

PROGRAMME DE L'ENSEIGNEMENT DE PHYSIQUE-CHIMIE EN CLASSE TERMINALE DE LA SÉRIE SCIENTIFIQUE

A. du 20-7-2001. JO du 4-8-2001

NOR : MENE0101664A

RLR : 524-7

MEN - DESCO A4

Vu code de l'éducation, not. art. L. 311-1 à L. 311-3 et L. 311-5 ; D. n° 90-179 du 23-2-1990 ; A. du 18-3-1999 mod. ; avis du CNP du 26-6-2001 ; avis du CSE des 5 et 6-7-2001

Article 1 - Le programme de l'enseignement obligatoire et de spécialité de physique-chimie en classe terminale de la série scientifique est déterminé par les dispositions annexées au présent arrêté.

Article 2 - Le directeur de l'enseignement scolaire est chargé de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait à Paris, le 20 juillet 2001
Pour le ministre de l'éducation nationale
et par délégation,
Le directeur de l'enseignement scolaire
Jean-Paul de GAUDEMAR

PHYSIQUE-CHIMIE CLASSE TERMINALE DE LA SÉRIE SCIENTIFIQUE

I - INTRODUCTION

Le programme de sciences physiques de terminale S a pour trame l'évolution temporelle des systèmes. Les exemples traités, pris dans différents domaines de la physique et de la chimie, en constituent les motifs. Ces motifs sont, à chaque fois que c'est possible, introduits par des situations expérimentales.

Le texte ci-dessous comporte deux parties, l'une consacrée à la physique, l'autre à la chimie. Concernant la physique, cette introduction ne vise pas tant à présenter le programme dans l'ordre où il est proposé qu'à développer les enjeux conceptuels nouveaux de l'année. Les objectifs de chaque partie sont insérés dans chacune d'elles. Concernant la chimie, le texte explicite la progression du questionnement qui la structure.

I.1 Physique

En classe de seconde, les élèves sont sensibilisés aux ordres de grandeur de distances et de temps du monde observable, et au double regard microscopique-macroscopique. Une première analyse de la cause du mouvement des objets a permis d'introduire le principe de l'inertie, dont l'utilisation heuristique est illustrée dans le cas de la gravitation.

En classe de première S, l'interrogation sur la nature des forces qui lient la matière se prolonge par l'introduction de l'interaction entre charges électriques et la mention de l'interaction entre nucléons. La mise en place de la dynamique est poursuivie par une écriture plus formelle de la relation entre le changement de la vitesse d'un objet et la résultante des forces s'exerçant sur lui. L'élève poursuit la construction du concept de force en s'interrogeant sur la notion de travail et sur les changements que ce travail permet de réaliser : changer l'énergie cinétique d'un mobile, changer son énergie potentielle d'interaction avec la Terre, changer la température d'un corps.

En classe de terminale est mise en place une compréhension plus fine de l'évolution des systèmes, en étudiant celle-ci quantitativement, tant sur le plan expérimental que théorique.

Sur le plan expérimental, observer une évolution c'est mesurer le **taux de variation** de certaines grandeurs physiques. Qu'il s'agisse de la propagation d'une perturbation dans un milieu, du taux de désintégration d'un noyau radioactif, de l'établissement du courant dans un circuit électrique, du mouvement d'un mobile ou d'un satellite, c'est à des taux de variation que l'on s'intéresse. L'accélération d'un mobile, notion nouvelle pour les élèves dans le cours de physique, est également un taux de variation, si on la comprend comme la vitesse de la vitesse. On s'interrogera sur les paramètres qui pilotent ces évolutions. Du point de vue théorique, un taux de variation instantané est représenté par une dérivée, notion introduite dans le cours de mathématiques en classe de première S. Étudier les variations temporelles nécessite d'introduire la variable temps dans le formalisme. Le temps, disait Henri Poincaré s'interrogeant sur sa nature, est défini de sorte que les équations de la mécanique soient aussi simples que possible. S'interroger sur les paramètres qui influent sur la dérivée d'une grandeur physique, c'est chercher à établir une équation différentielle. La résoudre permet d'anticiper l'évolution d'un système. La mise en place d'une méthode numérique itérative permet de mieux ancrer l'idée du **déterminisme** et de la **causalité** : l'état d'un système à un instant donné dépend de son état aux instants antérieurs et des actions qui s'exercent sur lui.

Ainsi, au cours de leur dernière année de lycée, les élèves ont pour la première fois la possibilité de toucher du doigt le double mouvement de l'activité scientifique dans le domaine de la physique : confronter les prédictions d'un modèle théorique à des résultats expérimentaux, utiliser des résultats expérimentaux pour affiner un modèle théorique.

La variété des systèmes abordés au cours de l'année ne doit donc pas faire perdre le fil directeur du programme : l'évolution des systèmes physiques. C'est ce qui permet de cadrer les différents sujets abordés et d'en préciser les limites.

Parmi les thèmes abordés dans l'**enseignement obligatoire**, certains relèvent de ce qu'il est convenu d'appeler la matière, d'autres relèvent de la catégorie **ondes**. Ces catégories ont certes leurs limites (puisqu'on traite notamment des ondes matérielles), mais leur pertinence se justifie notamment par les difficultés conceptuelles spécifiques rencontrées par les élèves. Le thème "Ondes" traite des ondes mécaniques et introduit le modèle ondulatoire de la lumière (partie A). Le thème "Matière" explore des systèmes très variés : noyaux atomiques (partie B), systèmes électriques (partie C), systèmes mécaniques (partie D).

Les **ondes mécaniques** sont introduites expérimentalement par le phénomène de **propagation sans transport de matière d'une perturbation dans un milieu initialement à l'équilibre**. Divers montages expérimentaux permettent de mettre en évidence qu'à cette propagation est associé un transport d'énergie, qui s'effectue également sans transport de matière. L'analyse de la propagation de proche en proche d'une perturbation dans un milieu à une dimension lorsque l'amortissement est négligeable conduit à la notion de **retard** : la perturbation en un point de l'espace à un instant donné est la même que ce qu'elle était en un autre point à un instant antérieur. Les notions de longueur d'onde et de fréquence sont introduites dans le cadre plus particulier des ondes progressives périodiques sinusoidales.

Le phénomène de **diffraction**, introduit dans le cas des ondes mécaniques et observé également avec la **lumière**, permet de modéliser cette dernière, tout du moins pour une partie de ses manifestations, comme une onde.

Le formalisme, dans cette partie, est réduit au minimum. Les ondes étant un phénomène certes familier mais que les élèves abordent pour la première fois comme phénomène physique, il importe surtout de se concentrer sur sa nature particulière, dont l'intérêt est lié à la possibilité de transporter de l'information et de l'énergie en faisant l'économie du transport de la matière.

Dans l'étude de l'évolution des **systèmes matériels** - nucléaires, électriques et mécaniques - il s'agit, à travers l'exploitation et la formalisation d'expériences diverses, de donner un sens précis au **déterminisme classique**. On insiste notamment sur l'importance des conditions initiales : une loi d'évolution ne détermine le futur d'un système que si les conditions initiales sont précisées, mais la loi d'évolution ne dit rien des conditions initiales ! Cette question prend un relief particulier lorsque l'on cherche à reconstituer le passé d'un système physique, comme en astrophysique : dans ce cas, l'état actuel fournit les conditions initiales, et l'application de la loi d'évolution permet de remonter le temps. Cette compréhension de l'évolution des systèmes (lois d'évolution + conditions initiales) est à la base de la physique moderne depuis trois siècles et a conditionné tous ses progrès.

Du point de vue formel, l'objet mathématique qui décrit la façon dont les actions déterminent l'évolution d'un système est une **équation différentielle**. C'est un concept nouveau pour les élèves. Dans les équations qu'ils ont vues précédemment, il s'agit de trouver un nombre. Là, l'inconnue est une fonction. La notion d'équation différentielle est détaillée dans le cours de mathématiques, mais l'interaction physique-mathématique est ici cruciale pour les deux disciplines. Les mathématiques ne sont pas un outil pour la physique, elles en sont constitutives. Leur pertinence pour la description du monde physique peut être l'objet d'une interrogation permanente : comment la manipulation de symboles sur une feuille de papier permet-elle de mettre en place un monde abstrait qui se comporte de façon analogue au monde réel, processus-clé de notre compréhension de la nature et d'une action aux effets prévisibles ?

Le cadre théorique le plus achevé de ce programme de terminale S est la **mécanique** (partie D du programme). Les élèves ont été initiés au principe d'inertie en classe de seconde, à divers types de force en seconde et en première S. Au cours de ces deux années s'est précisée l'idée que ce n'est pas la vitesse qui est le signe d'une interaction entre un mobile et son environnement, mais le changement de la vitesse. En terminale, on introduit le **taux de variation** de la vitesse, et la formalisation des lois d'évolution peut ainsi être complète. La nouveauté réside dans la possibilité de calculer et prévoir l'évolution temporelle d'un système mécanique, une fois connues les forces en jeu et les conditions initiales. La méthode d'Euler pour la résolution d'une équation d'évolution du premier ordre est mise en œuvre. L'étude expérimentale du mouvement de projectiles dans le champ de pesanteur, d'objets divers dans des liquides, de systèmes oscillants mécaniques, ainsi que la connaissance du mouvement des satellites et des planètes montrent que tous ces mouvements peuvent être formalisés dans un même cadre théorique.

L'étude des systèmes oscillants mécaniques permet d'introduire la notion de **période propre** d'oscillation d'un système et de **résonance**.

Cette partie se termine par une **ouverture au monde quantique**. Quelques remarques simples suggèrent que la dynamique régissant les systèmes nucléaires, atomiques ou moléculaires doit être différente de la dynamique classique : l'identité des systèmes nucléaires ou atomiques (pourquoi tous les atomes d'hydrogène, par exemple, ont-ils strictement les mêmes propriétés ?) comparée à la variété des systèmes planétaires (tous les systèmes planétaires sont différents) ; la taille des atomes, de l'ordre de quelques dixièmes de nanomètres. Dans la mécanique classique, rien ne permet de rendre compte de ces faits. Il ne s'agit pas, en classe terminale, d'aller au delà de ces interrogations, qui resteront provisoirement sans réponse. Ce sera toutefois l'occasion d'introduire la quantification des états d'énergie de l'atome et la quantification des **échanges** d'énergie qui en résulte : le monde quantique s'introduit ainsi par la constante de Planck.

D'autres évolutions temporelles sont également envisagées, faisant appel à des systèmes variés dont l'intérêt intrinsèque est évident. Il s'agit des phénomènes liés aux instabilités nucléaires, et des systèmes électriques. Les lois présentées ici ont un caractère empirique, mais elles sont intéressantes à plus d'un titre.

S'agissant de la physique du noyau atomique (partie B du programme), la mesure de la **radioactivité naturelle** liée à la présence du radon dans notre environnement sera l'occasion de placer des ordres de grandeur sur le phénomène et d'étudier une décroissance radioactive. Comprendre l'échelle à laquelle la radioactivité naturelle se place est un objectif essentiel pour la formation scientifique du citoyen. L'occasion est donnée, en outre, de montrer comment on met en place, lorsque c'est nécessaire, une **approche statistique** : le comportement d'un noyau est aléatoire, mais celui d'une population de noyaux, en moyenne, est parfaitement déterminé, et régi par une équation différentielle simple. Le programme de mathématiques se charge d'opérer le passage du caractère aléatoire de la désintégration d'un noyau individuel au caractère déterministe de l'évolution d'une population de noyaux radioactifs. L'application à la datation montre comment le phénomène permet de constituer des horloges adaptées aux échelles de temps les plus variées : géologiques ou historiques.

Concernant les **systèmes électriques** (partie C du programme), les élèves se sont intéressés en classe de première à certains effets propres au courant continu. Il s'agit en terminale d'aborder des phénomènes liés à la **variation** du courant électrique. On signale l'intérêt de pouvoir réaliser des signaux électriques dont la variation temporelle peut être réglée en fonction de besoins spécifiques. La formalisation de ces systèmes fait apparaître des analogies avec les systèmes mécaniques, puisqu'on y trouve les notions de **régime asymptotique**, de **temps caractéristique d'évolution**, de **période propre** et de **résonance**. C'est une première approche de l'idée profonde selon laquelle les mathématiques sont un outil idéal pour fabriquer des métaphores : si deux systèmes différents sont régis par des équations formellement identiques, chaque caractéristique du comportement de l'un se retrouve dans l'autre, et les deux systèmes s'éclairent mutuellement.

Pour l'**enseignement de spécialité**, le choix est fait de situer son contenu pour l'essentiel dans le prolongement du tronc commun, ce qui permet de développer une logique pédagogique différente de celle du tronc commun : dans l'enseignement de spécialité **les notions seront introduites et acquises essentiellement à partir de travaux expérimentaux**. Partant d'objets relativement complexes caractérisés par leur fonction, on cherche à reconnaître dans leurs principes de fonctionnement certaines notions de physique déjà vues par ailleurs, et à enrichir ainsi la compréhension de ces notions. Les thèmes retenus sont les suivants :

- **Produire des images, observer** : en prolongement du programme de première S, on étudie l'association de deux éléments d'optique (lentille et miroir, lentille et lentille) pour réaliser des instruments d'optique.

- **Produire des sons, écouter** : en prolongement du tronc commun, l'examen simplifié de quelques instruments de musique permettra d'introduire la notion de spectre de fréquences et de relier la notion d'onde stationnaire à la superposition d'ondes progressives.

- **Produire des signaux, communiquer** : l'analyse de la transmission d'un signal permet de réinvestir des notions vues dans les parties "ondes" et "systèmes électriques" du tronc commun. On se limitera à la modulation et la démodulation d'amplitude.

1.2 Chimie

En classe de seconde les élèves terminent l'année en découvrant le concept de transformation chimique au cours de laquelle la composition chimique d'un système évolue entre un état initial et un état final. L'outil **avancement** est fourni pour déterminer quantitativement la composition finale du système à partir de sa composition initiale et de l'équation de la réaction chimique associée à la transformation observée.

En classe de première, le programme invite l'élève à découvrir deux activités fondamentales du chimiste : **mesurer** des quantités de matière et **créer** de nouvelles molécules à la lumière des relations existant entre la structure moléculaire d'une entité chimique et ses propriétés réactives. Le choix a été fait de prendre les exemples dans le domaine de la chimie organique.

Jusqu'en fin de classe de première, l'aspect temporel des transformations n'apparaît pas encore, et les transformations considérées s'achèvent lorsque l'un des réactifs est épuisé : les élèves perçoivent les transformations chimiques comme rapides et totales.

En classe terminale, les transformations chimiques sont abordées dans leur généralité. Dans toute application pratique de la chimie (extraction de matières premières, élaboration de nouveaux matériaux de toute nature, synthèse de médicaments), la question de l'**état final** d'une transformation et du **temps caractéristique** d'accès à cet état final est cruciale. Le fil directeur de l'enseignement de tronc commun - **l'évolution des systèmes** - peut se décliner en chimie en quatre questions :

A - La transformation d'un système chimique est-elle toujours rapide ?

B - La transformation d'un système chimique est-elle toujours totale ?

C - Le sens spontané d'évolution d'un système chimique est-il prévisible ? Ce sens peut-il être inversé ?

D - Comment peut-on contrôler les transformations de la matière ?

La première partie est consacrée à la **cinétique chimique**. Les élèves constatent sur différents cas que les vitesses de réaction peuvent être très différentes. L'influence des paramètres **température** et **concentrations des espèces** est mise en évidence. Un zoom vers le niveau microscopique permet de comprendre qualitativement ce qui se passe. La réaction chimique a lieu à l'occasion des chocs entre entités (atomes, ions, molécules...). La probabilité de chocs entre plusieurs entités réactives augmente avec les concentrations et la température, et l'efficacité de ces chocs augmente avec la température. La réaction chimique traduit le bilan macroscopique d'événements microscopiques complexes, au cours desquels les édifices moléculaires se font et se défont sans cesse.

Cette partie du programme offre une première occasion de discuter concrètement des techniques expérimentales à mettre en jeu en prenant en compte le **temps de réponse** d'une chaîne de mesure par rapport au **temps caractéristique** du phénomène étudié.

Les **réactions acido-basiques** sur le support de la seconde partie. Le pH est introduit ; des applications sont développées dans le domaine des titrages acido-basiques sur des produits de la vie courante par suivi pH-métrie, conductimétrie ou spectrophotométrie.

Les élèves sont amenés à découvrir que les réactions chimiques ne parviennent pas nécessairement à l'état d'avancement maximal compatible avec l'état initial du système, et que la réaction a lieu dans les deux sens. Un retour vers le microscopique permet de donner des éléments d'interprétation qualitative en termes d'état d'**équilibre dynamique** du système : en général, un système évolue vers un état stable à l'échelle macroscopique ; les réactifs et les produits y sont présents, et il y a un passage incessant des entités réactives aux entités produites et inversement, avec la même vitesse.

À toute équation de réaction chimique est associée une fonction des concentrations en réactifs et en produits, appelé **quotient de réaction**, dont la valeur numérique dans l'état d'équilibre du système est identifiée à la constante d'équilibre et ne dépend pas des concentrations en réactifs et en produits dans l'état initial du système.

Les deux premières questions peuvent être interverties. Il est alors possible d'introduire la spectrophotométrie lors de l'étude des indicateurs colorés et de revenir sur la notion d'état d'équilibre lors de la description microscopique des phénomènes en cinétique chimique.

Les **piles**, **l'électrolyse** et donc les **réactions d'oxydoréduction** sont au cœur de la troisième partie du programme. Un critère d'évolution spontanée est mis en place qui permet, connaissant l'état initial et la constante d'équilibre, de prévoir le sens de l'évolution du système. L'observation du sens de circulation du courant électrique dans les piles permet de valider le critère d'évolution spontanée.

La question se pose alors de savoir s'il est possible d'imposer au système un sens d'évolution **non spontané**. Cela est possible à condition d'apporter de l'énergie au système. La transformation est alors qualifiée de **transformation forcée**. L'électrolyse en constitue une bonne illustration qui donne lieu à de nombreuses applications pratiques et industrielles. Sur quelques exemples - respiration, photosynthèse - les élèves réalisent que les systèmes biologiques sont des systèmes chimiques qui obéissent aux lois de la physique et de la chimie, auxquels s'applique le critère d'évolution spontanée et qui sont aussi le siège de transformations forcées.

La quatrième partie constitue l'aboutissement des trois années de lycée. Elle a pour but de montrer qu'en investissant les connaissances sur la cinétique chimique et l'état d'équilibre d'un système chimique donné, il est possible d'augmenter la vitesse de la réaction et d'accroître le rendement de la transformation. Cette partie est traitée en faisant appel à des transformations du domaine de la **chimie organique** et en prenant comme exemple les réactions d'estérification et d'hydrolyse d'un ester.

L'industrie des parfums, des savons, des arômes et des médicaments fournit des exemples de **contrôle de l'évolution des systèmes**. À cette occasion sont présentés quelques aspects de la chimie contemporaine, dans lesquels les chimistes réalisent et contrôlent des transformations chimiques sélectives en utilisant des catalyseurs et des espèces chimiques très réactives.

Dans l'**enseignement de spécialité**, la perspective est de prolonger le tronc commun et non d'apporter des connaissances nouvelles. Cet enseignement met en relief les activités du chimiste ainsi que les techniques ou procédés utilisés au laboratoire ou dans l'industrie : **extraire**, **identifier**, **créer et reproduire** des espèces chimiques, effectuer des "contrôles de qualité", élaborer un "produit" de consommation - de la matière première à la formulation.

L'enseignant est incité à regrouper ces techniques autour de thèmes directeurs et les élèves qui, au début de leurs études de lycée, ont été confrontés à la question du chimique et du naturel peuvent à travers l'étude de thèmes tels que l'alimentation, les colorants, l'élaboration d'un polymère, recevoir un nouvel éclairage sur cette question.

