

## Annexe 3

# Programme de sciences physiques et chimiques en laboratoire de terminale STL

---

## Sommaire

### Introduction générale

Objectifs de formation

Organisation du programme

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

Repères pour l'enseignement

Mesure et incertitudes

### Contenus disciplinaires

Mener un projet ouvert sur le monde de la recherche ou de l'industrie

Chimie et développement durable

Ondes

Systèmes et procédés

## Introduction générale

### Objectifs de formation

Dans la continuité des classes de seconde et de première, les programmes de physique-chimie des enseignements de spécialité de physique-chimie et mathématiques et de sciences physiques et chimiques en laboratoire visent à former aux méthodes et démarches scientifiques en mettant particulièrement en avant la pratique expérimentale et l'activité de modélisation. L'objectif est triple :

- donner une vision authentique de la physique et de la chimie ;
- permettre de poursuivre des études supérieures scientifiques et technologiques dans de nombreux domaines, que ce soit en STS, en IUT, à l'université ou en CPGE (TPC ou TSI) ;
- transmettre une culture scientifique et ainsi permettre aux élèves de faire face aux évolutions scientifiques et technologiques qu'ils rencontreront dans leurs activités professionnelles.

Les élèves qui ont choisi l'enseignement de spécialité de sciences physiques et chimiques en laboratoire expriment leur goût pour un enseignement scientifique qui prend appui sur la pratique expérimentale telle qu'elle existe en laboratoire. Cette pratique est donc centrale dans le programme ; l'objectif est de travailler l'analyse, la compréhension, la mise en œuvre et la conception de protocoles expérimentaux tout en développant les concepts liés aux notions physiques et chimiques qui leur sont associées. Dans ce cadre, les élèves sont formés à la maîtrise du geste expérimental, à l'utilisation des instruments de mesure et à l'estimation des incertitudes dans le contexte des activités expérimentales. L'intégration des instruments de mesure dans des systèmes plus complexes conduit aussi à s'intéresser au traitement numérique des résultats de mesure, que ce soit pour valider l'utilisation d'un modèle, contrôler la qualité d'un produit ou réguler une grandeur physique ou chimique dans un système.

La formation à la démarche de projet initiée en classe de première est renforcée ; à partir d'un sujet choisi par les élèves ou l'équipe de professeurs, les élèves s'impliquent dans la réalisation d'un projet mené en équipe qui les conduit à proposer et mettre en œuvre une stratégie pour répondre à une problématique bien identifiée. C'est l'occasion, pour l'élève, de réinvestir les connaissances et capacités travaillées en physique-chimie dans un contexte différent.

### Organisation du programme

Ce programme est écrit en cohérence avec les programmes de physique-chimie de la classe de seconde et de physique-chimie et mathématiques des classes de première et terminale dont il reprend les compétences de la démarche scientifique. Les thèmes retenus s'inscrivent en continuité avec ceux du programme de sciences physiques et chimiques en laboratoire de la classe de première.

Une partie de cet enseignement est consacrée à la formation des élèves à la **démarche de projet**. Il s'agit de poursuivre l'initiation menée en classe de première en impliquant l'élève dans un projet d'équipe. Celui-ci s'inscrit dans la durée afin que les élèves acquièrent davantage d'autonomie dans la conduite de leur projet.

Le thème « **Chimie et développement durable** » aborde l'étude des systèmes chimiques associés aux réactions acide-base, d'oxydoréduction et de précipitation en introduisant la notion d'équilibre chimique et en développant les techniques de titrage. Le travail sur les synthèses chimiques, dont la pratique expérimentale respectueuse de l'environnement prend une part importante, est approfondi par l'étude plus détaillée des mécanismes réactionnels.

Le thème « **Ondes** » se décline autour de leur utilisation pour mesurer, observer et transmettre. La pratique expérimentale permet d'aborder les propriétés des ondes mécaniques et électromagnétiques. En classe de première, le thème « Image » centre l'étude sur la projection d'une image sur un écran et le stockage de l'image ; en classe terminale, l'étude s'élargit aux dispositifs d'observation.

Enfin le thème « **Systèmes et procédés** » a pour objectif d'étudier des systèmes réels en analysant les flux d'information, de matière et d'énergie. Cette étude permet de réinvestir des notions vues dans les autres parties du programme de sciences physiques en chimiques en laboratoire et de physique-chimie et mathématiques. Les notions abordées dans le thème « Instrumentation » en classe de première sont complétées par l'étude des filtres et des systèmes de régulation qui permettent l'utilisation des microcontrôleurs.

Les notions relatives à « **Mesure et incertitudes** » sont construites tout au long de la formation aux sciences de laboratoire et prennent appui sur les contenus des trois thèmes de cet enseignement et sur le projet.

Dans la présentation des programmes, chaque thème comporte plusieurs parties avec une introduction spécifique indiquant les objectifs de formation. Un tableau en deux colonnes présente les notions et contenus ainsi que les capacités exigibles. Les capacités expérimentales, particulièrement importantes en série STL, et les capacités numériques sont également identifiées. Le langage de programmation conseillé est le langage Python. L'usage des microcontrôleurs peut conduire à l'utilisation du langage de programmation dédié au système.

L'organisation du programme n'impose aucune progression pédagogique : la définition de cette dernière relève de la liberté pédagogique du professeur.

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

Les compétences retenues pour caractériser la démarche scientifique visent à structurer la formation et l'évaluation des élèves. L'ordre de leur présentation ne préjuge en rien de celui dans lequel les compétences sont mobilisées par l'élève dans le cadre d'activités. Quelques exemples de capacités associées précisent les contours de chaque compétence, l'ensemble n'ayant pas vocation à constituer un cadre rigide.

Compétences	Quelques exemples de capacités associées
<b>S'approprier</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Énoncer une problématique.</li> <li>- Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée.</li> <li>- Représenter la situation par un schéma.</li> </ul>
<b>Analyser/ Raisonnement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formuler des hypothèses.</li> <li>- Proposer une stratégie de résolution.</li> <li>- Planifier des tâches.</li> <li>- Évaluer des ordres de grandeur.</li> <li>- Choisir un modèle ou des lois pertinentes.</li> <li>- Choisir, élaborer, justifier un protocole.</li> <li>- Faire des prévisions à l'aide d'un modèle.</li> <li>- Procéder à des analogies.</li> </ul>

<b>Réaliser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre les étapes d'une démarche.</li> <li>- Utiliser un modèle.</li> <li>- Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données etc.).</li> <li>- Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité.</li> </ul>
<b>Valider</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance.</li> <li>- Identifier des sources d'erreur, estimer une incertitude, comparer à une valeur de référence.</li> <li>- Confronter un modèle à des résultats expérimentaux.</li> <li>- Proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle.</li> </ul>
<b>Communiquer</b>	<p>À l'écrit comme à l'oral :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente ;</li> <li>- utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés ;</li> <li>- échanger entre pairs.</li> </ul>

Le niveau de maîtrise de ces compétences dépend de **l'autonomie** et de **l'initiative** requises dans les activités proposées aux élèves sur les notions et capacités exigibles du programme. La mise en œuvre des programmes est aussi l'occasion de développer le travail d'équipe et d'aborder avec les élèves des questions citoyennes mettant en jeu la responsabilité individuelle et collective, la **sécurité** pour soi et pour autrui, l'éducation à **l'environnement** et au **développement durable**.

Cet enseignement contribue au développement des compétences orales, notamment par la pratique de l'argumentation. Celle-ci conduit à préciser sa pensée et à expliciter son raisonnement de manière à convaincre. Elle permet à chacun de faire évoluer sa pensée, jusqu'à la remettre en cause si nécessaire, pour accéder progressivement à la vérité par la preuve. Elle prend un relief particulier pour ceux qui choisiront de préparer l'épreuve orale terminale du baccalauréat en l'adossant à cet enseignement de spécialité.

## Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la mise en œuvre des programmes des enseignements de spécialité de sciences physiques et chimiques en laboratoire et de physique-chimie et mathématiques, l'approche expérimentale est essentielle. Elle vise l'acquisition et le renforcement de connaissances des lois et des modèles physiques et chimiques fondamentaux qui sont régulièrement confrontés à l'expérience. Elle donne lieu à des synthèses régulières pour structurer savoirs et savoir-faire et les appliquer ensuite dans des contextes différents. Elle permet de confronter l'élève à des résolutions de problème de nature expérimentale, pour le former à concevoir et mettre en œuvre un protocole, à l'analyser et à produire des résultats expérimentaux quantitatifs auxquels sont associés une incertitude.

Chaque fois que cela est possible, une mise en perspective de ces savoirs avec l'histoire des sciences et l'actualité scientifique est mise en œuvre.

Le professeur est invité à privilégier la mise en activité à partir de situations ouvertes qui impliquent une prise d'initiative de l'élève pour développer leur autonomie et le travail en équipe. Cette stratégie est essentielle lors de la formation de l'élève à la démarche de projet.

