fournies.</li> </ul>

## II. Architecture de la matière

Décrivant la matière au niveau macroscopique par des espèces chimiques aux propriétés physiques et chimiques caractéristiques, le chimiste la modélise au niveau microscopique par des entités chimiques dont la structure électronique permet de rendre compte et de prévoir diverses propriétés.

L'étude proposée dans cette partie du programme est centrée sur la classification périodique des éléments, outil essentiel du chimiste, dans l'objectif de développer les compétences relatives à son utilisation : extraction des informations qu'elle contient, prévision de la réactivité des corps simples, prévision de la nature des liaisons chimiques dans les corps composés, etc. On se limite, en première année, aux principales caractéristiques de la liaison chimique à l'exclusion de modèles plus élaborés comme la théorie des orbitales moléculaires qui sera étudiée en seconde année.

Depuis le collège et tout au long du lycée, les élèves ont construit successivement différents modèles pour décrire la constitution des atomes, des ions et des molécules. L'objectif de cette partie est de continuer à affiner les modèles des diverses entités chimiques isolées pour rendre compte des propriétés au niveau microscopique (longueur de liaison, polarité...) ou macroscopique (solubilité, température de changement d'état, ...). Les connaissances déjà acquises sont réactivées et complétées :

- Dans le cadre du modèle de Lewis, deux nouveautés sont introduites : les extensions de la règle de l'octet et le concept de délocalisation électronique, à travers le modèle de la mésomérie. Dans ce dernier cas, les compétences sont d'une part de repérer les situations où l'écriture de formules mésomères est nécessaire et, d'autre part, d'interpréter les propriétés des molécules à électrons délocalisés.
- L'électronégativité, introduite en classe de première, est abordée en s'appuyant sur une approche expérimentale : réactions d'oxydo-réduction, propriétés de corps composés en lien avec la nature de la liaison chimique. Elle est prolongée par la présentation de l'existence d'échelles numériques, notamment celle de Pauling, mais la connaissance de leurs définitions n'est pas exigible.
- La polarité des molécules a été abordée et utilisée dès la classe de première STL, mais pas l'aspect vectoriel du moment dipolaire, qui est souligné ici. La notion de moment dipolaire sera réinvestie ultérieurement en physique. Aucune compétence sur l'addition de vecteurs non coplanaires n'est exigible.
- La description des forces intermoléculaires est complétée pour développer les capacités d'interprétation ou de prévision de certaines propriétés physiques ou chimiques (température de changement d'état, miscibilité, solubilité) prenant en considération l'existence de telles forces. La notion de liaison hydrogène intramoléculaire est également introduite.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Utiliser la classification périodique des éléments pour déterminer, justifier ou comparer des propriétés (oxydo-réduction, solubilité, aptitude à la complexation, polarité, polarisabilité...);
- Pratiquer un raisonnement qualitatif rigoureux ;
- S'approprier les outils de description des entités chimiques (liaison covalente, notion de nuage électronique...) et leur complémentarité dans la description des interactions intermoléculaires ;
- Appréhender la notion de solvant, au niveau microscopique à travers les interactions intermoléculaires et au niveau macroscopique par leur utilisation au laboratoire, dans industrie et dans la vie courante.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1 Classification périodique des éléments et électronégativité</b>	
<b>Structure électronique des entités monoatomiques</b>	
Atomes et éléments. Isotopes, abondance isotopique, stabilité.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser un vocabulaire précis : élément, corps simple, corps composé, espèce chimique, entité chimique.</li> <li>• Donner la constitution d'un atome et de son noyau, à partir du numéro atomique Z et du nombre de masse</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Connaître les ordres de grandeur de la taille d'un atome, des masses et des charges de l'électron et des nucléons.</li> <li>• Reconnaître des nucléides isotopes.</li> </ul>
Quantification de l'énergie et spectroscopies (UV-visible, IR, RMN)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Associer un type de transition énergétique au domaine du spectre électromagnétique correspondant.</li> <li>• Déterminer la longueur d'onde d'une radiation émise ou absorbée à partir de la valeur de la transition énergétique mise en jeu, et inversement.</li> </ul>
Nombres quantiques $n$ , $l$ , $m_l$ et $m_s$ .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Établir un diagramme qualitatif des niveaux d'énergie électronique d'un atome donné.</li> <li>• Reconnaître si un quadruplet <math>\{n, l, m_l, m_s\}</math> est possible ou non.</li> </ul>
Configuration électronique d'un atome dans son état fondamental. Configuration électronique d'un ion monoatomique dans son état fondamental. Électrons de cœur et de valence.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Établir la configuration électronique d'un atome dans son état fondamental (la connaissance des exceptions à la règle de Klechkowski n'est pas exigible).</li> <li>• Reconnaître la configuration électronique de l'état fondamental ou d'un état excité d'un atome.</li> <li>• Déterminer le nombre d'électrons célibataires d'un atome dans son état fondamental.</li> <li>• Prévoir la formule des ions monoatomiques d'un élément et déterminer leur configuration électronique.</li> </ul>
<b>Classification périodique des éléments</b>	
Architecture et lecture du tableau périodique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relier la position d'un élément dans la classification périodique à sa configuration électronique et au nombre d'électrons de valence de l'atome correspondant (et inversement).</li> <li>• Situer dans le tableau périodique les familles d'éléments suivantes et énoncer leurs caractéristiques : métaux alcalins et alcalino-terreux, halogènes et gaz nobles.</li> <li>• Citer les éléments contenus dans les trois premières périodes de la classification et dans la colonne des halogènes (nom, symbole, numéro atomique).</li> </ul>

