

Annexe 3

Programme de physique-chimie et mathématiques de terminale STI2D

Sommaire

Introduction

Programme de physique-chimie

Préambule

Mesure et incertitudes

Énergie

Matière et matériaux

Ondes et signaux

Programme de mathématiques

Intentions majeures

Analyse

Nombres complexes

Introduction

L'enseignement de spécialité de physique-chimie et mathématiques vise à donner aux élèves une formation scientifique solide les préparant à la poursuite d'études. Si chacune des disciplines qui le composent a ses enjeux propres, les programmes qui suivent ont été conçus pour donner une cohérence et une unité à l'ensemble. Les modes de pensée spécifiques à chaque champ disciplinaire s'acquièrent au travers d'un ensemble limité de savoirs, savoir-faire et méthodes qui trouvent leur efficacité lors de l'étude de problèmes communs, sur lesquels les différentes disciplines apportent des éclairages complémentaires.

Les professeurs de physique-chimie et de mathématiques s'attachent à travailler conjointement les notions qui se prêtent à un croisement fructueux. Il est essentiel d'organiser des passerelles pédagogiques entre les deux disciplines afin que les élèves puissent enrichir la compréhension de concepts communs et l'assimilation de méthodes partagées.

C'est notamment le cas du calcul infinitésimal (dérivée et primitive), où il est essentiel de préciser les démarches à l'œuvre dans les calculs menés avec des variations Δx ou Δt très petites mais finies et leurs liens avec les résultats acquis par passage à la limite. Il importe notamment d'adopter des notations parlantes et concertées. Cela nécessite un travail pédagogique commun des deux professeurs. De même, le travail statistique sur les incertitudes de mesure ou encore la modélisation du travail d'une force par le produit scalaire appellent une réelle collaboration des deux professeurs.

Les contenus et méthodes abordés dans l'enseignement de spécialité de physique-chimie et mathématiques sont suffisamment riches pour permettre aux élèves de conduire des projets variés en vue de l'épreuve orale terminale du baccalauréat.

Programme de physique-chimie

Préambule

- **Objectifs de formation**

La série sciences et technologies pour l'industrie et le développement durable (STI2D) est une série à dominantes scientifique et technologique. Les élèves l'ayant choisie doivent être initiés, dans ces domaines, aux concepts, démarches méthodologiques et savoir-faire expérimentaux qui leur permettront de progresser et de réussir quel que soit leur choix d'orientation dans l'enseignement supérieur : BTS ou DUT de l'industrie et du développement durable, licences scientifiques et technologiques, formations d'ingénieurs et CPGE de la filière TSI, etc. Ce programme d'enseignement de physique-chimie poursuit cet objectif sur le cycle terminal, dans la continuité des apprentissages du collège et de la classe de seconde. Il s'agit de renforcer la culture scientifique des futurs bacheliers de la série STI2D, de les faire accéder à une compréhension plus globale des concepts et notions de physique-chimie étudiés, d'améliorer leurs capacités d'investigation, d'analyse et de raisonnement, de les faire progresser dans la maîtrise de la démarche expérimentale scientifique et des compétences qui lui sont associées.

Pour étayer cet objectif, il s'avère indispensable de conforter les outils mathématiques nécessaires à la conceptualisation, à la modélisation et au calcul des grandeurs associées aux notions de physique et de chimie du programme, sans oublier que leur utilisation prépare à la poursuite d'études supérieures. Le professeur veille à la meilleure articulation possible du programme de physique-chimie avec les programmes de mathématiques, notamment celui des enseignements communs et de cette spécialité.

L'ambition de conduire les élèves à une compréhension de l'utilité et de la portée universelle des notions et de la méthodologie de la physique-chimie ne doit pas faire perdre de vue leurs applications constantes et généralisées dans le domaine technologique. Les réalisations technologiques fournissent naturellement les exemples de contextualisation et d'application de l'enseignement de physique-chimie. La connaissance scientifique nourrit ces réalisations ; certaines d'entre elles, à leur tour, améliorent les capacités d'investigation et de compréhension du réel. La mise en évidence de cette articulation, à travers la permanence d'un contexte technologique illustrant les notions de physique et de chimie étudiées, donne d'abord du sens à cet enseignement pour les élèves ; au-delà, elle permet de leur fournir des clés pour s'approprier les grands défis scientifiques et technologiques du XXI^e siècle, en particulier ceux de l'énergie, du réchauffement climatique et du traitement de l'eau.

• **Contenus et progression**

Partant de ces objectifs généraux, quatre domaines d'études sont privilégiés : la mesure et les incertitudes, l'énergie, la matière et les matériaux, les ondes et l'information.

- Le premier domaine permet de poursuivre la sensibilisation des élèves, commencée en classe de seconde, au rôle de la mesure pour approcher et quantifier les phénomènes physiques et chimiques, suivre leur évolution dans le temps, observer leurs discontinuités, élaborer des modèles et délimiter leurs domaines de validité, ainsi qu'à l'importance de présenter chaque résultat final d'une mesure avec la mention de l'incertitude-type et de l'unité associées. Les notions sont introduites puis appliquées en s'appuyant sur les thématiques abordées dans les trois autres domaines et dans une logique de progressivité, à l'occasion de travaux pratiques, mais aussi de façon récurrente lors d'exercices et de résolutions de problèmes tout au long du cycle terminal.

Les trois autres domaines sont conçus selon l'approche systémique que doit conduire le technologue lors de l'étude des objets ou installations pour répondre aux questions suivantes : quels sont les échanges d'énergie ou de matière entre le système étudié et le milieu extérieur ? Quels sont les supports pour les échanges d'information entre le système étudié et le milieu extérieur ?

