

collection Lycée – voie générale et technologique  
série Programmes

# Physique-chimie

**classe de première**  
**série scientifique (S)**

Ministère de l'éducation nationale  
Direction de l'enseignement scolaire

édition mai 2002

Centre national de documentation pédagogique

**Coordination éditoriale**

Christine NOTTRELET  
et son équipe

Christine ALABERT – Jeannine DEVERGILLE – Maryse LAIGNEL  
37, rue Jacob – 75006 PARIS – Tél. : 01 44 55 61 87...

**Secrétariat d'édition**

AMC Éditions

**Maquette**

Fabien BIGLIONE

**Maquette de couverture**

Catherine VILLOUTREIX

© 2002 - CNDP, 29, rue d'Ulm, 75005 Paris

ISBN : 2-240-73016-9

ISSN : 1624-5393

« Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant aux termes de l'article L. 122-5 2° et 3°, d'une part, que "les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que "les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, polémique, pédagogique, scientifique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées", **toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, faite sans le consentement du CNDP est illicite** (article L. 122-4). Cette représentation ou reproduction par quelque procédé que ce soit constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. »

# Sommaire

<b>Textes officiels</b> .....	5
-------------------------------	---

<b>Horaires</b> .....	6
-----------------------	---

## **Principes directeurs de l'enseignement de la physique**

<b>L'enseignement des sciences au lycée</b> .....	9
---	---

## **Programme**

<b>Introduction</b> .....	15
---------------------------	----

Objectifs et présentation synthétique.....	15
--	----

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) .....	18
--	----

Un enseignement expérimental .....	18
------------------------------------	----

Compétences transversales .....	20
---------------------------------	----

<b>Programme de physique</b> .....	23
------------------------------------	----

Les interactions fondamentales .....	23
--------------------------------------	----

Forces, travail et énergie.....	24
---------------------------------	----

Électrodynamique.....	30
-----------------------	----

Optique.....	34
--------------	----

<b>Programme de chimie</b> .....	37
----------------------------------	----

La mesure en chimie.....	37
--------------------------	----

La chimie créatrice.....	43
--------------------------	----

L'énergie au quotidien : la cohésion de la matière et les aspects énergétiques de ses transformations	46
---	----

# T extes officiels

■ **Arrêté du 9 août 2000**

Fixant le programme de la classe de première.  
BO hors série n° 7 du 31 août 2000.

# H oraires

■ **Arrêté du 19 juin 2000**

Fixant les horaires des classes de seconde, de première et terminale.  
BO n° 29 du 27 juillet 2000.

<b>Classe de première</b>	
<b>Enseignement obligatoire</b>	<b>Horaire</b>
Physique-chimie	2,5 + (2)

( ) L'horaire entre parenthèses est un horaire en classe dédoublée.

Principes directeurs  
de l'enseignement  
de la physique



## enseignement des sciences au lycée

L'enseignement des sciences au lycée est d'abord conçu pour faire aimer la science aux élèves, en leur faisant comprendre la démarche intellectuelle, l'évolution des idées, la construction progressive du corpus de connaissances scientifiques.

L'aspect culturel doit donc être privilégié. Naturellement, il est impossible d'apprécier une discipline, sans avoir un certain nombre de connaissances de base. L'enseignement conduira donc à faire acquérir à l'élève une culture scientifique élémentaire. Il incitera certains élèves à s'orienter vers les filières à dominante scientifique et à choisir plus tard des métiers liés aux sciences et aux technologies. Mais pour ceux qui choisiront une autre voie, cet enseignement devra les amener à continuer à s'intéresser aux sciences, à ne pas en avoir peur, à pouvoir aborder ultérieurement la lecture des revues scientifiques de vulgarisation sans appréhension, enfin, à participer à des choix citoyens sur des problèmes où la science est impliquée.

Une règle guide l'élaboration des programmes scientifiques (sauf en mathématiques). L'enseignement du lycée doit être construit comme un tout, donc indépendant de l'enseignement fait au collège qui ne se place pas sur le même registre de modélisation et de formalisation. Le contraste souhaitable lors du passage de la classe de troisième à celle de seconde est assuré en évitant, dans toute la mesure du possible, de reprendre les mêmes sujets d'étude.

Cet enseignement des sciences au lycée est construit, sans doute pour la première fois, comme un tout et non comme une simple juxtaposition de disciplines contiguës.

L'idée première est que l'on ne peut évidemment pas faire de géologie sans biologie, chimie et physique, que l'on ne peut pas comprendre la biologie sans chimie et un peu de physique, que l'on ne peut faire de chimie sans physique. Il y a donc un degré de dépendance. En même temps, chaque discipline a des raisonnements, des approches, des apports qui sont indépendants, originaux et spécifiques. De plus, les programmes des disciplines expérimentales ne sont tributaires des mathématiques ni dans leur libellé, ni dans l'évaluation notamment terminale des élèves. Les programmes de mathématiques prennent en compte ceux des autres sciences tout en gardant leur logique interne et leurs objectifs propres.

Au souci d'intégration des diverses disciplines dans une conception globale de la science, fait écho un autre souci : celui de situer les développements scientifiques dans le contexte historique. Ainsi, un certain nombre de développements scientifiques emblématiques seront examinés à la fois dans les cours de sciences et dans les cours d'histoire dont les programmes rénovés engloberont cette dimension.