### L'évaluation des élèves

Les évaluations, variées dans leurs formes et dans leurs objectifs, valorisent les compétences de chaque élève. Une identification claire des attendus, prenant appui sur les compétences de la démarche scientifique, favorise l'autoévaluation de l'élève. Une attention particulière est portée au développement des compétences orales de l'élève.

Le projet occupe une place importante dans cet enseignement. Il permet de réinvestir des connaissances et capacités des programmes de physique-chimie de la série STL et vise à construire des capacités spécifiques à cette démarche, évaluées au même titre que les capacités associées aux notions du programme.

### Mesure et incertitudes

La pratique de laboratoire conduit à confronter les élèves à la conception, la mise en œuvre et l'analyse critique de protocoles de mesure. Évaluer l'incertitude d'une mesure, caractériser la fiabilité et la validité d'un protocole, sont des éléments essentiels de la formation dans la série sciences et technologies de laboratoire. Le professeur aborde ces notions, transversales au programme de physique-chimie, en prenant appui sur le contenu de chacun des thèmes des enseignements de spécialité du programme du cycle terminal.

En classe de première, les élèves ont été sensibilisés à la variabilité de la mesure qui a été quantifiée par l'incertitude-type évaluée soit de manière statistique (type A), soit à partir d'une seule mesure (type B). La compatibilité entre le résultat d'une mesure et la valeur de référence, si elle existe, est appréciée en exploitant les incertitudes-types. La comparaison de deux protocoles de mesure permet d'analyser la dispersion des résultats en termes de justesse et de fidélité. En classe terminale, en prenant appui sur les notions travaillées en classe de première, les élèves identifient les principales sources d'erreurs dans un protocole, comparent leur poids à l'aide d'une méthode fournie, proposent des améliorations au protocole et estiment l'incertitude-type de la mesure finale.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Dispersion des mesures, incertitude-type sur une série de mesures. Incertitude-type sur une mesure unique. Sources d'erreurs.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procéder à une évaluation de type A d'une incertitude-type.</li> <li>- Procéder à une évaluation de type B d'une incertitude-type pour une source d'erreur en exploitant une relation fournie et/ou les notices constructeurs.</li> <li>- Identifier qualitativement les principales sources d'erreurs lors d'une mesure.</li> <li>- Comparer le poids des différentes sources d'erreurs à l'aide d'une méthode fournie.</li> <li>- Identifier le matériel adapté à la précision attendue.</li> <li>- Proposer des améliorations dans un protocole afin de diminuer l'incertitude sur la mesure.</li> <li>- Évaluer, à l'aide d'une relation fournie ou d'un logiciel, l'incertitude-type d'une mesure obtenue lors de la réalisation d'un protocole dans lequel interviennent plusieurs sources d'erreurs.</li> </ul>
Expression du résultat.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exprimer un résultat de mesure avec le nombre de chiffres significatifs adaptés et l'incertitude-type associée.</li> </ul>
Valeur de référence.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valider un résultat en évaluant la différence entre le résultat d'une mesure et la valeur de référence en fonction de l'incertitude-type.</li> </ul>

Justesse et fidélité.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploiter la dispersion de séries de mesures indépendantes pour comparer plusieurs protocoles de mesure d'une grandeur physique en termes de justesse et de fidélité.</li> </ul> <p><b>Capacités numériques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliser un tableur, un logiciel ou un programme informatique pour :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- traiter des données expérimentales,</li> <li>- représenter les histogrammes associés à des séries de mesures,</li> <li>- évaluer l'incertitude-type finale d'une mesure.</li> </ul> </li> </ul>
-----------------------	---

## Contenus disciplinaires

### Mener un projet ouvert sur le monde de la recherche ou de l'industrie

Les élèves ont été initiés à la démarche de projet en classe de première STL, l'objectif étant de développer, dès le lycée, les aptitudes à analyser des situations complexes, à se poser des questions de sciences, à imaginer des réponses pertinentes, à concevoir des expériences et à exploiter les résultats obtenus. Cette démarche favorise les apprentissages figurant aux programmes de sciences physiques et chimiques en laboratoire et physique-chimie et mathématiques. Elle mobilise les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique mais aussi des compétences particulières, plus transversales liées à la démarche de projet. En classe de première, ces compétences sont développées progressivement en prenant appui sur plusieurs mini-projets ou études de cas. En classe terminale, l'objectif est d'impliquer chaque élève dans un projet d'équipe unique qui s'inscrit dans la durée. Une plus grande responsabilité lui sera demandée et une plus large autonomie, régulée par le professeur, lui sera accordée.

Les élèves conduisent un projet qui répond à un objectif identifié à partir d'un questionnement sur une thématique éventuellement associée à un cahier des charges. Il est défini comme un ensemble planifié d'activités d'investigations scientifiques menées par un groupe de 2 à 4 élèves avec un objectif de production concrète en fonction de l'objectif ciblé. Les élèves réinvestissent leurs connaissances et capacités dans une démarche scientifique et expérimentale construite et menée en autonomie avec l'appui du professeur mais aussi de ressources extérieures à la classe ou à l'établissement. Le choix du sujet du projet relève de l'autonomie des groupes ou se fait à partir de propositions de l'équipe pédagogique ; il est validé par les enseignants.

Le projet peut ainsi être l'occasion d'une ouverture sur le monde de la recherche, de l'activité de laboratoire, des objets technologiques et du monde de l'industrie. Il permet des rencontres avec des scientifiques (chercheurs, ingénieurs, techniciens, etc.) des domaines public ou privé. La thématique du projet peut s'ouvrir vers d'autres champs disciplinaires ; cependant on ne peut exiger de la part des élèves la maîtrise scientifique de compléments hors des programmes de physique et de chimie de la série STL suivie.

#### Capacités propres à la démarche de projet

La mise en œuvre d'une démarche de projet suscite l'apprentissage de savoirs et de savoir-faire caractéristiques de la gestion de projet ; dans ce cadre, elle permet la construction de capacités propres à cette démarche :

- s'approprier une problématique ;

- mobiliser les notions et contenus scientifiques des programmes en rapport avec le sujet ;
- effectuer une recherche documentaire sur le sujet traité, certaines ressources pouvant être en langue étrangère ;
- proposer une procédure de résolution, une stratégie, pour répondre à la problématique ;
- organiser et planifier le travail ;
- mettre en œuvre la procédure de résolution, la stratégie retenue ;
- mettre en œuvre des activités expérimentales qualitatives et quantitatives pouvant être réalisées dans ou hors de l'établissement, par exemple auprès d'industriels ou de laboratoires de recherche ;
- analyser et valider les résultats des activités expérimentales ;
- adapter la procédure de résolution, la stratégie, en fonction des résultats obtenus ;
- produire des écrits intermédiaires et de synthèse ;
- préparer et soutenir une présentation orale, synthèse du sujet traité.

Si la mise en œuvre du projet conduit à la mobilisation de savoirs et savoir-faire, elle mène également à de nouveaux apprentissages et permet de construire des compétences spécifiques :

- développer la coopération et l'intelligence collective : le projet comprend un ensemble de tâches dans lesquelles chaque élève s'implique et joue un rôle actif ;
- prendre confiance en soi et assumer son rôle d'acteur dans le projet ;
- développer l'autonomie et la capacité de faire des choix ;
- communiquer à l'oral : savoir s'exprimer et entretenir un échange constructif avec des partenaires ou un public est essentiel pour les études, pour la vie personnelle et professionnelle. Liée à la maîtrise de la langue et à celle des technologies de l'information et de la communication, cette compétence place l'élève dans la position de celui qui informe, explique, justifie et doit convaincre.

Les professeurs encadrent les activités liées au projet sur les horaires habituels de sciences physiques et chimiques en laboratoire. Si les programmes ne fixent pas un volume horaire précis pour la conduite du projet, une quarantaine d'heures semble raisonnable. Il est important que ce volume horaire ne soit pas concentré sur un temps court de l'année scolaire de manière à permettre aux élèves de construire progressivement leur projet.

Comme pour les autres parties du programme, l'élève est évalué par l'équipe pédagogique lors de la conduite de projet. Cette évaluation s'appuie sur la valorisation des capacités propres à la démarche de projet. Le projet pourra aussi servir de support à l'épreuve orale terminale du baccalauréat et lors de l'épreuve en contrôle continu de langue vivante dans le cadre de l'enseignement technologique en langue vivante (ETLV).