Électronégativité et évolution dans le tableau périodique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mettre en œuvre des expériences illustrant le caractère oxydant ou réducteur de certains corps simples.</b></li> <li>• <b>Élaborer ou mettre en œuvre un protocole permettant de montrer qualitativement l'évolution du caractère oxydant dans une colonne.</b></li> <li>• Relier le caractère oxydant ou réducteur d'un corps simple à l'électronégativité de l'élément.</li> <li>• Comparer l'électronégativité de deux éléments selon leur position dans le tableau périodique.</li> </ul>
Liaison métallique, covalente et ionique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distinguer un métal et un non-métal.</li> <li>• Localiser les métaux et les non-métaux dans le tableau périodique (placer approximativement la frontière).</li> <li>• Citer des exemples de métaux, de métaux nobles.</li> <li>• Citer des exemples de métalloïdes.</li> <li>• <b>Mettre en œuvre des expériences montrant l'évolution du caractère ionique et du caractère covalent des liaisons : solubilité dans l'eau des halogénures ou des oxydes, propriétés acido-basiques des oxydes...</b></li> <li>• Lier la nature de la liaison chimique à la différence d'électronégativité des atomes engagés.</li> </ul>
Rayon atomique. Rayon ionique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interpréter l'évolution du rayon atomique dans la classification périodique en utilisant la notion qualitative de nombre de charge effectif.</li> <li>• Interpréter l'évolution du rayon entre un atome et ses ions.</li> </ul>
<b>2 Structure électronique des molécules et relation structure-propriétés</b>	
<b>Structures de Lewis des entités polyatomiques</b>	
Schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique. Liaison covalente localisée et délocalisée.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Connaître les ordres de grandeur de la longueur et de l'énergie d'une liaison covalente.</li> <li>• Vérifier la règle de l'octet pour une structure de Lewis donnée.</li> <li>• Identifier les écarts à la règle de l'octet : lacune, hypervalence.</li> <li>• Établir qu'une entité est un radical ou un acide ou une base de Lewis.</li> <li>• Attribuer la charge formelle à chaque atome dans une structure donnée.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Établir le schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique simple.</li> <li>• Reconnaître des doublets conjugués dans une molécule ou un ion polyatomique.</li> <li>• Relier l'évolution des nombres d'onde d'absorption dans l'IR à la présence de groupes caractéristiques conjugués.</li> <li>• Dans des cas simples, reconnaître les cas de liaisons délocalisées et identifier la (ou les) formules mésomères la (les) plus représentative(s).</li> <li>• Représenter un hybride de résonance.</li> <li>• Prévoir les conséquences de la délocalisation (longueurs de liaisons, délocalisation de la charge...).</li> <li>• Mettre en évidence une éventuelle délocalisation à partir de données expérimentales.</li> </ul>
Géométrie des molécules : prévision par la méthode VSEPR.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Connaître et représenter les types structuraux AX<sub>n</sub>, avec 2 ≤ n ≤ 6.</li> <li>• Pour n=3 et n=4, connaître et représenter les types dérivés de AX<sub>n</sub> = AX<sub>p</sub>E<sub>q</sub> et prévoir les déformations angulaires.</li> </ul>
Liaison polarisée Molécule polaire Moment dipolaire d'une molécule.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Définir le moment dipolaire d'une molécule diatomique AB et connaître l'ordre de grandeur du Debye.</li> <li>• Déterminer le pourcentage d'ionicité d'une liaison AB à partir du moment dipolaire et de la longueur de liaison.</li> <li>• Dédire de la géométrie d'une molécule la valeur nulle ou non nulle de son moment dipolaire.</li> <li>• Représenter le vecteur moment dipolaire d'une molécule.</li> </ul>
<b>Forces intermoléculaires</b>	
Interactions de Van der Waals Liaison hydrogène.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Définir qualitativement la polarisabilité d'une molécule.</li> <li>• Identifier des situations dans lesquelles une liaison hydrogène peut s'établir entre deux molécules.</li> <li>• Connaître l'ordre de grandeur de l'énergie d'une liaison hydrogène et de Van der Waals.</li> <li>• Interpréter la différence de température de changement d'état et la différence de solubilité dans un solvant donné entre deux corps purs moléculaires.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interpréter l'influence de la présence de liaisons hydrogène sur les signaux en spectroscopie infra-rouge.</li> <li>• Identifier des situations où des liaisons hydrogène intramoléculaires peuvent s'établir.</li> <li>• Interpréter l'influence des forces intermoléculaires sur la température de changement d'état des corps purs ou sur les propriétés conformationnelles.</li> <li>• <b>Interpréter la migration relative d'espèces chimiques en chromatographie sur couche mince.</b></li> </ul>
<b>Solvants</b>	
<p>Solvants moléculaires</p> <p>Grandeurs caractéristiques d'un solvant : moment dipolaire, permittivité relative</p> <p>Types de solvants : polaire, apolaire, protique (ou protogène), aprotique, basique (Lewis).</p> <p>Mise en solution d'une espèce chimique moléculaire ou ionique</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Définir la permittivité relative d'un solvant.</li> <li>• Reconnaître à quelle catégorie appartient un solvant.</li> <li>• Décrire la mise en solution d'un solide ionique et connaître les caractéristiques du solvant qui la favorisent.</li> <li>• Comparer et interpréter les solubilités de différentes espèces chimiques dans l'eau (ou dans un solvant organique) en termes d'interactions intermoléculaires.</li> <li>• Interpréter la miscibilité ou non de deux solvants.</li> <li>• <b>Choisir un solvant adapté à la dissolution d'une espèce donnée, à la mise en œuvre de certaines réactions, à la réalisation d'une extraction, et aux principes de la chimie verte.</b></li> <li>• <b>Elaborer et mettre en œuvre un protocole pour déterminer la valeur d'une constante de partage.</b></li> </ul>
Autres solvants.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Approche documentaire</b> : les solvants ioniques.</li> </ul>