- Le deuxième domaine, l'énergie, constitue le pôle central du programme de physique-chimie du cycle terminal de STI2D. En classe de première, les élèves sont sensibilisés aux enjeux de l'énergie, à ses différentes formes, à ses conversions, à son transport et sa distribution, à son stockage, afin d'être familiarisés à la diversité et à la complexité des problèmes liés à l'énergie. Ils sont amenés à identifier les conditions nécessaires pour qualifier une ressource d'énergie de « renouvelable ». Tout au long du cycle terminal, les grandes formes d'énergie (électrique, interne, chimique, mécanique, électromagnétique) sont étudiées, ainsi que les principales notions qui leur sont associées. L'étude de l'énergie mécanique aborde explicitement la notion d'actions mécaniques. Les notions fondamentales sont introduites en classe de première ; puis on procède à leur approfondissement et à des applications plus complexes en classe terminale.
- Dans le troisième domaine, la matière et les matériaux sont envisagés d'abord du point de vue de la présentation des propriétés des matériaux (électriques, thermiques, mécaniques, optiques, chimiques) qui permet d'éclairer les choix technologiques. L'organisation de la matière en lien avec les propriétés physiques des matériaux (atomes, liaisons entre atomes, molécules, macromolécules, ions et solutions aqueuses) complète cette approche. Les transformations chimiques importantes dans le domaine industriel (combustion, oxydo-réduction et corrosion, réaction acido-basique) sont ensuite étudiées. Les notions fondamentales sont mobilisées et approfondies dès la classe de première pour être développées en classe terminale avec des applications importantes : transformations chimiques,

physiques et nucléaires, effets énergétiques associés, corrosion, piles et accumulateurs, traitement de l'eau, contraintes industrielles, acidification des océans, etc.

- Les ondes sonores et électromagnétiques sont étudiées comme exemples de vecteurs d'information. En classe de première sont introduites les caractéristiques d'une onde, les phénomènes de propagation, d'absorption, de réflexion. Puis sont approfondies les caractéristiques, représentations spectrales, propriétés particulières et notions associées aux ondes sonores et aux ondes électromagnétiques.

Tout au long du cycle terminal, en particulier en conclusion des grands domaines du cours (énergie, matière et matériaux, ondes et information), un mini-projet d'application illustrant la thématique est proposé aux élèves. Le programme propose une série d'exemples de thèmes possibles pour ces mini-projets, sans exhaustivité, en laissant aux professeurs et à leurs élèves l'initiative et le choix des contenus dans les thématiques industrielles ou sociétales du développement durable.

• **Place des compétences expérimentales**

Les compétences expérimentales des élèves sont systématiquement construites à travers les grands domaines d'études, au cours de séances régulières de pratique expérimentale, mais également dans le cadre d'exercices et de résolutions de problèmes. Il s'agit d'abord de se familiariser avec les appareils de mesure et leur utilisation, de développer le savoir-faire expérimental et la capacité à suivre un protocole.

Sur cette base, les élèves sont amenés également à conceptualiser la démarche expérimentale, à choisir et décrire la façon d'obtenir une mesure en lui associant une incertitude, à choisir et positionner un instrument d'acquisition ou de mesure, à élaborer et proposer un protocole expérimental simple, à proposer un ou des modèles possibles des phénomènes étudiés dans des conditions de mesure et d'observation spécifiées et en précisant les limites de ces modèles.

Les compétences expérimentales sont valorisées au même titre que les capacités théoriques : outre qu'elle valide des modèles donnés, la démarche expérimentale permet aux élèves de concevoir de nouveaux modèles simples et d'évaluer leurs limites de validité.

• **Compétences de la démarche scientifique**

Sont rappelées ci-dessous les compétences retenues dès le programme de seconde pour caractériser la démarche scientifique. Dans le souci de veiller à la continuité de l'enseignement de physique-chimie au lycée, elles continuent de structurer la formation et l'évaluation des élèves tout au long du cycle terminal. L'ordre de leur présentation ne préjuge en rien de celui dans lequel les compétences doivent être mobilisées par l'élève dans le cadre d'activités. Quelques exemples de capacités associées précisent les contours de chaque compétence ; ces exemples ne prétendent à aucune exhaustivité.

Compétences	Quelques exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Énoncer une problématique. - Rechercher, sélectionner et organiser l'information en lien avec la problématique. - Représenter la situation par un schéma.

Analyser/ Raisonnement	<ul style="list-style-type: none"> - Formuler des hypothèses. - Proposer une stratégie de résolution. - Planifier des tâches. - Évaluer des ordres de grandeur. - Choisir un modèle ou des lois pertinentes. - Choisir, élaborer, justifier un protocole. - Faire des prévisions à l'aide d'un modèle. - Procéder à des analogies.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre les étapes d'une démarche. - Utiliser un modèle. - Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données, etc.). - Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité. - Proposer un protocole expérimental.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance. - Identifier des sources d'erreur, estimer une incertitude, comparer une valeur mesurée à une valeur de référence. - Confronter un modèle à des résultats expérimentaux. - Proposer d'éventuelles améliorations à la démarche ou au modèle.
Communiquer	<p>À l'écrit comme à l'oral :</p> <ul style="list-style-type: none"> - présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente ; utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés ; - échanger entre pairs.

Cet enseignement contribue au développement des compétences orales, notamment à travers 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.

Le niveau de maîtrise de ces compétences dépend de l'autonomie et de l'initiative requises dans les activités proposées aux élèves au cours du cycle sur les notions et capacités exigibles du programme. L'approche spiralaire sur le cycle terminal permet le développement progressif du niveau de maîtrise attendu.

La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les élèves des questions mettant en jeu le respect d'autrui, la responsabilité individuelle et collective, la sécurité pour soi et pour autrui, l'éducation à l'environnement et au développement durable. Une ouverture sur l'histoire des sciences peut être porteuse de sens et éclairer le cheminement de la connaissance.

Les différentes parties du programme sont présentées autour des rubriques suivantes : notions et contenus, capacités exigibles et activités expérimentales, repères pour l'enseignement, liens avec les mathématiques et exemples de situation-problème d'apprentissage et projets d'application.

Mesure et incertitudes

Notions et contenu	Capacités exigibles / Activités expérimentales
Dispersion des mesures. Incertitude-type sur une série de mesures ou une mesure unique.	<ul style="list-style-type: none"> - Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (type A). - <i>Utiliser un outil numérique pour évaluer une incertitude-type par une approche statistique (type A).</i> - Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type associée à une mesure unique en exploitant une relation fournie.
Incertitude-type composée.	<ul style="list-style-type: none"> - Comparer le poids des différentes sources d'erreur, à partir de l'incertitude-type associée à chacune d'elles. - <i>Utiliser un outil numérique pour évaluer l'incertitude-type composée associée à une mesure obtenue lors de la réalisation d'un protocole dans lequel interviennent plusieurs incertitudes.</i> - Faire des propositions pour améliorer un protocole de mesure.
Valeur de référence. Validité d'un résultat.	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluer le nombre d'incertitudes-types séparant le résultat d'une mesure de la valeur de référence. - Discuter selon le contexte de la validité d'un résultat de mesure en fonction du nombre d'incertitudes-types le séparant d'une valeur de référence.
Écriture d'un résultat.	<ul style="list-style-type: none"> - Maîtriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique pour écrire un résultat avec l'incertitude associée et l'unité correspondante. - Arrondir un résultat d'une mesure en cohérence avec l'incertitude associée.