## Chimie et développement durable

### • Composition des systèmes chimiques

L'objet de cette partie est la détermination de la composition des systèmes chimiques, à l'équilibre ou non. La solubilité, étudiée en physique-chimie et mathématiques en classe de première, permet d'introduire le quotient de réaction et la constante d'équilibre, la notion de réaction non-totale ayant été vue à travers les réactions des acides et bases faibles dans l'eau. Les équilibres acide-base sont étudiés en exploitant les notions vues en physique-chimie et mathématiques comme le diagramme de prédominance, les solutions tampon et le coefficient de dissociation. Les équilibres d'oxydo-réduction sont quant à eux étudiés en lien avec l'étude des piles dans l'enseignement de physique-chimie et mathématiques. Ces différents types de réaction servent de support à des titrages qui peuvent utiliser des techniques conductimétriques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Solubilité</b>	
Quotient de réaction (Qr). Constante d'équilibre de solubilité (Ks). Sens d'évolution spontanée d'un système. Solubilité et solution saturée. Précipitation sélective des hydroxydes en fonction du pH. Influence de la température sur la constante d'équilibre.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir et exprimer le quotient de réaction.</li> <li>- Exprimer la constante d'équilibre d'une réaction de dissolution d'un solide ionique ou moléculaire.</li> <li>- Prévoir l'apparition d'un précipité ou sa dissolution totale par comparaison de Qr et Ks.</li> <li>- Déterminer la solubilité d'une espèce chimique dans l'eau pure à partir de Ks (sans tenir compte des propriétés acide-base des ions).</li> <li>- Déterminer la composition d'une solution saturée.</li> <li>- Déterminer une gamme de pH de précipitation sélective pour un mélange d'hydroxydes.</li> <li>- Prévoir l'influence de la température sur la solubilité d'une espèce chimique en exploitant des données.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Proposer et mettre en œuvre un protocole pour extraire une espèce chimique solide dissoute dans l'eau.</li> <li>- Proposer et mettre en œuvre un protocole pour extraire sélectivement des ions d'un mélange par précipitation.</li> </ul>
<b>Acides et bases</b>	
Constante d'acidité (Ka) ; pKa. Influence du pKa sur la valeur du coefficient de dissociation. Influence de la dilution sur le coefficient de dissociation. Réaction acide-base. Quotient de réaction et constante d'équilibre acide-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exprimer la constante d'acidité d'un acide dans l'eau.</li> <li>- Comparer la force de deux acides faibles à partir de leur pKa.</li> <li>- Prévoir l'influence de la force de l'acide sur la valeur du coefficient de dissociation de deux acides faibles de même concentration.</li> <li>- Prévoir l'influence de la dilution sur la valeur du coefficient de dissociation d'un acide faible.</li> <li>- Écrire l'équation de réaction d'un acide fort ou faible avec une base forte ou faible.</li> <li>- Exprimer puis calculer la constante d'équilibre d'une réaction acide-base.</li> </ul>

<p>base. Relation de Henderson-Hasselbalch. pH d'une solution aqueuse. Titrages acide-base directs et indirects.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exprimer puis calculer le quotient de réaction à partir des conditions initiales et prévoir le sens d'évolution spontanée d'une réaction acide-base.</li> <li>- Établir la relation de Henderson-Hasselbalch à partir du <math>K_a</math> d'un couple acide/base.</li> <li>- Estimer la valeur du pH d'une solution aqueuse d'acide fort, d'une base forte, d'une solution tampon.</li> <li>- Définir l'équivalence lors d'un titrage.</li> <li>- Choisir un indicateur coloré, le pH à l'équivalence étant connu.</li> <li>- Déterminer le volume à l'équivalence en exploitant une courbe de titrage pH-métrique.</li> <li>- Estimer une valeur approchée de <math>pK_a</math> par analyse d'une courbe de titrage pH-métrique.</li> <li>- Déterminer la concentration d'une espèce à l'aide de données d'un titrage direct.</li> <li>- Déterminer la concentration d'une espèce à l'aide de données d'un titrage indirect, les étapes de la démarche étant explicitées.</li> <li>- Utiliser un diagramme de distribution des espèces pour exploiter une courbe de titrage impliquant un polyacide ou une polybase.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Proposer un protocole de titrage en déterminant la prise d'essai.</li> <li>- Réaliser un titrage par pH-métrie ou avec un indicateur coloré.</li> </ul> <p><b>Capacité numérique :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tracer une courbe de titrage pH-métrique et déterminer le volume à l'équivalence à l'aide d'un tableur.</li> </ul>
<p><b>Conductivité</b></p>	
<p>Conductivité, conductance. Loi de Kohlrausch. Conductimétrie. Dosage par étalonnage. Titrage par précipitation. Titrage acide-base.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir la conductivité d'une solution aqueuse.</li> <li>- Relier la conductance et la conductivité.</li> <li>- Calculer la conductivité d'une solution à partir des conductivités ioniques molaires.</li> <li>- Interpréter ou prévoir l'allure d'une courbe de titrage conductimétrique à partir de données, sans tenir compte de l'effet de la dilution.</li> <li>- Déterminer la concentration d'une espèce à l'aide de données d'un titrage conductimétrique.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer la valeur d'une constante d'équilibre à partir de mesures conductimétriques.</li> <li>- Concevoir et mettre en œuvre un protocole de dosage pour déterminer la concentration d'une solution inconnue :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- par comparaison à une gamme d'étalonnage ;</li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- par titrage, la réaction support étant une réaction de précipitation ou une réaction acide-base.</li> </ul> <p><b>Capacités numériques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tracer une courbe de titrage conductimétrique et déterminer le volume à l'équivalence à l'aide d'un tableur.</li> </ul>
<p><b>Oxydo-réduction</b></p>	
<p>Réaction d'oxydo-réduction. Tests d'identification. Électrode de référence : électrode standard à hydrogène (ESH). Potentiel, potentiel standard. Relation de Nernst. Quotient de réaction, constante d'équilibre. Blocage cinétique. Titrages redox directs et indirects.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Écrire l'équation d'une réaction d'oxydo-réduction en milieu acide ou basique.</li> <li>- Connaître les tests d'identification des aldéhydes (liqueur de Fehling et miroir d'argent).</li> <li>- Définir l'électrode standard à hydrogène comme une demi-pile de référence permettant de déterminer le potentiel d'un couple redox correspondant à une autre demi-pile.</li> <li>- Déterminer le potentiel d'un couple donné en utilisant la relation de Nernst, la composition du système étant donnée.</li> <li>- Prévoir l'influence des concentrations sur la valeur du potentiel d'un couple.</li> <li>- Calculer une constante d'équilibre à partir des potentiels standard.</li> <li>- Prévoir le sens d'évolution spontanée d'une réaction d'oxydo-réduction à l'aide des potentiels des couples mis en jeu ou de la valeur du quotient de réaction.</li> <li>- Confronter des résultats expérimentaux aux prévisions pour repérer d'éventuels blocages cinétiques.</li> <li>- Interpréter l'allure d'une courbe de titrage potentiométrique.</li> <li>- Déterminer la valeur d'un potentiel standard à partir d'une courbe de titrage potentiométrique, la valeur du potentiel de référence étant donnée.</li> <li>- Déterminer la concentration d'une espèce à l'aide de données d'un titrage direct.</li> <li>- Déterminer la concentration d'une espèce à l'aide de données d'un titrage indirect, les étapes de la démarche étant explicitées.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer la concentration d'une solution inconnue en mettant en œuvre un protocole de titrage direct ou indirect :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- avec changement de couleur ;</li> <li>- potentiométrique.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Capacités numériques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tracer une courbe de titrage potentiométrique et déterminer le volume à l'équivalence à l'aide d'un tableur.</li> </ul>

• **Synthèses chimiques**

Cette partie est déclinée en deux volets.

Le premier volet aborde les synthèses avec une approche macroscopique. L'électrosynthèse peut être illustrée au travers de la synthèse des métaux, des produits minéraux et organiques et du stockage d'énergie. Le rendement et l'optimisation sont abordés en lien avec les principes de la chimie verte. Les techniques de spectroscopie et leurs applications vues en classe de première sont réinvesties, notamment afin d'identifier une structure organique, en faisant le lien avec le thème « Ondes » du programme de première de « physique-chimie et mathématiques ». Les exemples de RMN se font sur des cas simples.

Le second volet prolonge, par une approche microscopique, l'étude des mécanismes réactionnels vue en classe de première. La loi de Biot, vue dans le thème « Ondes », est utilisée pour déterminer la proportion d'un mélange d'énantiomères. Les diagrammes binaires vus dans le thème « Systèmes et procédés » du programme sont mis à profit dans la pratique de la distillation fractionnée.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Aspects macroscopiques</b>	
Électrolyse, électrosynthèse. Applications courantes. Rendement faradique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Donner le principe d'une électrolyse.</li> <li>- Représenter un électrolyseur en précisant la polarité, le nom de chaque électrode, le sens de déplacement des électrons, du courant.</li> <li>- Prévoir les réactions se déroulant aux électrodes et écrire les équations correspondantes, les couples redox impliqués étant connus.</li> <li>- Calculer le rendement faradique d'une électrolyse.</li> <li>- Citer quelques applications courantes des électrolyses et montrer que certaines permettent le recyclage de matériaux.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser expérimentalement et interpréter des électrolyses, dont celle de l'eau.</li> <li>- Réaliser une électrolyse à anode soluble et calculer son rendement.</li> </ul>
Fiche de données de sécurité (FDS). Rendement de synthèse. Optimisation du rendement. Facteurs cinétiques. Chimie verte (par exemple : procédé sol-gel).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chercher et exploiter une FDS et repérer les données relatives à la toxicité des espèces chimiques.</li> <li>- Déterminer le rendement d'une synthèse en une ou plusieurs étapes.</li> <li>- Identifier les facteurs permettant d'optimiser le rendement : changement de réactif, excès d'un réactif, élimination d'un produit.</li> <li>- Identifier les facteurs permettant d'accélérer une réaction : changement de température, de concentration, utilisation d'un catalyseur.</li> <li>- Comparer des protocoles de synthèse et choisir le plus performant en termes de rendement, de coût et de respect de l'environnement, en s'appuyant sur les principes de la chimie verte.</li> </ul>