### Structure en chimie organique

. L'objectif de cette partie qui s'inscrit dans la continuité du programme du secondaire, est d'une part, de se doter d'outils pour décrire les molécules dans l'espace, les caractériser, et d'autre part d'entrevoir l'importance de la stéréochimie dans la nature et dans les applications au laboratoire. Ce socle sera réinvesti au cours du deuxième semestre pour aborder la réactivité en chimie organique et les stratégies de synthèse.

Sans donner lieu à une étude systématique, la nomenclature UICPA des composés, déjà mise en place dans le secondaire, est utilisée au fur et à mesure des besoins. En première année, le passage du nom à tous les types de formules ou de représentations pourra être exigé.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Pratiquer un raisonnement qualitatif rigoureux ;
- Relier structure et propriétés microscopiques aux grandeurs et comportements macroscopiques ;
- Maîtriser et utiliser différentes représentations schématiques d'une entité chimique ;
- Relier la mesure et la forme d'un signal physique à des caractéristiques structurales microscopiques de l'espèce chimique étudiée.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Description des molécules organiques</b>	
<p>Représentations topologique, perspective, de Cram, de Fischer, projection de Newman.</p> <p>Descripteurs stéréochimiques <i>R</i>, <i>S</i>, <i>Z</i>, <i>E</i>, <i>D</i> et <i>L</i>.</p> <p>Isomérisation de constitution.</p> <p>Stéréoisomérisation de configuration : énantiomérisation, diastéréoisomérisation (atropoisomérisation exclue). Principe de la séparation des énantiomères.</p> <p>Stéréoisomérisation de conformation : chaînes carbonées, cyclohexane substitué ou non.</p> <p>Séparation d'énantiomères et synthèse stéréosélective.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traduire par un nom la formule semi-développée (ou topologique) d'une molécule simple, au maximum bifonctionnelle, et réciproquement.</li> <li>• Représenter en deux dimensions une molécule à partir de son nom sans perdre les informations spatiales, en utilisant un type de représentation donnée.</li> <li>• Savoir passer d'un type de représentation spatiale d'une molécule à une autre.</li> <li>• Déterminer si une molécule est chirale.</li> <li>• Attribuer les descripteurs stéréochimiques de centres stéréogènes.</li> <li>• Définir la relation d'isomérisation entre deux structures moléculaires à partir d'un type de représentation donnée.</li> <li>• Dénombrer les stéréoisomères de configuration d'un composé.</li> <li>• Comparer la stabilité relative des plusieurs conformations.</li> <li>• Interpréter la stabilité d'un conformère donné.</li> <li>• <b>Identifier et représenter en deux dimensions, en s'aidant éventuellement de modèles moléculaires ou d'un logiciel de représentation et/ou de simulation, le(s) conformère(s) le(s) plus stable(s) pour une molécule donnée.</b></li> <li>• <b>Approche documentaire :</b> illustrer et analyser le rôle essentiel de la diastéréoisomérisation lors de synthèses énantiosélectives et de séparations d'énantiomères.</li> </ul>
<b>Analyses polarimétrique et spectroscopique en chimie organique</b>	
<p>Activité optique, pouvoir rotatoire. Loi de Biot</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Pratiquer une démarche expérimentale utilisant l'activité optique d'une espèce chimique.</b></li> </ul>