Repères pour l'enseignement

Le professeur insiste sur l'importance d'associer une unité et une incertitude-type à chaque résultat de mesure ou de calcul.

Il met l'accent sur le mode d'obtention des valeurs des incertitudes-types en privilégiant l'utilisation d'outils numériques.

La valeur attendue, si elle existe ou si elle est issue de l'exploitation d'un modèle, est appelée valeur de référence.

On indique que l'écart maximal raisonnable entre le résultat d'une mesure et une valeur de référence peut être évalué en nombre d'incertitudes-types. Le nombre d'incertitudes-types admissible dépend du contexte d'étude, le professeur exploite différents exemples.

Liens avec les mathématiques

- L'écart-type d'une série de mesures est étudié en classe de seconde.
- La fluctuation d'échantillonnage est abordée dans les programmes de mathématiques des enseignements communs.

Énergie

• L'énergie et ses enjeux

Notions et contenu	Capacités exigibles / Activités expérimentales
Énergie et puissance.	<ul style="list-style-type: none"> - Définir la puissance instantanée comme la limite de la puissance moyenne pour un intervalle de temps infiniment petit. - Définir la puissance instantanée comme la dérivée par rapport au temps de l'énergie. - Déterminer l'énergie mise en jeu par un système pendant un intervalle de temps donné à partir de la courbe représentant la puissance en fonction du temps. - <i>Utiliser un outil numérique (tableur, logiciel ou programme informatique) pour calculer les valeurs de la puissance d'un système à partir d'un tableau de valeurs de l'énergie mise en jeu au cours du temps.</i> - <i>Utiliser un outil numérique (tableur, logiciel ou programme informatique) pour calculer les valeurs de l'énergie mise en jeu au cours du temps à partir d'un tableau de valeurs de la puissance d'un système.</i> - Estimer la durée de fonctionnement d'un système autonome.
Puissance absorbée et puissance utile. Rendement d'une conversion, d'un transfert d'énergie.	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter la relation permettant de calculer le rendement d'une conversion ou d'un transfert d'énergie.
Réversibilité des conversions d'énergie.	<ul style="list-style-type: none"> - Définir un fonctionnement réversible et non-réversible pour un convertisseur.

Repères pour l'enseignement

Le professeur contextualise son enseignement dans les différents domaines de la vie courante, de la production et des services. Il met en évidence les ordres de grandeurs des rendements de différents moteurs (électriques, thermiques ...). Il fournit aux élèves des éléments de compréhension pour aborder les grands débats de société du XXI^e siècle (ressources énergétiques, climat ...).

Le calcul de l'énergie correspondant à l'aire sous la courbe de la puissance en fonction du temps est mis en relation avec l'intégrale étudiée en mathématiques, notamment l'approximation du calcul de l'intégrale par la méthode des rectangles.

Liens avec les mathématiques

- Nombre dérivé, fonction dérivée.
- Intégrale et aire sous une courbe.

Exemples de situation-problème d'apprentissage et mini-projets d'application

- Comparaison des modes de production d'énergie pour des véhicules autonomes.
- Transformation d'un vélo classique en vélo à assistance électrique.
- Comparer l'autonomie de véhicules de différentes motorisations.

• **Énergie chimique**

Notions et contenu	Capacités exigibles / Activités expérimentales
Piles, accumulateurs. Conversion d'énergie chimique en énergie électrique.	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer une pile d'un accumulateur. - Calculer l'énergie totale stockée dans une batterie d'accumulateurs ou une pile à partir des caractéristiques tension et quantité d'électricité stockée. - <i>Exploiter les principales caractéristiques des piles ou accumulateurs (tension à vide, capacité, énergies massique et volumique, nombre de cycles de charge et décharge) pour les utiliser dans des applications spécifiques.</i>

Repères pour l'enseignement

Le professeur montre la contribution de la physique à l'évolution technologique des piles et des accumulateurs.

Liens avec les mathématiques

- Exploitation de courbes.

Exemples de situation-problème d'apprentissage et mini-projets d'application

- Choisir les piles ou accumulateurs en fonction d'un cahier des charges donné.
- Systèmes embarqués.
- Étude comparative de batteries de véhicules électriques ou hybrides.

• **Énergie électrique**

Notions et contenu	Capacités exigibles / Activités expérimentales
Le régime sinusoïdal. Puissance active et puissance apparente.	<ul style="list-style-type: none"> - Indiquer que la puissance apparente S, égale au produit des valeurs efficaces de la tension et de l'intensité du courant, est une grandeur de dimensionnement d'une installation ou d'un équipement électrique. - Indiquer que la puissance active P est égale à la puissance moyenne mise en jeu par une installation ou d'un équipement électrique. - <i>Mesurer une puissance active P et apparente S en régime sinusoïdal.</i> - <i>Utiliser un outil numérique (tableur, logiciel ou programme informatique) pour calculer la valeur de la puissance active d'un système à partir des évolutions temporelles de la tension et de l'intensité du courant.</i> - Calculer le facteur de puissance $k = P/S$ d'un récepteur en régime sinusoïdal.
Transport et distribution de l'énergie électrique.	<ul style="list-style-type: none"> - Représenter le schéma simplifié de l'organisation du transport et de la distribution de l'énergie électrique pour une ligne monophasée. - Distinguer et citer les caractéristiques essentielles du réseau de distribution électrique. - Relier qualitativement le facteur de puissance d'un équipement de puissance donnée aux pertes dans les lignes d'alimentation.