	<p><b>Capacité expérimentale :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Choisir et mettre en œuvre une variante d'un protocole pour améliorer le rendement d'une synthèse.</li> </ul>
<p>Fonctions chimiques, groupes caractéristiques. Nomenclature. Estérification, oxydation d'un alcool, réduction d'une cétone. Hydrolyse, saponification. Montage de Dean-Stark. CCM.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier les fonctions ester, anhydride d'acide, amide et chlorure d'acyle dans une formule chimique.</li> <li>- Associer un nom à une molécule organique simple.</li> <li>- Écrire l'équation de réaction d'estérification, d'oxydation d'un alcool ou de réduction d'une cétone, en milieu acide ou basique.</li> <li>- Écrire l'équation de réaction de formation d'un ester ou d'un amide.</li> <li>- Identifier les réactifs permettant de synthétiser un ester ou un amide donné.</li> <li>- Écrire l'équation d'hydrolyse d'un ester ou d'un amide en milieu acide ou en milieu basique.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser une synthèse suivant un protocole donné.</li> <li>- Réaliser un montage de Dean-Stark.</li> <li>- Mettre en évidence par une CCM un ou des produits issus de l'oxydation d'un alcool.</li> </ul>
<p>Distillation fractionnée. Hydrodistillation. Extraction, recristallisation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expliquer le principe d'une distillation fractionnée.</li> <li>- Expliquer le principe d'une hydrodistillation.</li> <li>- Choisir le solvant d'extraction ou de recristallisation à partir de données tabulées.</li> </ul> <p><b>Capacité expérimentale :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser une hydrodistillation, une distillation fractionnée.</li> </ul>
<p>Spectroscopies UV-visible, IR et RMN.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interpréter l'interaction entre lumière et matière en exploitant la relation entre l'énergie d'un photon et la longueur d'onde associée.</li> <li>- Attribuer les signaux d'un spectre RMN aux protons d'une molécule donnée.</li> <li>- Identifier ou confirmer des structures à partir de spectres UV-Visible, IR ou RMN en utilisant des banques de données.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concevoir et mettre en œuvre un protocole pour déterminer la concentration d'une espèce à l'aide d'une droite d'étalonnage établie par spectrophotométrie.</li> </ul> <p><b>Capacités numériques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tracer une droite d'étalonnage et déterminer la concentration d'une espèce à l'aide d'un tableur.</li> </ul>

### Mécanismes réactionnels

<p>Type de réaction. Étapes élémentaires, formalisme des flèches courbes. Carbocation, carbanion. Stéréochimie, mélange racémique. Loi de Biot, excès énantiomérique. Mésomérie. Intermédiaires réactionnels. Catalyseur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nommer le type de réaction (acide-base, oxydation, réduction, addition, substitution, élimination).</li> <li>- Illustrer les étapes élémentaires d'un mécanisme fourni à l'aide du formalisme des flèches courbes.</li> <li>- Établir la géométrie de carbocations et de carbanions à l'aide de la théorie VSEPR.</li> <li>- Déterminer les différents stéréoisomères formés à partir d'un même carbocation et repérer les couples d'énantiomères et les diastéréoisomères.</li> <li>- Déterminer l'excès énantiomérique à partir de la valeur de l'activité optique d'un mélange.</li> <li>- Identifier les formes mésomères de molécules ou d'ions simples en exploitant des schémas de Lewis fournis.</li> <li>- Comparer la stabilité des intermédiaires réactionnels (carbocation, carbanion et radical) pour interpréter la nature des produits obtenus et leur proportion relative, le mécanisme étant fourni.</li> <li>- Identifier le catalyseur et expliquer son rôle dans un mécanisme.</li> </ul> <p><b>Capacité expérimentale :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre un protocole pour différencier deux diastéréoisomères par un procédé physique ou chimique.</li> </ul>
---	--

## Ondes

- **Ondes mécaniques et électromagnétiques**

Cette partie est une introduction aux propriétés des ondes qu'elles soient électromagnétiques ou mécaniques. Elle présente les notions développées dans les parties suivantes : des ondes pour mesurer, pour agir et pour transmettre. Ces notions sont introduites à partir de situations expérimentales. Après une caractérisation expérimentale des oscillateurs, les propriétés des ondes sont présentées. On s'intéresse ensuite à la production des ondes sonores et électromagnétiques.

Cette partie est traitée sans développement formel excessif.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Phénomènes vibratoires ; grandeurs vibratoires.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier les grandeurs vibratoires caractérisant le système étudié.</li> </ul> <p><b>Capacité expérimentale :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concevoir et mettre en œuvre un protocole pour capter un signal vibratoire avec un capteur adapté.</li> </ul>
Systèmes oscillants en mécanique et en électricité. Aspects énergétiques ; amortissement. Oscillations auto-entretenues : source de signal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractériser les oscillations libres d'un système : oscillations quasi-périodiques, apériodiques, critiques.</li> <li>- Comparer des oscillateurs dans des domaines différents de la physique ; indiquer les analogies.</li> <li>- Caractériser quantitativement des oscillations harmoniques (amplitude, période propre) et des oscillations amorties (période et temps caractéristique d'amortissement) à partir de résultats expérimentaux.</li> <li>- Identifier les échanges d'énergie mis en jeu dans un phénomène oscillatoire en mécanique et en électricité.</li> <li>- Expliquer le rôle d'un dispositif d'entretien d'oscillations.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concevoir et mettre en œuvre un protocole pour étudier le régime libre d'un système oscillant : <ul style="list-style-type: none"> <li>- mesurer la pseudopériode et évaluer le temps caractéristique d'amortissement en régime pseudopériodique ;</li> <li>- effectuer le bilan énergétique du système, l'expression des différentes formes d'énergie étant fournie.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Capacités numériques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Acquérir un signal harmonique et ajuster les paramètres d'un modèle mathématique pour en déterminer les caractéristiques (amplitude, fréquence, période, phase à l'origine).</li> <li>- Utiliser un langage de programmation ou un tableur pour exploiter des données et effectuer un bilan énergétique.</li> </ul>
Oscillations forcées. Facteur de qualité. Résonance.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Décrire un phénomène de résonance en électricité et en mécanique et le caractériser par sa fréquence de résonance et son facteur de qualité.</li> <li>- Relier qualitativement facteur de qualité et amortissement en régime libre.</li> </ul>

	<p><b>Capacité expérimentale :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre un protocole pour étudier un système résonant et déterminer ses grandeurs caractéristiques : fréquence de résonance et facteur de qualité.</li> </ul>
<p>Propagation d'une perturbation dans un milieu élastique. Ondes progressives : retard, célérité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliser un modèle microscopique pour expliquer la propagation d'une perturbation dans un milieu élastique unidimensionnel.</li> <li>- Caractériser et identifier des ondes transversales et des ondes longitudinales. Distinguer la vibration du milieu de la propagation de l'onde.</li> <li>- Représenter et exploiter les graphes des évolutions temporelle et spatiale du phénomène observé.</li> </ul> <p><b>Capacité expérimentale :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concevoir et mettre en œuvre un protocole pour mesurer un retard et une célérité.</li> </ul>
<p>Ondes progressives sinusoïdales : fréquence, période, longueur d'onde, célérité, amplitude. Périodicités temporelle et spatiale. Ondes progressives périodiques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractériser une onde progressive sinusoïdale unidimensionnelle par les grandeurs : fréquence, période, longueur d'onde, célérité, amplitude.</li> <li>- Exprimer la relation entre fréquence, longueur d'onde et célérité.</li> <li>- Exprimer la relation de proportionnalité entre la puissance moyenne transportée et le carré de l'amplitude du signal.</li> <li>- Exploiter le spectre d'une onde périodique : relation entre les fréquences du fondamental et des harmoniques, interprétation de la composante de fréquence nulle.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concevoir et mettre en œuvre un protocole pour déterminer la fréquence, la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive sinusoïdale.</li> <li>- Visualiser et exploiter le spectre en amplitude d'une onde périodique.</li> </ul> <p><b>Capacité numérique :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliser un langage de programmation ou un tableur pour visualiser une somme de signaux sinusoïdaux de fréquences multiples de celle du fondamental.</li> </ul>
<p>Diffraction des ondes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier les situations où il est pertinent de prendre en compte le phénomène de diffraction.</li> <li>- Prévoir l'influence de la taille de l'objet diffractant et de la longueur d'onde sur une figure de diffraction.</li> <li>- Exploiter l'expression de l'angle d'ouverture en fonction de la longueur d'onde et de la taille de l'objet.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en évidence le phénomène de diffraction pour des ondes mécaniques et lumineuses.</li> <li>- Utiliser un capteur pour étudier une figure de diffraction.</li> <li>- Tracer le diagramme de directivité d'un transducteur ultrasonore.</li> </ul>

