



# Programmes des classes préparatoires aux Grandes Ecoles

Filière : **scientifique**

Voie : **Technologie et biologie (TB)**

Discipline : **Physique-chimie**

**Seconde année**

## Programme de physique-chimie de TB 2<sup>ème</sup> année

Le programme de physique-chimie de la classe de deuxième année de TB s'inscrit dans la continuité du programme de première année. Ce programme est conçu pour amener tous les étudiants à poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, pour éveiller leur curiosité et leur permettre de se former tout au long de la vie.

L'objectif de l'enseignement de physique-chimie est d'abord de développer des compétences propres à la pratique de la démarche scientifique :

- observer et s'approprier une problématique ;
- analyser et modéliser ;
- valider ;
- réaliser et créer.

Cette formation doit aussi développer d'autres compétences dans un cadre scientifique :

- communiquer, à l'écrit et à l'oral ;
- être autonome et faire preuve d'initiative.

Ces compétences sont construites à partir d'un socle de connaissances et de capacités défini par ce programme. Comme celui de première année, ce programme identifie, pour chacun des items, les connaissances scientifiques, mais aussi les savoir-faire, les capacités que les étudiants doivent maîtriser à l'issue de la formation. L'acquisition de ces capacités constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Observer, mesurer, confronter un modèle au réel nécessitent la pratique d'une démarche expérimentale. La formation expérimentale de l'étudiant revêt donc une importance essentielle, au même titre que sa formation théorique. En outre elle donne un sens aux concepts et aux lois introduites. En classe de TB2, cette formation expérimentale est poursuivie ; elle s'appuie sur les capacités développées en première année, elle les affermit et les complète.

Comprendre, décrire, modéliser, prévoir, nécessitent aussi une solide formation théorique. Celle-là est largement complétée en classe de TB2. Le professeur s'appuiera sur des exemples concrets afin de lui donner du sens. La diversité des domaines scientifiques abordés ne doit pas masquer à l'étudiant la transversalité des concepts et des méthodes utilisés, que le professeur veillera à souligner. Théorique et expérimentale, la formation de l'étudiant est multiforme et doit être abordée par des voies variées. Ainsi le professeur doit-il rechercher un point d'équilibre entre des approches apparemment distinctes, mais souvent complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

L'autonomie de l'étudiant et sa capacité à prendre des initiatives sont développées à travers la pratique d'activités de type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à des questionnements précis. Ces résolutions de problèmes peuvent aussi être de nature expérimentale ; la formation expérimentale vise non seulement à apprendre à l'étudiant à réaliser des mesures ou des expériences selon un protocole fixé, mais aussi à l'amener à proposer lui-même un protocole et à le mettre en œuvre. Cette capacité à proposer un protocole doit être résolument développée au cours de la formation expérimentale.

Dans ce programme comme dans celui de première année, il est proposé au professeur d'aborder certaines notions à partir de l'étude d'un document. L'objectif de cette « approche documentaire » est d'apprendre à l'étudiant à compléter ses connaissances et ses savoir-faire par l'exploitation de ressources et de documents scientifiques variés, ce qu'il aura inévitablement à pratiquer dans la

suite de sa formation et de sa vie professionnelle.

La mise en œuvre de la démarche scientifique en physique-chimie fait souvent appel aux mathématiques, tant pour la formulation du modèle que pour en extraire des prédictions. Le professeur veillera à n'avoir recours à la technicité mathématique que lorsqu'elle s'avère indispensable, et à mettre l'accent sur la compréhension des phénomènes physiques. Néanmoins l'étudiant doit savoir utiliser de façon autonome certains outils mathématiques (précisés dans l'appendice « outils mathématiques ») dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie.

Enfin, lorsqu'il en aura l'opportunité, le professeur familiarisera l'étudiant à recourir à une approche numérique, qui permet une modélisation plus fine et plus réaliste du réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. Dans ce domaine des démarches collaboratives sont recommandées.

Le programme de physique-chimie de la classe de deuxième année de TB inclut celui de première année, et son organisation est la même :

- Dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer pendant les deux années de formation à travers certaines de ses composantes : la démarche expérimentale, la résolution de problèmes et les approches documentaires. Ces compétences et les capacités associées continueront à être exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la deuxième année en s'appuyant sur les autres parties du programme. 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. Elles complètent celles décrites dans la deuxième partie du programme de TB1, qui restent exigibles, et devront être régulièrement exercées durant la classe de TB2. Leur mise en œuvre à travers les activités expérimentales doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la partie « formation disciplinaire ».

- La troisième partie, intitulée « **formation disciplinaire** », décrit les connaissances et capacités associées aux contenus disciplinaires propres à la classe de TB2. Comme dans le programme de première année, elles sont présentées en deux colonnes : la première colonne décrit les « notions et contenus » ; en regard, la seconde colonne précise les « capacités exigibles » associées dont l'acquisition par les étudiants doit être la priorité du professeur. 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.

Certains items de cette 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 se prêtent à une **approche documentaire**. Les activités peuvent être abordées de manière collective ou nourrir un travail de préparation en autonomie.

- Un appendice liste le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie en fin de deuxième année de TB. Il complète le matériel rencontré en première année et dont la maîtrise reste nécessaire.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre en fin d'année pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée par semestre. Le professeur est ici libre de traiter le programme dans l'ordre qui lui semble le plus adapté à ses étudiants. Dans le cadre de sa 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 étudiants. 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.
- Il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines, sciences de la vie et de la terre, biotechnologies, mathématique et informatique.

## Partie 1 - Démarche scientifique

### 1. Démarche expérimentale

La physique et la chimie sont des sciences à la fois théoriques et expérimentales. Ces deux parties de la démarche scientifique s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement. C'est la raison pour laquelle ce programme fait 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 du volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités 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 du programme 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 physique.