I.3 Compétences scientifiques générales exigibles en fin de classe terminale S

Compétences expérimentales

- Formuler une hypothèse sur un événement susceptible de se produire ou sur un paramètre pouvant influencer un phénomène
- Proposer une expérience susceptible de valider ou d'invalider une hypothèse ou répondant à un objectif précis
- Choisir et justifier l'utilisation du matériel de laboratoire
- Décrire une expérience, un phénomène
- Analyser les résultats expérimentaux et les confronter aux prévisions d'un modèle

Compétences manipulatoires

- Reconnaître et nommer le matériel de laboratoire
- Suivre un protocole et utiliser le matériel prescrit

- Respecter les règles de sécurité élémentaires pour l'utilisation du matériel et des produits
- Faire le schéma d'un montage expérimental
- Réaliser un montage à partir d'un schéma ou d'un protocole

Compétences scientifiques

- Identifier les paramètres jouant un rôle dans un phénomène physique ou chimique
- Associer un modèle à un phénomène
- Elaborer une argumentation, une démarche scientifique
- Discuter la pertinence, la cohérence et la logique d'une argumentation scientifique
- Utiliser des unités adaptées
- Utiliser l'analyse dimensionnelle
- Evaluer l'ordre de grandeur d'un résultat
- S'interroger sur la vraisemblance d'un résultat
- Utiliser un vocabulaire scientifique adapté
- Analyser, en termes scientifiques, une situation, une expérience, un document
- Construire une courbe à partir d'un ensemble de mesures et l'exploiter
- Savoir exploiter une courbe

Compétences transversales

- Utiliser un axe orienté et des mesures algébriques
- Utiliser les vecteurs et les opérations correspondantes (coordonnées, addition, produit scalaire)
- Utiliser les fonctions du programme de mathématiques
- Conduire un calcul de dérivée, de primitive et d'intégrale
- Utiliser la notion d'équation différentielle
- Utiliser les notions de statistique et de probabilité du programme de mathématiques
- Exploiter un tableau de valeurs
- Utiliser l'ordinateur pour acquérir et/ou traiter des données expérimentales
- Effectuer une recherche documentaire et savoir trier les informations selon des critères pertinents
- S'interroger sur la crédibilité d'une information
- Produire un document en utilisant les technologies de l'information et de la communication

II - PHYSIQUE - ENSEIGNEMENT OBLIGATOIRE

Introduction à l'évolution temporelle des systèmes (1TP)

Objectifs

Pour cette première prise de contact entre la classe et le professeur, il s'agit de présenter, à travers les documents les plus divers, des situations réelles où l'évolution temporelle est d'une importance particulière : ondes sismiques, vibrations mécaniques, mouvements de balançoires, laser Terre-Lune, augmentation de la vitesse des moyens de transport (Train à grande vitesse), augmentation de la fréquence de l'horloge des ordinateurs, échelle de temps de la tectonique des plaques, décollage d'une fusée et mise en orbite de satellites, chute de la station MIR, saut en parachute et saut à l'élastique, amélioration des performances sportives, etc.

Un questionnement adapté aux exemples choisis doit faire comprendre progressivement comment se développe l'approche du (de la) physicien(ne) sur la réalité. Parmi les questions possibles, citons par exemple :

- Quelles sont les grandeurs pertinentes dont les variations témoignent de l'évolution du système ?
- Quels sont les paramètres extérieurs qui pilotent cette évolution ?
- L'évolution peut-elle être caractérisée par un ou plusieurs temps caractéristiques ?
- Quel est le rôle des conditions initiales dans l'évolution du système ?
- L'évolution est-elle lente, rapide, monotone, variée, oscillante, oscillante amortie ?

Ce questionnement a notamment pour but d'orienter la réflexion sur l'élaboration de modèles simplifiés qui capturent l'essentiel d'un phénomène et qui pourront donner lieu à quelques expériences. On illustre ainsi une activité essentielle de la physique : l'élaboration de systèmes suffisamment simples pour pouvoir être étudiés de façon quantitative (sur le plan expérimental ou théorique), et suffisamment riches pour faire comprendre le comportement de systèmes complexes. Dans la mesure où il apparaît que des systèmes différents peuvent avoir des évolutions analogues, s'introduit la démarche qui, dans la diversité du monde, s'efforce de reconnaître les comportements génériques de la matière. Aucune compétence n'est exigible à cette période de l'année scolaire.

Commentaires

La proposition de réaliser cette étude en séance de travaux pratiques a pour but de faire réfléchir un effectif restreint d'élèves sur des situations réelles, donc complexes. Tous les élèves peuvent travailler sur une même situation, ou des petits groupes sur des situations différentes. Les phénomènes cités n'ont aucun caractère obligatoire. Les exemples seront choisis en fonction du matériel disponible et des objectifs à atteindre. Les expériences réalisées devront être simples afin que la complexité expérimentale et instrumentale ne soit pas un obstacle à l'émergence des questions et à un début de problématisation. Tout au long de l'année, l'élève réinvestira cette démarche initiale, à l'occasion de chaque expérimentation, aussi bien en physique qu'en chimie. Dans cet esprit, au début du cours de chimie, des expériences mettant en évidence les différents paramètres introduits en physique pourront être présentées par le professeur (réactions oscillantes, réactions chimiques mettant en évidence l'évolution au cours du temps).

Il est à noter que la notion de temps caractéristique ne s'identifie pas à la constante de temps qui sera introduite lors de la résolution des équations différentielles. Pour les phénomènes périodiques, le temps caractéristique est identifié à la période ou la pseudo-période. Certains phénomènes peuvent présenter plusieurs temps caractéristiques (oscillations amorties).

A - Propagation d'une onde ; ondes progressives (2 TP - 9 HCE)

Objectifs

Les ondes comme phénomène sont omniprésentes et familières, mais leur constitution comme phénomène *physique* pose des difficultés bien connues dues à leur nature pour ainsi dire insaisissable : "quelque chose" se déplace, qui contient de l'information et de l'énergie, mais ce n'est pas de la *matière*. Comment le caractériser ? Quelles grandeurs physiques lui associe-t-on ? Quels sont les comportements génériques des ondes ? Dans cette première approche du phénomène, le formalisme est réduit au minimum, l'accent étant mis sur la phénoménologie. Le modèle ondulatoire de la lumière peut alors être mis en place à partir d'une similitude de comportement : la diffraction.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Exemples de propagation d'ondes mécaniques connues (vagues, ondes sonores, ondes sismiques etc.)*.</p> <p><i>Présentation qualitative d'ondes à une, deux et trois dimensions (corde, ressort, cuve à ondes, ondes sonores).</i></p> <p><i>Comparaison du déplacement d'un mobile et de celui d'une perturbation mécanique afin d'en montrer les différences fondamentales</i></p> <p><i>Illustration de l'influence de l'inertie et de la rigidité du milieu sur la célérité au moyen de dispositifs mécaniques simples (masses en mouvement plus ou moins grandes, ressorts plus ou moins rigides, cordes plus ou moins tendues, milieu plus ou moins compressible).</i></p> <p><i>Étude avec corde et ressort, cuve à ondes, son (clap) et ultrasons (salves) : mesure de retard, calcul de la célérité d'une onde, influence du milieu.</i></p>	<p>1 - Les ondes mécaniques progressives</p> <p>1.1 Introduction À partir des exemples donnés en activité dégager la définition suivante d'une onde mécanique : "on appelle onde mécanique le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu sans transport de matière". Célérité. Ondes longitudinales, transversales. Ondes sonores comme ondes longitudinales de compression-dilatation. Propriétés générales des ondes : - une onde se propage, à partir de la source, dans toutes les directions qui lui sont offertes - la perturbation se transmet de proche en proche ; transfert d'énergie sans transport de matière. - la vitesse de propagation d'une onde est une propriété du milieu. - deux ondes peuvent se croiser sans se perturber.</p> <p>1.2 Onde progressive à une dimension Notion d'onde progressive à une dimension. Notion de retard : la perturbation au point M à l'instant t est celle qui existait auparavant en un point M' à l'instant $t' = t - \tau$: avec $\tau = M'M/v$, τ étant le retard et v la célérité (pour les milieux non dispersifs).</p>	<p>Définir une onde mécanique et sa célérité. Définir et reconnaître une onde transversale et une onde longitudinale. Connaître et exploiter les propriétés générales des ondes. Définir une onde progressive à une dimension et savoir que la perturbation en un point du milieu, à l'instant t, est celle qu'avait la source au temps $t' = t - \tau$, τ étant le retard (dans un milieu non dispersif). Exploiter la relation entre le retard, la distance et la célérité. Exploiter un document expérimental (chronophotographies, vidéo) donnant l'aspect de la perturbation à des dates données en fonction de l'abscisse : interprétation, mesure d'une distance, calcul d'un retard et/ou d'une célérité. Exploiter un document expérimental (oscillogrammes, acquisition de données avec un ordinateur...) obtenu à partir de capteurs délivrant un signal lié à la perturbation et donnant l'évolution temporelle de la perturbation en un point donné : interprétation, mesure d'un retard, calcul d'une célérité, calcul d'une distance.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux <i>Utiliser un dispositif expérimental pour mesurer un retard ou une distance lors de la propagation d'une onde. En particulier utiliser un oscilloscope pour mesurer le retard d'un clap sonore ou d'une salve d'ultrasons.</i></p>
<p>Exemples dans la vie courante d'ondes mécaniques progressives périodiques.</p> <p>Exemples pris dans notre environnement de la diffraction d'ondes mécaniques.</p> <p><i>Dans le cas d'une onde ultrasonore, ou sur la cuve à ondes, observation des maximums et minimums d'amplitude pour la diffraction.</i></p>	<p>2 - Ondes progressives mécaniques périodiques Notion d'onde progressive périodique. Périodicité temporelle, période ; périodicité spatiale. Onde progressive sinusoïdale, période, fréquence, longueur d'onde ; relation $\lambda = vT = v/v$. La diffraction dans le cas d'ondes progressives sinusoïdales : mise en évidence expérimentale. Influence de la dimension de l'ouverture ou de l'obstacle sur le phénomène observé. La dispersion : mise en évidence de l'influence de la fréquence sur la célérité de l'onde à la surface de l'eau ; notion de milieu dispersif.</p>	<p>Reconnaître une onde progressive périodique et sa période. Définir pour une onde progressive sinusoïdale, la période, la fréquence, la longueur d'onde. Connaître et utiliser la relation $\lambda = vT$, connaître la signification et l'unité de chaque terme, savoir justifier cette relation par une équation aux dimensions. Savoir, pour une longueur d'onde donnée, que le phénomène de diffraction est d'autant plus marqué que la dimension d'une ouverture ou d'un obstacle est plus petite. Définir un milieu dispersif. Exploiter un document expérimental (série de photos, oscillogramme, acquisition de données avec un ordinateur...) : détermination de la période, de la fréquence, de la longueur d'onde. Reconnaître sur un document un phénomène de diffraction.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux <i>Réaliser un montage permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction dans le cas d'ondes mécaniques, sonores ou ultrasonores.</i></p>

B - Transformations nucléaires (2 TP - 7HCE)
Objectifs

L'objectif de cette partie est triple :

- aborder quelques notions concernant la structure des noyaux atomiques à partir de l'observation expérimentale de leur instabilité (radioactivité).
- connaître quelques ordres de grandeurs concernant la radioactivité naturelle (corps humain, roches), et comprendre qu'elle peut être utilisée pour la datation à des échelles de temps géologiques ou historiques.
- comprendre que la conversion masse-énergie peut être à l'origine de la production d'énergie utilisable (soleil, centrales nucléaires, géothermie)

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Exploitation du diagramme (N,Z) afin de prévoir les domaines des noyaux émetteurs α, β^-, et β^+.</p> <p>Découverte de la radioactivité par Becquerel (textes)*.</p> <p>Film et document illustrant une décroissance radioactive.</p> <p>La radioactivité dans notre environnement (corps humain, roches, habitations, etc.)*</p> <p>Exemples de datations*.</p> <p><i>Utilisation d'un compteur de radioactivité :</i> - caractère aléatoire de la désintégration ; analyse statistique des comptages* - tracé de courbes d'évolution - mesure de la radioactivité naturelle</p>	<p>1 - Décroissance radioactive</p> <p>1.1 Stabilité et instabilité des noyaux Composition ; isotopie ; notation ${}^A_Z X$. Diagramme (N,Z)</p> <p>1.2 La radioactivité La radioactivité α, β^-, β^+, émission γ. Lois de conservation de la charge électrique et du nombre de nucléons</p> <p>1.3 Loi de décroissance Évolution de la population moyenne d'un ensemble de noyaux radioactifs $\Delta N = -\lambda N \Delta t$; $N = N_0 e^{-\lambda t}$. Importance de l'activité $\Delta N / \Delta t$; le becquerel. Constante de temps $\tau = 1/\lambda$. Demi-vie $t_{1/2} = \tau \ln 2$. Application à la datation.</p>	<p>Connaître la signification du symbole ${}^A_Z X$ et donner la composition du noyau correspondant.</p> <p>Définir l'isotopie et reconnaître des isotopes. Reconnaître les domaines de stabilité et d'instabilité des noyaux sur un diagramme (N,Z).</p> <p>Définir un noyau radioactif.</p> <p>Connaître et utiliser les lois de conservation. Définir la radioactivité α, β^-, β^+, l'émission γ et écrire l'équation d'une réaction nucléaire pour une émission α, β^- ou β^+ en appliquant les lois de conservation.</p> <p>À partir de l'équation d'une réaction nucléaire, reconnaître le type de radioactivité. Connaître l'expression de la loi de décroissance et exploiter la courbe de décroissance. Savoir que 1 Bq est égal à une désintégration par seconde.</p> <p>Expliquer la signification et l'importance de l'activité dans le cadre des effets biologiques. Connaître la définition de la constante de temps et du temps de demi-vie.</p> <p>Utiliser les relations entre τ, λ et $t_{1/2}$. Déterminer l'unité de λ ou de τ par analyse dimensionnelle.</p> <p>Expliquer le principe de la datation, le choix du radioélément et dater un événement.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux <i>Réaliser une série de comptages relatifs à une désintégration radioactive. À partir d'une série de mesures, utiliser un tableur ou une calculatrice pour calculer la moyenne, la variance et l'écart-type du nombre de désintégrations enregistrées pendant un intervalle de temps donné.</i></p>
<p>Découvertes de la fission et de la fusion.</p> <p>La fission et le réacteur naturel du Gabon.</p> <p>La fusion et les étoiles*.</p> <p>Quelques utilisations des réactions nucléaires*.</p> <p>La fission industrielle et la gestion des déchets*.</p>	<p>2 - Noyaux, masse, énergie</p> <p>2.1 Équivalence masse-énergie Défaut de masse ; énergie de liaison $\Delta E = \Delta m c^2$; unités : eV, keV, MeV. Énergie de liaison par nucléon. Équivalence masse-énergie. Courbe d'Aston - $E_l/A = f(A)$</p> <p>2.2 Fission et fusion Exploitation de la courbe d'Aston ; domaines de la fission et de la fusion.</p> <p>2.3 Bilan de masse et d'énergie d'une réaction nucléaire Exemples pour la radioactivité, pour la fission et la fusion. Existence de conditions à réaliser pour obtenir l'amorçage de réactions de fission et de fusion.</p>	<p>Définir et calculer un défaut de masse et une énergie de liaison.</p> <p>Définir et calculer l'énergie de liaison par nucléon.</p> <p>Savoir convertir des J en eV et réciproquement. Connaître la relation d'équivalence masse-énergie et calculer une énergie de masse. Commenter la courbe d'Aston pour dégager l'intérêt énergétique des fissions et des fusions. Définir la fission et la fusion et écrire les équations des réactions nucléaires en appliquant les lois de conservation.</p> <p>À partir de l'équation d'une réaction nucléaire, reconnaître le type de réaction. Faire le bilan énergétique d'une réaction nucléaire en comparant les énergies de masse.</p>

*Activités pouvant donner lieu à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication.

Commentaires

Le thème de la radioactivité est l'occasion d'opérer une convergence thématique avec les mathématiques (exponentielle, probabilité, statistiques et équation différentielle) et les sciences de la vie et de la Terre (datation). Une concertation entre les professeurs des trois disciplines scientifiques est encouragée.

Le caractère aléatoire de la désintégration radioactive peut être observé en cours de physique avec une source de césium-137 (CRAB), ou en mesurant la radioactivité naturelle (radon). Il s'agit là d'observations sur une population macroscopique de noyaux. Les hypothèses de base concernant la désintégration d'un noyau individuel ("la désintégration d'un noyau n'affecte pas celle d'un noyau voisin", "un noyau meurt sans vieillir") permettent d'établir la loi de décroissance d'une population de noyaux. Ce modèle est traité dans le cours de mathématiques. L'élève sera amené à remarquer que l'association d'un processus aléatoire à l'échelle microscopique et d'une évolution macroscopique déterministe s'observe également lors de l'évolution d'un système chimique.

L'observation d'une décroissance radioactive permet d'établir empiriquement sa loi d'évolution. Connaissant un ensemble de valeurs de $\Delta N/\Delta t$, on peut remonter à la dépendance temporelle de $N(t)$, en utilisant la notion d'intégrale vue en mathématiques comme "aire sous la courbe", vérifier qu'elle est bien exponentielle et en déduire une constante de temps. Il faut cependant remarquer que l'expérience ne donne pas accès au nombre total de noyaux radioactifs à un instant donné, car le détecteur a d'une part une fenêtre d'entrée limitée, et d'autre part une efficacité inférieure à 100 %. Pour des conditions de mesure fixes, on fait l'hypothèse statistique selon laquelle le nombre de désintégrations mesuré est proportionnel au nombre total de désintégrations. Dans ces conditions, la constante de temps extraite est bien celle que l'on cherche.

Les effets biologiques des rayonnements ne sont pas seulement liés à l'activité, mais également à l'énergie qu'ils déposent dans le corps. Cependant aucun développement concernant l'absorption des rayonnements n'est au programme, ni les grandeurs et les unités correspondantes. Il est important, compte tenu de la difficulté d'appréhension du phénomène, de donner quelques ordres de grandeur de la radioactivité naturelle. Celle du corps humain (environ 10000 Bq, dus essentiellement au ^{14}C et au ^{40}K), et celle des roches, qui libèrent principalement du radon, dont le taux de désintégration mesuré en France est de quelques dizaines à quelques centaines de becquerels par mètre cube.

Concernant l'application à la datation, une concertation avec le professeur de sciences de la vie et de la Terre est encouragée. La datation par la méthode du carbone-14 est simple, car elle repose sur l'hypothèse selon laquelle le rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ dans l'atmosphère est en première approximation indépendant du temps. La radio-chronologie utilisant des noyaux à longue durée de vie (par exemple rubidium-strontium pour déterminer l'âge de la Terre), qui nécessite l'élaboration d'une méthode permettant de s'affranchir de la connaissance de la composition isotopique initiale de la roche, est envisageable plutôt dans le cours de sciences de la Terre.

On réalisera les datations par méthode graphique et par le calcul. Les deux méthodes seront exigibles en fin d'année.

Le neutrino et l'antineutrino ne seront pas exigibles dans l'écriture des réactions nucléaires.

Si un noyau fils est produit dans un état excité, on écrira sa désexcitation dans une deuxième équation.

Les bilans de masse seront effectués en utilisant les masses des noyaux et non celles des atomes.

Dans le bilan énergétique on n'effectuera pas de calcul de l'énergie cinétique de chacun des noyaux produits.

L'introduction de l'électron-volt sera faite par un argument dimensionnel. On fera remarquer à l'élève que cette unité est bien adaptée à l'atome, et que le MeV est bien adapté à l'échelle du noyau. Ce sera l'occasion d'un retour sur le chapitre **L'énergie au quotidien** du programme de chimie de la classe de première S.