Notions et contenus	Capacités exigibles
Spectroscopies d'absorption UV-visible et IR.  Spectroscopie de RMN du proton : - déplacement chimique et constante de couplage - spectres du premier ordre de type $A_mX_p$ , $A_mM_pX_q$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relier la valeur du pouvoir rotatoire d'un mélange d'énantiomères à sa composition.</li> <li>• <b>Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer une concentration par spectroscopie UV-Visible.</b></li> <li>• Établir ou confirmer une structure à partir de tables de données spectroscopiques (nombres d'onde, déplacements chimiques, constantes de couplage).</li> </ul>

## Second Semestre

### IV. Architecture de la matière condensée : solides cristallins

L'existence des états cristallins et amorphes ainsi que la notion de transition allotropique, présentées au premier semestre dans la partie « Transformations de la matière », vont être réinvesties et approfondies dans cette partie.

Les éléments de description microscopique relatifs au « modèle du cristal parfait » sont introduits lors de l'étude des solides sur l'exemple de la maille cubique faces centrées (CFC), seule maille dont la connaissance est exigible. Cet ensemble d'outils descriptifs sera réinvesti pour étudier d'autres structures cristallines dont la constitution sera alors fournie à l'étudiant.

Aucune connaissance de mode de cristallisation pour une espèce donnée n'est exigible ; le professeur est libre de choisir les exemples de solides pertinents pour présenter les différents types de cristaux et montrer leur adéquation, plus ou moins bonne, avec le modèle utilisé.

En effet, l'objectif principal de l'étude des cristaux métalliques, covalents et ioniques est d'aborder une nouvelle fois la notion de modèle : les allers-retours entre le niveau macroscopique (solides de différentes natures) et la modélisation microscopique (cristal parfait) permettent de montrer les limites du modèle du cristal parfait et de confronter les prédictions faites avec ce modèle aux valeurs expérimentales mesurées sur le solide réel (rayons ioniques, masse volumique). Ce chapitre constitue une occasion de revenir sur les positions relatives des éléments dans la classification périodique, en lien avec la nature des interactions assurant la cohésion des édifices présentés, ainsi que sur les interactions intermoléculaires et la notion de solubilisation pour les solides ioniques et moléculaires.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- relier la position d'un élément dans le tableau périodique et la nature des interactions des entités correspondantes dans un solide ;
- effectuer des liens entre différents champs de connaissance ;
- appréhender la notion de limite d'un modèle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Modèle du cristal parfait</b>	
<p>Description du cristal parfait ; population, coordinence, compacité, masse volumique.</p> <p>Limites du modèle du cristal parfait.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Décrire un cristal parfait comme un assemblage de mailles parallélépipédiques.</li> <li>• Déterminer la population, la coordinence et la compacité pour une structure fournie.</li> <li>• Déterminer la valeur de la masse volumique d'un matériau cristallisé selon une structure cristalline fournie.</li> <li>• Relier le rayon métallique, covalent, de Van der Waals ou ionique, selon le cas, aux paramètres d'une maille donnée.</li> <li>• <b>Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et des sites interstitiels et pour déterminer des paramètres géométriques.</b></li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Confronter des données expérimentales aux prévisions du modèle.</li> <li>• <b>Approche documentaire</b> : à partir de documents autour des défauts cristallins, aborder leur nature et leurs conséquences sur les propriétés du matériau.</li> </ul>
<p><b>Métaux et cristaux métalliques</b></p> <p>Description des modèles d'empilement compact de sphères identiques. Maille conventionnelle CFC et ses sites interstitiels.</p> <p>Alliages de substitution et d'insertion.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localiser les interstices tétraédriques et octaédriques entre les plans d'empilement.</li> <li>• Localiser, dénombrer les sites tétraédriques et octaédriques d'une maille CFC et déterminer leur habitabilité.</li> <li>• Relier les caractéristiques de la liaison métallique (ordre de grandeur énergétique, non directionnalité) aux propriétés macroscopiques des métaux.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Citer des exemples d'alliage et leur intérêt par rapport à des métaux purs.</li> <li>• Prévoir la possibilité de réaliser des alliages de substitution ou d'insertion selon les caractéristiques des atomes mis en jeu.</li> </ul>