- 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 la mise en œuvre de protocoles simples associés à la mesure 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 classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE) mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres 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 celles-ci 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 toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail 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>- Enoncer une problématique d'approche expérimentale.</li><li>- Définir les 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.</li><li>- Choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental.</li><li>- Evaluer 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>- A l'écrit comme à l'oral :<ul style="list-style-type: none"><li>o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible ;</li><li>o utiliser un vocabulaire scientifique adapté ;</li><li>o s'appuyer sur des schémas, des graphes.</li></ul></li><li>- Faire preuve d'écoute, confronter son point de vue.</li></ul>
<b>Etre autonome, faire preuve d'initiative</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Travailler seul ou en équipe.</li><li>- Solliciter une aide de manière pertinente.</li><li>- S'impliquer, prendre des décisions, anticiper.</li></ul>

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, on doit développer les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. 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 préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

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

## 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, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de 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.

Compétence	Exemples de capacités associées
<b>S'approprier le problème.</b>	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.
<b>Etablir une stratégie de résolution (analyser).</b>	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.
<b>Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).</b>	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.
<b>Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).</b>	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
<b>Communiquer.</b>	Présenter la solution ou la rédiger, en en expliquant le raisonnement et les résultats.

### 3. Approches documentaires

En seconde année, comme en première année, le programme de physique-chimie prévoit un certain nombre **d'approches documentaires, identifiées en gras**, dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « formation disciplinaire ». L'objectif de ces activités reste le même puisqu'il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver en utilisant des documents variés (texte, schéma, graphe, vidéo, photo,...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (construction du savoir scientifique, histoire des sciences, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...) dans les domaines de la physique et de la chimie des XXème et XXIème siècles et de leurs applications ;
- de mobiliser et de développer des compétences liées à la recherche, à l'extraction, à l'organisation, à l'analyse et à la synthèse de l'information recueillie ou fournie, compétences essentielles pour les futurs ingénieurs et chercheurs scientifiques. Ces compétences et des exemples de capacités associées sont présentés dans le tableau ci-dessous. Elles peuvent servir de support pour la formation et l'évaluation des étudiants.

À l'issue de l'activité documentaire, une synthèse finale est indispensable pour bien identifier les nouvelles connaissances, les nouveaux modèles et les éléments de culture générale que les étudiants doivent s'approprier.

<b>Compétence</b>	<b>Exemples de capacités associées</b>
<b>S'approprier</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dégager la problématique principale.</li> <li>- Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.</li> <li>- Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau...).</li> </ul>
<b>Analyser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier les idées essentielles et leurs articulations.</li> <li>- Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments du ou des documents.</li> <li>- Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence.</li> <li>- Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif.</li> <li>- S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse.</li> </ul>
<b>Réaliser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau.</li> <li>- Trier et organiser des données, des informations.</li> <li>- Tracer un graphe à partir de données.</li> <li>- Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure,...</li> <li>- Décrire un phénomène à travers la lecture d'un graphe, d'un tableau,...</li> <li>- Conduire une analyse dimensionnelle.</li> <li>- Utiliser un modèle décrit.</li> </ul>
<b>Valider</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faire preuve d'esprit critique.</li> <li>- Confronter le contenu du document avec ses connaissances et savoir-faire.</li> <li>- Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude...).</li> <li>- Estimer des ordres de grandeur et procéder à des tests de vraisemblance.</li> </ul>

<b>Communiquer à l'écrit comme à l'oral</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rédiger/présenter une synthèse, une analyse, une argumentation,... (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique).</li> <li>- Résumer un paragraphe sous la forme d'un texte, d'un schéma, d'une carte mentale.</li> <li>- Illustrer son propos par des schémas, des graphes, des développements mathématiques.</li> </ul>
---	--

Dix activités documentaires sont listées dans la formation disciplinaire de seconde année, en TB2. Ces activités nourrissent la réflexion thématique élargie. Néanmoins il ne saurait être question de limiter le champ des activités possibles, ni de restreindre les choix pédagogiques du professeur. Toute autre activité documentaire en liaison avec les thèmes du programme peut être étudiée et évaluée, dès lors que les activités citées dans le programme ont déjà été réalisées dans le cadre de la formation.

## Partie 2 - Formation expérimentale

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les élèves doivent acquérir au cours des deux années de formation durant les séances de travaux pratiques.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

Le choix des activités peut être réalisé en fonction de la progression de l'enseignement des concepts tout en maintenant un équilibre entre les deux années de préparation. Ces activités sont l'occasion pour l'étudiant de développer le sens de l'initiative, le **respect des règles de sécurité pour l'homme et pour l'environnement**.

Les étudiants doivent connaître le principe des techniques indiquées et en réaliser la mise en œuvre expérimentale. Des notices simplifiées de fonctionnement et de réglage des appareils utilisés doivent être fournies.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<p><b>Règles de sécurité</b></p> <p><b>Techniques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- chauffage à reflux,</li> <li>- addition d'un réactif au cours d'une réaction,</li> <li>- réaction en conditions anhydres,</li> <li>- traitement d'un brut réactionnel,</li> <li>- séparation et purification,</li> </ul>	<p>Interpréter la fiche de sécurité et l'étiquetage d'un produit.</p> <p>Respecter les règles élémentaires de sécurité dans le cadre d'un travail en laboratoire.</p> <p>Installer et utiliser un montage de chauffage à reflux.</p> <p>Utiliser une ampoule de coulée.</p> <p>Conduire une réaction en milieu anhydre.</p> <p>Réaliser les opérations suivantes :  filtration sous vide, extraction liquide-liquide, lavage, séchage d'une phase organique, élimination d'un solvant à l'aide d'un évaporateur rotatif, essorage et séchage d'un solide.</p>