Dans le cas de la fission et de la fusion on signalera, au moment de faire le bilan énergétique, que ces réactions, si elles libèrent de l'énergie, nécessitent d'être amorcées. Aucun développement technologique ne sera traité.

Précisions terminologiques

On rappelle que la notation ${}^A_Z\text{X}$ caractérise le **noyau** (et non l'atome). Les équations seront écrites au niveau des noyaux. Le terme nucléide n'est pas exigible.

Le becquerel est la seule unité utilisée pour caractériser la radioactivité d'un élément.

Pour éviter toute confusion avec la période des phénomènes périodiques, le terme **période radioactive** est évité au profit de l'expression **demi-vie**.

L'énergie de liaison est définie comme l'énergie qu'il faut fournir à un noyau au repos pour le dissocier en nucléons isolés et immobiles.

L'unité de masse atomique, de symbole u , est utilisable mais non exigible.

C - Évolution des systèmes électriques (3TP - 1OHC)

Objectifs

Les élèves ont abordé dans le cours de physique de la classe de première quelques propriétés de circuits électriques en courant continu. Dans cette partie, on s'intéresse à des phénomènes associés à des courants *variables*, et plus spécifiquement aux éléments qui permettent de contrôler l'évolution temporelle d'un courant électrique : condensateurs et bobines. Les lois fondamentales utilisées en courant continu (loi des tensions, loi des intensités) seront dans les applications toujours valables pour les valeurs instantanées des tensions et des intensités variables. Condensateurs et bobines sont caractérisés empiriquement par l'expression de la tension que l'on mesure à leurs bornes. Dans cette logique, il n'est pas nécessaire d'introduire la notion d'auto-induction, puisque le phénomène d'induction n'est pas au programme. On indique que la possibilité de produire des signaux électriques modulables dans le temps est à l'origine de nombreuses applications.

Dans chaque cas considéré (circuit RC, RL et LC), ce qui est appelé "résolution analytique" dans la colonne des compétences exigibles comprend : l'établissement de l'équation différentielle, la vérification qu'une solution analytique proposée la satisfait, et la détermination des constantes à partir des paramètres du circuit et des conditions initiales. On rappelle que ces compétences sont des compétences scientifiques transversales.

Les savoir-faire expérimentaux concernant l'oscilloscope ne sont exigibles qu'à la fin de l'étude de l'évolution des systèmes électriques, c'est pourquoi ils figurent à la fin de cette partie. Tous les autres réglages, tels la synchronisation ou le décalibrage, ne sont pas exigibles.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Comparaison visuelle, à l'établissement du courant, de l'éclairement d'une lampe mise en série avec une résistance ou un condensateur, ou une bobine, alimentés par un générateur de courant continu.</p>		
<p>Illustrations expérimentales par quelques montages simples : oscillateurs de relaxation, temporisation, etc.</p> <p>Illustration de l'utilisation des condensateurs (alimentation continue, condensateur de découplage, stimulateur cardiaque, etc.)*</p> <p>Charge d'un condensateur à courant constant.</p> <p>Mise en évidence de l'énergie emmagasinée.</p> <p>Exemples d'application du stockage de l'énergie par des condensateurs (principe du flash).</p> <p>Charge et décharge d'un condensateur à travers une résistance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - utilisation d'un oscilloscope et/ou d'un système d'acquisition informatisé avec traitement de l'information, - visualisation des tensions aux bornes du générateur, du condensateur et du conducteur ohmique, - influence des paramètres R et C, - mesure de la constante de temps, - influence de la tension du générateur. 	<p>1 - Cas d'un dipôle RC</p> <p>1.1 Le condensateur</p> <p>Description sommaire, symbole. Charges des armatures. Intensité : débit de charges</p> <p>Algébrisation en convention récepteur i, u, q. Relation charge-intensité pour un condensateur $i = dq/dt$, q charge du condensateur en convention récepteur. Relation charge-tension $q = Cu$; capacité, son unité le farad (F).</p> <p>1.2 - Dipôle RC</p> <p>Réponse d'un dipôle RC à un échelon de tension : tension aux bornes du condensateur, intensité du courant; étude expérimentale et étude théorique (résolution analytique). Énergie emmagasinée dans un condensateur. Continuité de la tension aux bornes du condensateur. Connaître la représentation symbolique d'un condensateur.</p>	<p>Connaître la représentation symbolique d'un condensateur. En utilisant la convention récepteur, savoir orienter un circuit sur un schéma, représenter les différentes flèches-tension, noter les charges des armatures du condensateur. Connaître les relations charge-intensité et charge-tension pour un condensateur en convention récepteur; connaître la signification de chacun des termes et leur unité. Savoir exploiter la relation $q = Cu$.</p> <p>Effectuer la résolution analytique pour la tension aux bornes du condensateur ou la charge de celui-ci lorsque le dipôle RC est soumis à un échelon de tension. En déduire l'expression de l'intensité dans le circuit. Connaître l'expression de la constante de temps et savoir vérifier son unité par analyse dimensionnelle. Connaître l'expression de l'énergie emmagasinée dans un condensateur. Savoir que la tension aux bornes d'un condensateur n'est jamais discontinue. Savoir exploiter un document expérimental pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier les tensions observées, - montrer l'influence de R et de C sur la charge ou la décharge, - déterminer une constante de temps lors de la charge et de la décharge. <p>Savoir-faire expérimentaux</p> <p>Réaliser un montage électrique à partir d'un schéma. Réaliser les branchements pour visualiser les tensions aux bornes du générateur, du condensateur et du conducteur ohmique. Montrer l'influence de l'amplitude de l'échelon de tension, de la résistance et de la capacité sur le phénomène observé lors de la charge et de la décharge du condensateur.</p>
<p>Vérification expérimentale, pour des $i(t)$ de formes imposées, de l'expression de la tension aux bornes d'une bobine.</p> <p>Illustration de l'utilisation des bobines (lissage, etc.)*</p> <p>Exemples d'application du stockage de l'énergie dans une bobine (production d'une étincelle, etc.).</p>	<p>2. Cas du dipôle RL</p> <p>2.1 La bobine</p> <p>Description sommaire d'une bobine, symbole. Tension aux bornes d'une bobine en convention récepteur :</p> $u = ri + L \frac{di}{dt}$ <p>Inductance : son unité le henry (H).</p>	<p>Connaître la représentation symbolique d'une bobine. En utilisant la convention récepteur, savoir orienter le circuit sur un schéma et représenter les différentes flèches-tension. Connaître l'expression de la tension aux bornes d'une bobine; connaître la signification de chacun des termes et leur unité. Savoir exploiter la relation.</p>

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Mise en évidence expérimentale de l'énergie emmagasinée par une bobine.</p> <p>Établissement du courant dans un circuit RL : - utilisation d'un oscilloscope et /ou d'un système d'acquisition informatisé avec traitement de l'information, - visualisation des tensions aux bornes du générateur, de la bobine et d'un conducteur ohmique supplémentaire, - influence des paramètres R et L, - mesure de la constante de temps, - influence de la tension du générateur.</p>	<p>2.2 Dipôle RL Réponse en courant d'une bobine à un échelon de tension : étude expérimentale et étude théorique (résolution analytique) Énergie emmagasinée dans une bobine. Continuité de l'intensité du courant dans un circuit qui contient une bobine.</p>	<p>Effectuer la résolution analytique pour l'intensité du courant dans un dipôle RL soumis à un échelon de tension. En déduire la tension aux bornes de la bobine. Connaître l'expression de la constante de temps et savoir vérifier son unité par analyse dimensionnelle. Connaître l'expression de l'énergie emmagasinée. Savoir qu'une bobine s'oppose aux variations du courant du circuit où elle se trouve et que l'intensité de ce courant ne subit pas de discontinuité Savoir exploiter un document expérimental pour : - identifier les tensions observées - montrer l'influence de R et de L lors de l'établissement et de la disparition du courant - déterminer une constante de temps.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux Réaliser un montage électrique à partir d'un schéma. Réaliser les branchements pour visualiser les tensions aux bornes du générateur, de la bobine et du conducteur ohmique supplémentaire. Montrer l'influence de l'amplitude de l'échelon de tension, de R et de L sur le phénomène observé.</p>
<p>Observation d'une décharge oscillante amortie.</p> <p>Illustration expérimentale de l'entretien des oscillations (réalisation d'un oscillateur sinusoïdal).</p> <p>Étude expérimentale de la décharge d'un condensateur dans une bobine inductive : - évolution de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps, - régimes oscillant (pseudo-période) et apériodique, - influence de la résistance, - régime oscillant avec amortissement faible ; période propre, - entretien des oscillations.</p>	<p>3 - Oscillations libres dans un circuit RLC série Décharge oscillante d'un condensateur dans une bobine. Influence de l'amortissement : régimes périodique, pseudo-périodique, apériodique. Période propre et pseudo-période. Interprétation énergétique : transfert d'énergie entre le condensateur et la bobine, effet Joule. Résolution analytique dans le cas d'un amortissement négligeable. Expression de la période propre $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ Entretien des oscillations.</p>	<p>Définir et reconnaître les régimes périodique, pseudo-périodique et apériodique. Savoir tracer l'allure de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps pour les régimes périodique, pseudo-périodique et apériodique. Dans le cas d'un amortissement négligeable, effectuer la résolution analytique pour la tension aux bornes du condensateur ou la charge de celui-ci. En déduire l'expression de l'intensité dans le circuit. Connaître l'expression de la période propre, la signification de chacun des termes et leur unité. Savoir que le dispositif qui entretient les oscillations fournit l'énergie évacuée par transfert thermique. Savoir interpréter en terme d'énergie les régimes périodique, pseudo-périodique, apériodique et entretenu. Savoir exploiter un document expérimental pour : - identifier les tensions observées, - reconnaître un régime - montrer l'influence de R et de L ou C sur le phénomène d'oscillations - déterminer une pseudo-période.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux Réaliser un montage électrique à partir d'un schéma. Réaliser les branchements pour visualiser les tensions aux bornes du condensateur et de la résistance supplémentaire éventuelle. Montrer l'influence de R, L et C sur le phénomène observé. Mesurer une pseudo-période et une période. Utiliser un oscilloscope : - le régler : mode balayage, finesse du trait, réglage du "zéro", choix de la sensibilité verticale et choix d'une base de temps, sélection des voies ; - repérer les tensions observables simultanément dans un circuit ; - visualiser et déterminer les caractéristiques d'une tension ; - visualiser l'image d'une intensité ; - visualiser simultanément deux tensions.</p>

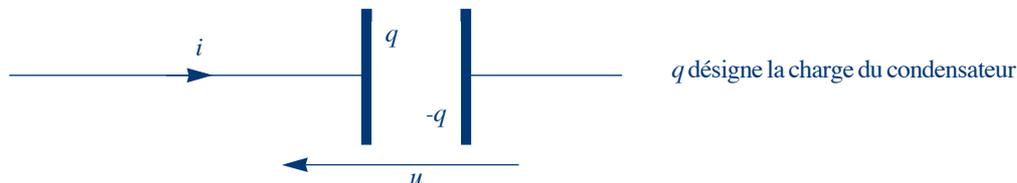
*Activités pouvant donner lieu à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication.

Commentaires

L'objectif de la manipulation introductive est de montrer, d'un point de vue qualitatif, l'influence d'un conducteur ohmique, d'un condensateur et d'une bobine sur l'établissement du courant dans un circuit. Les trois dipôles pourront être montés en dérivation.

1 - Aucun développement sur la technologie des condensateurs n'est demandé. Le symbole du condensateur électrochimique est hors programme. L'orientation d'un circuit sera indiquée par une flèche sur un fil de jonction, surmontée de i . On insistera auprès des élèves sur le fait que si le courant passe dans le sens de la flèche, alors i est positif et que si le courant passe en sens opposé, alors i est négatif.

Les conventions choisies seront celles du schéma ci-dessous :



Après avoir rappelé que l'intensité est un débit de charges électriques, on introduira $i = dq/dt$ uniquement pour le condensateur, q étant la charge du condensateur à l'instant t .

L'expression $q = Cu$ pourra être introduite à partir de l'expérience de la charge d'un condensateur à courant constant.

L'expression de la capacité d'un condensateur plan est hors programme.

Les associations de condensateurs sont hors programme.

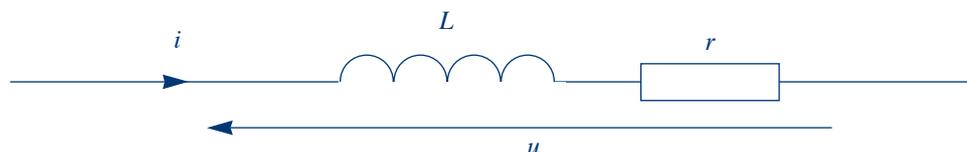
On étudiera aussi bien la charge que la décharge d'un condensateur en utilisant un oscilloscope à mémoire ou un système d'acquisition de données. Dans cette partie on évitera d'utiliser des tensions crêteaux pour ne pas se heurter aux difficultés liées à l'utilisation du matériel (offset) ou conceptuelles ($-E$, $+E$).

La constante de temps sera déterminée par une méthode au choix de l'enseignant.

L'expression de l'énergie pourra être établie mais sa démonstration n'est pas exigible. On indiquera que le stockage et le déstockage de l'énergie ne peuvent jamais s'effectuer instantanément. Par conséquent, la tension aux bornes d'un condensateur ne subit pas de discontinuité.

2 - L'inductance pourra être introduite avec un courant en dents de scie, dans des conditions où le terme ri est négligeable devant Ldi/dt .

La force électromotrice $e = -L di/dt$ est hors programme ainsi que le modèle équivalent de la bobine qui l'utilisait. La bobine sera représentée par le schéma ci-dessous, en convention récepteur :



On pourra faire remarquer que l'introduction d'un noyau de fer doux augmente l'inductance d'une bobine. Cependant la validité de la relation $u = ri + L di/dt$ n'est assurée que pour une bobine sans noyau de fer doux. En travaux pratiques seule l'étude de l'établissement du courant est exigée. On pourra utiliser un oscilloscope à mémoire ou un système d'acquisition de données.

Pour montrer qualitativement qu'une bobine s'oppose aux variations de l'intensité du courant dans le circuit où elle se trouve, on pourra utiliser un générateur de fonctions.

La constante de temps sera déterminée par une méthode au choix de l'enseignant.

L'expression de l'énergie pourra être établie mais sa démonstration n'est pas exigible. On indiquera que le stockage et le déstockage de l'énergie ne peuvent jamais s'effectuer instantanément. Par conséquent, l'intensité du courant dans un circuit qui contient une bobine ne subit pas de discontinuité.

3 - L'étude formelle de l'amortissement est hors programme.

On étudiera la décharge d'un condensateur dans une bobine en utilisant un oscilloscope à mémoire ou un système d'acquisition de données afin d'éviter des tensions crêteaux.

Le dispositif utilisé pour l'entretien des oscillations n'est pas à étudier. Seule sa fonction doit être connue des élèves et les oscillations entretenues doivent toujours être sinusoïdales. Cette étude sera l'occasion de montrer aux élèves comment créer une tension sinusoïdale de période choisie.

D - Évolution temporelle des systèmes mécaniques (5 TP - 22 HCE)

Objectifs

Cette partie constitue l'aboutissement de l'enseignement de mécanique commencé en classe de seconde. L'appropriation des lois de Newton, à travers les différents exemples de mouvements étudiés, permet aux élèves de pratiquer les différents aspects de la démarche scientifique :

- modéliser un système et utiliser les lois de la dynamique pour prévoir son comportement, en utilisant une résolution analytique et/ou une méthode numérique itérative ;
- réaliser des mesures quantitatives et les confronter aux prédictions d'une théorie, dans le but éventuel d'améliorer la modélisation.

La variété des systèmes étudiés doit illustrer la généralité de la théorie.

Dans chaque cas considéré, ce qui est appelé "résolution analytique" dans la colonne des compétences exigibles comprend : l'établissement de l'équation différentielle, la vérification qu'une solution analytique proposée la satisfait, et la détermination des constantes à partir des paramètres du circuit et des conditions initiales.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Textes (Galilée, Newton, Einstein, Feynman, etc.).*</p> <p>Applications de la vie courante mettant en jeu la première et la troisième loi de Newton.</p> <p><i>Tracé des vecteurs vitesse et accélération sur des enregistrements de mouvements divers de solides (la résultante des forces appliquées au solide est donnée).</i></p> <p><i>Vérification de la pertinence des grandeurs m, $\Delta v_G/\Delta t$ et ΣF_{ext} intervenant dans la deuxième loi de Newton (une des grandeurs étant fixée, l'étude porte sur les variations relatives des deux autres).</i></p> <p><i>Étude de la chute verticale de solides de même forme et de masses différentes, dans l'air et dans l'huile.</i></p> <p><i>Détermination des vitesses limites.</i></p>	<p>1. La mécanique de Newton</p> <p>Lien qualitatif entre ΣF_{ext} et Δv_G (rappels)</p> <p>Comparaison de Δv_G correspondant à des intervalles de temps égaux pour des forces de valeurs différentes (résultat de l'activité)</p> <p>Introduction de $\Delta v_G/\Delta t$</p> <p>Accélération : $a_G = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\Delta v_G/\Delta t) = dv_G/dt$; vecteur accélération (direction, sens, valeur).</p> <p>Rôle de la masse.</p> <p>Deuxième loi de Newton appliquée au centre d'inertie.</p> <p>Importance du choix du référentiel dans l'étude du mouvement du centre d'inertie d'un solide : référentiels galiléens.</p> <p>Troisième loi de Newton : loi des actions réciproques (rappel).</p>	<p>Choisir un système. Choisir les repères d'espace et de temps.</p> <p>Faire l'inventaire des forces extérieures appliquées à ce système.</p> <p>Définir le vecteur accélération et exploiter cette définition, connaître son unité.</p> <p>Énoncer les trois lois de Newton.</p> <p>Savoir exploiter un document expérimental (série de photos, film, acquisition de données avec un ordinateur...) : reconnaître si le mouvement du centre d'inertie est rectiligne uniforme ou non, déterminer des vecteurs vitesse et accélération, mettre en relation accélération et somme des forces, tracer et exploiter des courbes $v_G = f(t)$.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux</p> <p><i>Savoir enregistrer expérimentalement le mouvement de chute d'un solide dans l'air et/ou dans un autre fluide en vue de l'exploitation du document obtenu.</i></p>
<p><i>Exploitation des résultats obtenus au TP précédent : vitesse limite, régime initial et permanent, influence de la masse sur la vitesse limite, modélisation de la force de frottement.</i></p> <p>Exemples de chutes verticales dans la vie courante.</p> <p><i>Une méthode numérique itérative pour résoudre l'équation différentielle caractéristique de l'évolution d'un système à l'aide d'un tableur ou d'une calculatrice graphique : la méthode d'Euler. Confrontation des résultats théoriques et expérimentaux, importance du choix du pas de discrétisation temporelle, du modèle théorique choisi pour la force de frottement.</i></p> <p>Exemples de mouvements de projectiles dans la vie courante.</p> <p><i>Étude expérimentale de mouvements de projectiles de masses différentes dans un champ de pesanteur ; importance des conditions initiales.</i></p> <p><i>ou webcam :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - tracé de vecteurs accélération, - vérification que dans tous les cas $a_G = g$ quelle que soit la masse. - importance des conditions initiales sur la nature de la trajectoire. 	<p>2. Étude de cas</p> <p>2.1 Chute verticale d'un solide</p> <p>Force de pesanteur, notion de champ de pesanteur uniforme.</p> <p>- Chute verticale avec frottement</p> <p>Application de la deuxième loi de Newton à un mouvement de chute verticale : forces appliquées au solide (poids, poussée d'Archimède, force de frottement fluide) ; équation différentielle du mouvement ; résolution par une méthode numérique itérative, régime initial et régime asymptotique (dit "permanent"), vitesse limite ; notion de temps caractéristique.</p> <p>- Chute verticale libre</p> <p>Mouvement rectiligne uniformément accéléré ; accélération indépendante de la masse de l'objet. Résolution analytique de l'équation différentielle du mouvement ; importance des conditions initiales.</p> <p>2.2 Mouvements plans</p> <p>- Mouvement de projectiles dans un champ de pesanteur uniforme</p> <p>Application de la deuxième loi de Newton au mouvement du centre d'inertie d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme dans le cas où les frottements peuvent être négligés.</p> <p>Équations horaires paramétriques.</p> <p>Équation de la trajectoire.</p> <p>Importance des conditions initiales.</p>	<p>Définir un champ de pesanteur uniforme.</p> <p>Connaître les caractéristiques de la poussée d'Archimède</p> <p>Appliquer la deuxième loi de Newton à un corps en chute verticale dans un fluide et établir l'équation différentielle du mouvement, la force de frottement étant donnée.</p> <p>Connaître le principe de la méthode d'Euler pour la résolution approchée d'une équation différentielle.</p> <p>Définir une chute libre, établir son équation différentielle et la résoudre</p> <p>Définir un mouvement rectiligne uniformément accéléré.</p> <p>Savoir exploiter des reproductions d'écrans d'ordinateur (lors de l'utilisation d'un tableur grapheur) correspondant à des enregistrements expérimentaux</p> <p>Savoir exploiter des courbes $v_G = f(t)$ pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - reconnaître le régime initial et/ou le régime asymptotique. - évaluer le temps caractéristique correspondant au passage d'un régime à l'autre. - déterminer la vitesse limite. <p>Dans le cas de la résolution par méthode itérative de l'équation différentielle, discuter la pertinence des courbes obtenues par rapport aux résultats expérimentaux (choix du pas de résolution, modèle proposé pour la force de frottement).</p> <p>Savoir-faire expérimentaux</p> <p><i>Utiliser un tableur ou une calculatrice pour résoudre une équation différentielle par la méthode d'Euler.</i></p> <p>Appliquer la deuxième loi de Newton à un projectile dans un champ de pesanteur uniforme. Montrer que le mouvement est plan.</p> <p>Établir l'équation de la trajectoire à partir des équations horaires paramétriques.</p> <p>Savoir exploiter un document expérimental reproduisant la trajectoire d'un projectile : tracer des vecteurs vitesse et accélération, déterminer les caractéristiques du vecteur accélération, trouver les conditions initiales.</p>