<b>Ondes acoustiques</b>	
<p>Propagation. Célérité. Caractérisation d'un son : hauteur, timbre. Niveau d'intensité sonore.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modéliser une onde acoustique par la propagation d'une vibration mécanique et d'une surpression.</li> <li>- Comparer la célérité du son dans différents milieux, citer des ordres de grandeur des valeurs de célérité dans un gaz, un liquide ou un solide.</li> <li>- Distinguer à partir d'un spectre un son pur d'un son complexe.</li> <li>- Caractériser un son par sa hauteur et son timbre.</li> <li>- Exploiter l'expression du niveau d'intensité sonore en décibel (dB).</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Étudier l'influence d'un paramètre sur la vitesse de propagation des ondes acoustiques.</li> <li>- Réaliser et analyser le spectre d'une onde sonore.</li> </ul>
<p><b>Production d'ondes sonores.</b> Ondes stationnaires. Nœuds, ventres de vibration. Modes propres d'une corde et d'une colonne d'air. Fondamental, harmoniques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distinguer une onde stationnaire d'une onde progressive.</li> <li>- Interpréter une onde stationnaire comme la superposition de deux ondes progressives.</li> <li>- Établir la relation entre la longueur d'onde et la distance entre deux nœuds ou deux ventres.</li> <li>- Expliquer le principe des instruments de musique à vent et à corde.</li> <li>- Interpréter les modes propres à l'aide du modèle des ondes stationnaires.</li> <li>- Établir et exploiter la relation entre la longueur de la corde et la fréquence de ses modes propres.</li> <li>- Établir et exploiter la relation entre la longueur d'une colonne d'air dont chaque extrémité est ouverte ou fermée et la fréquence de ses modes propres.</li> <li>- Exploiter des résultats expérimentaux pour caractériser un son.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre un protocole pour :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- mesurer les fréquences des modes propres d'une corde vibrante et identifier des paramètres qui influent sur ces valeurs ;</li> <li>- mesurer les fréquences des modes propres d'une colonne d'air.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Ondes électromagnétiques</b>	
<p>Célérité. Spectre des ondes électromagnétiques. Modèle ondulatoire et corpusculaire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Citer l'ordre de grandeur de la célérité de la lumière dans le vide.</li> <li>- Caractériser la célérité d'une onde lumineuse dans un milieu transparent par l'indice du milieu.</li> <li>- Repérer et identifier les différents domaines du spectre des ondes électromagnétiques.</li> <li>- Identifier des conséquences de l'exposition de la matière inerte ou vivante à des ondes électromagnétiques à partir de</li> </ul>

	documents. - Relier la fréquence d'une onde électromagnétique monochromatique à l'énergie du photon.
<p><b>Production d'ondes électromagnétiques</b></p> <p>Laser. Rayonnement d'un corps. Sources lumineuses. Grandeurs énergétiques et grandeurs photométriques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relier le flux énergétique d'un faisceau laser et l'éclairement énergétique.</li> <li>- Relier l'énergie transportée, le flux d'énergie et la durée d'exposition.</li> <li>- Exploiter une norme pour estimer une durée maximale d'exposition.</li> <li>- Exploiter les lois de Wien et de Stefan pour expliquer l'influence de la température sur le rayonnement d'un corps.</li> <li>- Exploiter un spectre d'émission pour déterminer une température.</li> <li>- Distinguer les grandeurs énergétiques (flux exprimé en <math>W</math> et éclairement exprimé en <math>W \cdot m^{-2}</math>) des grandeurs photométriques (flux exprimé en lumen et éclairement en lux).</li> <li>- Associer les grandeurs photométriques à la sensibilité de l'œil humain.</li> <li>- Identifier les caractéristiques d'une source d'éclairage artificielle (flux lumineux, efficacité lumineuse, température de couleur) à partir d'une documentation.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliser un capteur de lumière pour mesurer un flux lumineux.</li> <li>- Déterminer un ordre de grandeur du flux énergétique d'un faisceau laser.</li> </ul>

• **Des ondes pour mesurer**

Cette partie propose une utilisation concrète et expérimentale des ondes pour construire les concepts et modèles associés : réfraction et mesure d'indice de réfraction, polarisation et mesure de concentration, diffraction et mesure de la taille d'un objet, interférométrie et mesure de longueurs d'onde ou du pas d'un réseau, effet Doppler et mesure de vitesse. Elle permet de mobiliser les capacités liées à la mesure et aux incertitudes.

Certaines notions permettent de tisser des liens avec les autres thèmes de ce programme, notamment la polarimétrie et la spectroscopie exploitées dans le thème « Chimie et développement durable ».

L'étude des interférences se fait à partir des retards de propagation.

<b>Notions et contenus</b>	<b>Capacités exigibles</b>
<p>Indice de réfraction. Lois de Snell-Descartes. Réfraction, réfraction limite et réflexion totale.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir l'indice de réfraction d'un milieu.</li> <li>- Citer et exploiter les lois de Snell-Descartes.</li> <li>- Établir et exploiter la relation entre l'angle de réfraction limite et les indices des milieux.</li> <li>- Établir et exploiter les conditions de réflexion totale.</li> </ul> <p><b>Capacité expérimentale :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concevoir et mettre en œuvre un protocole pour mesurer l'indice de réfraction d'un milieu.</li> </ul>

<p>Polarisations naturelle et rectiligne des ondes électromagnétiques. Polariseur, analyseur.</p> <p>Activité optique. Loi de Biot. Pouvoir rotatoire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Associer la direction de polarisation d'une onde électromagnétique à la direction du champ électrique.</li> <li>- Prévoir l'effet d'un polariseur sur une lumière naturelle et sur une onde polarisée rectilignement.</li> <li>- Citer des exemples d'ondes partiellement polarisées et non polarisées.</li> <li>- Associer l'activité optique d'une solution à la chiralité des espèces chimiques.</li> <li>- Exploiter la loi de Biot.</li> <li>- Relier le pouvoir rotatoire d'un mélange de stéréoisomères à sa composition.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Produire et analyser une lumière polarisée rectilignement.</li> <li>- Distinguer une lumière polarisée rectilignement, non polarisée ou partiellement polarisée.</li> <li>- Déterminer une concentration d'une espèce optiquement active à partir de la mesure de son pouvoir rotatoire.</li> </ul>
<p>Diffraction des ondes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer la largeur d'une fente, le diamètre d'un fil ou d'une ouverture circulaire à partir de la figure de diffraction, l'expression de l'angle d'ouverture étant fournie.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliser un capteur pour étudier une figure de diffraction.</li> <li>- Mesurer la taille d'un objet en utilisant le phénomène de diffraction.</li> </ul>
<p>Retard temporel de propagation. Interférences à deux ondes monochromatiques.</p> <p>Réseaux.</p> <p>Pas d'un réseau.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Associer la notion d'interférences à la superposition de deux ondes synchrones.</li> <li>- Expliquer l'existence d'un retard de propagation entre deux ondes pour un dispositif interférentiel simple.</li> <li>- Citer et exploiter les conditions d'interférences constructives et destructives entre deux ondes monochromatiques en utilisant le retard d'une onde par rapport à l'autre.</li> <li>- Exploiter une figure d'interférences à deux ondes.</li> <li>- Expliquer l'intérêt d'un réseau par rapport à un système d'interférences à deux ondes.</li> <li>- Exploiter la formule des réseaux pour estimer le pas du réseau ou la longueur d'onde à partir d'une figure d'interférences.</li> <li>- Expliquer le principe de fonctionnement d'un spectrophotomètre à réseau.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en évidence le phénomène d'interférences à deux ondes.</li> <li>- Utiliser un capteur pour étudier une figure d'interférences.</li> <li>- Utiliser un réseau pour déterminer une longueur d'onde.</li> <li>- Mesurer le pas d'un réseau ou la distance entre deux fentes à partir d'une figure d'interférences.</li> </ul>

Effet Doppler.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Justifier qualitativement le décalage entre les fréquences d'émission et de réception.</li> <li>- Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence pour déterminer une vitesse de déplacement, à partir de résultats expérimentaux.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre un protocole pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler.</li> </ul>
----------------	--