	<ul style="list-style-type: none"> - Citer les rôles du transformateur (élévation de tension, diminution de tension, isolation galvanique). - <i>Mesurer le rendement et le rapport de transformation d'un transformateur monophasé.</i> - Relier qualitativement l'augmentation, pour une charge donnée, de la tension de distribution à la diminution des pertes dans les lignes d'alimentation.
Protection des individus contre les risques du courant électrique.	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des documents mettant en évidence les seuils de dangerosité du courant électrique. - Citer des dispositifs de protection des individus contre les risques du courant électrique : isolation, alimentation en très basse tension et disjoncteur différentiel dans une installation domestique.
Protection des matériels contre les risques du courant électrique.	<ul style="list-style-type: none"> - Citer des dispositifs de protection des matériels contre les risques du courant électrique : fusible et disjoncteur.

Repères pour l'enseignement

Pour préparer les élèves à la modélisation, le professeur pourra introduire la représentation complexe d'un courant électrique sinusoïdal.

Liens avec les mathématiques

- Fonctions périodiques, fonctions trigonométriques.
- Nombres complexes.
- Exploitation de courbes.

Exemples de situation-problème d'apprentissage et mini-projets d'application

- Limitation des pertes dans un réseau électrique en régime sinusoïdal.
- Gestion et optimisation de la distribution ou de la consommation de l'énergie électrique.

• Énergie interne

Notions et contenu	Capacités exigibles / <i>Activités expérimentales</i>
Flux thermique.	<ul style="list-style-type: none"> - Définir le flux thermique à travers une paroi comme un débit d'énergie équivalent à une puissance. - Calculer le flux thermique à travers une paroi.
Conduction et résistance thermique. Conductivité thermique.	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter la relation entre flux thermique à travers une paroi en régime permanent, résistance thermique et écart de température. - Relier qualitativement l'augmentation de la résistance thermique d'une paroi à la diminution du flux thermique la traversant pour un même écart de température. - Calculer la valeur de la résistance thermique d'une paroi à partir de son épaisseur et de la conductivité thermique du matériau. - Calculer la résistance thermique d'une paroi composée de plusieurs couches de matériaux différents. - <i>Déterminer expérimentalement la résistance thermique d'une paroi.</i>

Liens avec les mathématiques

- Exploitation de courbes.

Exemples de situation-problème d'apprentissage et mini-projets d'application

- Étude de l'efficacité énergétique d'un double ou d'un triple vitrage.
- Comparaison des structures de bâtiments à énergie positive : impact de l'ossature bois ou de la structure béton sur l'efficacité énergétique.
- Exploitation de la thermographie infra-rouge pour contrôler l'isolation thermique d'un bâtiment.

• Énergie mécanique

Notions et contenu	Capacités exigibles / Activités expérimentales
Principe fondamental de la dynamique.	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer, à partir de l'accélération, la résultante des forces appliquées à un système dont le mouvement est rectiligne. - Déterminer les caractéristiques de l'accélération d'un système dans le cas d'un mouvement rectiligne à partir des forces extérieures appliquées. - <i>Exploiter numériquement des résultats expérimentaux pour valider le modèle de la chute libre.</i> - <i>Mesurer des accélérations et en déduire la résultante des forces extérieures appliquées au système étudié.</i>
Force de frottement entre un fluide et un solide. Force de frottement entre solides. Transfert d'énergie par travail mécanique.	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Exploiter des mesures pour modéliser une force de résistance aérodynamique lors d'un déplacement d'un solide à vitesse constante.</i> - Exploiter la relation entre la variation d'énergie cinétique d'un solide en translation et le travail des forces extérieures appliquées pour déterminer une force de frottement supposée constante (frottement solide-solide).
Mouvement de rotation. Actions mécaniques : moment d'une force, couple de forces et moment d'un couple.	<ul style="list-style-type: none"> - Écrire et exploiter la relation entre vitesse linéaire et vitesse angulaire. - Définir et calculer le moment d'une force et d'un couple de forces. - Exploiter graphiquement la caractéristique mécanique d'un moteur pour déterminer le point de fonctionnement d'un ensemble moteur-charge en régime permanent.
Force pressante et pression dans un fluide incompressible en équilibre. Statique des fluides.	<ul style="list-style-type: none"> - Définir la pression exercée sur une surface à partir de la résultante des forces pressantes appliquées. - Distinguer la pression absolue de la pression relative. - Citer et exploiter le principe fondamental de l'hydrostatique. - <i>Mesurer des pressions ou des différences de pression.</i>

Repères pour l'enseignement

Les vitesses et les accélérations sont soit mesurées à l'aide de capteurs spécifiques soit évaluées avec des logiciels de pointage.

Les aspects cinématiques du mouvement d'un point sont traités dans la partie « Mathématiques » du programme et éventuellement réinvestis dans cette partie de physique.

L'étude de la notion de pression, de la statique des fluides incompressibles permet une première approche des concepts qui seront remobilisés lors de l'étude de la dynamique des fluides dans l'enseignement supérieur.

Liens avec les mathématiques

- Dérivées.
- Produit scalaire (programme de première).
- Lecture et exploitation de courbes.
- Géométrie dans le plan.

Exemples de situation-problème d'apprentissage et mini-projets d'application

- Ballon sonde atmosphérique : thermographie par ballon captif relié au sol (évolution de la pression liée à l'altitude).
- Étude de la flottabilité d'un engin sous-marin.
- Les mouvements avec frottement : propulsion axiale d'un engin sous-marin ou d'un ballon dirigeable.

• Énergie transportée par la lumière

Notions et contenu	Capacités exigibles / Activités expérimentales
Modèle corpusculaire de la lumière (le photon). Énergie d'un photon.	<ul style="list-style-type: none"> - Interpréter les échanges d'énergie entre la matière et la lumière à l'aide de la notion de photon. - Citer et exploiter la relation $\Delta E = h.f$ reliant une variation d'énergie à la fréquence des photons émis ou reçus.
Conversion photovoltaïque. Conversion photothermique.	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les formes d'énergie mises en jeu dans une conversion photovoltaïque et une conversion photothermique. - Exploiter les caractéristiques tension-courant d'un panneau photovoltaïque pour identifier son point de fonctionnement. - Réaliser le bilan de puissance pour déterminer le rendement d'une conversion photovoltaïque et d'une conversion photothermique.