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Lois de Kepler : approche historique*.</p> <p><i>Tracés de vecteurs accélération dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme.</i></p> <p>Utilisation d'un logiciel de simulation pour la satellisation et les lois de Kepler*.</p>	<p>- Satellites et planètes</p> <p>Lois de Kepler (trajectoire circulaire ou elliptique). Référentiels héliocentrique et géocentrique. Étude d'un mouvement circulaire uniforme : vitesse, vecteur accélération ; accélération normale. Énoncé de la loi de gravitation universelle pour des corps dont la répartition des masses est à symétrie sphérique et la distance grande devant leur taille (rappel). Application de la deuxième loi de Newton au centre d'inertie d'un satellite ou d'une planète : force centripète, accélération radiale, modélisation du mouvement des centres d'inertie des satellites et des planètes par un mouvement circulaire et uniforme, applications (période de révolution, vitesse, altitude, satellite géostationnaire). Interprétation qualitative de l'impesanteur dans le cas d'un satellite en mouvement circulaire uniforme.</p>	<p>Savoir-faire expérimentaux <i>Savoir enregistrer expérimentalement la trajectoire d'un projectile et exploiter le document obtenu.</i></p> <p>Énoncer les lois de Kepler et les appliquer à une trajectoire circulaire ou elliptique. Définir un mouvement circulaire uniforme et donner les caractéristiques de son vecteur accélération. Connaître les conditions nécessaires pour observer un mouvement circulaire uniforme : vitesse initiale non nulle et force radiale. Énoncer la loi de gravitation universelle sous sa forme vectorielle pour des corps dont la répartition des masses est à symétrie sphérique et la distance grande devant leur taille. Appliquer la deuxième loi de Newton à un satellite ou à une planète. Démontrer que le mouvement circulaire et uniforme est une solution des équations obtenues en appliquant la deuxième loi de Newton aux satellites ou aux planètes. Définir la période de révolution et la distinguer de la période de rotation propre. Exploiter les relations liant la vitesse, la période de révolution et le rayon de la trajectoire. Connaître et justifier les caractéristiques imposées au mouvement d'un satellite pour qu'il soit géostationnaire. Retrouver la troisième loi de Kepler pour un satellite ou une planète en mouvement circulaire uniforme. Exploiter des informations concernant le mouvement de satellites ou de planètes.</p>
<p>Exemples de systèmes oscillants dans la vie courante : suspension de voiture, oscillation des immeubles de grande hauteur sous l'action du vent, vibration du sol au passage d'un TGV. Textes historiques de Galilée*.</p> <p><i>Expériences de cours mettant en évidence les notions à introduire.</i></p>	<p>3. Systèmes oscillants</p> <p>3.1 Présentation de divers systèmes oscillants mécaniques</p> <p>Pendule pesant, pendule simple et système solide-ressort en oscillation libre : position d'équilibre, écart à l'équilibre, abscisse angulaire, amplitude, amortissement (régime pseudo-périodique, régime aperiodique), pseudo-période et isochronisme des petites oscillations, période propre. Expression de la période propre d'un pendule simple : justification de la forme de l'expression par analyse dimensionnelle.</p>	<p>Définir un pendule simple. Justifier la position d'équilibre dans le cas d'un pendule simple. Définir l'écart à l'équilibre, l'abscisse angulaire, l'amplitude, la pseudo-période, la période propre et les mesurer sur un enregistrement. Énoncer la loi d'isochronisme des petites oscillations. Savoir comment un système peut atteindre un régime aperiodique. Savoir que dans le cas d'un amortissement faible, la pseudo-période est voisine de la période propre. Pour un pendule simple, justifier la forme de l'expression de la période propre par analyse dimensionnelle. À partir d'une série de résultats expérimentaux, vérifier la validité de l'expression de la période propre d'un pendule simple.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux <i>Décrire un protocole expérimental permettant :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - d'enregistrer le mouvement d'un système oscillant plus ou moins amorti - de vérifier la loi d'isochronisme des petites oscillations - de vérifier l'expression de la période propre dans le cas du pendule simple.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p><i>Étude de la force de rappel exercée par un ressort en statique.</i></p> <p>À l'aide d'un dispositif expérimental (par exemple un mobile sur coussin d'air relié à un ou deux ressorts ou un solide fixé à un ressort vertical) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - enregistrer $x = f(t)$ - déterminer l'amplitude et la pseudopériode - déterminer l'influence de l'amortissement sur l'amplitude et sur la pseudopériode - déterminer l'influence des paramètres m et/ou k. 	<p>3.2 Le dispositif solide-ressort Force de rappel exercée par un ressort. Étude dynamique du système "solide" : choix du référentiel, bilan des forces, application de la 2^{ème} loi de Newton, équation différentielle, solution analytique dans le cas d'un frottement nul. Période propre.</p> <p>3.3 Le phénomène de résonance Présentation expérimentale du phénomène : excitateur, résonateur, amplitude et période des oscillations, influence de l'amortissement. Exemples de résonances mécaniques.</p>	<p>Connaître les caractéristiques de la force de rappel exercée par un ressort. Appliquer la deuxième loi de Newton au solide et effectuer la résolution analytique dans le cas d'un dispositif oscillant horizontalement. Connaître la signification de tous les termes intervenant dans la solution de l'équation différentielle et leur unité. Connaître et savoir exploiter l'expression de la période propre, vérifier son homogénéité par analyse dimensionnelle.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux <i>Enregistrer un mouvement oscillant amorti. Savoir mesurer une amplitude, une pseudo-période. Savoir faire varier l'amortissement. Savoir montrer l'influence des paramètres masse et rigidité sur la période propre.</i></p> <p>Savoir que la résonance mécanique se produit lorsque la période de l'excitateur est voisine de la période propre du résonateur. Savoir que l'augmentation de l'amortissement provoque une diminution de l'amplitude. Connaître des exemples de résonance mécanique.</p>
<p><i>Activité de réinvestissement des enregistrements des travaux pratiques précédents d'un point de vue énergétique (projectile dans un champ de pesanteur uniforme, oscillation d'un ressort horizontal) :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - calcul des énergies potentielle et cinétique - transferts d'énergie - énergie mécanique - conservation ou non de l'énergie mécanique <p><i>Un tableur, un logiciel de traitement de données, des logiciels de simulation peuvent être utilisés pour atteindre les objectifs cités ci-dessus.</i></p>	<p>4. Aspects énergétiques Travail élémentaire d'une force. Travail d'une force extérieure appliquée à l'extrémité d'un ressort, l'autre extrémité étant fixe. Énergie potentielle élastique du ressort. Énergie mécanique du système solide-ressort. Énergie mécanique d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme.</p>	<p>Connaître l'expression du travail élémentaire d'une force. Établir l'expression du travail d'une force extérieure appliquée à l'extrémité d'un ressort, par méthode graphique et par intégration. Établir et connaître l'expression de l'énergie potentielle élastique d'un ressort. Établir l'expression de l'énergie mécanique d'un système solide-ressort et d'un projectile dans un champ de pesanteur. Exploiter la relation traduisant, lorsqu'elle est justifiée, la conservation de l'énergie mécanique d'un système. Calculer la variation de l'énergie cinétique d'un système à partir de la variation d'énergie potentielle et réciproquement. Savoir exploiter un document expérimental pour</p> <ul style="list-style-type: none"> - calculer des énergies - reconnaître et interpréter la conservation ou la non-conservation de l'énergie mécanique d'un système.
<p>Étude d'une banque de données des volumes atomiques. Observation de la variété des systèmes planétaires et de l'identité de la structure et des propriétés (masse, dimension, spectre) de tous les systèmes atomiques de même composition. Étude d'un document montrant la quantification des échanges d'énergie*. Étude de spectres*.</p>	<p>5. L'atome et la mécanique de Newton : ouverture au monde quantique Limites de la mécanique de Newton Quantification des échanges d'énergie. Quantification des niveaux d'énergie d'un atome, d'une molécule, d'un noyau. Application aux spectres, constante de Planck, $\Delta E = h\nu$.</p>	<p>Connaître les expressions de la force d'interaction gravitationnelle et de la force d'interaction électrostatique. Savoir que l'énergie de l'atome est quantifiée et que la mécanique de Newton ne permet pas d'interpréter cette quantification. Connaître et exploiter la relation $\Delta E = h\nu$, connaître la signification de chaque terme et leur unité. Convertir les joules en eV et réciproquement. Interpréter un spectre de raies. Dans les échanges d'énergie, associer le MeV au noyau et l'eV au cortège électronique.</p>

*Activités pouvant donner lieu à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication.

Commentaires

1 - Cette partie nécessite l'introduction de notions de cinématique (repère, coordonnées cartésiennes, trajectoire, vitesse, accélération). Ces notions seront introduites au fur et à mesure des besoins et ne feront pas l'objet d'un chapitre particulier.

Avant d'introduire la deuxième loi de Newton, des notions étudiées en classe de seconde et de première S seront rappelées : référentiels, système, inventaire des forces, forces intérieures, forces extérieures, centre d'inertie, mouvement uniforme, première loi de Newton (principe d'inertie), troisième loi de Newton (loi des actions réciproques).

La deuxième loi de Newton sera donnée comme un principe justifié par les conséquences qu'on en tire.

On ne travaillera que dans le référentiel terrestre, considéré comme galiléen. On pourra faire référence à des référentiels non galiléens (manèges) afin de montrer que dans ce cas les deux premières lois de Newton ne s'appliquent plus. D'autres référentiels galiléens (géocentrique, héliocentrique...) seront étudiés dans la partie 2.2.

Seule est exigible l'étude de mouvements dans des référentiels galiléens.

La séance de travaux pratiques sur la chute verticale de solides sera exploitée dans les parties 1 et 2.

2 - La force de pesanteur sera introduite comme un cas particulier de la force de gravitation étudiée en classe de seconde (on ne tiendra pas compte des effets dus aux mouvements de la Terre). On introduira ensuite la notion de champ de pesanteur, mais la notion de champ de gravitation est hors programme.

L'étude de la chute verticale avec frottement sera l'occasion d'introduire la poussée d'Archimède et ses caractéristiques.

Le temps caractéristique sera pris comme la date qui correspond, pour la courbe $v_c = f(t)$, au point d'intersection de la tangente à l'origine ($v=0$) et de l'asymptote (v_{lim}).

Des simulations de chute dans d'autres fluides que celui étudié en TP permettront de faire varier le coefficient de viscosité et de montrer son influence sur le temps caractéristique et la vitesse limite.

L'étude de la chute libre sera l'occasion de remarquer l'identité entre la **masse gravitationnelle** -celle qui intervient dans la force de pesanteur ou dans la force de gravitation- et la **masse inertielle** -celle qui intervient dans la deuxième loi de Newton. Cette identité explique pourquoi l'accélération de tous les objets en chute libre est égale à g . Les notions de masse gravitationnelle et de masse inerte ne sont cependant pas exigibles.

Dans l'étude du mouvement parabolique, aucun développement théorique sur la portée et sur la flèche n'est exigible. On pourra cependant, dans un exercice, utiliser l'équation de la trajectoire et les équations horaires paramétriques afin de vérifier des données (vérifier si le projectile passe en un point donné, déterminer l'angle de tir ou la vitesse initiale pour atteindre une cible...)

Aucun développement quantitatif de l'application de la deuxième loi de Newton à des mouvements sur plan horizontal ou sur plan incliné n'est exigible.

3 - La présentation de divers systèmes oscillants est uniquement descriptive. Dans cette partie aucune équation n'est écrite et l'expression littérale de la période propre n'est pas donnée.

Le pendule pesant est utilisé expérimentalement en repérant, au cours de son mouvement, les positions respectives du centre d'inertie et de l'axe de rotation. Aucune définition n'est à donner et le moment d'inertie est hors programme. Le pendule simple est présenté comme un modèle idéalisé du pendule pesant.

L'amortissement est constaté expérimentalement mais aucun développement sur l'expression des forces de frottement n'est effectué.

La pseudo-période sera définie expérimentalement à partir d'enregistrements du mouvement de pendules pour diverses amplitudes initiales. Pour de petites amplitudes on vérifiera la loi d'isochronisme des petites oscillations.

Le système solide-ressort peut-être étudié verticalement ou horizontalement (éventuellement avec 2 ressorts).

Pour le pendule simple, à partir de l'inventaire des paramètres pouvant influencer sa période propre, on accèdera à l'expression de celle-ci par analyse dimensionnelle ; la constante 2π sera donnée.

On montrera expérimentalement que dans le cas d'un amortissement faible, la pseudo-période des oscillations d'un pendule simple est sensiblement égale à sa période propre.

La force exercée par un ressort sur un objet fixé à une de ses extrémités, l'autre étant fixe, est appelée force de rappel ($-kx\vec{i}$, x désignant l'allongement algébrique et \vec{i} un vecteur unitaire parallèle à l'axe du ressort). On réservera le mot "tension" pour la force opposée, c'est à dire la force exercée par un objet ou un opérateur sur un ressort ($+kx\vec{i}$).

L'équation différentielle ne sera établie que dans le cas d'un ressort à réponse linéaire et horizontal.

Dans le bilan des forces et dans l'écriture de l'équation différentielle on tiendra compte d'une force de frottement f dont on ne précisera pas l'expression.

La solution de l'équation différentielle sera donnée sous la forme $x = x_m \cos(2\pi t/T_0 + \phi_0)$; ϕ_0 est la phase à l'origine des dates. La pulsation propre ne sera pas introduite.

La résonance mécanique sera introduite expérimentalement sur des dispositifs qui permettent de différencier nettement exciteur et résonateur, ce qui n'est pas le cas dans l'expérience des pendules couplés.

Aucune courbe de résonance ne sera tracée expérimentalement.

4 - On rappellera les notions étudiées en première : travail du poids, énergie cinétique, énergie potentielle de pesanteur. Les activités proposées seront l'occasion de réinvestir ces notions.

Pour le calcul du travail de la force extérieure exercée sur un ressort, on commencera par exprimer le travail élémentaire. L'expression du travail pour un allongement fini sera obtenu par méthode graphique et par intégration.

L'énergie potentielle élastique du ressort est l'énergie transférée par un opérateur qui déforme le ressort : le travail de l'opérateur fait varier l'énergie potentielle stockée dans le ressort. L'énergie potentielle élastique d'un ressort détendu est prise comme référence, donc nulle.

Dans le cas où les frottements peuvent être considérés comme négligeables, les variations d'énergie potentielle compensent les variations d'énergie cinétique. Il devient alors pertinent d'introduire la notion d'énergie mécanique. Cette introduction sera faite à l'occasion de l'étude du système solide-ressort qui sera traité uniquement dans le cas horizontal.

On généralisera ensuite la notion d'énergie mécanique au cas d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme.

La conservation ou la non conservation de l'énergie mécanique sera montrée dans les deux cas précédents.

5 - Pour comparer les systèmes planétaires et atomiques on rappellera les expressions des forces d'interaction gravitationnelle et électrostatique.

On remarquera que bien que les deux forces aient la même forme (en $1/r^2$) les structures auxquelles elles donnent naissance sont très différentes : variété des systèmes planétaires (par exemple liberté de placer un satellite à n'importe quelle altitude), identité surprenante des systèmes atomiques

de même composition. On en déduira que la mécanique newtonienne ne permet pas de rendre compte de la structure atomique. Pour introduire la quantification de l'énergie, on s'intéressera d'abord aux échanges d'énergie entre la matière et un faisceau d'électrons homocinétiques et/ou un faisceau lumineux monochromatique.

Lors de l'introduction de la relation $\Delta E = h\nu$ le professeur pourra évoquer le modèle du photon. La relation sera appliquée à l'étude de spectres atomiques, moléculaires et nucléaires.

E - L'évolution temporelle des systèmes et la mesure du temps (2 HCE)

Objectifs

Cette partie est considérée comme une révision de fin d'année, autour de la mesure du temps. Elle ne comporte aucune connaissance théorique ou compétence exigible nouvelle. Les exemples cités ne sont pas limitatifs et le professeur est libre de les enrichir.

- Comment mesurer une durée ?
 - À partir d'une décroissance radioactive (âge de la Terre, âge de peintures rupestres...)
 - À partir de phénomènes périodiques
 - . oscillateur électrique entretenu (oscillateur LC)
 - . mouvements des astres
 - . rotation de la Terre
 - . horloges à balancier
 - . horloges atomiques : définition de la seconde.
- Mesurer une durée pour déterminer une longueur
 - À partir de la propagation d'une onde mécanique (télémètre ultrasonore, échographie, sonar...)
 - À partir de la propagation d'une onde lumineuse (télémétrie laser, distance Terre-Lune...)
 - Le mètre défini à partir de la seconde et de la célérité de la lumière
 - Le mètre et le pendule battant la seconde
 - Histoire de la mesure des longitudes
- Mesurer une durée pour déterminer une vitesse
 - Mesure de la célérité du son
 - Mesure de la célérité de la lumière

Commentaires

Le professeur a le choix entre différentes approches, il est souhaitable que chaque exemple soit présenté sous forme d'activité ou d'exercice. Pour les phénomènes périodiques, le professeur pourra s'appuyer sur les différentes définitions historiques de la seconde.

La seconde, unité de temps, fut définie à l'origine comme la fraction $1/86\,400$ du jour solaire moyen. La définition exacte du "jour solaire moyen" était laissée aux astronomes, mais elle ne présentait pas toutes les garanties d'exactitude par suite des irrégularités de la rotation de la Terre.

En 1960, une autre définition fut donnée par l'Union astronomique internationale, fondée sur la durée de l'année tropique 1900.

En 1967-68 fut adoptée la définition actuelle utilisant un étalon atomique d'intervalle de temps, fondé sur une transition entre deux niveaux d'énergie d'un atome.