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Solides macrocovalents et moléculaires</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifier les liaisons covalentes, les interactions de Van der Waals et les liaisons hydrogène dans un cristal de structure donnée.</li> <li>• Relier les caractéristiques des liaisons covalentes, des interactions de Van der Waals et des liaisons hydrogène (directionnalité ou non, ordre de grandeur des énergies mises en jeu) et les propriétés macroscopiques des solides correspondants.</li> <li>• Comparer les propriétés macroscopiques du diamant et du graphite et interpréter les différences en relation avec les structures microscopiques (structures cristallines fournies).</li> </ul>
<b>Solides ioniques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relier les caractéristiques de l'interaction ionique dans le cadre du modèle ionique parfait (ordre de grandeur de l'énergie d'interaction, non directionnalité, charge localisée) avec les propriétés macroscopiques des solides ioniques.</li> <li>• Vérifier la tangence anion-cation et la non tangence anion-anion dans une structure cubique de type AB fournie, à partir des valeurs du paramètre de maille et des rayons ioniques.</li> </ul>

## V. 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...) repose sur des phénomènes d'oxydoréduction en solution aqueuse. L'influence du milieu (pH, présence ou non d'agents complexants, possibilité de formation de composés insolubles...) est primordiale dans la compréhension et la prévision des phénomènes mis en jeu.

L'objectif de cette partie est de présenter les différents types de réactions susceptibles d'intervenir en solution aqueuse, d'en déduire des diagrammes de prédominance ou d'existence d'espèces chimiques, notamment des diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL, et de les utiliser comme outil de prévision et d'interprétation des transformations chimiques quel que soit le milieu donné. Les conventions de tracé seront toujours précisées.

S'appuyant sur les notions de couple redox et de piles rencontrées dans le secondaire, l'étude des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse est complétée par l'utilisation de la relation de Nernst (admise en première année) et de la relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydoréduction et les potentiels standard.

Afin de pouvoir étudier l'influence du milieu sur les espèces oxydantes ou réductrices effectivement présentes, les connaissances sur les réactions acido-basiques en solution aqueuse et sur les complexes acquises dans le secondaire sont réinvesties et complétées. Compte tenu des différentes conventions existantes, l'équation de la réaction correspondante est donnée dans chaque cas. Enfin, les phénomènes de précipitation et de dissolution, ainsi que la condition de saturation d'une solution aqueuse sont présentés.

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. On montrera qu'il est ainsi possible d'analyser et de simplifier une situation complexe pour parvenir à la décrire rigoureusement et quantitativement, en l'occurrence dans le cas des solutions aqueuses par une réaction prépondérante. Il est cependant important de noter qu'on évite tout calcul inutile de concentration, et que dans ce cadre, aucune formule de calcul de pH n'est exigible.

Enfin, les diagrammes potentiel-pH et éventuellement potentiel-pL sont présentés, puis superposés pour prévoir ou interpréter des transformations chimiques, des phénomènes.

Les choix pédagogiques relatifs au contenu des séances de travail expérimental permettront de contextualiser ces enseignements, et de discuter de la pertinence des modèles de description des transformations en solution aqueuse.

Les dosages par titrage sont étudiés exclusivement en travaux pratiques. L'analyse des conditions choisies ou la réflexion conduisant à une proposition de protocole expérimental pour atteindre un objectif donné constituent des mises en situation des enseignements évoqués précédemment. La compréhension des phénomènes mis en jeu dans les titrages est par ailleurs un outil pour l'écriture de la réaction prépondérante. Ces séances de travail expérimental constituent une nouvelle occasion d'aborder qualité et précision de la mesure.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Modéliser ou simplifier un problème complexe ;
- Utiliser différents outils graphique, numérique, analytique ;
- Repérer les informations ou paramètres importants pour la résolution d'un problème.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Réactions d'oxydo-réduction</b> Nombres d'oxydation.</p> <p>Exemples usuels d'oxydants et de réducteurs : nom, nature et formule des ions, permanganate, dichromate, hypochlorite, thiosulfate, du peroxyde d'hydrogène.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple.</li> <li>• Prévoir le nombre d'oxydation extrême d'un élément à partir de sa position dans le tableau périodique.</li> <li>• Représenter une pile et décrire son fonctionnement à partir de la mesure de la tension à vide ou des potentiels d'électrodes.</li> <li>• Construire des diagrammes de prédominance ou d'existence pour les différents couples d'oxydo-réduction.</li> </ul>