Repères pour l'enseignement

Les phénomènes physiques mis en jeu dans un panneau photovoltaïque ne sont pas abordés, seuls des aspects énergétiques sont traités.

Liens avec les mathématiques

- Géométrie dans le plan.
- Lecture et exploitation de courbes.

Exemples de situation-problème d'apprentissage et mini-projet d'application

- Comparaison du rendement de conversion de divers panneaux solaires photovoltaïques (monocristallins, polycristallins, amorphes).
- Étude de l'autonomie énergétique d'une habitation équipée de panneaux solaires thermiques et photovoltaïques.
- La voile solaire.

Matière et matériaux

• Propriétés des matériaux et organisation de la matière

Notions et contenu	Capacités exigibles / Activités expérimentales
Changements d'état et transferts thermiques.	<ul style="list-style-type: none"> - Associer, dans le cas de l'eau, un changement d'état à l'établissement ou à la rupture de liaisons hydrogène entre molécules. - Utiliser un diagramme d'état (P, T) pour déterminer l'état final d'un fluide lors d'une transformation physique d'un corps pur. - <i>Établir expérimentalement le bilan énergétique de la transformation physique d'une entité chimique.</i> - Utiliser l'énergie massique de changement d'état et les capacités thermiques massiques pour calculer les énergies mises en jeu.
Radioactivité naturelle et artificielle. Rayonnement radioactif de type alpha, beta et gamma. Activité. Loi de décroissance radioactive et demi-vie. $N(t) = N(0) \times e^{-\frac{t}{\tau}}$ où τ est la demi-vie de l'espèce considérée.	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer la radioactivité naturelle de la radioactivité artificielle. - Citer les différents types de rayonnement radioactif et préciser la nature des particules émises. - Citer la définition de l'activité d'une source radioactive et indiquer son unité. - Exploiter la définition de la demi-vie d'une espèce radioactive. - Comparer la décroissance radioactive de deux espèces connaissant leurs demi-vies respectives.
Réaction de fission. Réaction de fusion. Défaut de masse et énergie libérée.	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer une réaction de fission d'une réaction de fusion, l'équation nucléaire étant donnée. - Déterminer la valeur du défaut de masse lors d'une réaction nucléaire l'équation étant donnée. - Calculer l'énergie libérée lors d'une réaction nucléaire, le défaut de masse étant connu.

Repères pour l'enseignement

Ces notions sont contextualisées dans le cadre des débats de société sur les enjeux de la production d'énergie.

Le professeur établit l'équation d'une réaction de fission, les noyaux père et fils étant donnés, afin de permettre son exploitation avec les élèves.

Liens avec les mathématiques

- Fonction exponentielle, propriétés algébriques et représentation graphique.
- Fonction logarithme népérien.
- Équations différentielles.

Exemples de situation-problème d'apprentissage et mini-projets d'application

- Outils de diagnostic médical : comparaison des techniques radioscopiques non invasives sur le corps humain : tomographie, scintigraphie...
- Datation radioactive utilisée en archéologie ou géologie.
- Production d'énergie par fission et fusion, centrale nucléaire, projet ITER.
- Pompe à chaleur.

• **Combustions**

Notions et contenu	Capacités exigibles / Activités expérimentales
Bilan énergétique d'une combustion complète.	- Utiliser le modèle de la réaction chimique pour déterminer l'énergie échangée entre le système chimique étudié et le milieu extérieur lors d'une combustion complète.

Repères pour l'enseignement

Les carburants étudiés sont limités aux alcanes, alcènes et alcools. Les notions abordées en première sont réinvesties pour établir le bilan énergétique à partir du bilan de matière. Les quantités de produits formés, notamment le dioxyde de carbone, sont exploitées pour illustrer la problématique du réchauffement climatique.

Liens avec les mathématiques

- Exploitation de courbes.

Exemples de situation-problème d'apprentissage et mini-projets d'application

- Étude comparée de la combustion d'une chaudière avec ou sans condensation.
- Étude comparée de dispositifs de chauffage à combustion (efficacité énergétique, bilan carbone, coût ...).

• **Oxydo-réduction : piles, accumulateurs et piles à combustible**

Notions et contenu	Capacités exigibles / Activités expérimentales
Transformation chimique et générateurs électriques. Piles, accumulateurs. Piles à combustible.	- Identifier l'oxydant et le réducteur mis en jeu dans une pile ou un accumulateur à partir de la polarité de la pile ou des couples oxydant/réducteur utilisés. - Exploiter les équations d'une réaction d'oxydo-réduction pour réaliser un bilan de matière dans le cas d'une charge puis d'une décharge d'un accumulateur. - Exploiter les équations d'une réaction d'oxydo-réduction pour réaliser un bilan de matière dans le cas d'une pile à combustible.

Repères pour l'enseignement

Les notions introduites en première sont mobilisées pour étudier la réversibilité des équations d'oxydo-réduction et de ses applications fonctionnelles.

L'utilisation d'un tableau d'avancement n'est ni utile, ni exigée.

Liens avec les mathématiques

- Exploitation de courbes.

Exemples de situation-problème d'apprentissage et mini-projets d'application

- Production d'énergie pour des systèmes autonomes.
- Véhicules à hydrogène.

• Réactions chimiques acido-basiques

Notions et contenu	Capacités exigibles / Activités expérimentales
Définition d'un acide et d'une base. Couple acide-base. Définition du pH. Réaction acido-basique.	<ul style="list-style-type: none"> - Définir un acide comme un donneur de proton et une base comme un accepteur de proton. - Identifier un acide et une base dans un couple donné. - Citer et exploiter la relation entre la concentration en ions H_3O^+ d'une solution aqueuse et la valeur du pH. - Prévoir le sens d'évolution du pH lors d'une dilution d'une solution aqueuse de pH connu. - Écrire et exploiter l'équation chimique d'une réaction entre un acide et une base, les couples acide/base étant donnés. - <i>Mesurer le pH d'une solution aqueuse.</i> - <i>Proposer et réaliser un protocole permettant d'obtenir une solution de concentration molaire donnée par dilution.</i>

Repères pour l'enseignement

L'étude des réactions acido-basiques est contextualisée dans les problématiques de pollution et de traitement de l'eau, des pluies acides et de l'acidification des océans.