De la même manière, les questions traitant de l'environnement seront abordées sous des angles complémentaires en sciences naturelles, en physique et chimie, en géographie.

Ces exemples montrent que les enseignements devront être coordonnés afin de chercher à offrir un enseignement global plus intégré marquant clairement les liens entre sciences et non pas une approche parcellisée. Ce travail est difficile à faire mais indispensable. Le travail d'intégration est facilité, d'une part, par le libellé des programmes proprement dits et, d'autre part, par l'existence nouvelle d'enseignements thématiques et de travaux personnels encadrés faisant appel à plusieurs disciplines.

Le choix des sujets et l'organisation de l'enseignement thématique sont faits par l'enseignant en toute liberté. Cet enseignement ne doit introduire aucune notion nouvelle ; il peut concerner l'approfondissement d'un chapitre du cours ou un sujet transversal rapprochant quelques notions apparemment éloignées. Son contenu pourra faire l'objet d'un travail entre disciplines, qu'elles soient scientifiques, historiques ou même littéraires, et pousse donc à une intégration des enseignements. La meilleure manière de faire comprendre aux élèves les liens profonds entre les disciplines scientifiques est de leur faire acquérir, à partir d'approches pluridisciplinaires, des repères fondamentaux. Ces approches seront développées par l'équipe enseignante en utilisant en particulier les enseignements thématiques et les travaux personnels encadrés.

Les problèmes d'environnement offrent un exemple typique. L'approche des systèmes complexes, qui est celle des sciences de la vie et de la Terre par excellence, est reprise dans toute son ampleur à leur sujet. L'élève prend conscience que pour comprendre ces problèmes d'environnement il devra, dans sa démarche, faire appel au-delà des sciences de la vie et de la Terre, aux sciences physiques, aux mathématiques, à la géographie, voire à d'autres disciplines.

La logique pédagogique que sous-tendent ces nouvelles approches est que le développement des sciences se fait par un va-et-vient entre l'observation et l'expérience d'un côté, la conceptualisation et la modélisation de l'autre, et que l'exposé axiomatique de la science déjà faite ne correspond pas au mouvement de la science en train de se faire.

L'exercice de modélisation du réel est sans doute la démarche la plus importante et aussi la plus difficile dans la démarche scientifique. Passer du concret à l'abstrait, de l'observation à sa traduction formalisée demande que l'on soit capable d'extraire du monde réel une représentation simplifiée, le degré de simplification dépendant du niveau où l'on se situe. La modélisation fait appel à des langages symboliques qui, suivant les cas, peuvent être des diagrammes, des schémas ou des expressions mathématiques. Le professeur doit s'efforcer sur des exemples simples de montrer comment se fait la modélisation, ceci dans toutes les sciences.

L'expérimentation est une démarche essentielle des sciences. Elle consiste à imaginer, à inventer des situations reproductibles permettant d'établir la réalité d'un phénomène ou d'en mesurer les paramètres. Cette démarche qui appartient à toutes les sciences envahit aujourd'hui, du fait de l'ordinateur, les mathématiques. Il faut enseigner à l'élève cette démarche, en acceptant les tâtonnements, les erreurs, les approximations. Pour ce faire, il vaut mieux faire réaliser quelques expériences, en petit nombre mais bien choisies et bien comprises, plutôt que de multiplier les expériences rapides.

La science n'est pas faite de certitudes, elle est faite de questionnements et de réponses qui évoluent et se modifient avec le temps. Tout ceci montre qu'il faut privilégier avant tout l'enseignement de la démarche scientifique incluant l'apprentissage de l'observation et de l'expérience.

Il faut également éliminer l'idée que la difficulté doit croître de la seconde à la terminale. Au contraire, un esprit de quinze ans est stimulé par une réflexion sur un sujet difficile autant qu'un esprit de dix-huit ans. Mais le mot difficulté n'est pas synonyme de degré de mathématisation. La structure de l'ADN est difficile à bien comprendre, la notion d'inertie en physique est subtile à assimiler.

Enfin, et ce n'est pas la moindre difficulté de l'enseignement scientifique, il faut pousser l'élève à se poser des questions et éviter de donner des réponses avant qu'il ait formulé les questions. L'élève, bien sûr, ne va pas poser à lui seul les « bonnes questions » – il ne faut pas être naïf – mais on peut petit à petit amener la classe dans son ensemble, si ce n'est à toujours énoncer les questions pertinentes, tout au moins à comprendre le mécanisme du questionnement.

Dans bien des cas, rien ne peut remplacer l'exposé historique. Celui-ci a un côté culturel irremplaçable, qui situe la découverte scientifique dans son contexte temporel mais aussi montre comment les découvertes scientifiques ont influencé le cours de l'histoire. L'exposé historique permet de mesurer la difficulté que l'humanité a

rencontrée pour résoudre des problèmes qui peuvent aujourd'hui sembler élémentaires (2000 ans pour que l'on comprenne que la chute des corps dans le vide est identique pour tous les corps, quels que soient leur volume ou leur masse).