• **Des ondes pour observer**

Les ondes permettent de former des images d'un objet que l'on souhaite étudier. Le choix de l'appareil d'observation est fonction de la nature et de la dimension de l'objet mais aussi de la distance à laquelle il se situe. Différents dispositifs sont étudiés : l'échographe, le microscope, la lunette, le télescope et le microscope à force atomique. Chaque instrument est associé à un domaine d'observation et est caractérisé par son pouvoir de résolution. L'étude d'instruments réels, associé à la construction d'un dispositif expérimental simple, permet de modéliser le fonctionnement de l'instrument en utilisant le tracé de rayons lumineux et les relations de conjugaison. L'étude des instruments d'optique se limite aux dispositifs constitués de lentilles et de miroirs convergents.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Réflexion, transmission et absorption d'une onde acoustique. Échographie. Résolution de l'image.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploiter les coefficients énergétiques de réflexion et transmission en incidence normale d'une onde acoustique.</li> <li>- Exploiter le coefficient d'absorption d'une onde acoustique dans un milieu.</li> <li>- Exploiter la relation entre durée de propagation, distance et célérité pour décrire le principe de l'échographie.</li> <li>- Associer la résolution de l'image à la longueur d'onde dans le milieu.</li> <li>- Expliquer les principes physiques de l'échographie en exploitant des documents.</li> <li>- Identifier l'intérêt de l'imagerie par ondes ultrasonores en prenant appui sur des documents.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tracer le diagramme de directivité d'un émetteur ultrasonore.</li> <li>- Illustrer le principe d'un échographe unidimensionnel.</li> </ul>
<p><b>Œil.</b> Diamètre apparent d'un objet.</p> <p><b>Loupe.</b> Grossissement commercial.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploiter les propriétés de l'œil emmétrope au repos pour caractériser la position de l'image à la sortie d'un instrument d'optique.</li> <li>- Comparer le diamètre apparent d'un objet au pouvoir séparateur de l'œil.</li> <li>- Déterminer la position d'une image formée à l'aide d'une loupe par construction graphique et en utilisant la formule de conjugaison de</li> </ul>

<p><b>Microscope.</b> Objectifs et oculaires. Grandissement de l'objectif. Grossissement commercial.</p> <p>Résolution du microscope.</p> <p><b>Microscope à force atomique.</b></p>	<p>Descartes.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir le grossissement commercial d'une loupe, établir et exploiter son expression en fonction de la distance focale.</li> <li>- Modéliser un microscope optique par un système optique formé de deux lentilles convergentes.</li> <li>- Réaliser et exploiter le tracé d'un faisceau de lumière pour décrire le principe du microscope.</li> <li>- Distinguer les fonctions de l'objectif et de l'oculaire.</li> <li>- Exploiter la formule de conjugaison de Descartes pour déterminer le grandissement de l'objectif d'un microscope.</li> <li>- Exploiter l'expression du grossissement commercial du microscope en fonction du grandissement de l'objectif et du grossissement commercial de l'oculaire.</li> <li>- Extraire d'une documentation les caractéristiques utiles d'un microscope commercial pour le choisir et le mettre en œuvre.</li> <li>- Relier le pouvoir de résolution d'un microscope optique au phénomène de diffraction. Exploiter la relation entre pouvoir de résolution et ouverture numérique de l'objectif.</li> <li>- Citer l'ordre de grandeur du pouvoir de résolution d'un microscope optique.</li> <li>- Citer l'ordre de grandeur du pouvoir de résolution d'un microscope à force atomique et lui associer des champs d'application.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modéliser un microscope sur un banc d'optique et déterminer ses caractéristiques.</li> <li>- Déterminer le grandissement de l'objectif, le grossissement de l'oculaire et le grossissement commercial d'un microscope.</li> </ul> <p><b>Capacité numérique :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliser un logiciel de construction géométrique ou de tracé de rayons pour étudier les propriétés d'un microscope.</li> </ul>
<p><b>Lunette astronomique.</b> Grossissement de la lunette.</p> <p>Résolution de la lunette.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modéliser une lunette par un système optique de deux lentilles convergentes et établir l'expression de son grossissement.</li> <li>- Distinguer l'objectif de l'oculaire.</li> <li>- Réaliser et exploiter le tracé d'un faisceau de lumière pour décrire le principe d'une lunette.</li> <li>- Choisir une lunette à partir des caractéristiques utiles extraites d'une documentation.</li> <li>- Relier le pouvoir de résolution d'une lunette au phénomène de diffraction.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modéliser une lunette sur un banc d'optique et déterminer ses caractéristiques.</li> <li>- Déterminer le grossissement et le champ d'un appareil commercial.</li> <li>- Étudier l'influence du choix de l'objectif et de l'oculaire sur le grossissement, le champ et la luminosité de la lunette.</li> </ul>

	<p><b>Capacité numérique :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliser un logiciel de construction géométrique ou de tracé de rayons pour étudier les propriétés d'une lunette.</li> </ul>
<p>Notion d'objet et image virtuels. Miroir plan. Miroir sphérique convergent.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construire l'image d'un objet réel ou virtuel par un miroir plan.</li> <li>- Déterminer le champ de vision donné par un miroir plan à l'aide du tracé des rayons lumineux.</li> <li>- Définir le foyer d'un miroir sphérique convergent.</li> <li>- Déterminer la position de l'image d'un objet à l'infini par un miroir sphérique convergent à l'aide d'une construction graphique.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Distinguer un miroir convergent d'un miroir plan.</li> <li>- Mesurer la distance focale d'un miroir convergent.</li> </ul>
<p><b>Télescope.</b></p> <p>Grossissement d'un télescope</p> <p>Résolution du télescope.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modéliser un télescope par un système optique formé d'un miroir et d'une lentille convergents, d'un miroir plan.</li> <li>- Distinguer l'objectif de l'oculaire.</li> <li>- Établir l'expression du grossissement commercial du télescope modélisé.</li> <li>- Réaliser et exploiter le tracé d'un faisceau de lumière pour décrire le principe du télescope modélisé.</li> <li>- Choisir un appareil commercial en exploitant une documentation.</li> <li>- Relier le pouvoir de résolution d'un télescope au phénomène de diffraction.</li> <li>- Justifier le choix d'un télescope ou d'une lunette à l'aide d'une documentation.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre un protocole pour modéliser un télescope sur un banc d'optique et déterminer son grossissement et son champ.</li> </ul> <p><b>Capacité numérique :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliser un logiciel de construction géométrique ou de tracé de rayons pour étudier les propriétés d'un télescope.</li> </ul>

• **Transmettre, stocker, lire et afficher**

Les ondes permettent de transmettre, de lire et d'afficher de l'information. Différents modes de transmission sont présentés sans aborder le codage de l'information. L'étude du stockage optique permet de réinvestir les notions relatives aux interférences, celle de l'afficheur à cristaux liquides la notion de polarisation. L'étude de la fibre optique fait le lien avec le thème « Systèmes et procédés ».

**Transmettre l'information**

<p>Chaîne de transmission. Débit binaire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Représenter le schéma de principe d'un système de transmission et identifier ses différents éléments.</li> <li>- Comparer les ordres de grandeur de débit binaire d'une transmission par câble coaxial et par fibre optique.</li> </ul>
---	--

<p>Propagation libre d'ondes électromagnétiques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Citer des exemples de transmission d'information par les ondes en champ libre.</li> <li>- Expliquer la nécessité d'ondes porteuses pour transmettre plusieurs informations simultanément.</li> <li>- Exploiter la relation entre la puissance surfacique en champ libre et la distance à la source.</li> <li>- Distinguer l'atténuation due à la nature divergente d'une onde de son absorption par un milieu.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre une expérience de transmission libre d'un signal.</li> <li>- Utiliser un filtre passe-bande pour sélectionner une onde porteuse.</li> </ul>
<p>Ligne bifilaire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Citer des exemples de transmission d'information par des lignes bifilaires.</li> <li>- Exploiter la relation entre la distance parcourue et les puissances en entrée et en sortie.</li> <li>- Associer l'atténuation à l'absorption par le milieu.</li> </ul>
<p>Fibre optique à saut d'indice. Ouverture numérique. Débit.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expliquer le principe du guidage par une fibre optique.</li> <li>- Déterminer l'expression de l'angle de réfraction limite en fonction des indices et en déduire la valeur de l'ouverture numérique de la fibre optique.</li> <li>- Expliquer qualitativement l'élargissement temporel d'une impulsion au cours de la propagation et son influence sur le débit maximal.</li> <li>- Exploiter la relation entre la distance parcourue et les puissances en entrée et en sortie.</li> </ul> <p><b>Capacité expérimentale :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesurer l'ouverture numérique d'une fibre optique.</li> </ul>
<p><b>Stocker et lire l'information</b></p>	
<p>Supports optiques numériques. Diffraction.  Interférences.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expliquer le principe de codage des données sur un support optique numérique.</li> <li>- Comparer des capacités de stockage en exploitant l'expression du diamètre de focalisation en fonction de la longueur d'onde et de l'ouverture numérique.</li> <li>- Expliquer le principe de la lecture par une approche interférentielle.</li> <li>- Exprimer le retard de propagation et en déduire la condition d'obtention d'interférences destructives ou constructives.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre un protocole pour déterminer le pas de supports optiques.</li> <li>- Mettre en œuvre un protocole pour illustrer le principe de la lecture d'un support optique.</li> </ul>

**Afficher l'information**

Afficheurs à cristaux liquides.