<p><b>Analyse et suivi :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- chromatographie sur couche mince,</li> <li>- dosage de prélèvements,</li> <li>- température de fusion,</li> <li>- indice de réfraction,</li> <li>- pouvoir rotatoire,</li> <li>- rendement.</li> </ul>	<p>Mettre en œuvre les techniques suivantes : relargage, distillation fractionnée sous pression atmosphérique, hydrodistillation, recristallisation.</p> <p>Réaliser une chromatographie sur couche mince.</p> <p>Réaliser un prélèvement et effectuer un dosage</p> <p>Utiliser un banc Köfler, un réfractomètre, un polarimètre.</p> <p>Utiliser un pH-mètre, un spectrophotomètre, un calorimètre.</p> <p>Définir et calculer le rendement d'une réaction.</p> <p>Mesurer une masse, un volume.</p> <p>Rechercher et interpréter des informations tabulées.</p>
--	--

## Partie 3 - Contenus disciplinaires

### Les thèmes traités en seconde année

Les objectifs de formation en seconde année sont identiques de ceux exposés dans le programme de première année. La seconde année est rythmée par quatre thèmes :

- I. Evolution des systèmes physiques en thermodynamique
- II. Stratégie de synthèse organique
- III. Evolution et équilibre des systèmes chimiques
- IV. Transport de matière et d'énergie, mécanique des fluides

Le contenu et le volume des séances de travaux dirigés spécifiques à chaque thème sont à l'initiative de l'enseignant en fonction de sa progression.

### I – Evolution des systèmes physiques en thermodynamique

Cette partie prolonge l'étude du premier principe de la thermodynamique, vue en première année. Le second principe de la thermodynamique permet de sensibiliser les futurs scientifiques à la question de l'irréversibilité des transformations. L'étude des systèmes physiques en évolution débouche sur des applications pratiques dans la vie quotidienne.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1. Second principe de la thermodynamique : principe d'évolution</b>	
Nécessité du second principe, irréversibilité d'une transformation.	Discuter de l'insuffisance du premier principe, d'après un exemple et citer les causes d'irréversibilité d'une transformation.
Entropie S : fonction d'état extensive et non conservative.	Ecrire la variation élémentaire d'entropie dS comme la somme d'un terme d'échange et d'un terme de création, ce dernier rendant compte de l'évolution interne du système : $dS = \delta S_c + \delta S_e$ .
Entropie créée, entropie échangée.	

	<p>Utiliser la nullité de l'entropie créée comme critère de la réversibilité.</p> <p>Exprimer l'entropie échangée entre le système et le milieu extérieur.</p> <p>Comparer les évolutions adiabatique réversible et adiabatique irréversible.</p>
<b>2. Identité thermodynamique</b>	
<p>Température thermodynamique et pression thermodynamique. Concordance (admise) entre ces grandeurs et les grandeurs expérimentales.</p> <p>Première identité thermodynamique dans le cas d'un système divariant : <math>dU=TdS-PdV</math>.</p> <p>Seconde identité thermodynamique dans le cas d'un système divariant : <math>dH=TdS+VdP</math>.</p>	<p>Utiliser à bon escient les notations désignant une dérivée, une dérivée partielle et une différentielle.</p> <p>Définir la température thermodynamique et la pression thermodynamique à partir des dérivées partielles de la fonction <math>U(S,V)</math>.</p> <p>Expliciter la différentielle de <math>U</math> en variable <math>S</math> et <math>V</math>, pour établir la première identité thermodynamique.</p> <p>Démontrer la seconde identité thermodynamique dans le cas d'un système divariant en partant de la définition de l'enthalpie et en utilisant la première identité.</p>
<b>3. Applications du second principe</b>	
<p>Variation d'entropie, entropie d'échange et entropie de création pour une transformation du gaz parfait.</p> <p>Loi de Laplace pour le gaz parfait.</p> <p>Variation d'entropie, entropie d'échange et entropie de création d'une phase condensée (modèle incompressible et indilatable).</p> <p>Bilan entropique d'un changement d'état réversible du corps pur, isotherme et isobare.</p> <p>Diagrammes entropiques</p>	<p>Etablir l'expression de la variation d'entropie d'un gaz parfait en variables <math>(T,V)</math> ou <math>(T,P)</math></p> <p>Choisir de manière pertinente les variables de travail.</p> <p>Démontrer le caractère irréversible de quelques transformations : détente de Joule Gay Lussac, mixage de deux gaz.</p> <p>Etablir, à partir du second principe de la thermodynamique, les trois expressions de la loi de Laplace pour le gaz parfait en évolution adiabatique réversible.</p> <p>Etablir l'expression de la variation d'entropie pour une phase condensée.</p> <p>Montrer l'irréversibilité lors du transfert thermique entre deux solides en contact contenus dans une enceinte calorifugée.</p> <p>Etablir l'expression de la variation d'entropie lors d'un changement d'état réversible du corps pur, isotherme et isobare. Commenter le signe de cette variation d'entropie.</p> <p><b>Approche documentaire</b> : lire et exploiter un diagramme entropique en coordonnées <math>(T,S)</math> ou <math>(H,S)</math>.</p>
<b>4. Machines thermiques</b>	
<p>Machines thermiques monothermes et dithermes dans le cas de sources idéales : définitions, bilans énergétique et entropique, inégalité de Clausius.</p>	<p>Définir un moteur et un récepteur thermique. Démontrer qu'un moteur monotherme ne peut pas exister.</p> <p>Distinguer une machine frigorifique d'une pompe à chaleur.</p> <p>Connaître le sens réel des échanges d'énergie entre le fluide et l'extérieur pour chaque cas.</p>

Rendement ou efficacité d'une machine thermique.	Définir le rendement d'un moteur thermique et l'efficacité d'un récepteur. Etablir le théorème de Carnot.
Cycles thermodynamiques de fluides.	Etudier le cycle de Carnot et comprendre son caractère réversible. Décrire un cycle irréversible (avec ou sans changement d'état) : Beau de Rochas, Rankine ... <b>Approche documentaire</b> : comprendre le fonctionnement et l'intérêt d'un dispositif de chauffage ou de réfrigération.