Les mathématiques sont aujourd'hui dans une situation particulière. Science des formes et des nombres, la mathématique est amenée à sortir de son style et de ses pratiques traditionnelles grâce au développement et à la généralisation de l'ordinateur. Elle se rapproche des sciences expérimentales, grâce à l'expérimentation numérique, à la simulation, et à ce que l'on peut appeler la démonstration empirique. En même temps, libérées du poids des calculs, notamment en analyse, les mathématiques peuvent mieux se concentrer sur la manipulation de nouveaux concepts, sur le développement de nouvelles applications comme celles requises justement par l'informatique. Ici encore, le récit des développements et des débats historiques, des approches variées de l'efficacité nouvelle des mathématiques appliquées doivent faire partie intégrante de l'enseignement. La notion de fonction est centrale au lycée et son étude donne l'occasion d'aborder des phénomènes non linéaires dans diverses disciplines.

Alors même que nous développons l'usage des technologies de l'information et de la communication au lycée (95 % des lycées sont connectés sur Internet), on ne comprendrait pas que l'enseignement scientifique ne soit pas en priorité engagé dans cette utilisation. Tous les programmes seront donc réalisés en faisant appel à ces techniques.

# Programme

# Introduction

## A - Objectifs et présentation synthétique

### De la classe de seconde à la série scientifique

Le programme de seconde a été conçu « pour faire sens par lui-même [...] tout en fournissant des bases solides à ceux qui continueront dans la voie scientifique » (*BO* hors série n° 6 du 12 août 1999). Cette double caractéristique résulte de la nature hétérogène du public auquel ce programme s'adresse, public constitué pour un tiers seulement d'élèves qui optent pour la filière scientifique. Ces bases posées à la fois pour le court et le long terme sont de nature diverses : certaines relèvent des contenus, d'autres de la méthodologie. S'agissant du registre des contenus, c'est la mise en place du double regard microscopique-macroscopique qui est essentielle ; s'agissant de la méthodologie, c'est la pratique du questionnement qui paraît cruciale. La logique qui préside à la construction du programme de la série S est en partie différente de celle de la classe de seconde, puisqu'il s'agit dorénavant de construire la discipline pour l'avenir d'élèves qui ont fait le choix de s'intéresser aux sciences. Mais sur les deux aspects mentionnés ci-dessus, qui peuvent d'ailleurs servir de grille de lecture et d'interprétation, le programme de la classe de première S s'inscrit dans la continuité de la classe de seconde.

Concernant le double regard microscopique-macroscopique, les élèves ont été amenés en seconde à s'interroger sur la structuration de la matière à différentes échelles. En physique, c'est directement l'objet de l'exploration des échelles de distances et de temps ; l'explicitation des contenus microscopiques des notions de température et de pression procède de la même préoccupation ; c'est également le cas en chimie lors de l'étude de la structure des atomes et des molécules et lors du suivi, au niveau macroscopique, de l'évolution d'un système chimique. On le voit : ce thème est sous-jacent à l'ensemble du programme. Au cours des deux années de la filière S, les élèves verront que cette structuration renvoie aux caractéristiques des interactions fondamentales s'exerçant entre constituants élémentaires.

Il faut remarquer que cette culture est indispensable pour se repérer dans le foisonnement des techniques modernes qui interviennent couramment à toutes les échelles, depuis le micron jusqu'à la taille de la Terre. Les biotechnologies et l'industrie des composants électroniques se placent à un bout de la chaîne, l'industrie des satellites d'observation de la Terre ou de télécommunication se placent à l'autre bout. L'échelle mésoscopique – en gros, du nanomètre au micron – et celle du système solaire (projets de satellites vers Mars) relèvent encore du laboratoire, mais leurs enjeux sont régulièrement discutés dans les revues de vulgarisation et même dans les journaux quotidiens. Quant à l'échelle du femtomètre – celle du noyau atomique –, il suffit de mentionner que plus de 70 % de l'électricité est, en France, d'origine nucléaire.

### Quelques précisions à présent concernant le questionnement

Dans l'introduction relative au programme de seconde, était mis en avant l'intérêt de privilégier en classe des activités de réflexion scientifique construites sur des situations-problèmes donnant naissance à un questionnement. Ce questionnement, on le sait, ne saurait se réduire à la simple observation expérimentale. L'observation d'un phénomène ne devient scientifique que si elle alimente l'élaboration de

représentations mentales de la réalité observée. On peut observer la rétrogradation de Mars sans que cela pose problème ; il n'y a questionnement que lorsque l'on essaie d'imaginer quel mouvement relatif de Mars et de la Terre peut conduire à cette observation. On peut observer le mouvement brownien sans s'interroger sur sa cause ; « voir » dans ce mouvement les molécules sous-jacentes représente une anticipation d'une hardiesse qui étonne encore. Deux mille ans d'observations ont conforté l'idée que le mouvement nécessitait une action, jusqu'à ce qu'une plongée dans l'abstraction du mouvement à l'infini d'un corps isolé fasse naître la mécanique. Comprendre, c'est toujours reconstruire le réel par la pensée. Ces images mentales des phénomènes sont les outils indispensables pour anticiper le comportement d'un système, opérer des analogies avec d'autres systèmes ayant des comportements semblables, élaborer des expériences nouvelles, créer des objets nouveaux. Les phases de questionnement sont les moments au cours desquels ces images mentales sont élaborées par les élèves, lors d'un processus de confrontation entre ce qu'elles permettent d'anticiper et l'expérimentation directe. C'est, en particulier, de cette convergence que se nourrit la curiosité pour les sciences.