- Prévoir l'effet d'un polariseur sur la lumière naturelle et sur une onde polarisée rectilignement.
- Expliquer le principe d'un afficheur à cristaux liquides à partir de ressources documentaires.

**Capacité expérimentale :**

- Mettre en œuvre un protocole pour montrer le rôle des constituants d'un afficheur à cristaux liquides.

## Systèmes et procédés

L'enseignement du thème « Systèmes et procédés » prend appui sur l'étude de quelques systèmes choisis par l'équipe pédagogique comme supports d'apprentissage. Ces systèmes, réels ou didactisés, peuvent être issus de l'industrie, des laboratoires ou de l'environnement quotidien.

L'objectif est de faire acquérir aux élèves des méthodes d'analyse qui mobilisent leurs connaissances afin qu'ils comprennent et maîtrisent le fonctionnement de ces systèmes. Ce thème permet de mettre en œuvre des démarches de résolution de problème dans un contexte souvent pluridisciplinaire. Il sensibilise aussi les élèves à la prévention et à la maîtrise des risques.

Au cours de l'année, les élèves sont confrontés à plusieurs systèmes, par exemple : traitement de l'eau, chauffage et climatisation, procédés de séparation d'espèces chimiques, production autonome d'électricité, imagerie, etc. La diversité des systèmes étudiés permet de réinvestir les notions travaillées dans l'ensemble des thèmes des programmes des classes de première et terminale pour les enseignements de spécialité de sciences physiques et chimiques en laboratoire et de physique-chimie et mathématiques.

L'étude de ces systèmes permet d'identifier les concepts et modèles physiques ou chimiques pour décrire leur fonctionnement. Les développements théoriques se limitent au strict nécessaire, l'approche reste principalement expérimentale avec des allers-retours réguliers entre modèle et expérience.

Quand le système n'est pas présent dans l'établissement, un travail préliminaire sur un dossier scientifique permet d'en dégager les principales caractéristiques ; certains éléments de ce système peuvent être étudiés à l'aide de montages, de maquettes ou de simulations. C'est aussi l'occasion de sensibiliser aux limites liées au rapport d'échelle entre les dimensions du dispositif réel et celles de la maquette.

Le thème « Systèmes et procédés » est présenté selon trois entrées :

- analyse et contrôle des flux d'information ;
- conversions et transferts des flux d'énergie ;
- transport et transformation des flux de matière.

Cette présentation n'induit pas une progression pédagogique : ces trois entrées ne sont pas indépendantes les unes des autres. L'ensemble des systèmes étudiés au cours de l'année doit permettre d'introduire toutes les notions du programme, les trois entrées étant sollicitées pour chaque système étudié.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Flux de matière, d'énergie et d'informations.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pour un système ou un procédé, identifier :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- la (les) fonction(s) globale(s) réalisée(s) ;</li> <li>- les flux de matière, d'énergie et d'informations en entrée et en sortie ;</li> <li>- les principales performances attendues ;</li> <li>- les impacts environnementaux et sociétaux ;</li> <li>- les contraintes de sécurité.</li> </ul> </li> <li>- À partir du schéma simplifié d'un système ou d'un procédé :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- décrire son fonctionnement ;</li> <li>- identifier les différentes opérations réalisées ;</li> <li>- identifier les domaines de la physique et de la chimie associés.</li> </ul> </li> </ul>

• **Analyse et contrôle des flux d'informations**

L'analyse et le contrôle des flux d'informations s'inscrit en continuité avec le thème « Instrumentation » du programme de première. Le conditionnement du signal s'enrichit par l'introduction des filtres caractérisés expérimentalement par leur nature, leur facteur d'amplification et leur bande passante. L'étude de la fibre optique permet de faire le lien avec le thème « Ondes ».

Le programme de la classe de première limite la régulation au tout ou rien (TOR), celui de la classe terminale aborde la régulation continue sans utiliser le formalisme associé qui relève des formations de l'enseignement supérieur. L'intérêt et les limites de la régulation proportionnelle, qui peut facilement être mise en œuvre avec un microcontrôleur, sont abordés expérimentalement, la régulation proportionnelle et intégrale (PI) étant présentée pour corriger les défauts de la régulation proportionnelle sans chercher à étudier le rôle de chacun des paramètres P et I.

Toujours dans le cadre du contrôle des systèmes, l'introduction du moteur pas à pas permet d'élargir les supports de travail. Par exemple, il est possible en prenant appui sur le thème « Image » du programme de la classe de première de construire un modèle expérimental afin de comprendre le fonctionnement d'un système autofocus par détection de contraste.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Chaîne d'informations. Capteur conditionneur. Filtrage et amplification de tension. Gabarit. Numérisation d'une tension : convertisseur analogique numérique (CAN). Fibre optique. Ouverture numérique. Bande passante. Transmission, débit.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier et décrire la chaîne d'informations du système.</li> <li>- Choisir un ensemble capteur conditionneur en fonction du cahier des charges.</li> <li>- Exploiter des résultats expérimentaux pour caractériser un filtre : facteur d'amplification, nature et bande passante.</li> <li>- Proposer un gabarit de filtre pour répondre au cahier des charges.</li> <li>- Citer les caractéristiques utiles d'un CAN : nombre de bits, quantum, fréquence d'échantillonnage.</li> <li>- Déterminer les propriétés d'une fibre optique, à partir d'une documentation.</li> <li>- Expliquer le principe du guidage dans une fibre optique.</li> <li>- Comparer les différents types de transmission de signaux numériques à partir d'une documentation : bande passante, débit.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer expérimentalement le facteur d'amplification et la bande passante d'un filtre.</li> <li>- Mesurer l'ouverture numérique et l'atténuation d'une fibre optique.</li> <li>- Utiliser une fibre optique pour transmettre une information.</li> <li>- Choisir et utiliser, dans un circuit électrique, les appareils de mesure adaptés.</li> </ul>
<b>Contrôle des systèmes</b>	
Contrôle d'un système ou d'un procédé.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploiter des documents permettant de justifier l'avantage et la nécessité de contrôler un système ou un procédé.</li> </ul>

<p>Contrôler une position. Le moteur pas à pas. Champ magnétique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Citer les sources de champ magnétique.</li> <li>- Citer quelques ordres de grandeur de la valeur du champ magnétique.</li> <li>- Expliquer qualitativement le principe de fonctionnement d'un moteur pas à pas.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en évidence l'existence du champ magnétique et déterminer ses caractéristiques (valeur, sens et direction).</li> <li>- Modifier un programme pour piloter un moteur pas à pas à l'aide d'un microcontrôleur.</li> </ul>
<p><b>Système de régulation</b></p>	
<p>Boucle de régulation.</p> <p>Caractéristique statique.</p> <p>Régulation à action discontinue : TOR.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier, nommer et connaître la fonction des éléments constitutifs d'une boucle de régulation.</li> <li>- Identifier les grandeurs réglée, réglante et perturbatrices d'une boucle de régulation sur un schéma.</li> <li>- Établir le schéma d'une boucle de régulation et indiquer les grandeurs utilisées.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales et numériques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tracer la caractéristique statique d'un procédé stable pour une valeur de perturbation.</li> <li>- Concevoir et réaliser, à l'aide d'un microcontrôleur, un système de détection qui déclenche un signal d'avertissement ou de commande, lorsque la valeur d'une grandeur mesurée atteint un seuil programmable.</li> <li>- Tracer et exploiter l'évolution temporelle des grandeurs utiles pour des régulations TOR à un seuil et à deux seuils de basculement fixés.</li> </ul>
<p>Régulation à action continue, critères de performance.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparer l'intérêt relatif d'une régulation à action discontinue et d'une régulation à action continue (avec correcteur PI) dans un contexte expérimental donné, les valeurs des paramètres étant fixées.</li> <li>- Citer les trois critères de performance d'une boucle de régulation : précision, rapidité, stabilité.</li> </ul> <p><b>Capacité expérimentale :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesurer les critères de performance en boucle fermée, autour d'un point de fonctionnement, suite à un échelon de consigne ou de perturbation : l'écart statique, le temps de réponse à 5 % et la valeur du premier dépassement.</li> </ul>
<p>Correction P. Point de fonctionnement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tracer la caractéristique statique du régulateur.</li> <li>- Exploiter la caractéristique statique d'un procédé stable pour déterminer le point de fonctionnement et en déduire l'écart statique.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales et numériques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre un protocole pour étudier :</li> <li>- le déplacement du point de fonctionnement quand la perturbation</li> </ul>

	<p>varie ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'influence d'une variation de la correction proportionnelle sur l'écart statique pour un échelon de consigne ou de perturbation.</li> <li>- Compléter le programme d'un microcontrôleur pour :</li> <li>- piloter un organe de commande,</li> <li>- contrôler l'évolution d'une grandeur.</li> </ul>
Correction proportionnelle intégrale (PI).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Citer l'influence d'une correction PI sur l'écart statique.</li> </ul> <p><b>Capacité expérimentale :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre un protocole pour étudier l'influence d'une variation de la correction intégrale sur l'écart statique, le temps de réponse à 5 % et la valeur du premier dépassement, l'échelon de consigne ou de perturbation étant fixé.</li> </ul>

• **Conversions et transferts des flux d'énergie**

Cette partie s'inscrit en cohérence et continuité avec la partie « Énergie : conversions et transferts » du programme de la spécialité de physique-chimie et mathématiques. Ainsi, les notions, comme la capacité thermique et l'énergie de changement d'état, déjà présentées dans cet enseignement sont réinvesties ici.

