

## 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>

Contrôler une position. Le moteur pas à pas. Champ magnétique.	<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>
<b>Système de régulation</b>	
Boucle de régulation.	<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>
Caractéristique statique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tracer la caractéristique statique d'un procédé stable pour une valeur de perturbation.</li> </ul>
Régulation à action discontinue : TOR.	<ul style="list-style-type: none"> <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>
Régulation à action continue, critères de performance.	<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>
Correction P. Point de fonctionnement.	<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 : <ul style="list-style-type: none"> <li>- piloter un organe de commande,</li> <li>- contrôler l'évolution d'une grandeur.</li> </ul> </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>	
<p>Échangeurs thermiques.</p> <p>Transferts thermiques : Conduction, convection, rayonnement.</p> <p>Puissance thermique.</p> <p>Conductivité thermique des matériaux, résistance thermique.</p> <p>Échangeurs en régime stationnaire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Décrire qualitativement le principe d'un échangeur thermique.</li> <li>- Décrire qualitativement les trois modes de transfert thermique : conduction, convection, rayonnement.</li> <li>- Classer des matériaux selon leurs propriétés isolantes à partir de la valeur de leur conductivité thermique.</li> <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> <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.

Notions et contenus	Capacités exigibles
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>
<b>Circuits hydrauliques et théorème de Bernoulli</b>	
Théorème de Bernoulli.  Circuits hydrauliques.  Pompe. Puissances utile (puissance hydraulique) et absorbée.	<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> <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> <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>