La formalisation, qu'elle soit sous forme de diagrammes, de symboles, de dessins, ou sous forme mathématique, aide bien sûr à la formation de ces images mentales. La modélisation du système étudié, par le choix des variables pertinentes, procède de cette reconstruction du réel par la pensée. Cette modélisation précède toujours une mise en équation éventuelle, et elle s'appuie sur une description de la situation physique à l'aide de la langue naturelle. Quant au langage mathématique, à l'évidence irremplaçable, il peut parfois masquer la compréhension physique, car il pense tout seul (et pense juste... si l'on ne fait pas d'erreur !) : c'est à la fois son avantage et, dans une certaine mesure, son inconvénient, en tout cas sa limite. Le résultat de l'analyse mathématique doit toujours être retraduit dans la langue naturelle.

Chacun se constitue son catalogue de représentations mentales à sa façon, et il n'est pas question de prétendre codifier un chemin type vers la compréhension d'un phénomène. Il s'agit seulement de s'assurer que le temps est donné à chacun, au cours de la séquence d'enseignement, pour que ces représentations mentales se mettent en place. C'est la condition pour que la « transposition didactique » de la discipline ne la transforme pas en un catalogue de réponses figées à des questions oubliées.

## Physique

En première S, l'approche microscopique-macroscopique est développée et confortée d'entrée par une présentation des particules qui seront considérées au lycée comme des constituants élémentaires (proton, neutron, électron) et de leurs interactions : gravitationnelle entre particules massives, électrostatique entre particules chargées et forte entre nucléons (on n'aborde pas l'interaction faible). Du point de vue des activités expérimentales, les phénomènes d'électrisation permettent de mettre en évidence deux types de charges électriques et la loi de Coulomb. Conducteurs et isolants sont ensuite caractérisés par le type de déplacement que les charges peuvent subir dans la matière, et les phénomènes associés à la formation ou l'existence de dipôles (présentés comme une non-coïncidence entre le barycentre des charges positives et celui des charges négatives dans les systèmes atomiques ou moléculaires) sont abordés qualitativement. Notons que l'électricité, après l'année de seconde où elle ne figure pas explicitement au programme, peut ainsi être reprise d'un point de vue qualitativement nouveau par rapport à la classe de troisième, à savoir le point de vue microscopique du déplacement de charges. Cet enrichissement résulte également de l'introduction au magnétisme proposée dans la partie « électrodynamique ».

Une première appropriation de ces notions est faite dans le début du cours de chimie, lorsque l'on utilise la conductimétrie pour déterminer des quantités de matière dans les solutions ioniques. Ce contexte invite à imaginer la circulation des ions et leur contribution au courant, ainsi que la formation des cortèges de solvation en liaison avec le caractère dipolaire de la molécule d'eau.

Le cours de physique est ensuite constitué de trois blocs : un bloc « énergie », un bloc « électrodynamique » et un bloc « optique géométrique ».

Le bloc « énergie » propose une progression force/travail/énergie qui part des notions les plus intuitives – celles de force et de travail – pour construire les différentes formes d'énergie, jusqu'à l'énergie interne. En fin de partie, sont dégagées les notions de transfert ordonné et transfert désordonné (transfert thermique) d'énergie.

Le bloc « électrodynamique » est constitué de deux parties : la première, consacrée aux transferts d'énergie en courant continu, l'autre à une introduction au magnétisme et à la loi de Laplace. Cette seconde partie ouvre un domaine de la physique nouveau pour les élèves. Elle est introduite au moyen d'expériences classiques qui sont particulièrement adaptées pour mettre en place la notion de champ. D'Oersted à Faraday, la naissance du domaine en est d'ailleurs le témoin : la notion de champ vectoriel, comme propriété affectée à l'espace, s'est dégagée de l'examen de situations physiques où les effets du champ magnétique, macroscopiques, sont facilement repérables, et où ce champ est facilement « manipulable » par déplacement des courants et des aimants. L'ensemble des deux premiers blocs s'unifie dans l'explicitation du rôle moteur des forces de Laplace qui permettent de réaliser une transformation d'énergie électrique en énergie mécanique et dans la mise en jeu des notions concernant le mouvement d'un solide.

Le dernier bloc du programme est une introduction à l'optique géométrique. Des expériences utilisant miroirs et lentilles simples et réalisables en pleine lumière permettent de s'interroger sur la nature des images optiques et de comprendre le fonctionnement d'un appareil d'optique courant.

## Chimie

Dans la continuité du programme de la classe de seconde, le programme de chimie de la classe de première se propose :

- dans un cadre fondamental, de construire un socle de connaissances délivrant un discours cohérent et unifiant tantôt en lien avec la physique, tantôt avec les sciences de la vie et de la Terre ;
- dans un cadre culturel et appliqué, d'illustrer l'étendue des champs d'activités de la chimie, leur importance pratique et économique, participant ainsi à la construction d'une culture scientifique.

Il explore différents aspects des transformations chimiques offrant, comme cela a été dit plus haut, une double entrée tantôt à l'échelle atomique, tantôt à l'échelle macroscopique.

À l'échelle macroscopique, l'objectif est d'acquérir une maîtrise du bilan de matière et de l'équivalence dans un dosage, en distinguant la transformation et le processus associé à cette transformation.