## II- Stratégie de synthèse organique

Cette partie s'appuie sur les notions abordées en première année. L'approche par les familles, destinée à stabiliser les connaissances des élèves de première année, fait place en deuxième année à une présentation par types de réactions, plus réflexive et moins cognitive. A cette occasion, les études de cas proposées peuvent être assorties de révisions de première année. Le programme comprend également une initiation à la stratégie de synthèse organique, qui peut être étayée par des exemples pris dans le domaine de la biochimie ou de la pharmaceutique. A cet effet, une mobilisation de l'ensemble des connaissances acquises en chimie organique est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1. Principaux types de réactions</b>	
Substitution nucléophile et mécanismes limites $S_N1$ et $S_N2$ . Etude de cas : obtention des amines et des ions ammonium quaternaire.	Ecrire les équations des réactions et les mécanismes d'obtention des amines de différentes classes. Connaître les conditions opératoires favorisant l'obtention d'un ion ammonium quaternaire.
$\beta$ -élimination et mécanismes limites E1 et E2. Etudes de cas : obtention des alcènes à partir des halogénoalcanes et des alcools ; élimination d'Hofmann sur les ions ammonium quaternaire.	Ecrire les équations des réactions d'obtention des alcènes et les mécanismes E1 et E2. Discuter de la compétition des mécanismes E1 et E2 à partir d'exemples et des conséquences stéréochimiques. Comparer la régiosélectivité des réactions d'obtention des alcènes, selon la voie de synthèse choisie.
Addition nucléophile. Etudes de cas : hémiacétalisation et acétalisation des dérivés carbonyles.	Ecrire les équations des réactions et les mécanismes réactionnels. Utiliser les réactions en vue de protéger une fonction carbonyle. Commenter l'obtention des $\alpha$ et $\beta$ Dglucopyranose.
Addition-élimination. Etudes de cas : obtention des esters et des amides. Hydrolyse des dérivés d'acides carboxyliques.	Ecrire les équations des réactions et les mécanismes réactionnels. Etudier la synthèse d'un dipeptide. <b>Réaliser la synthèse d'un dérivé d'acide carboxylique ou l'hydrolyse d'un dérivé d'acide carboxylique.</b> Comparer la réactivité des dérivés d'acides carboxyliques vis-à-vis de l'hydrolyse.

<p>Réactions d'oxydoréduction en chimie organique. Etudes de cas : réduction des carbonyles, des acides carboxyliques et dérivés ; oxydation des aldéhydes.</p>	<p>Identifier et choisir les espèces réductrices ou oxydantes usuelles en fonction des objectifs de synthèse. Ecrire et équilibrer les équations des réactions. Connaître et décrire les tests caractéristiques de la fonction carbonyle.</p> <p><b>Réaliser et interpréter les tests caractéristiques de la fonction carbonyle.</b></p>
<p>Réactions acido-basiques en chimie organique : définition du <math>pK_A</math> généralisé. Exemples d'acides et de bases utilisés en chimie organique.</p> <p>Basicité des amines.</p> <p>Mobilité de l'hydrogène en <math>\alpha</math> du groupe carbonyle : tautomérie céto-énolique, énol et ion énolate ; aldolisation, céto-lisation, crotonisation.</p>	<p>Connaître et classer les acides et les bases usuelles utilisées en chimie organique.</p> <p>Discuter de l'influence du pH sur la nucléophilie des amines.</p> <p>Ecrire les mécanismes d'obtention de l'énol et de l'énolate. Commenter la position de l'équilibre céto-énolique. Commenter l'équilibre d'isomérisation entre le glucose et le fructose.</p> <p>Ecrire les équations des réactions d'aldolisation, de céto-lisation et de crotonisation. Ecrire les mécanismes d'aldolisation et de crotonisation en milieu basique.</p> <p><b>Réaliser une condensation aldolique ou céto-lique.</b></p>
<p><b>2. Stratégie de synthèse</b></p>	
<p>Activation des fonctions alcool et acide carboxylique : obtention du chlorure d'acyle par action du chlorure de thionyle sur l'acide correspondant et de l'anhydride par action du carboxylate sur le chlorure d'acyle.</p> <p>Protection, déprotection des fonctions carbonyle, acide carboxylique, amine.</p> <p>Allongement de chaîne, création de liaison C-C, initiation à la rétrosynthèse. Etude de cas : C-alkylation, synthèse malonique.</p> <p>Régiosélectivité en synthèse : contrôle cinétique et contrôle thermodynamique, choix des conditions opératoires.</p>	<p>Ecrire les équations des réactions d'activation, de protection, de déprotection.</p> <p>Discuter de la nécessité d'activer ou de protéger une fonction.</p> <p>Identifier les étapes de la synthèse d'un peptide.</p> <p><b>Approche documentaire :</b> étudier une approche historique de la synthèse peptidique. Analyser le squelette carboné d'une molécule et prévoir sa synthèse par union de deux chaînes plus courtes.</p> <p>Ecrire les équations des réactions de C-alkylation et des étapes de la synthèse malonique.</p> <p><b>Approche documentaire :</b> étudier les étapes de la synthèse d'un composé multifonctionnel et l'évolution du squelette carboné lors de la synthèse.</p> <p>Prévoir les réactions possibles et favoriser un produit de synthèse particulier, à l'appui d'études de cas.</p> <p><b>Approche documentaire :</b> commenter la régiosélectivité de synthèse sur des exemples simples.</p> <p>Comparer deux synthèses concurrentes en discutant des aspects économiques et</p>