Liens avec les mathématiques

- Exploitation de courbes.
- Fonction logarithme décimal.

Exemples de situation-problème d'apprentissage et mini-projets d'application

- Traitement des pluies acides.
- Traitement d'eau des piscines par électrolyse au sel.
- Neutralisation des rejets industriels.

Ondes et signaux

• Notion d'onde

Notions et contenu	Capacités exigibles / Activités expérimentales
Spectre d'amplitude d'un signal périodique.	<ul style="list-style-type: none"> - Comprendre qu'un signal périodique quelconque peut être décomposé en une somme d'un signal continu (composante continue) et de signaux sinusoïdaux. - Identifier la fréquence du fondamental d'un signal périodique. - Exploiter un spectre d'amplitude d'un signal périodique pour déterminer la valeur absolue de la composante continue, l'amplitude et la fréquence du fondamental et des harmoniques présents. - Déterminer le rang d'un harmonique à partir de sa fréquence et de la fréquence du signal. - <i>Relever expérimentalement le spectre d'amplitude d'une onde périodique : déterminer la fréquence du fondamental et des harmoniques.</i>
Transmission d'un signal.	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer l'intervalle de fréquence nécessaire pour transmettre un signal comportant un ensemble d'harmoniques choisis.

Repères pour l'enseignement

L'enseignement s'appuie sur les systèmes communicants mis en œuvre dans les différents domaines de la vie courante et de l'industrie.

Le professeur veille à montrer que le spectre d'amplitude seul ne suffit pas à caractériser un signal périodique. Il montre que deux signaux périodiques de formes différentes peuvent avoir le même spectre d'amplitude.

La définition et l'utilisation des décibels ne sont pas abordées dans ce cadre ; elles le sont uniquement dans le cadre des ondes sonores.

Liens avec les mathématiques

- Fonctions périodiques, fonctions trigonométriques.
- Exploitation de courbes.

Exemples de situation-problème d'apprentissage et mini-projets d'application

- Observation des transpositions en fréquence induits par les modulations.
- Utilisation de l'analyse spectrale pour la détection de pollution électromagnétique.

• Ondes sonores

Notions et contenu	Capacités exigibles / Activités expérimentales
Spectre d'amplitude d'un son. Son pur et son complexe. Notion de timbre et de hauteur.	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Utiliser un outil numérique pour relever le spectre d'amplitude d'un signal sonore périodique (son pur et son complexe).</i> - Déterminer la fréquence du fondamental et des harmoniques à partir du spectre d'amplitude d'un signal sonore. - Définir et distinguer la notion de timbre et de hauteur.
Intensité acoustique et niveau sonore.	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter la relation entre l'intensité acoustique et le niveau sonore.

	<ul style="list-style-type: none"> - Citer et exploiter l'unité correspondant au niveau sonore : le décibel (dB). - Exploiter des informations relatives aux courbes de sensibilité de l'oreille humaine (fréquences audibles, seuil d'audibilité, seuil de douleur, etc.). - <i>Mesurer des niveaux sonores.</i>
Transmission et absorption.	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Mettre en évidence expérimentalement les phénomènes de transmission ou d'absorption d'un son par différents matériaux.</i>

Repères pour l'enseignement

Le professeur montre l'influence des harmoniques sur la forme du signal et le timbre du son.

Liens avec les mathématiques

- Fonctions périodiques, fonctions trigonométriques.
- Fonction logarithme décimal.
- Exploitation de courbes.

Exemple de situation-problème d'apprentissage et projets d'application

- Casque audio à réduction de bruit active.
- Étude comparative des solutions d'isolation acoustique.
- Étude de protection auditive.

• Ondes électromagnétiques

Notions et contenu	Capacités exigibles / Activités expérimentales
Spectre des ondes électromagnétiques utilisées en communication.	<ul style="list-style-type: none"> - Positionner les domaines fréquentiels des ondes utilisés dans les télécommunications sur une échelle de fréquence ou de longueur d'onde, à partir de données fournies.
Transmission d'informations.	<ul style="list-style-type: none"> - Associer qualitativement la transmission d'informations différentes dans un même milieu à une transposition fréquentielle. - Relier le domaine de fréquence exploité à la dimension des antennes utilisées. - <i>Mettre en œuvre une transmission d'informations par infrarouge ou onde radio.</i> - <i>Mettre en œuvre une transmission par fibre optique.</i>

Repères pour l'enseignement

La structure de l'onde électromagnétique n'est pas introduite.

La relation entre longueur d'onde, fréquence et célérité vue en première est remobilisée pour ordonner les domaines de fréquence des ondes utilisés dans les télécommunications.

Liens avec les mathématiques

- Fonctions périodiques, fonctions trigonométriques.
- Exploitation de courbes.

Exemples de situation-problème d'apprentissage et projets d'application

- Mise en œuvre de composants optoélectroniques dans un système de transmission.
- Étude des signaux d'une télécommande infra-rouge.
- Transmission par courant porteur en ligne.

Programme de mathématiques

Intentions majeures

En étroite articulation avec le programme de l'enseignement commun qu'il permet à la fois de compléter et d'approfondir, le programme de l'enseignement de spécialité de physique-chimie et mathématiques est organisé autour de deux thèmes : analyse et nombres complexes. Il vise deux objectifs :

- permettre l'acquisition de connaissances et le développement de compétences mathématiques immédiatement utiles pour la physique et la chimie (intégration, fonction exponentielle de base e) ;
- développer des capacités d'abstraction, de raisonnement et d'analyse critique dont le rôle est essentiel dans la réussite d'études supérieures.

Plusieurs concepts et outils mathématiques, déjà abordés en classe de première, seront utilement consolidés et réinvestis dans le cadre d'activités conjointes menées avec le professeur de physique-chimie.

La progression retenue pour la partie « Mathématiques » du programme doit tenir compte à la fois de l'avancement de l'enseignement commun de mathématiques et de l'utilisation des notions mathématiques dans l'enseignement de physique-chimie.