À l'échelle atomique, les relations structure-propriétés sont abordées à travers les états de la matière, la solvataion, le courant électrique dans les solutions électrolytiques, le squelette et les groupes caractéristiques de diverses molécules de la chimie organique. Les études du solide ionique, de la solvataion des ions et de la conductivité des solutions électrolytiques soulignent la cohérence entre la physique et la chimie autour de l'interaction coulombienne.

L'organisation du programme de chimie est destinée à faire apparaître les activités du chimiste : mesure et synthèse, et à illustrer quelques échanges d'énergie associés à des transformations chimiques ou à des changements d'état.

La partie « mesure » du programme présente différentes méthodes de détermination des quantités de matière : une méthode physique, non destructrice du système étudié, recourant à la conductimétrie, dans le cadre d'un étalonnage préalable, et une méthode chimique, à l'aide de certaines transformations effectuées jusqu'à l'équivalence. Ainsi, les notions d'acide et de base, d'oxydant et de réducteur, ne sont pas présentées pour elles-mêmes, mais dans le contexte de leur utilisation pour les dosages.

La partie « synthèse » présente cette activité essentielle du chimiste en prenant pour exemple la chimie organique. Il s'agit de montrer en quoi les atomes de carbone et d'hydrogène, principalement, peuvent conduire à la formation de molécules d'architecture modulaire, par la constitution de longues chaînes linéaires ou ramifiées, de cycles, etc., auxquels des groupes caractéristiques constitués d'autres atomes donnent des propriétés particulières. L'extrême inventivité de la chimie, qui crée chaque jour des centaines d'espèces nouvelles dans des domaines allant des matériaux à la pharmacologie, montre à quel point ces approches « architecturales » sont fécondes, et permettent d'établir des liens avec les disciplines voisines que sont la physique et les sciences de la vie et de la Terre.

Une dernière partie aborde « l'énergie au quotidien » en traitant les aspects énergétiques des transformations chimiques et leur utilisation pour la satisfaction des besoins en énergie de la société. Ces questions, y compris dans leur composante environnementale, auront leur correspondant dans une partie qui traitera en classe terminale les aspects énergétiques des transformations nucléaires.

Enfin, ce programme privilégie l'entrée par l'expérience avec une finalité de découverte en vue de la construction d'un concept, soulignant ainsi l'importance de l'activité intellectuelle face à l'expérience, en continuité avec la classe de seconde.

Il favorise l'acquisition d'un vocabulaire scientifique précis qui continue d'enrichir le glossaire commencé en classe de seconde.

Il se propose de poursuivre l'éducation de l'élève à la sécurité, à l'évaluation des risques, à la sauvegarde de la santé, à la surveillance et à la protection de l'environnement, et donc de contribuer à l'acquisition de comportements responsables.

## **B - Les technologies de l'information et de la communication (TIC)**

La physique et la chimie fournissent naturellement l'occasion d'acquérir certaines compétences dans l'utilisation des TIC, dont certaines sont liées à la discipline et d'autres sont d'une valeur plus générale. Outre la recherche documentaire à l'aide de la « toile », la mise en relation par courrier électronique de classes effectuant une même recherche documentaire ou la comparaison de mesures effectuées simultanément dans des établissements différents sont possibles. L'automatisation de l'acquisition et du traitement des données expérimentales peut permettre de mieux ouvrir la réflexion des élèves aux aspects statistiques de la mesure et au dialogue entre théorie et expérience.

Outre les sites académiques, il faut signaler à l'attention des professeurs les sites nationaux : <http://www.educnet.education.fr/phy> et <http://www.cndp.fr>, qui recensent des travaux de groupes nationaux, des ressources thématiques, des adresses utiles.

## **C - Un enseignement expérimental**

Les activités expérimentales jouent un rôle important dans l'enseignement. Celles-ci peuvent s'articuler autour de deux pôles distincts :

- l'expérience de cours ;
- la séance de travaux pratiques au cours de laquelle l'élève doit manipuler seul ou en binôme.

Pourquoi un enseignement expérimental ?

Il offre la possibilité de répondre à une situation-problème par la mise au point d'un protocole, la réalisation pratique de ce protocole, la possibilité d'aller-retour entre théorie et expérience, l'exploitation des résultats.

Il permet à l'élève de confronter ses représentations avec la réalité.

Il apprend à l'élève à observer en éveillant sa curiosité.

Il développe l'esprit d'initiative, la ténacité et le sens critique.

Il lui permet de réaliser des mesures, de réfléchir sur la précision de ces mesures, d'acquérir la connaissance de quelques ordres de grandeur.

Il aide l'élève à s'approprier des lois, des techniques, des démarches et des modes de pensée.

Ainsi, les activités expérimentales établissent un rapport critique avec le monde réel et incontournable, où les observations sont parfois déroutantes, où des expériences peuvent échouer, où chaque geste demande à être maîtrisé, où les mesures – toujours entachées d’erreurs aléatoires quand ce ne sont pas des erreurs systématiques – ne permettent de déterminer des valeurs de grandeurs qu’avec une incertitude qu’il faut pouvoir évaluer au mieux. L’expérience de cours permet d’établir un premier rapport entre le réel et sa représentation. Les travaux pratiques sont le seul moyen d’appropriation de techniques et de méthodes.