La seconde est la durée de $9\,192\,631\,770$ périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium-133, au repos et à 0 K.

Le mètre est défini à partir de la seconde : c est la distance parcourue par la lumière dans le vide pendant un intervalle de temps de $1/299\,792\,458$ de seconde.

Remarque : les mesures précises de petites longueurs s'effectuent par comparaison avec les longueurs d'onde de certaines radiations atomiques ou moléculaires déterminées avec grande précision dans des laboratoires de métrologie. Ces mesures utilisent en général des techniques d'interférométrie ; ces dernières sont hors programme.

Le professeur pourra faire remarquer aux élèves que la mesure du temps ne nécessite pas d'avoir une *définition* précise du temps. La notion intuitive de "succession temporelle" est suffisante pour mettre en place des dispositifs de mesure du temps qui, en retour, permettent de préciser la notion de temps. C'est ensuite la théorie qui indique, à une époque donnée, les phénomènes qui fournissent les meilleures horloges. Le professeur pourra également inviter les élèves à confronter leur perception psychologique du temps au temps de la physique.

III - PHYSIQUE - ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

A - Produire des images, observer (5 séquences de 2 heures)

Objectifs

Cette partie se situe en continuité du programme d'optique de la classe de première S. Les instruments proposés en terminale peuvent être mis en relation avec le thème de la classe de seconde concernant les échelles de distances et de tailles dans l'Univers observable.

ACTIVITÉS	CONTENUS	COMPÉTENCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Présentation d'instruments d'optique d'observation (téléscope, microscope...) Analyse commentée des notices.</p> <p>Construction graphique d'images en relation avec les manipulations réalisées sur le banc d'optique.</p> <p>Construction de la marche d'un faisceau pour une lentille mince, pour un miroir.</p> <p>Le rétroviseur : un miroir divergent.</p> <p>Utilisation de logiciels de construction et/ou de simulation illustrant les propriétés d'une lentille et d'un miroir.*</p> <p><i>Vérification des relations de conjugaison des lentilles minces ; application à la mesure d'une distance focale. Mesure de la distance focale d'un miroir convergent à l'aide d'un objet à l'infini. Mise en évidence expérimentale de la nécessité des conditions de Gauss pour que le modèle étudié soit valide.</i></p>	<p>1. Formation d'une image 1.1 Image formée par une lentille mince convergente Constructions graphiques de l'image : - d'un objet plan perpendiculaire à l'axe optique. - d'un point objet situé à l'infini. Relations de conjugaison sous forme algébrique, grandissement. Validité de cette étude : conditions de Gauss.</p> <p>1.2 Image formée par un miroir sphérique convergent Sommet, foyer, axe optique principal, distance focale. Constructions graphique de l'image : - d'un objet plan perpendiculaire à l'axe optique principal. - d'un point objet situé à l'infini.</p>	<p>Pour une lentille : - positionner sur l'axe optique le centre optique et les foyers, - connaître la définition de la distance focale, de la vergence et leurs unités, - connaître et savoir appliquer les relations de conjugaison sous forme algébrique et celle du grandissement, - construire l'image d'un objet plan perpendiculaire à l'axe optique, - construire l'image d'un point objet situé à l'infini.</p> <p>Pour un miroir sphérique : - positionner le sommet, le centre ; tracer l'axe optique principal ; positionner le foyer principal, - connaître la définition de la distance focale, - construire l'image d'un objet plan, perpendiculaire à l'axe optique principal, - construire l'image d'un point objet situé à l'infini.</p> <p>Pour une lentille et un miroir plan ou sphérique : - déterminer à partir d'une construction à l'échelle, les caractéristiques d'une image, - retrouver par construction les caractéristiques d'un objet connaissant son image, - construire la marche d'un faisceau lumineux issu d'un point source à distance finie ou infinie.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux <i>Réaliser un montage d'optique à partir d'un schéma. Régler un montage d'optique de façon à observer une image sur un écran. Utiliser un banc d'optique, réaliser des mesures et les exploiter. Déterminer la distance focale d'une lentille mince convergente et d'un miroir convergent.</i></p>
<p>Observation et rôle des constituants de trois instruments d'optique : microscope, lunette astronomique, télescope.*</p> <p>Construction graphique d'images en relation avec les manipulations réalisées sur le banc d'optique.</p> <p>Construction de la marche d'un faisceau à travers les instruments d'optique étudiés.</p> <p>Utilisation de logiciels de construction et/ou de simulation illustrant les instruments d'optique.*</p> <p><i>Réalisation de montages permettant d'illustrer le fonctionnement des trois instruments d'optique. Vérification expérimentale du modèle proposé. Critique de la pertinence du modèle réalisé.</i></p>	<p>2. Quelques instruments d'optique 2.1 Le microscope Description sommaire et rôle de chaque constituant : condenseur (miroir sphérique), objectif, oculaire. Modélisation par un système de deux lentilles minces : - construction graphique de l'image intermédiaire et de l'image définitive d'un objet plan perpendiculaire à l'axe optique. - caractéristiques de l'image intermédiaire et de l'image définitive par construction et/ou par application des formules de conjugaison. - diamètre apparent. - grossissement standard. - cercle oculaire.</p> <p>2.2 La lunette astronomique et le télescope de Newton Description sommaire et rôle de chaque constituant : - lunette astronomique : objectif, oculaire. - télescope de Newton : miroir sphérique, miroir plan, objectif. Modélisation de la lunette astronomique par un système afocal de deux lentilles minces et modélisation d'un télescope de Newton par un système miroirs, lentille mince : - construction graphique de l'image intermédiaire et de l'image définitive d'un objet plan perpendiculaire à l'axe optique. - caractéristiques de l'image intermédiaire et de l'image définitive par construction et/ou par application des formules de conjugaison. - diamètre apparent. - grossissement standard. - cercle oculaire.</p>	<p>Savoir que dans un microscope ou une lunette astronomique, l'image intermédiaire donnée par l'objectif constitue un objet pour l'oculaire. Savoir que dans un télescope, l'image intermédiaire donnée par le miroir sphérique constitue un objet pour le système miroir plan-oculaire.</p> <p>Construire, pour les trois instruments étudiés, l'image intermédiaire et l'image définitive d'un objet plan perpendiculaire à l'axe optique. Déterminer à partir d'une construction à l'échelle, les caractéristiques de l'image définitive donnée par un instrument d'optique. Construire la marche d'un faisceau lumineux à travers un instrument d'optique.</p> <p>Pour les lentilles intervenant dans les instruments d'optique étudiés, utiliser et exploiter les relations de conjugaison. Savoir définir et calculer le diamètre apparent. La définition du grossissement étant donnée, savoir l'utiliser et exploiter son expression. Connaître la définition du cercle oculaire, son intérêt pratique et savoir le construire.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux <i>Réaliser et exploiter un montage permettant d'illustrer le fonctionnement des trois instruments d'optique : - choisir les lentilles adaptées, - régler le montage, - effectuer les mesures des grandeurs permettant de valider le modèle proposé.</i></p>

*Activités pouvant donner lieu à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication.

Commentaires

1. Lentilles minces

Pour développer la partie consacrée à la formation des images, on s'appuiera sur les connaissances acquises en classe de première.

Les notions d'images et d'objets réels et virtuels sont hors programme. A ce niveau d'enseignement l'utilisation de ces concepts n'est pas pertinente et induit souvent des idées fausses. Par exemple celle qui consiste à penser qu'il est impossible d'observer une image réelle sans écran.

Les conditions de Gauss sont introduites expérimentalement et ne sont pas exigibles. Un système est utilisé dans les conditions de Gauss s'il n'est traversé que par des rayons faisant un angle faible avec l'axe du système (rayons paraxiaux). Toutes les grandeurs et formules introduites, dans le cadre du programme, ne sont valables que dans ces conditions. On fera remarquer aux élèves que ces conditions de Gauss sont considérées comme remplies si les qualités de l'image obtenue sont compatibles avec le "pouvoir de résolution" du récepteur (pixels, grain de la pellicule photo...). On évoquera des exemples réels dans lesquels les conditions de Gauss ne sont pas remplies et où l'image obtenue peut être déformée (œilleton, objectif grand angle) ou non (objectif photographique normal...).

L'étude systématique des aberrations tant géométriques que chromatiques est hors programme.

Dans la construction graphique, on orientera l'axe optique principal, choisi comme axe des abscisses, dans le sens de la propagation de la lumière.

On s'attachera à ce que les élèves sachent construire la marche d'un faisceau lumineux. Les foyers secondaires sont hors programme.

Pour les lentilles minces, seules les relations de conjugaison, donnant les positions respectives de l'objet et de l'image et le grandissement transversal, avec origine au centre optique sont exigibles. Elles seront données, leur démonstration n'est pas exigible. On les présentera sous forme algébrique.

Aucune méthode de mesure de distance focale d'une lentille n'est exigible. Cette activité doit être abordée comme une application des formules de conjugaison ; l'autocollimation est hors programme.

Les formules de conjugaison des miroirs sphériques sont hors programme.

L'importance pratique du rétroviseur justifie qu'il soit évoqué dans une activité.

2. Instruments d'optique

Le miroir parabolique concave d'un télescope est modélisé par un miroir sphérique concave.

Les caractéristiques photométriques des instruments d'optique ne sont pas exigibles.

Selon l'instrument d'optique étudié, la définition du grossissement est donnée mais n'est pas exigible. Lorsqu'on demande aux élèves d'utiliser cette grandeur, la définition correspondante est donnée.

La notion de puissance d'un microscope est hors programme. Le condenseur d'un microscope est limité à un miroir sphérique.

Lors de la réalisation d'un montage permettant d'illustrer le fonctionnement d'un instrument d'optique, on se limite à la situation pour laquelle l'image définitive, à la sortie de l'instrument modélisé, se forme à l'infini ; cela correspond à une observation sans fatigue pour l'œil normal. L'intérêt pratique du cercle oculaire est montré qualitativement, la notion de flux lumineux est hors programme.

B - Produire des sons, écouter (5 séquences de 2 heures)

Objectifs

Cette partie, qui aborde quelques éléments d'acoustique, prolonge la partie **Ondes** de l'enseignement obligatoire. On observe que les modes de vibration d'une corde tendue, ainsi que ceux d'une colonne d'air, sont quantifiés. On en construit une interprétation en termes de superpositions d'ondes progressives se propageant dans un milieu de dimension limitée. On aborde en fin de partie quelques caractéristiques de l'acoustique musicale en relation avec la physique du son.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	COMPÉTENCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Présentation d'instruments de musique à corde, à vent.</p> <p>Recherche à partir de mots associés aux instruments de musique (caisse de résonance, colonne d'air, corde, membrane de tambour, anche, biseau, cloche de carillon...)*.</p> <p><i>Diapason associé à une caisse de résonance ou une table.</i></p>	<p>1. Production d'un son par un instrument de musique</p> <p>Système mécanique vibrant associé à un système assurant le couplage avec l'air :</p> <ul style="list-style-type: none"> - illustration par un système simple - cas de quelques instruments réels. 	<p>Savoir que pour qu'un instrument de musique produise un son il doit remplir deux fonctions - vibrer et émettre - et que dans de nombreux cas d'instruments réels ces fonctions sont indissociables.</p>
<p><i>Étude de la vibration d'une corde par stroboscopie et du son qu'elle émet à l'aide d'un microphone.</i></p> <p><i>Étude expérimentale du phénomène sur une corde, entre deux points fixes : observation de la vibration d'une corde métallique parcourue par un courant alternatif de fréquence variable (GBF amplifié) au voisinage d'un aimant.</i></p> <p><i>Étude expérimentale de la mise en vibration d'une colonne d'air à l'aide d'un haut-parleur et d'un tube : écoute à l'oreille des fréquences favorisées ; influence de la longueur de la colonne.</i></p> <p>Flûte de Pan ou Syrinx, orgue acoustique... *</p>	<p>2. Modes de vibrations</p> <p>2.1 Vibration d'une corde tendue entre deux points fixes</p> <p>Mise en évidence des modes propres de vibration par excitation sinusoïdale : mode fondamental, harmoniques ; quantification de leurs fréquences. Nœuds et ventres de vibration.</p> <p>Oscillations libres d'une corde pincée ou frappée : interprétation du son émis par la superposition de ces modes.</p> <p>2.2 Vibration d'une colonne d'air</p> <p>Mise en évidence des modes propres de vibration par excitation sinusoïdale. Modèle simplifié d'excitation d'une colonne d'air par une anche ou un biseau : sélection des fréquences émises par la longueur de la colonne d'air.</p>	<p>Connaître l'existence des modes propres de vibration.</p> <p>Savoir qu'il y a quantification des fréquences des modes de vibration : rapport entre les fréquences des harmoniques et celles du fondamental.</p> <p>Savoir ce que sont un ventre et un nœud de vibration.</p> <p>Savoir qu'une corde pincée ou frappée émet un son composé de fréquences qui sont celles des modes propres de la corde.</p> <p>Savoir qu'une colonne d'air possède des modes de vibrations dont les fréquences sont liées à sa longueur.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux</p> <p>Mesurer une période et déterminer ainsi une fréquence.</p> <p>Décrire et réaliser une expérience permettant de mesurer la fréquence de vibration d'une corde par stroboscopie et celle du son émis par la corde.</p> <p><i>Avec le matériel disponible au laboratoire, savoir mettre en évidence les modes propres de vibration d'une corde et d'une colonne d'air.</i></p>
<p><i>Visualisation du phénomène de réflexion et d'onde stationnaire sur une corde. Utilisation d'un ondoscope.</i></p> <p>Introduction de l'onde stationnaire par une simulation informatique permettant de visualiser indépendamment les ondes incidente, réfléchie et stationnaire.*</p> <p><i>Réaliser un montage expérimental d'ondes stationnaires sur une corde ; positions des nœuds et des ventres, relation avec la longueur d'onde.</i></p> <p><i>Influence des paramètres : longueur de la corde et célérité (tension de la corde et masse linéique).</i></p> <p><i>Utilisation d'un GBF et de l'oscilloscope pour détecter des nœuds et ventres de pression dans une colonne d'air avec un micro à électret.</i></p>	<p>3. Interprétation ondulatoire.</p> <p>3.1 Réflexion sur un obstacle fixe unique</p> <p>Observation de la réflexion d'une onde progressive sur un obstacle fixe ; interprétation qualitative de la forme de l'onde réfléchie. Cas d'une onde progressive sinusoïdale incidente. Onde stationnaire : superposition de l'onde incidente sinusoïdale et de l'onde réfléchie sur un obstacle fixe.</p> <p>3.2 Réflexions sur deux obstacles fixes : quantification des modes observés.</p> <p>Onde progressive de forme quelconque entre deux obstacles fixes : caractère périodique imposé par la distance L entre les deux points fixes et la célérité v, la période étant $2L/v$.</p> <p>Onde stationnaire entre deux obstacles fixes : quantification des modes ; relation $2L = n\lambda$ (n entier) ; justification des fréquences propres $\nu_n = nV/2L$.</p> <p>3.3 Transposition à une colonne d'air excitée par un haut-parleur</p> <p>Observation qualitative du phénomène.</p>	<p>Connaître l'allure de l'onde après réflexion sur une extrémité fixe.</p> <p>Savoir comment produire un système d'ondes stationnaires ; application à la détermination d'une longueur d'onde.</p> <p>Connaître et exploiter les relations exprimant la quantification des modes : $2L = n\lambda$ (n entier) ; $\nu_n = nV/2L$.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux</p> <p><i>Avec le matériel disponible au laboratoire, savoir réaliser et exploiter une expérience d'ondes stationnaires :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure de longueur d'onde, - mesure d'une célérité, - mesure des fréquences propres, - influence des paramètres.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	COMPÉTENCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Réalisation d'un audiogramme.</p> <p>Recherche documentaire sur l'audition*.</p> <p>Utilisation d'un synthétiseur ou d'un enregistrement associé à un casque et à un oscilloscope à mémoire ou à un système d'acquisition : étude d'une même note synthétisée par des "instruments" différents ; observation temporelle et analyse fréquentielle. Sonagramme. Présentation de la gamme tempérée.</p>	<p>4. Acoustique musicale et physique des sons</p> <p>Domaine de fréquences audibles ; sensibilité de l'oreille.</p> <p>Hauteur d'un son et fréquence fondamentale ; timbre : importance des harmoniques et de leurs transitoires d'attaque et d'extinction.</p> <p>Intensité sonore, intensité de référence : $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Niveau sonore : le décibel acoustique, $L = 10 \log_{10}(I/I_0)$</p> <p>Gammes : octave, gamme tempérée.</p>	<p>Savoir que la hauteur d'un son est mesurée par la fréquence de son fondamental.</p> <p>Savoir que le timbre d'un son émis par un instrument dépend de l'instrument (harmoniques, transitoires d'attaque et extinction).</p> <p>Savoir que le niveau sonore s'exprime en dBA. L'expression du niveau sonore étant donnée, savoir l'exploiter.</p> <p>Savoir lire et exploiter un spectre de fréquences.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux Acquisition et analyse d'une note produite par un instrument de musique.</p>

*Activités pouvant donner lieu à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication.

Commentaires

1. Les instruments de musique étudiés sont ceux qui utilisent une vibration mécanique pour produire le son. Ceci exclut les synthétiseurs mais non les guitares électriques.

2. On ne s'intéressera qu'aux vibrations transversales des cordes. En évitant d'exciter la corde à une de ses extrémités, on travaille sur la situation idéale d'une corde tendue entre deux points fixes. On pourra à cette occasion réinvestir la force de Laplace vue en première. Le stroboscope sera utilisé comme un instrument de visualisation et de mesure mais la stroboscopie est hors programme. Les expériences réalisées avec une excitation sinusoïdale sont des expériences de résonance. Cependant le phénomène de résonance, qui peut être évoqué, n'est pas ici l'objet de l'étude. On admettra sans justification que les fréquences de "résonance" détectées sont les fréquences propres du système vibrant. Aucune formulation mathématique ne sera donnée pour décrire l'état d'un point de la corde en fonction de l'abscisse et/ou du temps. Le terme d'onde stationnaire n'est pas encore utilisé à ce stade.

3. Toute expression mathématique de l'onde progressive sinusoïdale est hors programme.

La superposition de l'onde incidente et de l'onde qui se réfléchit sur un obstacle fixe unique forme déjà une onde stationnaire. Sur une corde fixée à ses deux extrémités distantes de L , une onde qui se propage se retrouve après un aller-retour, identique à elle-même ; elle est donc périodique, de période $T = 2L/v$. Si l'onde est sinusoïdale, cela impose que $2L$ soit un multiple entier de la longueur d'onde : $2L = n\lambda$, ce qui correspond aux fréquences propres d'expression $n v / 2L$. On retrouve ainsi les modes propres de vibration de la corde. L'expression donnant la célérité en fonction de la tension et de la masse linéique de la corde sera donnée chaque fois qu'il sera nécessaire.

On ne s'interdira pas de présenter les tuyaux ouverts, mais l'expression de leurs fréquences propres n'est pas exigible.

4. Toute notion de phase des harmoniques par rapport au fondamental est hors programme. Dans l'analyse des spectres acoustiques, la grandeur représentée en ordonnée est en général l'image de la tension du signal donné par le microphone. Il ne faut pas chercher à l'interpréter de façon quantitative (amplitude acoustique ou énergie).

Aucune notion sur la physiologie de la perception sonore n'est à traiter ; on signalera cependant les dangers de l'exposition à des intensités sonores importantes.

C - Produire des signaux, communiquer (4 séquences de 2h)

Objectifs

On étudie les possibilités qu'offrent les ondes électromagnétiques pour transmettre à grande distance et à grande vitesse des informations. Ceci nécessite un choix pertinent des fréquences de ces ondes.

L'information est transportée par une modulation de cette onde : modulation en amplitude, en fréquence et en phase ; on n'étudiera que la modulation d'amplitude d'une onde porteuse sinusoïdale.