Analyse

• Intégration

Contenus

- Définition de l'intégrale entre a et b ($a < b$) d'une fonction f positive sur $[a;b]$ comme aire sous la courbe ; notation $\int_a^b f(x)dx$.
- Approximation d'une intégrale par la méthode des rectangles. Mise en relation des écritures $\sum_{i=1}^n f(x_i)\Delta x_i$ et $\int_a^b f(x)dx$.
- Définition de l'intégrale d'une fonction négative sur $[a;b]$; extension aux fonctions ne gardant pas un signe constant.
- Définition de $\int_a^b f(x)dx$ lorsque $a > b$.
- Propriétés de l'intégrale : linéarité, positivité, croissance, relation de Chasles.
- Valeur moyenne d'une fonction.
- Intégrale dépendant de sa borne supérieure : $F(x) = \int_a^x f(t)dt$; dérivée.
- $\int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a)$ où F est une primitive de f .

Capacités attendues

- Calculer l'intégrale d'une fonction sur un intervalle $[a;b]$.
- Calculer la valeur moyenne d'une fonction sur un intervalle $[a;b]$.
- Calculer une aire sous une courbe ou entre deux courbes.

Commentaires

- L'existence de l'intégrale est admise pour toutes les fonctions considérées.
- La formule de l'aire d'un rectangle (respectivement d'un trapèze) est utilisée pour calculer l'intégrale entre a et b d'une fonction constante (respectivement d'une fonction affine).
- La propriété de croissance de l'intégrale et la relation de Chasles sont mises en relation avec les propriétés des aires dans le cas de fonctions positives et admises dans le cas général.

- Un logiciel de géométrie dynamique permet de visualiser la méthode des rectangles et d'appréhender la fonction $x \mapsto F_a(x) = \int_a^x f(t)dt$.
- Dans une intégrale $\int_a^x f(t)dt$ on distingue le statut du paramètre a , de la variable x et de la variable muette t .
- La valeur moyenne d'une fonction positive sur un intervalle $[a;b]$ s'interprète comme l'une des dimensions d'un rectangle dont l'aire est égale à l'intégrale $\int_a^b f(x)dx$ et dont l'autre vaut $b - a$.
- Dans le cas d'une fonction f positive et croissante, la valeur de la dérivée en x_0 de la fonction $x \mapsto F_a(x) = \int_a^x f(t)dt$ est obtenue en encadrant le taux de variation de F_a entre x_0 et $x_0 + \Delta x$ par $f(x_0)$ et $f(x_0 + \Delta x)$.

Liens avec l'enseignement de physique-chimie

- Remobiliser la notion de primitive dans le cadre de la cinématique étudiée en physique.
- Déterminer l'énergie mise en jeu par un système pendant un intervalle de temps donné à partir de la courbe représentant la puissance en fonction du temps.
- Déterminer la puissance active, égale à la puissance moyenne mise en jeu par un dipôle linéaire en régime sinusoïdal à partir de la courbe représentant la puissance en fonction du temps sur une période.

Situations algorithmiques et numériques

- Calculer une valeur approchée d'une intégrale par la méthode des rectangles.
- Estimer une aire par la méthode de Monte-Carlo.

• La fonction exponentielle de base e

Contenus

- Nombre e et fonction $x \mapsto e^x$.
- Dérivée de la fonction $x \mapsto e^x$.
- Dérivée de la fonction $x \mapsto e^{kx}$ pour k réel.
- Courbe représentative.
- Limites en $-\infty$ et en $+\infty$.
- Croissance comparée en $+\infty$: $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{e^x}{x^n}$; $\lim_{x \rightarrow +\infty} x^n e^{-x}$ pour n entier naturel non nul.

Capacités attendues

- Utiliser les propriétés algébriques de l'exponentielle pour transformer des expressions.
- Étudier les variations de fonctions somme, produit ou quotient de fonctions exponentielles (du type $x \mapsto e^{kx}$ pour k réel) et de fonctions polynômes.
- Déterminer les limites en $-\infty$ et en $+\infty$ de fonctions somme, produit ou quotient de fonctions exponentielles et de fonctions polynômes.

Commentaires

- L'introduction de la fonction exponentielle fait suite au travail sur les fonctions $x \mapsto a^x$ (pour $a > 0$) de l'enseignement commun. Le nombre e est introduit en recherchant, à l'aide d'un logiciel de géométrie dynamique, une valeur du paramètre a pour laquelle la fonction $x \mapsto a^x$ a une tangente en 0 de pente égale à 1 . L'existence et l'unicité de cette valeur, notée e (appelée nombre d'Euler), sont admises.
- Une approche expérimentale permet de percevoir les résultats sur les limites. Dans les exercices, on étend naturellement et sans formalisme les résultats du cours à des

fonctions du type $x \mapsto \frac{e^{kx}}{x^n}$ ou $x \mapsto x^n e^{-kx}$ pour des valeurs numériques strictement positives du réel k et de l'entier n .

- L'égalité $\frac{e^{x_0+\Delta x} - e^{x_0}}{\Delta x} = e^{x_0} \times \frac{e^{\Delta x} - 1}{\Delta x}$ permet de justifier la dérivée de $x \mapsto e^x$ en x_0 .
- La dérivée de $x \mapsto e^{kx}$ est obtenue par application du résultat sur la dérivation de $x \mapsto f(ax+b)$, au programme de la classe de première STI2D.

Situations algorithmiques et numériques

- Recherche d'une valeur approchée de e par balayage ou dichotomie sur les valeurs de a , le nombre dérivé en 0 de la fonction $x \mapsto a^x$ étant approché par le taux de variation pour un accroissement Δx arbitrairement fixé.

• La fonction logarithme népérien

Contenus

- Définition du logarithme népérien de a pour $a > 0$ comme unique solution de l'équation $e^x = a$; notation \ln .
- Sens de variation.
- Propriétés algébriques : $\ln(ab) = \ln a + \ln b$, $\ln\left(\frac{a}{b}\right) = \ln a - \ln b$, $\ln(a^n) = n \ln a$, $\ln(\sqrt{a}) = \frac{1}{2} \ln(a)$, $\ln(a^x) = x \ln a$ pour n entier, x réel, a et b réels strictement positifs.
- Lien avec le logarithme décimal.
- Courbe représentative.
- Limites en 0 et en $+\infty$.

Capacités attendues

- Utiliser les propriétés algébriques de la fonction logarithme népérien pour transformer des expressions.
- Résoudre des équations et des inéquations d'inconnue x du type : $e^{ax} = b$; $e^{ax} > b$; $\ln(x) = b$; $\ln(x) > b$.
- Étudier des fonctions somme, produit ou quotient de fonctions polynômes et de la fonction $x \mapsto \ln(x)$.