Deux conditions sont nécessaires pour que cet enseignement expérimental remplisse pleinement son rôle :

- les élèves doivent savoir ce qu’ils cherchent, anticiper (quitte à faire des erreurs) un ou des résultats possibles, agir, expérimenter, conclure et ainsi élaborer leurs connaissances ;
- l’enseignant doit veiller à bien définir les objectifs de contenus et à limiter le nombre des compétences mises en jeu dans une séance de TP afin de bien dégager les notions qu’il veut faire acquérir. Avant toute entrée dans le processus de résolution et d’expérimentation, il doit vérifier, lors du débat, que les élèves ont bien compris la question et/ou les termes du problème à résoudre.

Une grille de compétences, dont le nombre est ici volontairement limité à onze dans un souci de simplification, est présentée ci-après. On a séparé les compétences à acquérir selon qu’elles concernent la mise en place d’une démarche scientifique ou plutôt les manipulations et les mesures.

Ces compétences ne doivent pas être toutes mobilisées à la fois lors d’une séance de TP.

La présentation sous forme de grille permet de gérer plus facilement les différentes compétences mises en œuvre lors de la conception de chaque séance de travaux pratiques. L’enseignant peut ainsi vérifier qu’il a introduit ces compétences plusieurs fois dans l’année et diversifier au mieux son enseignement. Cette grille a été conçue dans le but d’aider l’enseignant à construire les séances de TP et non dans celui de procéder à une évaluation des élèves.

Les compétences liées au comportement de l’élève n’apparaissent pas dans la grille car elles interviennent en permanence : précision, soin, organisation (rangement et anticipation), et plus largement rigueur.

<b>Grille de suivi des compétences mises en jeu lors des séances de travaux pratiques</b>												
Compétences expérimentales	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	...	...	
<b>I - Compétences liées à l'expérimentation</b>												
Formuler une hypothèse sur : – un événement susceptible de se produire ou de s’être produit ; – un paramètre pouvant jouer un rôle dans un phénomène.												
Proposer une expérience : – susceptible de valider ou d’infirmer une hypothèse ; – répondant à un objectif précis.												
Analyser des résultats expérimentaux, les confronter à des résultats théoriques. Déterminer le domaine de validité d’un modèle.												

Compétences expérimentales	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	...	...
<b>II - Compétences liées aux manipulations et aux mesures</b>											
Respecter les consignes : protection des personnes et de l'environnement.											
Agir en suivant un protocole fourni (texte ou schéma).											
Faire le schéma d'une expérience.											
Reconnaître, nommer, choisir et utiliser le matériel de laboratoire (verrerie, instruments de mesure, etc.).											
Exprimer un résultat avec un nombre de chiffres significatifs compatibles avec les conditions de l'expérience.											
Faire l'étude statistique d'une série de mesures indépendantes en utilisant une calculatrice ou un tableur.											
Utiliser les technologies de l'information et de la communication.											

## D - Compétences transversales

Les compétences à acquérir ne se résument pas à des connaissances et savoir-faire strictement disciplinaires. L'élève doit être également capable d'utiliser d'autres compétences qui, sauf indications contraires, sont à acquérir tout au long du cycle secondaire.

### Compétences liées à la langue française

- Trier des informations.
- Décrire une expérience, un phénomène.
- Utiliser un vocabulaire scientifique.
- Rédiger une argumentation en utilisant à bon escient les conjonctions car, donc, si... alors, etc.

Ces compétences sont mises en œuvre tout au long du cycle secondaire et ne figurent donc pas explicitement dans le contenu de la colonne de droite. Les différentes activités proposées par l'enseignant (étude de documents, description d'une expérience, analyse critique d'un texte, etc.) lui permettront de former et d'évaluer ses élèves au cours de l'année.

### Compétences liées aux mathématiques

- Comprendre l'intérêt du calcul littéral.
- Utiliser les puissances de 10.
- Utiliser un axe orienté et des mesures algébriques.
- Utiliser les vecteurs et le produit scalaire de deux vecteurs.
- Construire un graphique à la main et savoir l'utiliser.
- Utiliser quelques notions de géométrie.
- Utiliser les notions simples de statistiques du programme de mathématique (valeur moyenne et largeur).

Bien que les connaissances et savoir-faire liés aux mathématiques soient clairement explicités dans la colonne de droite au fur et à mesure de leur apparition dans le programme, ces compétences seront à mettre en œuvre tout au long de l'année.

## **Compétences liées aux technologies de l'information et de la communication**

Au cours du cycle secondaire, l'élève doit acquérir les compétences suivantes :

- utiliser l'ordinateur pour acquérir des données expérimentales ;
- utiliser un tableur ou un logiciel dédié au traitement des résultats expérimentaux et les présenter graphiquement ;
- utiliser l'ordinateur pour confronter des résultats expérimentaux à des valeurs théoriques ;
- savoir ce qu'est une simulation et la distinguer clairement de résultats expérimentaux ;
- être capable d'effectuer une recherche documentaire et critique sur un cédérom et sur internet (en ligne et hors ligne) ;
- produire des documents (avec éventuellement des liens entre eux) incorporant images et graphiques ;
- être capable, dans le cadre de travaux collectifs, d'échanger ces documents par courrier électronique.

Ces compétences doivent être mises en jeu plusieurs fois dans l'année lors des séances de travaux pratiques.