L'utilisation de dipôles ou de quadripôles, dont les principes ne sont pas à étudier, permet de réaliser un dispositif attrayant pour les élèves à partir de peu de composants.

Il faut noter que le récepteur radio fabriqué ne correspond pas aux dispositifs mis sur le marché, mais permet d'utiliser un minimum de fonctions pour obtenir une réception.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Présentation de divers modes de transmission d'informations. Aspect historique et techniques actuelles.*</p> <p><i>Exemples de phénomènes physiques permettant de détecter des ondes électromagnétiques : écran fluorescent, plaque photo, œil, antenne*.</i></p> <p><i>Observer qu'un fil conducteur connecté sur une entrée de l'oscilloscope fournit un signal confus, nécessitant un traitement pour le decoder. Réalisation de la transmission d'un signal de fréquence sonore par un faisceau lumineux. Visualisation du signal émis par une télécommande infrarouge.</i></p>	<p>1 - Les ondes électromagnétiques, support de choix pour transmettre des informations</p> <p>1.1 Transmission des informations A travers divers exemples montrer que la transmission simultanée de plusieurs informations nécessite un "canal" affecté à chacune d'elles. Intérêt de l'utilisation d'une onde : transport à grande distance d'un signal, contenant l'information sans transport de matière mais avec transport d'énergie.</p> <p>1.2 Les ondes électromagnétiques Propagation d'une onde électromagnétique dans le vide et dans de nombreux milieux matériels... Classement des ondes électromagnétiques selon la fréquence et la longueur d'onde dans le vide. Rôle d'une antenne émettrice (création d'une onde électromagnétique), d'une antenne réceptrice (obtention d'un signal électrique à partir d'une onde électromagnétique).</p> <p>1.3 Modulation d'une tension sinusoïdale Information et modulation. Expression mathématique d'une tension sinusoïdale : $u(t) = U_{max} \cos(2\pi ft + \phi_0)$ Paramètres pouvant être modulés : amplitude, fréquence et/ou phase.</p>	<p>Savoir que la lumière fait partie des ondes électromagnétiques et correspond à un domaine restreint de fréquences. Savoir que pour une antenne émettrice, l'onde électromagnétique émise a la même fréquence que celle du signal électrique qui lui est transmis. Savoir que dans une antenne réceptrice, l'onde électromagnétique engendre un signal électrique de même fréquence. Reconnaître les différents paramètres de l'expression d'une tension sinusoïdale : amplitude, fréquence et/ou phase.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux <i>Savoir observer, avec un oscilloscope, le signal d'un fil conducteur connecté à une des entrées. Savoir transmettre un signal de fréquence sonore par un faisceau lumineux</i></p>
<p><i>Obtention d'une tension électrique modulée en amplitude à partir d'un multiplicateur ; visualisation à l'oscilloscope des tensions pertinentes.</i></p> <p><i>Visualisation à l'oscilloscope, par la méthode dite "du trapèze", de la qualité de la modulation.</i></p> <p><i>Utilisation d'un analyseur de fréquence ou d'un système d'acquisition et d'un logiciel adaptés dans le seul cas d'un signal modulant sinusoïdal.</i></p> <p><i>Illustration expérimentale du rôle des filtres, associant une résistance et un condensateur, utilisés dans le montage de démodulation. (L'utilisation d'un oscilloscope à mémoire est recommandée.)</i></p>	<p>2. Modulation d'amplitude</p> <p>2.1 Principe de la modulation d'amplitude Tension modulée en amplitude : tension dont l'amplitude est fonction affine de la tension modulante. Un exemple de réalisation d'une modulation d'amplitude. Notion de surmodulation. Choix de la fréquence du signal à moduler en fonction des fréquences caractéristiques du signal modulant.</p> <p>2.2 Principe de la démodulation d'amplitude Fonctions à réaliser pour démoduler une tension modulée en amplitude. Vérification expérimentale : - de la détection d'enveloppe réalisée par l'ensemble constitué de la diode et du montage RC parallèle. - de l'élimination de la composante continue par un filtre passe-haut RC. Restitution du signal modulant.</p>	<p>Savoir que réaliser une modulation d'amplitude c'est rendre l'amplitude du signal modulé fonction affine de la tension modulante.</p> <p>Connaître les conditions à remplir pour éviter la surmodulation.</p> <p>Dans le cas d'une tension modulante sinusoïdale de fréquence f_s, savoir que la tension modulée est la somme de trois tensions sinusoïdales de fréquences $f_p - f_s, f_p, f_p + f_s, f_p$ étant la fréquence du signal qui a été modulé.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux <i>Réaliser un montage de modulation d'amplitude à partir d'un schéma. Choisir des tensions permettant une modulation de bonne qualité ; savoir visualiser les tensions pertinentes.</i></p> <p>Connaissant la fonction de l'ensemble diode-RC parallèle et du dipôle RC série, savoir les placer correctement dans un schéma de montage de démodulation.</p> <p>Savoir exploiter les oscillogrammes relatifs à une modulation et à une démodulation d'amplitude.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux <i>Réaliser un montage de démodulation d'amplitude à partir d'un schéma. Choisir les composants permettant une démodulation de bonne qualité ; savoir visualiser les tensions pertinentes.</i></p>
<p><i>Étude expérimentale du dipôle bobine condensateur montés en parallèle : sa fonction de filtre passe bande. Réalisation d'un récepteur radio en fonction des connaissances acquises précédemment.</i></p>	<p>3. Réalisation d'un dispositif permettant de recevoir une émission radio en modulation d'amplitude. Le dipôle bobine condensateur montés en parallèle : étude expérimentale ; modélisation par un circuit LC parallèle. Association de ce dipôle et d'une antenne pour la réception d'un signal modulé en amplitude. Réalisation d'un récepteur radio en modulation d'amplitude.</p>	<p>Savoir que le dipôle LC parallèle, utilisé ici comme filtre passe bande pour la tension, est un circuit bouchon pour l'intensité. Expliquer l'utilité de ce dipôle pour la sélection d'une tension modulée.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux <i>Réaliser un montage, à partir d'un schéma, associant les divers modules nécessaires à la réalisation d'un récepteur radio.</i></p>

*Activités pouvant donner lieu à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication.

Commentaires

1 - On pourra montrer des exemples des catégories de transmission suivantes : support matériel / signal unique (téléphone local, fils d'entrée de l'oscilloscope...), support matériel / signaux multiples (câble TV, téléphone entre centraux...), support non matériel / signal unique (télécommande infra-rouge...), support non matériel / signaux multiples (radio...).

Le terme "canal" s'applique aussi bien à un support matériel qu'à une onde porteuse.

Cette partie sera l'occasion de discuter de la répartition des bandes de fréquence entre les différents utilisateurs, sachant que la bande passante affecté à chacun d'eux est limitée. On pourra signaler les avantages et les inconvénients de chaque gamme de fréquences, en insistant en particulier sur les propriétés de propagation différentes des ondes selon leur fréquence.

A partir du paragraphe 1.3 on ne s'intéresse plus qu'au signal électrique transmis à l'antenne émettrice et au signal électrique issu de l'antenne réceptrice. Le terme de signal électrique désigne aussi bien la tension que l'intensité du courant électrique.

L'expression mathématique de la tension sinusoïdale est introduite dans le cas général mais on n'utilisera que l'expression où la phase à l'origine est nulle.

Les grandeurs pouvant être modulées, autres que l'amplitude, ne sont pas exigibles.

2 - Dans cette partie il s'agit d'amener de façon raisonnée les différentes fonctions que doit présenter le montage pour retrouver l'allure du signal modulant. Ces différentes fonctions sont introduites expérimentalement. Aucun développement théorique n'est exigible. Il est important de ne pas dissocier la diode de l'ensemble de détection : c'est le quadripôle diode - RC parallèle qui réalise la détection d'enveloppe (charge du condensateur à travers la diode et décharge à travers la résistance).

La définition proposée pour la modulation d'amplitude est traduite par l'expression $u_m(t) = [a u_s(t) + b] \cos(2\pi f_p t)$; où $u_s(t)$ est la tension modulante, et f_p la fréquence de la tension que l'on module.

Dans le cadre de la réalisation de la modulation d'amplitude avec un montage multiplicateur, on sera amené à passer de l'expression directement issue de la définition $u_m(t) = [a u_s(t) + b] \cos(2\pi f_p t)$ à l'expression $u_m(t) = k[U_0 + u_s(t)] U_{pmax} \cos(2\pi f_p t)$ où U_0 est une tension continue ajoutée. La surmodulation se produit lorsque l'amplitude instantanée $[a u_s(t) + b]$ devient négative. Dans le cas de la réalisation pratique ceci se produit lorsque $U_0 + u_s(t)$ change de signe au cours du temps.

La qualité de la modulation peut être estimée en utilisant l'oscilloscope en mode X-Y, avec en X la tension modulante et en Y la tension modulée (méthode dite "du trapèze").

Le résultat démontré dans le cas d'une tension modulante sinusoïdale permettra de préciser la largeur de bande créée par la modulation et la nécessité d'écartier suffisamment les fréquences des ondes porteuses pour éviter le mélange des informations.

Tout tracé de courbe de réponse d'un filtre est hors programme.

Le taux de modulation peut être évoqué mais n'est pas exigible.

3 - Il s'agit essentiellement de laisser les élèves en autonomie en mettant du matériel à leur disposition pour réaliser un montage récepteur radio.

IV - CHIMIE - ENSEIGNEMENT OBLIGATOIRE

INTRODUCTION : LES QUESTIONS QUI SE POSENT AU CHIMISTE (1 HCE)

L'objectif de cette introduction est de faire apparaître aux élèves l'importance et la place des activités du chimiste dans le monde contemporain au travers de leurs apprentissages antérieurs et de la perception qu'ils ont de la chimie dans leur environnement quotidien et dans l'industrie. Il s'agit de faire prendre conscience des nombreuses questions auxquelles le chimiste est confronté. Certaines font l'objet du programme de la classe de terminale S, à savoir comprendre les processus d'évolution des systèmes susceptibles de transformations chimiques, les contrôler, maîtriser les protocoles opératoires et disposer d'outils de mesure permettant de réaliser des "contrôles de qualité".

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
Film vidéo, analyse d'un article, intervention d'un chimiste en vue de permettre un questionnement sur la perception des activités du chimiste.	- Inventorier les activités du chimiste et les enjeux de la chimie dans la société. - Dégager quelques questions qui se posent au chimiste dans ses activités professionnelles.	

Commentaires

Le travail du chimiste dans le monde contemporain peut être classé par **types d'activités** dont certaines ont déjà été vues par les élèves au laboratoire : extraire, identifier, analyser, créer, purifier, protéger, recycler, formuler, etc.

Il est envisagé dans cette introduction de dégager quelques préoccupations du chimiste dans la société à travers une réflexion sur le rendement, la durée de fabrication et donc les coûts de production en chimie industrielle (chimie lourde et chimie fine), les impacts sur l'environnement avec le recyclage et l'élimination des matériaux.

L'enseignant s'efforce d'organiser les réflexions et les réponses des élèves en les regroupant et en les classifiant en vue de faire émerger les quatre questions que le programme explore :

- La transformation d'un système chimique est-elle toujours rapide ?
- La transformation d'un système chimique est-elle toujours totale ?
- Le sens spontané d'évolution d'un système est-il prévisible ? Et son corollaire, le sens d'évolution d'un système chimique peut-il être inversé ?
- Comment le chimiste contrôle-t-il les transformations de la matière ?

Après avoir donné des éléments de réponse aux trois premières questions, la dernière partie permet de montrer quelques exemples de stratégies mises en œuvre par le chimiste pour résoudre quelques uns des problèmes qu'il rencontre ; les exemples dans cette partie sont essentiellement pris en chimie organique.

Tout comme dans les classes de seconde et de première scientifique, l'entrée par l'expérience et le questionnement des élèves continue d'être privilégiée pour l'introduction de chaque nouveau concept.

A - La transformation d'un système chimique est-elle toujours rapide ? (2 TP, 9 HCE)

L'objectif de cette partie consiste à sensibiliser l'élève à l'importance du paramètre **temps** en chimie. Les transformations chimiques ne sont pas toutes rapides comme cela a été envisagé jusqu'à présent ; elles peuvent même être très lentes. Il est parfois souhaitable d'accélérer ces transformations, par exemple quand on veut optimiser le coût ou réduire la durée de synthèses chimiques, ou bien lorsqu'il s'agit d'éliminer des matériaux usés. Il est parfois souhaitable de les ralentir, par exemple dans le but de conserver des aliments ou d'éviter les phénomènes de corrosion. Il est possible d'intervenir sur différents facteurs tels que la température ou la concentration des réactifs, introduits expérimentalement puis interprétés à l'aide d'un modèle microscopique.

D'un point de vue quantitatif, la transformation chimique est suivie à l'aide de courbes traduisant l'évolution temporelle de la quantité de matière d'une espèce du système. Ces courbes sont utilisées pour évaluer la vitesse de réaction au cours de la transformation. A cette transformation est associée un temps de demi-réaction qui contraint le choix de la technique d'analyse. Les techniques préconisées sont le titrage d'oxydoréduction et la spectrophotométrie.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
<p>Expériences mettant en évidence qualitativement des transformations lentes et rapides et les facteurs cinétiques, température et concentration des réactifs, à l'aide :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'observations visuelles : $H_2O_2 + I^-$ et $S_2O_8^{2-} + H^+$, tests caractéristiques utilisant le réactif de Fehling, le réactif de Tollens, par exemple, - d'un capteur de pression, d'une balance, d'un conductimètre, etc. <p>Illustrations dans la vie courante : cuisson à l'autocuiseur, conservation des aliments par le froid, etc.</p>	<p>1. Transformations lentes et rapides</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mise en évidence expérimentale de transformations lentes et rapides. - Mise en évidence expérimentale des facteurs cinétiques : température et concentration des réactifs. - Rappels sur les couples oxydant/réducteur et sur l'écriture des équations de réactions d'oxydoréduction. 	<ul style="list-style-type: none"> - Écrire l'équation de la réaction associée à une transformation d'oxydoréduction et identifier dans cette équation les deux couples mis en jeu. - Définir un oxydant et un réducteur. - Montrer, à partir de résultats expérimentaux, l'influence des facteurs cinétiques sur la vitesse de réaction.
<p>Suivi de l'évolution temporelle d'une transformation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - par prélèvements successifs et titrages, par exemple réaction de H_2O_2 et I^-, dismutation de H_2O_2, réaction de $S_2O_8^{2-}$ et I^-, - par utilisation d'un manomètre, d'un conductimètre, ou d'un spectrophotomètre. <p>Tracé des courbes d'évolution de quantité de matière ou de concentration d'une espèce et de l'avancement de la réaction au cours du temps.</p> <p>Utilisation d'un tableur-grapheur pour tracer la courbe $x = f(t)$ par exemple et déterminer la vitesse à différentes dates.</p> <p>Détermination de $t_{1/2}$ à partir de résultats expérimentaux.</p> <p>Expériences qualitatives illustrant le phénomène d'absorption en lumière visible.</p> <p>Observation du spectre d'absorption d'une espèce colorée en solution.</p> <p>Étude expérimentale de la relation entre la concentration effective d'une espèce colorée en solution et l'absorbance pour une longueur d'onde donnée, dans un domaine de concentration donné.</p> <p>Suivi d'une transformation chimique par comparaison avec une échelle de teintes et/ou par spectrophotométrie.</p>	<p>2. Suivi temporel d'une transformation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tracé des courbes d'évolution de quantité de matière ou de concentration d'une espèce et de l'avancement de la réaction au cours du temps : utilisation du tableau descriptif d'évolution du système chimique, exploitation des expériences. - Vitesse de réaction : Définition de la vitesse volumique de réaction exprimée en unité de quantité de matière par unité de temps et de volume. $v = \frac{1}{V} \frac{dx}{dt}$ <p>où x est l'avancement de la réaction et V le volume de la solution.</p> <p>Evolution de la vitesse de réaction au cours du temps.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temps de demi-réaction noté $t_{1/2}$: Définition et méthodes de détermination. - Choix d'une méthode de suivi de la transformation selon la valeur de $t_{1/2}$. - Une nouvelle technique d'analyse, la spectrophotométrie : L'absorbance A, grandeur mesurée par le spectrophotomètre. Relation entre l'absorbance et la concentration effective d'une espèce colorée en solution, pour une longueur d'onde donnée et pour une épaisseur de solution traversée donnée. - Suivi de la cinétique d'une transformation chimique par spectrophotométrie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Justifier les différentes opérations réalisées lors du suivi de l'évolution temporelle d'un système ; exploiter les résultats expérimentaux. - Définir l'équivalence lors d'un titrage et en déduire la quantité de matière de réactif titré. - À partir de mesures expérimentales et du tableau descriptif de l'évolution du système, représenter, en fonction du temps, la variation des quantités de matière ou des concentrations d'un réactif ou d'un produit et de l'avancement de réaction. - Savoir que la vitesse de réaction augmente en général avec la concentration des réactifs et avec la température. - Interpréter qualitativement la variation de la vitesse de réaction à l'aide d'une des courbes d'évolution tracées. - Connaître la définition du temps de demi-réaction $t_{1/2}$. - Déterminer le temps de demi réaction à l'aide de données expérimentales ou en exploitant des résultats expérimentaux*. - Savoir utiliser, à une longueur d'onde donnée, la relation entre la concentration d'une espèce colorée en solution et l'absorbance.
<p>Illustration des événements au niveau microscopique.*</p>	<p>3. Quelle interprétation donner au niveau microscopique ?</p> <p>Interprétation de la réaction chimique en termes de chocs efficaces.</p> <p>Interprétation de l'influence de la concentration des entités réactives et de la température sur le nombre de chocs et de chocs efficaces par unité de temps.</p>	

* Activités pouvant donner lieu à utilisation des technologies de l'information et de la communication.

Commentaires

Le système chimique a été défini par des quantités de matière présentes à l'état initial, à un état intermédiaire et à l'état final, toutes reliées à l'avancement x . La fonction $x(t)$ donne donc directement accès à l'évolution du système. La détermination de $x(t)$ se fait à partir de mesures de grandeurs reliées aux quantités de matière ou aux concentrations. Les qualificatifs "lent" et "rapide" n'ont pas de valeur absolue. Ils dépendent de la question que l'on se pose sur le système, et de l'instrumentation utilisée pour y répondre. Si l'on se contente d'un suivi à l'œil, des modifications de couleurs ou d'aspect s'effectuant à l'échelle du dixième de seconde (durée de la persistance rétinienne) paraîtront quasi-instantanées. Cette échelle de temps serait en revanche inadaptée si l'on s'intéressait aux mécanismes réactionnels. De façon générale, la résolution en temps d'une évolution suppose que le temps de réponse de l'instrument d'analyse soit petit par rapport au temps de relaxation du système vers l'état final.

La spectrophotométrie ne fait l'objet d'aucun développement théorique ni technique (elle s'intègre bien dans les rappels sur la mesure en chimie, dans la continuité du cours d'optique de seconde, de première et de terminale scientifiques). Il s'agit simplement de montrer et d'utiliser le fait que l'absorbance A , grandeur mesurée par le spectrophotomètre, est proportionnelle à la concentration de l'espèce colorée dans des conditions précises, pour des solutions suffisamment diluées et pour une longueur d'onde donnée.

La vitesse volumique de réaction est définie à partir de l'avancement. Cette définition présente l'avantage de ne pas être attachée à un réactif ou un produit particulier. Elle est également indépendante du volume utilisé. Dans le cas d'une réaction mettant en jeu une espèce colorée, elle est directement reliée à l'évolution de la concentration de cette espèce donc à l'absorbance. La détermination de la valeur des vitesses ne doit pas donner lieu à des calculs ; il s'agit seulement de comparer ces vitesses (à l'aide des coefficients directeurs des tangentes des courbes si l'on ne dispose pas de tableur).