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Piles et électrodes. Potentiel d'électrode, formule de Nernst, électrodes de référence</p> <p>Réactions d'oxydoréduction : aspect thermodynamique, dismutation et médiamentation</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.</li> <li>• Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction.</li> <li>• <b>Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu des réactions d'oxydo-réduction.</b></li> </ul>
<p><b>Réactions acide-base et de complexation</b></p> <p>Réactions acide-base : constante d'acidité, Diagrammes de prédominance en fonction de pH Exemples usuels d'acides et bases : nom, formule et nature – faible ou forte – des acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, phosphorique, acétique, de la soude, la potasse, l'ion hydrogénocarbonate, l'ammoniac.</p> <p>Réaction de complexation, constante de formation ou de dissociation, Complexes : définition Domaines de prédominance en fonction de pL.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconnaître si une réaction chimique donnée est une réaction d'oxydoréduction, acido-basique ou de complexation.</li> <li>• Construire des diagrammes de prédominance pour différents couples acide-base et pour des complexes successifs.</li> <li>• 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.</li> <li>• Déterminer des constantes thermodynamiques par lecture de courbes de distribution (et réciproquement).</li> <li>• Déterminer la valeur de la constante thermodynamique pour une équation, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques sont connues.</li> <li>• Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.</li> <li>• Déterminer la composition chimique du système chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre et de transformation totale, pour une transformation chimique modélisée par une réaction unique.</li> </ul>

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Réaction de précipitation</b>            Réaction de précipitation : constante de solubilité <math>K_s</math>.</p> <p>Solubilité et condition de précipitation.</p> <p>Domaine d'existence.</p> <p>Facteur influençant la précipitation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparer <math>Q_r</math> et <math>K_s</math> ; en déduire si la solution est saturée ou non.</li> <li>• Construire les diagrammes d'existence</li> <li>• Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.</li> <li>• Déterminer la composition chimique du système chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre et de transformation totale, pour une transformation chimique modélisée par une réaction unique. En déduire la solubilité d'un sel peu soluble dans différents milieux.</li> <li>• <b>Proposer ou mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de précipiter un ion donné ou de (re)dissoudre un précipité.</b></li> </ul>
<p>Traitement des effluents dans une usine chimique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Approche documentaire</b> : à partir de documents décrivant le traitement des effluents d'une usine chimique, dégager les principales problématiques mises en jeu (nature des capteurs, valeurs limites pour des espèces polluantes...).</li> </ul>
<p><b>Diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL</b></p> <p>Principe de construction d'un diagramme potentiel-pH simple</p> <p>Lecture et utilisation des diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL</p> <p>Limite thermodynamique du domaine d'inertie électrochimique de l'eau</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Attribuer les différents domaines d'un diagramme fourni à des espèces données.</li> <li>• Retrouver la valeur de la pente d'une frontière dans un diagramme potentiel-pH ou potentiel-pL.</li> <li>• Justifier la position d'une frontière verticale.</li> <li>• Prévoir le caractère thermodynamiquement favorisé ou non d'une transformation par superposition de diagrammes ;</li> <li>• Discuter de la stabilité des espèces chimiques dans l'eau.</li> <li>• Confronter les prévisions à des données expérimentales et interpréter d'éventuels écarts en termes cinétique.</li> <li>• <b>Mettre en œuvre une démarche expérimentale s'appuyant sur l'utilisation d'un diagramme potentiel-pH</b></li> </ul>

## VI. Réactivité et synthèse en chimie organique

L'objectif de cette partie est d'apporter des compléments à l'ensemble des connaissances et compétences acquises en chimie organique au cycle terminal de la filière STL, pour d'une part faire comprendre les enjeux et la logique de la synthèse organique, et d'autre part décrire, analyser et modéliser les transformations organiques à l'échelle microscopique.

Les monohalogénoalcanes sont choisis comme exemple de substrats pouvant subir des substitutions nucléophiles et des  $\beta$ -éliminations. Ils conduisent aussi à la formation

d'organométalliques, premier exemple de composés présentant un atome de carbone nucléophile et pouvant donner lieu à des additions nucléophiles sur des composés possédant une double liaison C=O. Les notions sont ainsi présentées sur des exemples donnés, mais dans le but d'une maîtrise permettant un réinvestissement sur des situations analogues. Ainsi, une présentation par mécanismes ou de type fonctionnelle peut être envisagée, au libre choix de l'enseignant.

Néanmoins, il s'agit de privilégier une approche mécanistique pour faire comprendre et maîtriser les raisonnements plutôt que pour empiler les connaissances.

La maîtrise des techniques courantes en chimie organique est renforcée par les séances de travaux pratiques choisies de manière à construire, en deux ans, une acquisition effective de l'ensemble des compétences expérimentales attendues.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Concilier l'application courante de principes généraux et leur adaptation à des cas spécifiques ou complexes ;
- Identifier, dans une entité chimique complexe, la partie utile au raisonnement ;
- Elaborer une stratégie d'adaptation pour résoudre un problème ;
- Pratiquer un raisonnement qualitatif argumenté pour expliquer un schéma de synthèse ;
- Analyser des problèmes de complexité croissante.