# P

## rogramme de physique

### I - Les interactions fondamentales

(Durée indicative : 3 heures, 1 TP)

#### Objectifs

Dans cette partie introductive, il s'agit de poursuivre la mise en place, entamée en classe de seconde dans la partie « échelles de distances et de tailles », des différents niveaux de structuration de la matière, du microscopique au macroscopique, en précisant les interactions dominantes à chaque échelle. Plus précisément, on illustre les deux idées suivantes :

- la diversité de la matière – noyaux, atomes et molécules, phases condensées ou gazeuses, organismes vivants, systèmes astronomiques – résulte de l'arrangement de trois « briques » de base : protons, neutrons et électrons, considérées au lycée comme particules élémentaires ;
- la cohésion de ces assemblages est assurée par trois interactions fondamentales : l'interaction forte, de courte portée, qui contrebalance la répulsion entre protons et assure ainsi la cohésion des noyaux jusqu'à l'uranium ; l'interaction électromagnétique qui, par son aspect électrique, est responsable de la cohésion des atomes, des molécules et des phases condensées ; l'interaction gravitationnelle qui, bien que d'intensité beaucoup plus faible que les autres, gouverne la structure de la matière à grande échelle, car elle est de longue portée et toujours attractive.

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
Illustrer par des études documentaires*, le fait que, du noyau atomique jusqu'aux systèmes astronomiques, la matière peut être considérée comme constituée de neutrons, protons et électrons.	<b>1 - Particules élémentaires</b>  Les constituants de la matière : neutrons, protons, électrons. Charge élémentaire.	Savoir que toute charge électrique est multiple d'une charge élémentaire. Connaître l'ordre de grandeur du rapport des masses du nucléon et de l'électron. Connaître l'ordre de grandeur du rayon d'un atome et d'un noyau.
Observer et interpréter, à l'échelle atomique, les phénomènes tels que : - l'électrisation par frottement, - l'attraction et la répulsion d'objets, - le caractère conducteur ou isolant de certains matériaux.	<b>2 - Interactions fondamentales</b> - La masse et l'interaction gravitationnelle ; loi de Newton. - Les charges et l'interaction électrique ; loi de Coulomb ; direction, sens, valeur : $F = kqq'/d^2$ avec $k \approx 9 \times 10^9$ SI. Phénomènes d'électrisation. Isolants. Conducteurs ; porteurs de charge : électrons et ions. - Les nucléons et l'interaction forte. Deux interactions à l'œuvre dans le noyau : la répulsion coulombienne entre protons compensée, jusqu'à l'uranium, par une interaction attractive intense mais de courte portée.	<i>Réaliser et interpréter des expériences simples mettant en jeu des phénomènes d'électrisation.</i> Connaître et savoir appliquer la loi de Coulomb. Savoir que dans un métal, une fraction des électrons est libre de se déplacer dans tout l'échantillon, alors que dans un isolant les déplacements des charges sont inférieurs à la taille atomique.  Savoir qu'au niveau du noyau s'exercent deux types d'interactions dont les effets sont opposés.

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

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
Comparaison des interactions électriques et gravitationnelle pour le système électron-proton. Discuter pourquoi l'interaction gravitationnelle est prédominante en général à l'échelle macroscopique.	<b>3 - Interactions et cohésion de la matière à diverses échelles</b> Échelle astronomique Échelle atomique et humaine Échelle du noyau	Savoir que la cohésion de la matière est assurée par : - l'interaction gravitationnelle à l'échelle astronomique, - l'interaction électromagnétique à l'échelle des atomes, des molécules et de la matière à notre échelle, - l'interaction forte à l'échelle du noyau.

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

### Commentaires

L'interaction gravitationnelle a déjà été rencontrée en classe de seconde. De l'interaction électromagnétique, seul l'aspect électrique est ici présenté. La force d'interaction entre deux charges est précisée : direction, sens, valeur  $F = k \frac{qq'}{d^2}$  avec  $k \cong 9 \times 10^9$  SI ; elle est représentée sur les schémas par une flèche mais aucune expression vectorielle de cette force n'est à donner. Une autre manifestation de l'interaction électromagnétique, l'action d'un champ magnétique sur un courant (particules chargées en mouvement), est présentée dans la partie III.B.

Une approche expérimentale des phénomènes d'électrisation permettra de justifier l'existence des deux types de charges et de préciser la nature attractive ou répulsive de leur interaction. Lorsque l'enseignant parle d'électrisation, le mot est pris dans un double sens : arrachage ou apport d'électrons (électrisation par contact), et déplacement interne de charges (phénomènes de polarisation) ; dans ce dernier cas, on se contente d'interpréter qualitativement les phénomènes par une distorsion locale de la distribution de charges ; l'emploi du mot « polarisation » n'est pas exigé. L'enseignant indiquera, en prenant divers exemples (tension d'un fil, résistance mécanique de la matière, ressort, etc.), que l'interaction électromagnétique est responsable de la cohésion de la matière à notre échelle (y compris la matière vivante) mais veillera cependant à ne pas induire l'idée qu'elle suffit à elle seule à l'expliquer (la mécanique quantique joue un rôle fondamental).

L'interaction forte, qui n'est que citée à ce niveau, est présentée dans le cadre de la cohésion du noyau : si le noyau résiste à la forte répulsion entre protons, c'est qu'il existe une interaction attractive entre nucléons. On fait remarquer que lorsque le nombre de charges augmente, la répulsion électromagnétique finit par l'emporter : le tableau périodique des éléments naturels s'arrête ainsi à l'uranium. L'interaction faible ne sera pas introduite.