Le temps de demi-réaction correspond au temps nécessaire pour que l'avancement soit parvenu à la moitié de sa valeur finale. Dans le cas d'une transformation considérée comme totale, il correspond au temps nécessaire pour qu'il y ait disparition de la moitié de la quantité de matière du réactif limitant.

Les éléments d'interprétation microscopique sont conçus pour permettre à l'élève de dépasser ses perceptions physiologiques et d'enrichir ses représentations dans un cadre purement qualitatif. La réaction chimique nécessite la rencontre des entités réactives et s'effectue à l'occasion d'un choc entre ces entités ; cette image permet d'interpréter qualitativement l'effet de la concentration (agissant sur le nombre de chocs par unité de temps) et de la température (agissant sur le nombre de chocs par unité de temps et sur leur efficacité). La réaction chimique se produit à l'occasion d'un choc efficace entre entités réactives ou produites. Les notions de réaction directe et inverse, de même que la notion d'équilibre, peuvent ainsi être dégagées de façon intuitive.

Cette sensibilisation peut être réalisée à l'occasion d'un jeu, d'une simulation, pouvant donner lieu à une collaboration avec le professeur de mathématiques. La double approche microscopique-macroscopique, initiée en classe de seconde et de première scientifique est ainsi réactivée en terminale.

NB : à propos du niveau "microscopique", le choix a été fait de conserver cette appellation utilisée habituellement en chimie, dès lors que l'on se place au niveau des atomes, ions, molécules. Néanmoins, l'enseignant fait remarquer qu'en sciences de la vie et de la Terre, le terme "microscopique" n'a pas la même signification.

B - La transformation d'un système chimique est-elle toujours totale ? (4 TP, 9 HCE)

L'objectif de cette partie est de faire découvrir qu'une transformation chimique n'est pas toujours totale. Les exemples sont pris dans le domaine des réactions acido-basiques, ce qui justifie l'introduction du pH et de son outil de mesure, le pH-mètre.

Cette situation, nouvelle pour l'élève, amène à modifier l'écriture de la réaction chimique pour rendre compte qu'elle s'effectue dans les deux sens. Un retour sur le niveau microscopique permet d'interpréter l'état final du système comme un état d'équilibre dynamique et non comme un état figé, comme la simple observation pourrait le suggérer.

Une approche expérimentale fondée sur l'étude de la composition d'états d'équilibre permet de montrer que si les concentrations finales en réactifs et en produits dépendent de l'état initial du système, il existe une fonction de ces concentrations, le **quotient de réaction**, dont la valeur numérique dans l'état d'équilibre ne dépend pas de la composition initiale du système ; à une équation de réaction chimique donnée peut ainsi être associée une constante, appelée **constante d'équilibre**.

Des applications sont développées sur des produits de la vie courante : titrages par pH-métrie, conductimétrie ou spectrophotométrie.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
<p>Mise en évidence par pH-métrie qu'une transformation n'est pas toujours totale et que la réaction chimique qui lui est associée a lieu dans les deux sens : les exemples sont pris dans le domaine acido-basique.</p> <p>Modélisation d'un état d'équilibre dynamique à l'échelle microscopique.</p>	<p>1. Une transformation chimique n'est pas toujours totale et la réaction a lieu dans les deux sens</p> <ul style="list-style-type: none"> - Introduction du pH et de sa mesure. - Mise en évidence expérimentale sur une transformation chimique donnée, d'un avancement final différent de l'avancement maximal. - Symbolisme d'écriture de l'équation de la réaction : le signe égal =. - Etat d'équilibre d'un système chimique. - Taux d'avancement final d'une réaction : $\tau = X_{\text{final}}/X_{\text{maximal}}$. - Interprétation à l'échelle microscopique de l'état d'équilibre en termes de cinétique : chocs efficaces entre entités réactives d'une part et entités produites d'autre part. 	<ul style="list-style-type: none"> - Définir un acide ou une base selon Brønsted. - Ecrire l'équation de la réaction associée à une transformation acido-basique et identifier dans cette équation les deux couples mis en jeu. - Connaître la définition du pH pour les solutions aqueuses diluées. - Être capable de mesurer la valeur du pH d'une solution aqueuse avec un pH-mètre. - Connaissant la valeur de la concentration et du pH d'une solution d'acide, calculer l'avancement final de la réaction de cet acide sur l'eau et le comparer à l'avancement maximal. - Connaître la définition du taux d'avancement final et le déterminer à partir d'une mesure.
<p>Mise en évidence par conductimétrie que, pour une réaction donnée, le quotient de réaction dans l'état d'équilibre du système est constant et ce, quel que soit l'état initial du système : les exemples sont pris sur des solutions d'acides carboxyliques à différentes concentrations.</p> <p>Détermination par conductimétrie du taux d'avancement final de la réaction de différents acides sur l'eau pour une même concentration initiale.</p>	<p>2. État d'équilibre d'un système</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quotient de réaction, Q_r : expression littérale en fonction des concentrations molaires des espèces dissoutes pour un état donné du système. - Généralisation à divers exemples en solution aqueuse homogène ou hétérogène (présence de solides). - Détermination de la valeur du quotient de réaction dans l'état d'équilibre du système, noté $Q_{r, \text{éq}}$. - Constante d'équilibre K associée à l'équation d'une réaction, à une température donnée. - Influence de l'état initial d'un système sur le taux d'avancement final d'une réaction. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser la relation liant la conductance G aux concentrations molaires effectives $[X_i]$ des ions X_i en solution. - Savoir que, lorsque l'état d'équilibre du système est atteint, les quantités de matière n'évoluent plus, et que cet état d'équilibre est dynamique. - En disposant de l'équation d'une réaction, donner l'expression littérale du quotient de réaction Q_r. - Savoir que le quotient de réaction dans l'état d'équilibre d'un système, $Q_{r, \text{éq}}$, prend une valeur, indépendante de la composition initiale, qui est la constante d'équilibre associée à l'équation de la réaction. - Savoir que, pour une transformation donnée, le taux d'avancement final dépend de la constante d'équilibre et de l'état initial du système.
<p>Activités documentaires et expérimentales autour du pH pour des produits de la vie courante et dans les milieux biologiques.</p> <p>Détermination par spectrophotométrie des domaines de distribution et de prédominance des formes acide et basique d'un indicateur coloré ; mise en évidence de la zone de virage d'un indicateur coloré.</p> <p>Détermination de la constante d'équilibre associée à l'équation de la réaction d'un indicateur coloré sur l'eau.</p> <p>Applications des transformations associées à des réactions acido-basiques : analyse d'une courbe $\text{pH} = f(V)$ et choix d'un indicateur coloré pour repérer l'équivalence.</p> <p>Titration d'un produit de la vie courante par pH-métrie, conductimétrie ou colorimétrie et applications*.</p>	<p>3. Transformations associées à des réactions acido-basiques en solution aqueuse</p> <ul style="list-style-type: none"> - Autoprotolyse de l'eau ; constante d'équilibre appelée produit ionique de l'eau, notée K_e et $\text{p}K_e$. - Echelle de pH : solution acide, basique et neutre. - Constante d'acidité, notée K_A et $\text{p}K_A$. - Comparaison du comportement en solution, à concentration identique, des acides entre eux et des bases entre elles. - Constante d'équilibre associée à une réaction acido-basique. - Diagrammes de prédominance et de distribution d'espèces acides et basiques en solution. - Zone de virage d'un indicateur coloré acido-basique. - Titration pH-métrique d'un acide ou d'une base dans l'eau en vue de déterminer le volume versé à l'équivalence et de choisir un indicateur coloré acido-basique pour un titrage. - Qu'en est-il des transformations totales ? - Détermination du taux d'avancement final d'une réaction sur un exemple de titrage acido-basique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Savoir que K_e est la constante d'équilibre associée à l'équation de la réaction d'autoprotolyse de l'eau. - Connaissant la valeur du pH d'une solution aqueuse, dire si elle est acide, basique ou neutre. - À partir de la concentration molaire des ions H_3O^+ ou OH^-, déduire la valeur du pH de la solution. - Associer la constante d'acidité K_A à l'équation de la réaction d'un acide sur l'eau. - Déterminer la constante d'équilibre associée à l'équation d'une réaction acido-basique à l'aide des constantes d'acidité des couples en présence. - Connaissant le pH d'une solution aqueuse et le $\text{p}K_A$ du couple acide/base indiquer l'espèce prédominante ; application aux indicateurs colorés. - Réaliser par suivi pH-métrique le titrage d'un acide ou d'une base en solution aqueuse. - Déterminer, à partir des résultats d'une expérience, le volume versé à l'équivalence lors d'un titrage acide-base*. - Montrer qu'un indicateur coloré convenablement choisi permet de repérer l'équivalence.

*Activités pouvant donner lieu à utilisation des technologies de l'information et de la communication

Commentaires

En classe de seconde et de première scientifique, les notations employées pour les concentrations en espèces dissoutes ne sont pas indiquées : [espèce dissoute]. Or ce sont des concentrations à l'état final et donc à l'état d'équilibre du système. En classe terminale, il importe de bien distinguer l'état initial du système de son état d'équilibre et donc d'indiquer les concentrations à l'état d'équilibre ainsi qu'à l'état initial. L'enseignant opère les choix qu'il juge appropriés. Il est suggéré d'employer l'indice i pour l'état initial ; pour l'état final : soit aucun indice, soit eq ou f . Le pH d'une solution aqueuse diluée est défini par l'écriture simplifiée $pH = -\log_{10} [H_3O^+]$. Dans cette relation $[H_3O^+]$ représente le nombre qui mesure la concentration molaire exprimée en $mol.L^{-1}$ (le logarithme se rapportant à un nombre sans dimension).

Les définitions du solvant et du soluté sont rappelées.

Sur l'exemple de la mise en solution d'un acide, tel l'acide éthanóique, l'objectif est de montrer par la mesure du pH que la transformation n'est pas totale. Il suffit pour cela de montrer que la concentration effective en ions H_3O^+ , égale à celle en ions acétate, est plus faible que la concentration apportée en acide éthanóique.

Les expériences complémentaires de mesures de pH consécutives à l'addition d'une goutte d'acide éthanóique pur ou d'éthanoate de sodium solide (pour ne pas trop modifier le volume de la solution) montrent que la réaction chimique mise en jeu s'effectue dans les deux sens, ce qui justifie l'utilisation d'un symbole symétrique.

Il n'existe pas d'accord international IUPAC pour l'écriture de la réaction chimique ; plusieurs écritures sont acceptées. Dans ce programme, il a été choisi d'introduire le signe $=$. Il indique, comme en classe de première, le bilan de matière et de charge. Il ne présume pas, lorsque toutes les espèces chimiques du système sont en présence, du sens dans lequel se fait la transformation.

Il a été choisi d'introduire le taux d'avancement final pour s'affranchir de la concentration initiale apportée en espèces dissoutes. Les interprétations sont ainsi rendues plus aisées, en particulier pour comparer les acides -respectivement les bases- entre eux, à concentration molaire identique.

Dans l'état initial du système (p, T , concentrations molaires des espèces dissoutes), le quotient de réaction Q_r associé à la réaction

$aA(aq) + bB(aq) = cC(aq) + dD(aq)$, est défini par :

$$Q_r = \frac{[C]_i^c \cdot [D]_i^d}{[A]_i^a \cdot [B]_i^b}$$

Dans l'écriture précédente, tout comme dans la définition du pH, la concentration molaire des espèces dissoutes [espèce dissoute], représente le nombre qui mesure la concentration molaire de cette espèce exprimée en $mol.L^{-1}$. La valeur du quotient de réaction n'est pas dimensionnée. Au moment de la généralisation, l'enseignant choisit ses exemples sur des transformations rencontrées dans les classes de seconde et de première scientifique (par exemple tests des ions). Dans l'expression du quotient de réaction n'interviennent que les concentrations molaires des espèces dissoutes.

L'activité expérimentale utilisant la conductimétrie a pour objectif de déterminer la valeur du quotient de réaction dans l'état d'équilibre du système et de montrer que cette valeur est constante pour différents états initiaux. Ce dernier est noté $Q_{r,eq}$ et sa valeur est identifiée à la constante d'équilibre, notée K , associée à l'équation de cette réaction ; la constante d'équilibre ne dépend que de la température ; ceci est mentionné sans justification ni mise en évidence expérimentale. Cette manipulation donne l'occasion de réinvestir les acquis de conductimétrie de la classe de première scientifique. Dans le cas de la réaction des acides sur l'eau, $Q_{r,eq} = K_A$.

La terminologie "acide fort", "acide faible" - respectivement "base forte" et "base faible" - est ambiguë : elle est parfois reliée à la valeur du K_A du couple acide/base par comparaison aux K_A des couples de l'eau et parfois à la valeur du taux d'avancement par rapport à 1.

Lors de l'étude des réactions acido-basiques, seuls les monoacides et les monobases sont considérés. Les valeurs des pK_A ne sont pas limitées entre 0 et 14 (ils peuvent prendre des valeurs négatives et supérieures à 14). Les exemples de solutions acides et basiques sont pris dans la vie courante. Les diagrammes de prédominance et de distribution des espèces acides et basiques dissoutes, la zone de virage d'un indicateur coloré acido-basique et le critère de choix d'un indicateur coloré acido-basique sont avantageusement introduits au cours des séances de travaux pratiques. Une espèce A est dite prédominante devant une espèce B dès que $[A] > [B]$.

Lors de la première étude d'une courbe de titrage par suivi pH-métrique, l'objectif du tracé et de l'analyse de cette courbe est, après avoir calculé le volume versé à l'équivalence en connaissant les concentrations molaires des réactifs, de repérer le point singulier, et de l'identifier comme étant l'équivalence. Ce point correspond à l'extremum du coefficient directeur de la tangente à la courbe.

Lors d'un titrage ultérieur, l'élève sait comment repérer le point singulier sur la courbe par une méthode graphique ou logicielle et peut déterminer le volume versé à l'équivalence. Le titrage d'un produit de la vie quotidienne est proposé.

Pour conclure cette partie, il est intéressant de questionner l'élève sur l'emploi du qualificatif de "transformation totale" employé jusqu'alors. Sur un exemple de titrage acido-basique, il est proposé de déterminer à l'aide de la valeur du pH (mesure ou lecture sur une courbe de titrage) la quantité de réactif titrant restant pour une valeur du volume versé inférieure à celle du volume versé à l'équivalence. Ceci permet de conclure que le taux d'avancement final est très proche de 1. La transformation est alors considérée comme totale.

C - Le sens "spontané" d'évolution d'un système est-il prévisible ?

Le sens d'évolution d'un système chimique peut-il être inversé ? (3 TP, 9 HCE)

Tout système chimique évolue spontanément vers un état d'équilibre. L'observation expérimentale du sens d'évolution de plusieurs systèmes permet de dégager un critère général d'évolution spontanée. Ce critère est illustré sur des réactions acido-basiques et des réactions d'oxydoréduction. Toutefois ce critère d'évolution ne prenant pas en compte les considérations cinétiques, il est possible de ne pas observer l'évolution prévue du système si celle-ci est très lente.

Tout comme la nature, le chimiste met à profit l'existence d'un sens spontané de l'évolution pour réaliser des conversions d'énergie. Après observation d'un transfert spontané d'électrons lorsque les espèces chimiques de deux couples oxydant/réducteur sont mélangées, il est montré qu'un transfert spontané d'électrons peut aussi se faire entre espèces chimiques séparées et que la transformation correspondante est alors utilisable pour récupérer de l'énergie électrique à l'aide d'un dispositif : la pile.

Pour un même système, il est parfois possible, en inversant le sens du courant électrique, de lui imposer un sens d'évolution non spontané. Cette transformation, qualifiée de "forcée", est l'électrolyse. Si, dans un dispositif, la transformation forcée est l'inverse de la transformation spontanée, il s'agit d'un accumulateur et l'électrolyse en constitue la "charge".

Les exemples de la respiration et de la photosynthèse permettent de faire un lien avec les sciences de la vie.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
<p><i>Emergence d'un critère d'évolution spontanée d'un système à partir de quelques expériences : mélange d'acide éthanoïque, d'éthanoate de sodium, d'acide méthanoïque, de méthanoate de sodium.</i></p> <p><i>Exemples de transformations pris dans le domaine de l'oxydoréduction : mélange de solutions d'ions fer(II), d'ions fer(III), d'ions iodure et de diiode ; mélange de solutions d'ions fer(II), d'ions Cu(II), de poudre de fer et de poudre de cuivre.</i></p>	<p>1. Un système chimique évolue spontanément vers l'état d'équilibre</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quotient de réaction, Q_r : expression littérale (rappel) et calcul de sa valeur pour un état quelconque donné d'un système. - Au cours du temps, la valeur du quotient de réaction Q_r tend vers la constante d'équilibre K (critère d'évolution spontanée). - Illustration de ce critère sur des réactions acido-basiques et des réactions d'oxydoréduction. 	<ul style="list-style-type: none"> - En disposant de l'équation d'une réaction, donner l'expression littérale du quotient de réaction Q_r, et calculer sa valeur dans un état donné du système. - Savoir qu'un système évolue spontanément vers un état d'équilibre. - Être capable de déterminer le sens d'évolution d'un système donné en comparant la valeur du quotient de réaction dans l'état initial à la constante d'équilibre, dans le cas de réactions acido-basiques et d'oxydoréduction.
<p><i>Réalisation et étude de piles par exemple : $Fe/Fe^{2+}/Cu^{2+}/Cu$ $Cu/Cu^{2+}/Ag^+/Ag$ $Zn/Zn^{2+}/Cu^{2+}/Cu$ (pile Daniell),</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - à l'aide d'un ampèremètre (mise en évidence du sens de circulation du courant), - à l'aide d'un voltmètre (mise en évidence d'une f.é.m.). <p>Activités documentaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> - perspectives historiques, - comparaison des caractéristiques de piles usuelles. 	<p>2. Les piles, dispositifs mettant en jeu des transformations spontanées permettant de récupérer de l'énergie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transferts spontanés d'électrons entre des espèces chimiques (mêlées ou séparées) de deux couples oxydant/réducteur du type ion métallique/métal, $M^{n+}/M(s)$. - Constitution et fonctionnement d'une pile : observation du sens de circulation du courant électrique, mouvement des porteurs de charges, rôle du pont salin, réactions aux électrodes. La pile, système hors équilibre au cours de son fonctionnement en générateur. Lors de l'évolution spontanée, la valeur du quotient de réaction tend vers la constante d'équilibre. La pile à l'équilibre "pile usée" : quantité d'électricité maximale débitée dans un circuit. - Force électromotrice d'une pile (f.é.m.) E : mesure, polarité des électrodes, sens de circulation du courant (en lien avec le cours de physique). - Exemple de pile usuelle. 	<ul style="list-style-type: none"> - Schématiser une pile - Utiliser le critère d'évolution spontanée pour déterminer le sens de déplacement des porteurs de charges dans une pile. - Interpréter le fonctionnement d'une pile en disposant d'une information parmi les suivantes : sens de circulation du courant électrique, f.é.m., réactions aux électrodes, polarité des électrodes ou mouvement des porteurs de charges. - Écrire les réactions aux électrodes et relier les quantités de matière des espèces formées ou consommées à l'intensité du courant et à la durée de la transformation, dans une pile et lors d'une électrolyse.
<p><i>Mise en évidence expérimentale de l'électrolyse sur un exemple.</i></p> <p><i>Applications pratiques : exemples de l'accumulateur au plomb et de l'électrolyse de la solution aqueuse de chlorure de sodium.</i></p> <p><i>Applications à quelques systèmes chimiques pris dans le domaine de la vie : respiration, photosynthèse, par exemple.</i></p>	<p>3. Exemples de transformations forcées</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mise en évidence expérimentale de la possibilité, dans certains cas, de changer le sens d'évolution d'un système en imposant un courant de sens inverse à celui observé lorsque le système évolue spontanément (transformation forcée). - Réactions aux électrodes, anode et cathode. - Application à l'électrolyse : principe et exemples d'applications courantes et industrielles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Savoir que l'électrolyse est une transformation forcée. - Connaissant le sens du courant imposé par le générateur, identifier l'électrode à laquelle se produit la réaction d'oxydation (anode) et l'électrode à laquelle se produit la réaction de réduction (cathode).