Notions et contenus	Capacités attendues
<p><b>Réactivité et synthèse en chimie organique</b> Nucléophile, électrophile. Nucléofuge. Acidité et de basicité (de Brønsted) des composés organiques. Réactivité des dérivés halogénés, alcools, amines, alcènes et organomagnésiens mixtes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifier un site nucléophile, électrophile dans une entité chimique.</li> <li>• Classer des nucléophiles et des électrophiles par réactivité croissante.</li> <li>• Comparer la force des acides et des bases organiques.</li> <li>• Comparer l'électrophilie de deux sites en étudiant les nucléofuges.</li> </ul>
<p>Différents types de réactions rencontrés en chimie organiques : substitution nucléophile, élimination, addition nucléophile, addition électrophile.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconnaître dans une équation de réaction ou dans l'étape d'un mécanisme réactionnel, le type de réaction mis en oeuvre.</li> <li>• <b>Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de réaliser une transformation simple en chimie organique.</b></li> </ul>
<p><b>Mécanismes de substitution nucléophile.</b> Mécanismes limites de substitution nucléophile bimoléculaire S<sub>N</sub>2 et monomoléculaire S<sub>N</sub>1 : propriétés cinétiques et stéréochimiques. Illustration sur l'exemple des RX, de la synthèse d'éthers par la méthode Williamson, l'action de HX sur les alcools, l'alkylation des amines, réaction de Wurtz des RMgX.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Écrire un mécanisme à l'aide du formalisme des flèches courbes représentant le déplacement des doublets électroniques.</li> <li>• À partir de résultats expérimentaux (cinétiques, stéréochimiques) ou l'analyse de facteurs structuraux des substrats, établir les mécanismes limites des réactions de substitution nucléophile et d'élimination en les adaptant aux substrats considérés.</li> </ul>

Notions et contenus	Capacités attendues
<p><b>Mécanismes de <math>\beta</math>-élimination.</b> Mécanismes limites de <math>\beta</math>-élimination bimoléculaire <math>E_2</math> et monomoléculaire <math>E_1</math> : propriétés cinétiques et stéréochimiques, régiosélectivité ; illustration sur RX (<math>E_2</math>), déshydratation des alcools (<math>E_1</math>).</p> <p>Mécanisme de <math>\beta</math>-élimination <math>E_{1cb}</math>. Illustration sur la réaction de crotonisation.</p> <p>Compétition substitution-élimination. Illustration sur les alcools.</p> <p>Contrôle cinétique-contrôle thermodynamique. Présentation du postulat de Hammond.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prévoir ou analyser la régiosélectivité, la stéréosélectivité et la stéréospécificité éventuelles d'une transformation simple en chimie organique en utilisant un vocabulaire précis et rigoureux.</li> <li>• Tracer, commenter et utiliser un diagramme énergétique à l'échelle microscopique.</li> <li>• Reconnaître les conditions d'utilisation du postulat de Hammond et prévoir l'obtention des produits lorsque deux transformations sont en compétition.</li> </ul>
<p><b>Mécanisme d'addition électrophile.</b> Addition électrophile sur les alcènes : action de <math>X_2</math>, HX, <math>H_2O</math>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Écrire un mécanisme à l'aide du formalisme des flèches courbes représentant le déplacement des doublets électroniques.</li> <li>• Prévoir ou analyser la régiosélectivité, la stéréosélectivité et la stéréospécificité éventuelles d'une transformation simple en chimie organique en utilisant un vocabulaire précis et rigoureux.</li> </ul>
<p><b>Mécanisme d'addition nucléophile.</b> Action des organomagnésiens mixtes sur aldéhydes, cétones et dioxyde de carbone, dérivés d'acide hors nitriles.</p> <p>Intérêt des organométalliques dans la construction d'une chaîne carboné.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Écrire un mécanisme à l'aide du formalisme des flèches courbes représentant le déplacement des doublets électroniques.</li> <li>• Déterminer le produit formé dans une synthèse magnésienne et vice et versa déterminer les réactifs nécessaires à la synthèse magnésienne d'une entité donné.</li> <li>• <b>Décrire et mettre en œuvre un protocole de préparation d'un organomagnésien mixte</b></li> <li>• <b>Mettre en œuvre un protocole de synthèse magnésienne et en justifier les étapes et conditions expérimentales, y compris l'hydrolyse terminale.</b></li> </ul>
<p><b>Stratégie de synthèse</b></p> <p>Approche élémentaire de la stratégie de synthèse : analyse rétrosynthétique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concevoir une stratégie de synthèse pour une molécule simple.</li> <li>• <b>Analyser et justifier les choix expérimentaux dans une synthèse organique.</b></li> </ul>