Pour compléter l'étude des conversions et transferts d'énergie, le programme est centré autour des flux d'énergie dans les machines thermiques. Les élèves sont confrontés à des systèmes concrets : échangeurs, chaudières, pompes à chaleur, machines frigorifiques. L'introduction des notions et la construction des capacités associées se font en partant de l'étude de ces dispositifs. Ainsi les premier et second principes de la thermodynamique (dans une version simplifiée) sont introduits à partir de l'étude des pompes à chaleur et des machines frigorifiques sans utiliser le formalisme associé à la thermodynamique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Échangeurs, chaudières et transferts thermiques</b>	
Échangeurs thermiques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Décrire qualitativement le principe d'un échangeur thermique.</li> </ul>
Transferts thermiques : Conduction, convection, rayonnement.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Décrire qualitativement les trois modes de transfert thermique : conduction, convection, rayonnement.</li> </ul>
Puissance thermique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Classer des matériaux selon leurs propriétés isolantes à partir de la valeur de leur conductivité thermique.</li> </ul>
Conductivité thermique des matériaux, résistance thermique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Citer et exploiter la définition d'une résistance thermique.</li> <li>- Exploiter l'expression de la résistance thermique d'une paroi plane.</li> <li>- Déterminer la résistance thermique globale d'une paroi plane constituée de différents matériaux.</li> <li>- Évaluer la puissance thermique échangée à travers une paroi plane.</li> </ul>
Échangeurs en régime stationnaire.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Évaluer la puissance thermique échangée entre deux fluides avec ou sans changement d'état (vaporisation ou condensation).</li> </ul>

<p>Chaudière. Pouvoir calorifique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconnaître, à partir des profils de température, un échangeur thermique tubulaire fonctionnant à contre-courant ou à co-courant.</li> <li>- Exploiter la relation entre la puissance thermique et l'écart de température moyen pour dimensionner un échangeur, la relation donnant l'écart de température moyen entre les deux fluides étant fournie.</li> <li>- Estimer à partir de données expérimentales un coefficient global d'échange.</li> <li>- Évaluer la puissance thermique nécessaire au fonctionnement d'une chaudière avec ou sans changement d'état.</li> <li>- Évaluer à partir du pouvoir calorifique du combustible, le débit de combustible nécessaire au fonctionnement d'une chaudière.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre un protocole pour étudier un échange thermique entre deux fluides.</li> </ul>
<p><b>Pompes à chaleur, machines frigorifiques et les principes de la thermodynamique</b></p>	
<p>Pompe à chaleur, machine frigorifique.</p> <p>Premier et second principes de la thermodynamique.</p> <p>Coefficient de performance.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Décrire le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur ou d'une machine frigorifique à partir de documents ; identifier les transferts d'énergie mis en jeu.</li> <li>- Identifier les deux modes de transfert d'énergie par travail mécanique et par échange thermique.</li> <li>- Appliquer le principe de conservation de l'énergie à une machine thermique.</li> <li>- Énoncer le second principe de la thermodynamique comme l'impossibilité d'un transfert thermique spontané d'une source froide vers une source chaude.</li> <li>- Expliquer comment une compression ou une détente, modélisée par une transformation adiabatique, permet d'augmenter ou d'abaisser la température d'un gaz.</li> <li>- Définir le coefficient de performance.</li> <li>- Réaliser un bilan énergétique et évaluer le coefficient de performance d'une machine thermique à partir d'une documentation.</li> <li>- Exploiter une documentation pour mettre en évidence les limites d'utilisation d'une pompe à chaleur.</li> </ul>

• **Transport et transformation des flux de matière**

L'étude des flux de matière est un élément important pour l'analyse et la compréhension des procédés physico-chimiques comme ceux liés à la distillation. Cependant l'analyse des flux de matière peut difficilement être conduite indépendamment des deux parties précédentes puisque ces flux de matière sont aussi des vecteurs d'énergie ou d'information :

- Vecteur d'énergie, dans le cas des systèmes de production ou d'échanges thermiques.
- Vecteur d'information, parce que les conditions de circulation de la matière nous informent sur l'état du système.

La mesure du débit et de la pression permet de caractériser les écoulements. L'étude des circuits hydrauliques et des pompes conduit au théorème de Bernoulli abordé sous sa forme énergétique. L'étude expérimentale des dispositifs de distillation et de purification permet de travailler les notions associées aux diagrammes binaires, à la cristallisation et de faire le lien avec le thème « Chimie et développement durable ».

Dans l'esprit du programme de la série STL qui s'appuie sur des allers-retours réguliers entre expérience et théorie, l'approche expérimentale des systèmes est privilégiée pour présenter les notions du programme. Le professeur veille à limiter les approches théoriques liées à la dynamique des fluides au strict nécessaire.

<b>Notions et contenus</b>	<b>Capacités exigibles</b>
Débit. Vitesse d'écoulement.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exprimer la relation entre débit massique et débit volumique.</li> <li>- Exprimer la relation entre le débit volumique d'un fluide et sa vitesse d'écoulement.</li> <li>- Exploiter la conservation du débit pour des écoulements permanents incompressibles.</li> </ul>
Pression, force de pression. Le principe fondamental de la statique des fluides.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploiter la relation entre la force de pression, la pression et la surface.</li> <li>- Utiliser le principe fondamental de la statique des fluides incompressibles.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesurer une pression.</li> <li>- Concevoir et mettre en œuvre un protocole pour estimer la hauteur de liquide dans un réservoir.</li> </ul>

**Circuits hydrauliques et théorème de Bernoulli**

Théorème de Bernoulli.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploiter le théorème de Bernoulli pour un fluide incompressible.</li> <li>- Expliquer l'effet Venturi et citer des applications.</li> </ul>
Circuits hydrauliques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploiter le théorème de Bernoulli avec pertes de charges.</li> <li>- Exploiter des documents pour étudier les pertes d'énergie dans un circuit hydraulique et mettre en évidence l'influence de quelques paramètres : vitesse d'écoulement, longueur et section de la canalisation, singularités.</li> </ul>
Pompe. Puissances utile (puissance hydraulique) et absorbée.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expliquer le rôle d'une pompe.</li> <li>- Exploiter le théorème de Bernoulli avec une pompe.</li> <li>- Définir et exploiter l'expression de la puissance utile d'une pompe.</li> </ul>

Rendement.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir et évaluer le rendement d'une pompe, la puissance électrique absorbée étant fournie.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre un protocole permettant d'étudier l'influence d'au moins un paramètre sur les pertes d'énergie dans un écoulement.</li> </ul>
<b>Distillation et diagrammes binaires</b>	
Diagrammes binaires. Distillation. Reflux.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir la fraction molaire et la fraction massique.</li> <li>- Identifier les courbes et les domaines d'un diagramme isobare d'équilibre liquide-vapeur dans le cas d'un mélange binaire homogène.</li> <li>- Exploiter un diagramme isobare d'équilibre liquide-vapeur d'un mélange binaire et reconnaître la présence d'un azéotrope.</li> <li>- Déterminer, à partir du diagramme, la température d'ébullition ou de rosée d'un mélange.</li> <li>- Dédire d'un diagramme isobare d'équilibre liquide-vapeur la composition des premières bulles de vapeur formées.</li> <li>- Prévoir la nature du distillat et du résidu d'une distillation fractionnée avec ou sans azéotrope.</li> <li>- Expliquer la différence entre une distillation simple et une distillation fractionnée.</li> <li>- Expliquer l'intérêt à réaliser une distillation sous pression réduite.</li> <li>- Réaliser un bilan de matière global et évaluer le rendement d'une distillation.</li> <li>- Identifier les paramètres agissant sur le pouvoir séparateur des colonnes en exploitant une documentation.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Choisir une technique de distillation et la mettre en œuvre pour séparer les constituants d'un mélange.</li> <li>- Évaluer le rendement d'une distillation.</li> </ul>
<b>Évaporation et cristallisation</b>	
Évaporation. Cristallisation. Solubilité.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expliquer le principe de la concentration de solutions par évaporation.</li> <li>- Expliquer le principe de la cristallisation par refroidissement ou par évaporation en exploitant une documentation.</li> <li>- Utiliser une courbe de solubilité en fonction de la température pour déterminer des conditions de cristallisation.</li> <li>- Réaliser un bilan de matière global et évaluer le rendement d'une cristallisation ou d'une opération d'évaporation.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concevoir et mettre en œuvre un protocole permettant de récupérer des cristaux à partir d'une solution.</li> <li>- Évaluer le rendement d'une cristallisation.</li> </ul>