Enjeux de la chimie verte : considérations économiques et écologiques. Synthèse au laboratoire et synthèse industrielle. Etude de cas : synthèse de l'aspirine.	écologiques. Expliciter les termes : synthèse propre, synthèse économe en matière et en énergie. Analyser les étapes d'une synthèse multi-étapes. <b>Réaliser une synthèse multi-étapes.</b>
---	--

### III- Evolution et équilibre des systèmes chimiques

Cette partie s'inscrit dans le prolongement de la formation proposée en première année. L'évolution et l'équilibre des systèmes sièges d'une réaction chimique sont étudiés grâce aux concepts thermodynamiques déjà rencontrés et adaptés au contexte particulier de la réaction chimique. Les exemples sont pris dans les domaines de la synthèse au laboratoire ou dans l'industrie, en phase sèche ou en phase aqueuse. Les équilibres en phase aqueuse font l'objet d'une étude poussée, au regard de leur intérêt dans le domaine biologique et dans le domaine analytique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1. Fonction enthalpie libre</b>	
Enthalpie libre $G$ : définition à partir de $G = H - TS$ , fonction d'état extensive.	Connaître l'expression générale de l'enthalpie libre
Systèmes fermés divariants.  Identité thermodynamique dans le cas d'un système divariant : $dG = -SdT + VdP$ Variation d'enthalpie libre d'un gaz parfait.  Relation de Gibbs-Helmholtz.	Dans le cas où $T$ et $P$ sont constants, démontrer que $dG \leq 0$ . Etablir l'expression de $dG$ à partir de celle de $dH$ , expliciter la différentielle de la fonction $G(T,P)$ et déduire les expressions de $S$ et de $V$ . Distinguer les écritures de la différentielle et de la dérivée partielle. Etablir la relation de Gibbs-Helmholtz.
<b>2. Potentiel chimique</b>	
Potentiel chimique pour un constituant d'un système homogène fermé, de composition variable.  Potentiel chimique du gaz parfait, seul ou dans un mélange idéal de gaz parfaits. Activité d'un constituant. Potentiel chimique d'un constituant pur ou dans un mélange idéal en phase condensée (modèle incompressible et indilatable). Potentiel chimique d'un soluté et d'un solvant dans une solution idéale.	Exprimer l'identité thermodynamique avec les variables $T$ , $P$ et les quantités de matière des constituants du système. Déduire le potentiel chimique du constituant $i$ , comme la dérivée partielle de l'enthalpie libre à $T$ , $P$ et $n_j$ ( $j \neq i$ ) fixés.  Etablir l'expression du potentiel chimique dans les deux cas.  Connaître et utiliser les expressions du potentiel chimique et de l'activité d'un constituant dans les cas cités. Utiliser le formalisme $\mu_i = \mu_i^\circ + RT \ln a_i$ .
<b>3. Grandeurs thermodynamiques caractérisant une réaction</b>	
Variation de l'enthalpie libre d'un système fermé, siège d'une réaction chimique à pression et à température constantes.	Connaître et utiliser la relation d'Euler (admise) appliquée à la fonction enthalpie libre. Utiliser les variations élémentaires des différentes quantités de matière exprimées en fonction de la variation élémentaire de l'avancement, $d\xi$ . Expliciter à $T$ et $P$ fixés $dG = \sum \mu_i dn_i$ .

<p>Enthalpie libre de réaction, entropie de réaction et enthalpie de réaction : définitions, relations <math>dG = \Delta_r G d\xi</math> et <math>\Delta_r G = \sum \mu_i \nu_i</math>.</p> <p>Grandeurs standard de réaction : définitions.</p> <p>Relations entre grandeurs standard :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- enthalpie libre standard de réaction</li> <li>- enthalpie standard de réaction</li> <li>- entropie standard de réaction</li> <li>- enthalpie libre standard de formation</li> <li>- enthalpie standard de formation</li> <li>- entropie molaire standard <math>S^\circ_m</math></li> </ul> <p>Variation de <math>\Delta_r G^\circ</math> avec la température. Relation de Gibbs-Helmholtz. Approximation d'Ellingham.</p>	<p>Définir une grandeur thermodynamique de réaction comme la dérivée partielle de la fonction d'état par rapport à l'avancement, à T et P fixés ; appliquer cette définition à G, S et H. Déduire pour la réaction chimique à T et P fixés : <math>dG = \Delta_r G d\xi</math>.</p> <p>Justifier l'approximation faite en première année, identifiant l'enthalpie de réaction à l'enthalpie standard de réaction.</p> <p>Distinguer et relier l'enthalpie libre de réaction et l'enthalpie libre standard de réaction.</p> <p>Relier les grandeurs standard entre elles.</p> <p>Connaître la propriété d'une grandeur standard de dépendre de la température.</p> <p>Appliquer la relation de Gibbs-Helmholtz. Appliquer l'approximation d'Ellingham.</p>
<p><b>4. Evolution d'un système chimique et équilibre</b></p>	
<p>Affinité chimique d'un système : définition à partir de l'enthalpie libre de réaction, sens d'évolution d'un système et condition d'équilibre.</p> <p>Quotient de réaction <math>Q_R</math> : définition et expression en fonction des activités des constituants. Expression de l'affinité chimique en fonction de <math>Q_R</math> et de la constante d'équilibre <math>K^\circ</math>.</p>	<p>Définir l'affinité chimique. Appliquer le second principe de la thermodynamique pour prévoir <math>dG &lt; 0</math> et <math>A &gt; 0</math> pendant une évolution selon une réaction chimique à T et P fixés. Discuter du signe de <math>\Delta_r G</math> selon l'évolution.</p> <p>Démontrer <math>dG = 0</math> et <math>A = 0</math> pour l'équilibre chimique.</p> <p>Démontrer la relation <math>A = A^\circ - RT \ln Q_R</math> avec <math>A^\circ = RT \ln K^\circ</math>. Justifier le résultat de la première année sur le critère d'évolution d'un système chimique en réaction.</p>
<p>Variance, facteurs d'équilibre (P, T, <math>x_i</math>).</p> <p>Variation de la constante d'équilibre avec la température.</p> <p>Lois de déplacement des équilibres chimiques : influence de la température (loi de modération de Van't Hoff), de la pression (loi de modération de Le Chatelier), de l'introduction ou du retrait d'un constituant actif ou inactif dans les conditions isotherme-isochore ou isotherme-isobare.</p>	<p>Identifier les paramètres intensifs influant sur l'équilibre d'un système chimique et les relations entre ces paramètres. Calculer la variance dans des cas variés, en utilisant la règle de Gibbs sans la démontrer.</p> <p>Déduire la relation de Van't Hoff à partir de la relation de Gibbs-Helmholtz.</p> <p>Etablir les lois de déplacement d'équilibre en se limitant au cas de l'influence de T et P pour un système fermé.</p> <p>Etudier qualitativement le cas de l'introduction d'un constituant inactif sans utiliser l'expression de l'affinité chimique hors équilibre.</p> <p>Prévoir l'ajout d'un réactif en excès ou le retrait d'un produit au fur et à mesure d'une synthèse pour en améliorer le rendement.</p> <p>Appliquer les lois de déplacement des équilibres chimiques et expliciter le terme « modération ».</p>