## Appendice 1 : liste de matériel

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

- Verrerie classique de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, bechers, etc.
- Verrerie classique de chimie organique, rodée ou non rodée : ballons, ampoule de coulée (isobare ou non), réfrigérant à eau, matériel de distillation simple, d'hydrodistillation, dispositifs de chauffage ou de refroidissement (bain-marie, bain froid, chauffe-ballon, agitateur magnétique chauffant, etc.), dispositifs d'agitation, séparateur de Dean-Stark, ampoule à décanter, matériel de filtration sous pression ordinaire et sous pression réduite.
- Évaporateur rotatif
- Matériel de chromatographie sur couche mince
- Lampe UV
- Banc de Kofler
- Réfractomètre
- Résines échangeuses d'ions
  
- Spectrophotomètre UV-visible
- pH-mètre et sondes de mesure
- Millivoltmètre et électrodes
- Conductimètre et sonde de mesure
- Polarimètre
- Sonde thermométrique
- Balance de précision

## Appendice 2 : Outils mathématiques

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

La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique et de la chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année de TPC. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année ; il sera complété dans le programme de seconde année. Les outils figurant dans le tableau n'ont pas tous vocation à être mis en œuvre en chimie.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique ou formel).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
<b>1. Équations algébriques</b>	
Systèmes linéaires de $n$ équations à $p$ inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$ . Utiliser des outils numériques ou de calcul formel dans les autres cas.

Équations non linéaires.	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$ . Interpréter graphiquement la ou les solutions.- Dans le cas général, résoudre à l'aide d'un outil numérique ou de calcul formel.
--------------------------	---

<b>2. Équations différentielles</b>	
Équations différentielles linéaires à coefficients constants.	Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique.
Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$ .	Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \cos(\omega x + \phi)$ (en utilisant la notation complexe).
Équations différentielles linéaires du deuxième ordre à coefficients constants : $y'' + ay' + by = f(x)$ .	Utiliser l'équation caractéristique pour trouver la solution générale de l'équation sans second membre. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \exp(\lambda x)$ avec $\lambda$ complexe. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution.
Autres équations différentielles d'ordre 1 ou 2.	Intégrer numériquement avec un outil fourni. Obtenir une intégrale première d'une équation de Newton $x'' = f(x)$ et l'exploiter graphiquement. Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et le graphe de la solution correspondante.

<b>3. Fonctions</b>	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ( $x \rightarrow x^a$ ), Cosinus hyperbolique et sinus hyperbolique (ces fonctions hyperboliques, non traitées dans le cours de mathématiques, sont introduites par le professeur de physique).
Dérivée. Notation $dx/dt$ .  Développements limités.	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement.  Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1 + x)^a$ , $e^x$ et $\ln(1 + x)$ , et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$ .
Primitive et intégrale.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques.

Valeur moyenne.	Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions $\cos$ , $\sin$ , $\cos^2$ et $\sin^2$ .
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation $y = f(x)$ donnée. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni par un formulaire (cette capacité est développée par le professeur de physique, la notion de série de Fourier n'étant pas abordée dans le cours de mathématiques).

<b>4. Géométrie</b>	
Vecteurs et système de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée d'un espace de dimension inférieure ou égale à 3. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Produit vectoriel.	Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe. Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel. Faire le lien avec l'orientation des trièdres.  Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace. Ces capacités sont développées par le professeur de physique ou de chimie, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une ellipse, d'une branche d'hyperbole, d'une parabole (concernant les coniques, cette capacité est développée par le professeur de physique, l'étude des coniques n'étant pas traitée en mathématiques).

Courbes planes paramétrées.	<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>Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur. Identifier une ellipse à l'aide de sa représentation paramétrique (<math>x = a \cdot \cos(\omega t)</math>, <math>y = b \cdot \cos(\omega t - \varphi)</math>) et la tracer dans les cas particuliers <math>\varphi = 0</math>, <math>\varphi = \pi/2</math> et <math>\varphi = \pi</math>.</p>
Longueurs, aires et volumes classiques.	Connaître les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.
Barycentre d'un système de points.	<p>Connaître la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène.</p> <p>(cette capacité sera développée par le professeur de physique, l'étude du barycentre n'étant pas traitée en mathématiques).</p>

<b>5. Trigonométrie</b>	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles d'un plan perpendiculaire à cet axe.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	<p>Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire: relation <math>\cos^2 x + \sin^2 x = 1</math>, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type <math>\cos(\pi \pm x)</math> et <math>\cos\left(\frac{\pi}{2} \pm x\right)</math>, parités, périodicité, 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>
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.