Commentaires

- Pour la définition du logarithme népérien de a , l'existence et l'unicité de la solution de l'équation $e^x = a$ pour $a > 0$ sont admises.
- La croissance de la fonction logarithme népérien peut être obtenue à partir de la définition du logarithme népérien et de la croissance de la fonction exponentielle.
- Le travail sur la fonction logarithme népérien est pensé en lien avec celui sur la fonction logarithme décimal de l'enseignement commun afin d'assurer la cohérence didactique.
- L'égalité $\ln(a^x) = x \ln a$ pour x non entier est admise. Elle peut être démontrée pour x entier.
- L'expression de la dérivée de la fonction $x \mapsto \ln(x)$ peut être admise dans un premier temps, puis justifiée en appliquant le théorème de dérivation d'une fonction composée à la fonction $x \mapsto e^{\ln(x)}$ et en exploitant l'identité : $e^{\ln(x)} = x$.

Liens avec l'enseignement de physique-chimie

- Calcul de la demi-vie d'un élément radioactif.
- Niveau d'une onde sonore.
- Calcul de pH.

• Équations différentielles

Contenus

- Notion d'équation différentielle ; notion de solution.
- Équations différentielles du type $y' = ay$; $y' = ay + b$.

Capacités attendues

- Vérifier qu'une fonction donnée est solution d'une équation différentielle.
- Déterminer l'ensemble des solutions d'une équation différentielle du type $y' = ay + b$.
- Déterminer la solution d'une équation différentielle du type $y' = ay + b$ vérifiant une condition initiale $y(x_0)$ donnée.

Commentaires

- Pour faciliter la compréhension de la notion d'équation différentielle, des exemples ne relevant pas uniquement du cadre linéaire à coefficients constants ou du premier ordre sont présentés. Par exemple : $2y - xy' = 0$, $y' + y^2 = 0$, $y'' + \omega^2 y = 0 \dots$
- Dans le cas de l'équation homogène $y' = ay$, il est possible de démontrer que la somme de deux solutions et le produit d'une solution par une constante sont encore solutions.
- L'unicité de la solution d'une équation différentielle vérifiant une condition initiale donnée est admise.
- Les notations de la dérivée, y' et $\frac{dy}{dx}$, sont toutes deux utilisées. La première privilégie l'aspect fonctionnel, la seconde, particulièrement adaptée aux sciences physiques, met en évidence le nom de la variable et exprime un rapport de variations infinitésimales entre deux grandeurs.

Liens avec l'enseignement de physique-chimie

- Loi de décroissance radioactive.

Situations algorithmiques et numériques

- Méthode d'Euler pour approcher la courbe représentative de la fonction exponentielle, solution de l'équation différentielle : $y' = y$ avec la condition initiale $y(0) = 1$.

• La composition de fonctions

Contenus

- Définition de la composée de deux fonctions ; notation $v \circ u$.
- Dérivée de la composée de deux fonctions : $(v \circ u)' = u' \times (v' \circ u)$.
- Expression d'une primitive de $u'f(u)$ en fonction d'une primitive de f et de la fonction u .

Capacités attendues

- Identifier la composée de deux fonctions dans une expression simple.
- Calculer la dérivée des fonctions composées usuelles :
 - $x \mapsto (u(x))^n$ pour n entier relatif ;
 - $x \mapsto \cos(u(x))$ et $x \mapsto \sin(u(x))$;
 - $x \mapsto e^{u(x)}$ et $x \mapsto \ln(u(x))$.
- Calculer des primitives de fonctions de la forme :
 - $x \mapsto f(ax + b)$ connaissant une primitive de f ;
 - $u' u^n$ pour n entier relatif ; cas particulier de $\frac{u'}{u}$;
 - $u' e^u$; $u' \cos u$; $u' \sin u$.

Commentaires

- La compréhension de la formule générale de dérivation d'une fonction composée peut s'appuyer sur l'écriture du taux de variation $\frac{v(u(x)) - v(u(x_0))}{x - x_0} = \frac{v(u(x)) - v(u(x_0))}{u(x) - u(x_0)} \times \frac{u(x) - u(x_0)}{x - x_0}$ sous la forme $\left(\frac{\Delta(v \circ u)}{\Delta x}\right)_{x_0} = \left(\frac{\Delta v}{\Delta u}\right)_{u(x_0)} \times \left(\frac{\Delta u}{\Delta x}\right)_{x_0}$ (avec un abus d'écriture dans le second membre de cette dernière l'égalité).
- La formule générale $(v \circ u)' = u' \times (v' \circ u)$ permet d'unifier, en fin d'apprentissage, les résultats relatifs aux dérivées des fonctions composées usuelles.
- La formule de la dérivée du quotient, admise en classe de première, peut être ici démontrée en écrivant : $\frac{u}{v} = u \times \frac{1}{v}$.

Nombres complexes

Contenus

- Exponentielle complexe : $e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$.
- Écriture d'un nombre complexe non nul sous la forme $re^{i\theta}$ avec $r > 0$.
- Formules d'addition et de duplication des sinus et des cosinus.
- Linéarisation de $\cos^2 \theta$ et $\sin^2 \theta$; application aux calculs de primitives.
- Expression complexe des translations, rotations et homothéties.

Capacités attendues

- Passer de la forme algébrique à une forme exponentielle et inversement.
- Transformer à l'aide des formules d'addition $a \cos(\omega t) + b \sin(\omega t)$ en $A \cos(\omega t + \varphi)$ et inversement.
- Résoudre dans l'ensemble \mathbb{C} des nombres complexes une équation du premier degré ou du type $z^2 = a$ pour a réel.
- Interpréter géométriquement les transformations du type $z \mapsto z + b$, (b étant un nombre complexe quelconque) et $z \mapsto az$ lorsque a est un nombre réel non nul ou un nombre complexe de module 1.

Commentaires

- Les formules d'addition et de duplication des sinus et cosinus sont démontrées en admettant l'extension des propriétés de l'exponentielle réelle à $e^{i\theta}$.

Liens avec l'enseignement de physique-chimie

- Régime électrique sinusoïdal.