	<b>Approche documentaire</b> : commenter les choix industriels influant sur le rendement d'une synthèse.
<b>5. Equilibres chimiques en solution aqueuse</b>	
<b>5.1. Complexation</b>	
<p>Couple donneur-accepteur de ligand L. Formation de complexes successifs avec un même ligand. Constante de formation et constante de dissociation d'un complexe.</p> <p>Domaines de prédominance du complexe et de l'ion libre.</p> <p>Complexation compétitive par des ligands de natures différentes.</p> <p>Importance des complexes dans l'eau et dans les milieux biologiques.</p> <p>Détermination d'une concentration ou d'une grandeur thermodynamique grâce aux propriétés d'un complexe dans un titrage.</p>	<p>Reconnaître un ligand et un accepteur de ligand. Définir la constante d'équilibre de formation globale et l'écrire dans quelques exemples variés en appliquant la loi d'action des masses. Relier la constante de formation globale aux constantes de formations successives.</p> <p>Utiliser les constantes de formation et de dissociation. Etablir le diagramme de prédominance dans un cas simple sans intermédiaire instable. Exploiter une courbe de distribution en fonction de pL.</p> <p>Prévoir sans dérive calculatoire un échange de ligands en se limitant au cas de même stœchiométrie.</p> <p>Prévoir l'influence du pH dans quelques exemples sans calcul.</p> <p><b>Approche documentaire</b> : illustrer l'importance de la complexation en milieu biologique.</p> <p><b>Réaliser un dosage et exploiter une courbe de titrage ou un changement de couleur.</b></p>
<b>5.2. Solubilité et précipitation</b>	
<p>Solubilité d'un gaz dans l'eau.</p> <p>Solution saturée solide : définition, équilibre entre solide et espèces en solution, produit de solubilité <math>K_S</math>.</p> <p>Condition de précipitation par comparaison du quotient réactionnel <math>Q_S</math> et de <math>K_S</math>.</p> <p>Solubilité <math>s</math> d'une espèce moléculaire ou ionique dans l'eau.</p> <p>Déplacement de l'équilibre de solubilité.</p> <p>Détermination d'une concentration ou d'une grandeur thermodynamique par titrage par précipitation.</p>	<p>Utiliser la constante d'équilibre de Henry.</p> <p>Ecrire l'équilibre entre forme solide et forme dissoute pour la solution saturée, expliciter <math>K_S</math>.</p> <p>Déterminer si une solution est saturée ou non.</p> <p>Exprimer <math>K_S</math> en fonction de <math>s</math>.</p> <p>Déterminer <math>s</math> ou <math>K_S</math>.</p> <p>Expliquer le déplacement d'équilibre dans quelques cas simples et sans dérive calculatoire : effet d'ion commun, influence du pH, complexation.</p> <p>Interpréter l'influence de la température sur la solubilité et expliquer le principe de la recristallisation.</p> <p><b>Réaliser un dosage et exploiter une courbe de titrage, une apparition ou une disparition d'un précipité.</b></p>

5.3. Oxydo-réduction	
<p>Relation entre affinité chimique d'une réaction chimique et potentiels rédox des couples impliqués dans la réaction. Evolution et équilibre rédox. Constante d'équilibre et quotient de réaction rédox.</p> <p>Potentiel apparent d'oxydoréduction à pH 7. Cas du potentiel à 37°C.</p> <p>Présentation des diagrammes potentiel-pH sans excès calculatoire ; influence de la précipitation et de la complexation.</p> <p>Détermination d'une concentration ou d'une grandeur thermodynamique par titrage rédox.</p> <p>Energie mise en jeu lors de fonctionnement d'une pile.</p> <p>Biocapteur : principe de fonctionnement sur un exemple.</p>	<p>Utiliser la relation <math>A = nF\Delta E</math> et prévoir le sens d'évolution rédox. Retrouver les résultats utilisés en première année sur le fonctionnement d'une pile électrochimique. Analyser l'état final à l'équilibre rédox.</p> <p>Analyser la réactivité chimique rédox dans des exemples de couples présents dans les milieux biologiques (NAD/ NADH) à pH 7.</p> <p>Interpréter les diagrammes potentiels-pH dans quelques cas simples, cas de l'eau.</p> <p><b>Réaliser un dosage et exploiter une courbe de titrage.</b></p> <p><b>Approche documentaire :</b> interpréter les résultats d'étude de consommation de piles usuelles.</p> <p><b>Approche documentaire :</b> Expliciter le principe et l'avantage d'un biocapteur.</p>