Commentaires

La constante d'équilibre K ne permet pas de prévoir le sens d'évolution du système ; il est proposé d'utiliser comme critère la comparaison du quotient de réaction Q_r avec la constante d'équilibre K , à l'exclusion de toute considération cinétique. Dire que tout système évolue spontanément vers un état d'équilibre c'est dire que la valeur du quotient de réaction Q_r tend vers la constante d'équilibre K . Trois situations peuvent être envisagées :

$Q_r < K$, le sens spontané de la transformation est le sens direct,

$Q_r > K$, le sens spontané de la transformation est le sens inverse,

$Q_r = K$, le système n'évolue pas macroscopiquement. L'état d'équilibre du système est atteint.

Il est alors possible, en connaissant les concentrations molaires des espèces dissoutes dans l'état initial, de dire dans quel sens la transformation évolue.

La constante d'équilibre n a de sens qu'associée à une équation de réaction donnée. L'équation de réaction est écrite avec des nombres stœchiométriques entiers les plus petits possibles.

Concernant les réactions d'oxydoréduction, après avoir illustré le critère d'évolution spontanée, il est mis en évidence expérimentalement qu'un transfert d'électrons peut se faire en séparant les deux couples oxydant/réducteur. Ce dispositif peut produire un courant électrique utilisable, sous réserve de conditions cinétiques favorables. L'énergie libérée lors de la transformation chimique correspondante est partiellement convertie en travail électrique (ceci a été vu dans le programme de physique de la classe de première scientifique). Les piles réalisées expérimentalement ne font intervenir que des couples $M^{n+}/M(s)$.

Cette partie s’ancre dans l’environnement quotidien des élèves au travers des piles (“piles” rechargeables ou accumulateurs). Elle permet d’éclairer la lecture des indications figurant sur ces objets et sur leur emballage : type de pile (alcaline, par exemple), f.é.m., la mention *Ne pas recharger*, etc.

L’objectif suivant est d’amener les élèves à envisager la possibilité d’inverser le sens d’évolution d’un système chimique et de présenter expérimentalement l’électrolyse.

Il n’est pas possible, lors d’une électrolyse, de demander à l’élève de prévoir les réactions ayant lieu aux électrodes. Cependant, étant à même d’envisager les possibilités théoriques de réactions aux électrodes (en ayant connaissance des couples oxydant/réducteur mis en jeu), l’élève peut interpréter les observations expérimentales.

Quelques applications pratiques de piles usuelles et d’électrolyses peuvent donner lieu à des activités documentaires. L’enseignant donne une présentation simplifiée des piles et de l’accumulateur au plomb. Il sensibilise l’élève aux dangers potentiels lors du démontage d’une pile ou d’un accumulateur, ainsi qu’à la récupération des piles.

La respiration et la photosynthèse sont présentées de façon simple sous l’angle des transformations spontanées et des transformations forcées, sans faire appel aux connaissances spécifiques des programmes de sciences de la vie. Ces deux phénomènes illustrent le fonctionnement de systèmes chimiques dans des milieux biologiques. L’utilisation d’une pile (transformation spontanée) comme générateur électrique pour réaliser une électrolyse (transformation forcée) permet de faire l’analogie avec le couplage en sciences de la vie.

D - Comment le chimiste contrôle-t-il les transformations de la matière ?

Exemples pris dans les sciences de l’ingénieur et dans les sciences de la vie (4 TP, 7 HCE)

L’objectif de cette partie est de montrer que le chimiste peut, dans le cas d’une transformation spontanée, en contrôler la vitesse et le rendement. L’exemple des réactions d’estérification et d’hydrolyse sert de support à cette partie et permet de réinvestir les connaissances de l’élève sur la cinétique et sur l’état d’équilibre des systèmes chimiques. Le chimiste peut en particulier déplacer l’état d’équilibre dans un sens choisi, pour améliorer le rendement d’une synthèse.

Le contrôle de l’évolution des systèmes chimiques est illustré par des exemples pris dans l’industrie des parfums, des arômes, des savons et des médicaments et dans le domaine des sciences de la vie.

L’enseignant aborde quelques domaines de la chimie contemporaine dans lesquels les chimistes contrôlent la vitesse et le rendement d’une synthèse en utilisant une espèce plus réactive et un catalyseur.

Quelques exemples de catalyse sont proposés. La catalyse enzymatique, en particulier, contrôle les systèmes chimiques dans les milieux biologiques ; l’élève découvre que ces systèmes obéissent aussi aux lois physico-chimiques.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
<p><i>Découvrir que les transformations faisant intervenir des réactions d'estérification et d'hydrolyse sont lentes, qu'elles conduisent à un état d'équilibre et qu'il est possible de modifier la vitesse et/ou le taux d'avancement final de ces réactions.</i></p>	<p>1. Les réactions d'estérification et d'hydrolyse</p> <ul style="list-style-type: none"> - Formation d'un ester à partir d'un acide et d'un alcool, écriture de l'équation de la réaction correspondante, appelée réaction d'estérification. - Hydrolyse d'un ester, écriture de l'équation de la réaction correspondante. - Mise en évidence expérimentale d'un état d'équilibre lors des transformations faisant intervenir des réactions d'estérification et d'hydrolyse. - Définition du rendement d'une transformation. - Définition d'un catalyseur. - Contrôle de la vitesse de réaction : température et catalyseur. - Contrôle de l'état final d'un système : excès d'un réactif ou élimination d'un produit. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reconnaître dans la formule d'une espèce chimique organique les groupes caractéristiques : - OH, - CO.H, - CO₂R, - CO-O-CO-. - Écrire l'équation des réactions d'estérification et d'hydrolyse. - À partir de la formule semi-développée d'un ester, retrouver les formules de l'acide carboxylique et de l'alcool correspondants. - Savoir nommer les esters comportant cinq atomes de carbone au maximum. - Savoir que les réactions d'estérification et d'hydrolyse sont inverses l'une de l'autre et que les transformations associées à ces réactions sont lentes. - Savoir qu'un catalyseur est une espèce qui augmente la vitesse d'une réaction chimique sans figurer dans l'équation de la réaction et sans modifier l'état d'équilibre du système. - Savoir que l'excès de l'un des réactifs et/ou l'élimination de l'un des produits déplace l'état d'équilibre du système dans le sens direct.
<p><i>Synthèse de l'aspirine à partir d'un anhydride d'acide. Identification par chromatographie sur couche mince.</i></p> <p><i>Synthèse et propriétés d'un savon.</i></p> <p><i>Choix des conditions expérimentales permettant, lorsque plusieurs réactions chimiques interviennent dans une transformation, d'en privilégier une. Exemple d'application : titrage direct de l'aspirine.</i></p> <p><i>Expériences qualitatives sur la catalyse. Recherche documentaire sur la catalyse et ses applications.</i></p>	<p>2. Des exemples de contrôle de l'évolution de systèmes chimiques pris dans l'industrie chimique et dans les sciences de la vie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Changement d'un réactif Synthèse d'un ester à partir d'un anhydride d'acide et d'un alcool. Hydrolyse basique des esters : applications à la saponification des corps gras (préparations et propriétés des savons, relations structure-propriétés). - Utilisation de la catalyse Catalyse homogène, hétérogène, enzymatique : sélectivité des catalyseurs. 	<ul style="list-style-type: none"> - Calculer le rendement d'une transformation. - <i>Mettre en œuvre au laboratoire, en justifiant le choix du matériel à utiliser : chauffage à reflux, distillation fractionnée, cristallisation, filtration sous vide, chromatographie sur couche mince.</i> - <i>Respecter les consignes de sécurité.</i> - Justifier les étapes d'un protocole - Écrire l'équation de la réaction d'un anhydride d'acide sur un alcool et de l'hydrolyse basique d'un ester. - Savoir que l'action d'un anhydride d'acide sur un alcool est rapide, qu'elle donne un ester et que l'avancement maximal est atteint. - Savoir que l'hydrolyse basique d'un ester est rapide et que l'avancement maximal est atteint. - Identifier la partie hydrophile et la partie hydrophobe d'un ion carboxylate à longue chaîne. - Savoir qu'un catalyseur agit sélectivement lors d'une transformation.

Commentaires

En chimie organique, deux nouvelles familles de composés sont introduites : les esters et les anhydrides d'acide. Ceci est l'occasion de développer quelques applications industrielles et de réinvestir les connaissances de la classe de première scientifique concernant les groupes caractéristiques.

La reconnaissance de ces groupes et la nomenclature qui s'y rapporte se fait au fur et à mesure de l'introduction des familles de composés correspondantes, en cours ou en travaux pratiques.

Concernant le contrôle de l'évolution du système, un raisonnement qualitatif permet d'amener l'élève à concevoir que l'ajout d'un des réactifs ou l'élimination d'un des produits entraîne la diminution du quotient de réaction Q_r , ce qui met le système dans une situation où la valeur de Q_r est inférieure à K . Le système évolue donc spontanément dans le sens direct.

Seul l'anhydride d'acide est proposé comme exemple de réactif pour améliorer le rendement de la synthèse d'un ester. Il n'est pas donné de justification sur la réactivité de l'anhydride d'acide comparée à celle d'un acide carboxylique.

Les savons illustrent la réaction d'hydrolyse des esters en milieu basique et ouvrent la porte à un réinvestissement des relations structures-propriétés abordées en classe de première scientifique lors de l'étude des solutions électrolytiques et de l'influence de la chaîne carbonée sur les propriétés physiques.

Il est exceptionnel de rencontrer des situations réelles où une seule réaction est associée à une transformation, ce qui est l'unique situation connue de l'élève jusqu'alors. Sur un exemple, l'enseignant montre que dans des conditions expérimentales appropriées (température,

concentration des réactifs, pH, etc.), il est possible de privilégier une réaction et donc d'obtenir de façon majoritaire un produit de synthèse ou de faire un contrôle de qualité : il est possible par exemple de vérifier par titrage direct la quantité d'aspirine dans un comprimé en évitant la saponification.

Contrairement aux deux facteurs cinétiques -température et concentration- étudiés dans la première partie, qui agissent sur la probabilité de chocs efficaces entre entités réactives, le catalyseur modifie le mécanisme réactionnel (les mécanismes réactionnels ne sont pas abordés avec les élèves dans ce programme). Un catalyseur est spécifique à une réaction, il ne modifie pas l'état d'équilibre du système car il accélère à la fois les réactions directe et inverse. Enfin, dans l'industrie, le choix d'un catalyseur spécifique permet d'orienter une synthèse vers un produit particulier lorsque plusieurs produits sont susceptibles de se former. L'autocatalyse n'est pas évoquée.

V - CHIMIE - ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

Le chimiste et le quotidien (14 séances de 2 heures dont 11 séances de manipulation et 3 séances consacrées aux exercices et aux évaluations sommatives)

Objectifs généraux

L'enseignement de spécialité s'adresse aux élèves qui désirent consolider et diversifier leur culture scientifique en physique et en chimie et pratiquer des activités au laboratoire. Il vise, avant tout, à développer des compétences expérimentales.

L'élève est amené à exploiter ou à élaborer un protocole expérimental et à le justifier en proposant des interprétations fondées sur des connaissances acquises.

Cet enseignement met en relief les activités du chimiste ainsi que les techniques ou procédés utilisés au laboratoire ou dans l'industrie :

- extraire et identifier des espèces chimiques,
- créer et reproduire des espèces chimiques,
- effectuer des contrôles de qualité,
- élaborer un "produit" de consommation : de la matière première à la formulation.

Les exemples sont pris parmi les "produits" de la vie quotidienne ou d'intérêt industriel. De nombreuses manipulations sont proposées qui ne sont pas limitatives. Chaque manipulation proposée correspond à une séance de TP. **Le choix à opérer et l'ordre pour les traiter sont laissés à la liberté de l'enseignant.** L'enseignant peut aussi structurer son enseignement **en regroupant les manipulations autour d'un ou de plusieurs thème(s) directeur(s)**, en cohérence avec les concepts présentés dans l'enseignement obligatoire.

Sous l'intitulé "réinvestissements", il est fait référence aux contenus des programmes de l'enseignement obligatoire de la classe de cinquième à la classe terminale scientifique.

Les situations sur lesquelles l'élève travaille (analyse, synthèse, etc.) mettent en jeu des espèces chimiques qui sont situées dans l'histoire de leur découverte et dans leur champ d'application à partir d'une documentation fournie par l'enseignant ou recherchée par l'élève. Concernant les "contrôles de qualité", chaque fois que possible, il est demandé de comparer les résultats relatifs à la détermination d'une quantité de matière à des normes fournies.

A - Extraire et identifier des espèces chimiques (2 séances)

TECHNIQUES MISES EN JEU ET ACTIVITÉS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
<p>Extraction (1 séance)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eugénol dans le clou de girofle. - Citral et limonène dans l'écorce de citron, d'orange et dans les feuilles de verveine. - Trimyristine dans la noix de muscade. - Acide gallique dans la poudre de Tara. 	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser une chromatographie par une technique donnée (couche mince, papier ou colonne). - Exploiter un chromatogramme. - Réaliser une extraction liquide-liquide.
<p>Chromatographie (adsorption et partage) sur couche mince, sur papier ou sur colonne (pipette Pasteur) (1 séance)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colorants alimentaires dans un sirop, dans une boisson rafraîchissante sans alcool ou dans une confiserie. - Colorants du paprika. - Sucres dans un jus de fruit. - Identification des principes actifs dans un médicament (aspirine, paracétamol et caféine). - Analyse d'un laiton. - Acides aminés, produits d'hydrolyse de l'aspartame. - Pigments dans les plantes vertes (épinard, oseille, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> - Commenter un montage expérimental. - Choisir la verrerie appropriée pour réaliser une manipulation en disposant du protocole expérimental et d'une liste de matériel et de produits disponibles.

Réinvestissements

Relations structure-propriétés.

B - Créer et reproduire des espèces chimiques (2 séances)

TECHNIQUES MISES EN ŒUVRE LORS D'UNE SYNTHÈSE	COMPÉTENCES EXIGIBLES
<ul style="list-style-type: none"> - Conservateur alimentaire : acide benzoïque. - Colorant alimentaire : amarante. - Arôme : vanilline. - Synthèse d'une imine présentant les propriétés d'un cristal liquide. - Synthèse d'un amide à propriétés analgésiques : le paracétamol. - Synthèse d'un polyamide : le nylon. 	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser les opérations suivantes : chauffage à reflux, distillation, lavage d'une phase organique, séchage d'une phase organique liquide, extraction liquide-liquide, séchage d'un solide, cristallisation, recristallisation. - Appliquer des consignes de sécurité. - Justifier les opérations d'un protocole à partir de données physico-chimiques (température de changement d'état, solubilité, pH, densité). - Calculer un rendement. - Reconnaître le groupe caractéristique amide.

Réinvestissements

Groupes caractéristiques.

Équilibre chimique.

Tableau descriptif de l'évolution d'un système chimique.

Contrôle d'une transformation chimique.

C - Effectuer des contrôles de qualité* (4 séances)

TECHNIQUES MISES EN JEU ET ACTIVITÉS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
<p>A - Étalonnage (1 séance)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ions fer dans un vin ou dans une bande magnétique. - "Chlore" dans une eau de piscine. - Colorant alimentaire dans des confiseries. - Cuivre dans un lait. - Bleu de méthylène dans un collyre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer un dosage par étalonnage d'un dosage par titrage d'après le protocole expérimental. - Exploiter une courbe d'étalonnage. - Réaliser un titrage acide-base en présence d'un indicateur coloré ou à l'aide d'un pH-mètre. - Exploiter un titrage. - Utiliser les domaines de prédominance des espèces acide et basique pour justifier un protocole. - Distinguer un titrage direct d'un titrage indirect d'après le protocole expérimental.
<p>B - Titrage direct (d), indirect (i)</p> <p>1. Réaction d'oxydoréduction (1 séance)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vitamine C dans un jus de citron (d ou i). - Éthanol dans un vin (i). - Eau oxygénée officinale (d). - Eau de Javel (i). - Dioxyde de soufre total dans un vin blanc (i). - Ions fer dans un produit phytosanitaire, un minéral ou une bande magnétique (i). <p>2. Réaction acido-basique (1 séance)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Titrages directs suivis par pH-métrie ou indicateur de fin de réaction. • Titrage de l'acide <ul style="list-style-type: none"> - Acide lactique dans un lait. - Vitamine C dans un comprimé. - Indice d'acide d'une huile. • Titrage de la base <ul style="list-style-type: none"> - Ions hydrogencarbonate dans une eau minérale ou dans une solution de perfusion de pharmacie. - Ammoniaque de droguerie. <p>3. Autres réactions (1 séance)</p> <p>3.1 Réaction de précipitation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indicateur de fin de réaction <ul style="list-style-type: none"> - Ions chlorure dans une eau ou dans un absorbeur d'humidité (d). - Ions argent dans un papier ou un film photographique (d). • Conductimétrie <ul style="list-style-type: none"> - Ions chlorure dans une eau minérale (d). - Ions sulfate dans une eau minérale (d). - Métal lourd dans une eau usée (ions argent, ions plomb(II), etc.) (d). <p>3.2 Réaction de complexation, avec indicateur de fin de réaction</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ions calcium et magnésium dans une eau minérale (d). - Ions calcium seuls dans une eau minérale ou dans un absorbeur d'humidité (d). <p>3.3 Autres</p> <ul style="list-style-type: none"> - Indice d'iode d'une huile (insaturation) par le réactif de Wijs (i). 	

* Activités pouvant donner lieu à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication.

Réinvestissements

Réactions acido-basiques.
Réactions d'oxydoréduction.
Tableau descriptif de l'évolution d'un système chimique.
Équivalence.
Domaine de prédominance des espèces chimiques.
Grandeurs physiques : absorbance, conductance, pH.

D - Élaborer un "produit" de consommation : de la matière première à la formulation (3 séances)

TECHNIQUES MISES EN JEU ET ACTIVITÉS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
<p>1. Séparer (1 séance) Illustrations de quelques procédés utilisés en hydroméallurgie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Production d'un oxyde à partir d'un minéral : <ul style="list-style-type: none"> - alumine, une étape dans l'élaboration de l'aluminium, - dioxyde de titane(IV), une étape dans l'élaboration du titane. • Séparation : <ul style="list-style-type: none"> - des ions fer(III) des ions zinc(II), une étape dans l'élaboration du zinc, - des ions fer(III) des ions cuivre(II), une étape dans l'élaboration du cuivre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser le montage électrique permettant d'effectuer une électrolyse. - Écrire les réactions aux électrodes et relier les quantités de matière des espèces formées ou consommées à l'intensité du courant et à la durée de la transformation lors d'une électrolyse. - Justifier les opérations d'un protocole à partir de données physico-chimiques (température de changement d'état, solubilité, pH, densité).
<p>2. Électrolyser (1 séance) Purifier, protéger (contre la corrosion), embellir, récupérer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Affinage du cuivre. • Dépôt électrolytique : <ul style="list-style-type: none"> - anodisation de l'aluminium, - étamage électrolytique de l'acier, - électrozingage. • Récupération de l'étain (traitements d'effluents liquides). 	
<p>3. Formuler, conditionner*(1 séance) Recherche documentaire avec support expérimental chaque fois que possible</p> <ul style="list-style-type: none"> - les différentes formulations de l'aspirine et du paracétamol, - les conservateurs alimentaires, - les emballages alimentaires. 	

* Activités pouvant donner lieu à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication.

Réinvestissements

Réactions acido-basiques.
Réactions d'oxydoréduction.
Électrolyse.