#### IV. Transport de matière et d'énergie, mécanique des fluides

Cette partie est résolument nouvelle par rapport au programme de première année. Le transport de matière par diffusion et le transfert thermique répondent à des lois simples, utiles dans la vie quotidienne. Ils sont comparés dans des cas simples en régime permanent ; notamment leur étude se limite à des modèles unidimensionnels. Puis l'étude des écoulements de fluides répond à une exigence de formation sur des questions pratiques en liaison avec plusieurs disciplines : fluides dans une canalisation avec ou sans pompage, fluides de ruissellement, fluides biologiques... Les fluides visqueux font enfin l'objet d'une étude sommaire, visant à initier une réflexion sur les conséquences des écoulements ; les exemples peuvent être tirés de plusieurs domaines (biologie, géologie, agroalimentaire).

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1. Phénomènes de transport</b>	
<p>Diffusion de matière, en régime permanent.</p> <p>Flux et densité de flux de diffusion de matière à travers une surface S. Définition et expression générale <math>\phi = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S}</math>. Cas particulier : <math>\phi = j \times S</math></p> <p>Première loi de Fick : énoncé et applications</p>	<p><b>Réaliser une expérience simple mettant en évidence le phénomène de diffusion de matière.</b></p> <p>Définir le vecteur densité de flux de matière. Définir le flux de matière à travers une surface S dans le cas où le vecteur densité de flux est homogène sur S et orthogonal à S en tout point. Reconnaître les cas de simplification à bon escient de l'expression générale du flux.</p> <p>Connaître l'expression de la première loi de Fick et l'explicitier dans les cas unidimensionnels plan ou cylindrique sans faire</p>

<p>simples excluant les phénomènes de couplage, l'autodiffusion, la diffusion mutuelle ainsi que toute interprétation microscopique.</p>	<p>Intervenir le gradient. Effectuer un bilan de masse sur une tranche élémentaire du milieu dans lequel la diffusion a lieu en prenant en compte d'éventuels phénomènes de disparition ou de création (réaction, absorption dans une autre phase). Définir et utiliser l'hypothèse du régime permanent. Utiliser la loi de Fick pour une analyse qualitative d'un problème simple.</p>
<p>Conduction thermique.</p> <p>Flux et densité de flux thermique à travers une surface S. Définition et expression générale  <math display="block">\phi_{th} = \iint_S \vec{j}_{th} \cdot d\vec{S}</math> . Cas particulier : <math>\phi_{th} = j_{th} \times S</math> .</p> <p>Première loi de Fourier : énoncé et applications simples.</p> <p>Analogie de la première loi de Fourier avec la première loi de Fick. Résistance thermique et résistance diffusive.</p>	<p><b>Réaliser une expérience simple mettant en évidence le phénomène de conduction thermique.</b></p> <p>Définir le vecteur densité de flux thermique. Définir le flux thermique à travers une surface S dans le cas où le vecteur densité est homogène sur S et orthogonal à S en tout point. Reconnaître les cas de simplification à bon escient de l'expression générale du flux.</p> <p>Connaître l'expression de la première loi de Fourier et l'explicitier dans les cas unidimensionnels plan ou cylindrique, sans faire intervenir le gradient. Effectuer un bilan thermique sur une tranche élémentaire du milieu dans lequel la conduction de la chaleur a lieu en prenant en compte d'éventuelles pertes thermiques ou une production interne de chaleur. Définir et utiliser l'hypothèse du régime permanent. Utiliser la loi de Fourier pour une analyse qualitative d'un problème simple.</p> <p>Effectuer les analogies entre les grandeurs intervenant dans ces deux phénomènes. Définir la résistance thermique et la résistance diffusive en régime permanent. Connaître et utiliser les lois d'associations de ces résistances.</p>
<p>Conduction électrique.</p> <p>Théorie sommaire de la conduction électrique dans un métal en régime permanent : vitesse limite et mobilité (en se limitant à l'étude du mouvement d'un électron dans un barreau cylindrique « AB » de section constante S, de longueur <math>\ell</math> et siège d'un champ électrique <math>\vec{E}</math> constant dont on n'explicitera pas l'origine). Définition du potentiel électrique d'après l'énergie potentielle électrostatique <math>E_p = q.V</math></p>	<p>Définir un courant électrique. Appliquer le principe fondamental de la dynamique à un électron plongé dans un champ électrique <math>\vec{E}</math> uniforme et constant au cours du temps et subissant une force de « frottement » visqueux de la part du réseau cristallin. Etablir l'expression vectorielle de la vitesse limite. Définir la mobilité. Déterminer l'expression de l'énergie potentielle électrostatique pour un champ constant. Faire le lien entre les concepts de potentiel et de tension électrique en relation avec le cours</p>

<p>Vecteur densité de courant électrique.</p> <p>Intensité du courant électrique : Flux de charge à travers une surface S. Définition et expression générale <math>I = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S}</math> . Cas particulier : <math>I = j \times S</math></p> <p>Conductivité.</p> <p>Loi d'Ohm : résistance électrique <math>R = \frac{V_A - V_B}{I}</math></p>	<p>d'oxydoréduction (potentiel de Nernst, f.e.m d'une pile).</p> <p>Définir un courant électrique comme un mouvement d'ensemble de particules portant une charge électrique. Utiliser cette définition pour obtenir, par analogie avec le phénomène de diffusion, l'expression du vecteur densité de courant électrique.</p> <p>Définir la conductivité <math>\sigma</math>. Justifier la loi d'Ohm locale sous la forme :</p> <p><math>j = -\sigma \frac{dV}{dx}</math> ou <math>j = -\sigma \frac{dV}{dr}</math> selon le paramètre d'étude, pour le cas d'un champ constant.</p> <p>Définir, par analogie avec le phénomène de diffusion, le flux de charge à travers une surface S dans le cas où le vecteur densité de courant est homogène sur S et orthogonal à S en tout point. Reconnaître les cas de simplification à bon escient de l'expression générale du flux.</p> <p>Définir, par analogie avec les phénomènes de diffusion et de conduction, la résistance électrique d'un barreau cylindrique de section constante S et de longueur <math>l</math>.</p> <p><b>Mesurer la résistance d'un conducteur ohmique.</b></p>
<p><b>2. Cinématique des fluides</b></p>	
<p>Particule de fluide : définition, variation continue des propriétés locales.</p>	<p>Définir l'état fluide. Identifier les propriétés locales d'un fluide (masse volumique, pression, température et vitesse). Utiliser le coefficient de compressibilité isotherme pour différencier les liquides des gaz.</p>
<p>Fluide en mouvement et champ des vitesses.</p> <p>Écoulements permanent, transitoire, unidimensionnel.</p>	<p>Définir et représenter une ligne de courant et un tube de courant.</p> <p>Définir et repérer un régime permanent d'écoulement par opposition à un régime transitoire. Définir et repérer un écoulement unidimensionnel.</p>
<p>Débit volumique : <math>D_v = \iint_S \vec{v} \cdot d\vec{S}</math> .</p> <p>Débit massique : <math>D_m = \iint_S \rho \vec{v} \cdot d\vec{S}</math> .</p> <p>Bilan de masse sans recourir à l'équation locale de conservation de la masse : flux de masse et de volume.</p>	<p>Définir les débits volumique et massique dans le cas d'un fluide incompressible. Donner leur expression et établir le lien entre les deux expressions. Simplifier ces expressions dans le cas d'un écoulement unidimensionnel perpendiculaire à une section droite S d'un tube d'écoulement. Montrer et utiliser le fait qu'en régime permanent le débit massique est conservatif</p>

	quelque soit le fluide. Montrer et utiliser le fait que pour un fluide incompressible, le débit volumique est conservatif.
<b>3. Dynamique des fluides</b>	
<p>Bilan d'énergie pour un fluide incompressible en régime d'écoulement permanent, sur un système ouvert à frontière fixe ou sur un système fermé à frontière variable :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- variation d'énergie mécanique</li> <li>- variation d'énergie interne</li> <li>- travail des forces extérieures de pression.</li> <li>- travail machine (travail indiqué)</li> <li>- travail des forces de frottement.</li> </ul> <p>Théorème de Bernoulli.</p> <p>Charge : définition comme la somme des énergies potentielle et cinétique par unité de volume et de la pression (assimilable à une énergie par unité de volume dans le cas d'un écoulement permanent incompressible). Charge hydraulique : définition (en mètre de colonne d'eau).</p>	<p>Maîtriser le choix du système, la nature de la transformation, avant de présenter le bilan d'énergie. Identifier le volume de contrôle. Présenter le bilan d'énergie.</p> <p>Etablir le théorème de Bernoulli par application du premier principe de la thermodynamique au système fermé et préciser les hypothèses de travail.</p> <p>Définir la charge. Définir la charge hydraulique. Utiliser dans l'expression de l'énergie cinétique, la vitesse débitante (même si le profil de vitesse n'est pas uniforme sur une section).</p>
<p>Applications :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- tube de Venturi, mesure des débits</li> <li>- tube de Pitot, mesure des vitesses</li> <li>- circulation d'un liquide dans une canalisation.</li> </ul> <p>Les expressions des pertes de charges ne sont pas exigées.</p>	<p>Déterminer un débit grâce au tube de Venturi. Déterminer une vitesse grâce au tube de Pitot. Analyser la circulation d'un liquide dans une canalisation sous l'effet de la gravité et / ou d'une pompe.</p> <p><b>Mesurer un débit ou une vitesse.</b></p>
<b>4. Viscosité des fluides newtoniens</b>	
<p>Viscosité : approche expérimentale, exemples, cas de la contrainte visqueuse par cisaillement plan.</p> <p>Viscosité dynamique.</p> <p>Fluides newtoniens.</p>	<p><b>Présenter une expérience simple mettant en évidence la viscosité des fluides.</b> Définir et reconnaître un fluide newtonien.</p>
<p>Nombre de Reynolds : description qualitative des différents régimes d'écoulement (laminaire, turbulent), nombre sans dimension.</p>	<p>Prédire grâce à la donnée du nombre de Reynolds le régime d'écoulement, notamment dans le cas d'un écoulement en conduite cylindrique de section circulaire.</p>
<p>Loi de Poiseuille : expression sans démonstration, analogie entre écoulements visqueux plan et cylindrique, profil des vitesses, cas de l'écoulement permanent établi dans un tube cylindrique de section circulaire.</p>	<p>Vérifier l'homogénéité dimensionnelle. Commenter le sens de variation de la perte de charge en fonction des différents paramètres. Connaître le profil des vitesses parabolique. Connaître les conditions de validité et commenter le fait que la linéarité entre perte de charge et débit n'est plus vérifiée en écoulement turbulent.</p> <p><b>Approche documentaire</b> : étudier la perte de charge dans la circulation sanguine artérielle et veineuse.</p>