La prédominance habituelle de l'interaction gravitationnelle sur Terre est expliquée par la quasi-neutralité électrique des objets macroscopiques et la grande masse de la Terre ; on remarque, de plus, que l'interaction gravitationnelle est négligeable entre deux objets de taille ordinaire.

## II - Forces, travail et énergie

(Durée indicative : 18 heures, 6 TP)

### A - Forces et mouvements

#### Objectifs

L'idée est de reprendre et d'approfondir les notions vues en seconde en montrant comment une action s'exerçant sur un solide est capable de modifier son mouvement.

L'un des objectifs est de préciser la conception newtonienne du mouvement selon laquelle la force est liée au changement de la vitesse et non à la vitesse. Ce travail a déjà été entrepris en classe de seconde avec une première approche du principe de l'inertie et de la force de gravitation.

Il s'agit maintenant de donner davantage de consistance au point de vue newtonien en étendant le champ de l'étude à celle de solides soumis à plusieurs actions simultanées, le cas du solide en translation étant privilégié. Le mouvement du centre d'inertie d'un solide est le principal objet de l'étude, mais pour autant il ne s'agit pas de présenter la mécanique du « point matériel » mais d'aborder celle de systèmes réels par celle du système matériel le plus simple, le solide.

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
<p>Observation du mouvement du centre d'inertie.            Observation des mouvements des autres points (vidéos, chronophotographies, etc.)*</p> <p>Réalisation et exploitation d'enregistrements : table à coussin d'air, table à digitaliser, vidéos-capteurs chronométrés*, etc.</p> <p>Détermination de vecteurs vitesses à partir d'enregistrements.            Étude du mouvement du centre d'inertie d'un solide dans diverses situations (projectiles, satellites).            Recherche de forces sur des exemples variés (expériences, vidéos, logiciels, etc.)*.</p> <p>Utilisation du principe d'inertie pour analyser les forces qui agissent sur un solide, en mouvement ou non.            Mettre en relation la variation du vecteur vitesse <math>V_G</math> d'un mobile avec la somme des forces appliquées dans des situations simples et variées.            Expliquer pourquoi il y a des ceintures de sécurité dans les voitures.            Analyser comment le principe d'inertie s'applique à un véhicule qui monte une côte rectiligne à vitesse constante.            Expliquer le rôle des roues motrices et du sol dans le mouvement d'une voiture.</p>	<p><b>1 - Mouvement d'un solide indéformable</b></p> <p>1.1 Vecteur vitesse d'un point du solide            1.2 Centre d'inertie d'un solide            1.3 Mouvement de translation d'un solide            1.4 Mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe ; vitesse angulaire</p> <p><b>2 - Forces macroscopiques s'exerçant sur un solide</b>            Actions exercées sur un solide ; exemples d'effets produits (maintien en équilibre, mise en mouvement de translation, mise en mouvement de rotation, déformations).</p> <p><b>3 - Une approche des lois de Newton appliquées au centre d'inertie</b></p> <p><b>1ère loi :</b> Principe d'inertie.            Ce principe n'est vrai que dans certains référentiels.            Ces référentiels sont dits galiléens.</p> <p><b>2ème loi :</b> Aspect semi-quantitatif : comparaison de la somme des forces et de la variation du vecteur vitesse du centre d'inertie dans un référentiel galiléen.</p> <p><b>3ème loi :</b> Principe des actions réciproques.</p>	<p><i>Sur un enregistrement réalisé ou donné, déterminer et représenter le vecteur vitesse <math>V</math> d'un point mobile.</i></p> <p>Savoir que le vecteur vitesse <math>V</math> est le même pour tous les points d'un solide en translation. Savoir que chaque point d'un solide en rotation autour d'un axe fixe a une trajectoire circulaire. Pour un solide en rotation autour d'un axe fixe, relier la vitesse d'un point à la vitesse angulaire.</p> <p>Identifier et représenter les actions qui s'exercent sur un solide.            Prévoir dans des cas simples la possibilité de mise en rotation d'un solide autour d'un axe fixe.</p> <p>Connaître et appliquer les lois de Newton :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dans un référentiel galiléen, si le vecteur vitesse <math>V_G</math> du centre d'inertie ne varie pas, la somme <math>F = \Sigma f</math> des forces qui s'exercent sur le solide est nulle et réciproquement.</li> <li>- Dans un référentiel galiléen, si le vecteur vitesse <math>V_G</math> du centre d'inertie varie, la somme <math>F = \Sigma f</math> des forces qui s'exercent sur le solide n'est pas nulle. Sa direction et son sens sont ceux de la variation de <math>V_G</math> entre deux instants proches.</li> <li>- A et B étant deux corps, soient <math>F_{B/A}</math> la force exercée par B sur A et <math>F_{A/B}</math> la force exercée par A sur B. Quel que soit l'état de mouvement de A par rapport à B, on a toujours l'égalité vectorielle : <math>F_{A/B} = F_{B/A}</math></li> </ul> <p>Analyser un exemple où une force de frottement sert à la propulsion.</p>

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

### Commentaires

#### ● Vitesse d'un point d'un solide

La valeur de la vitesse moyenne est introduite comme le quotient de la distance parcourue par la durée. La mesure approchée de la valeur de la vitesse d'un point est obtenue par le calcul de la valeur de la vitesse moyenne entre deux instants voisins.

#### ● Mouvement d'un solide

Connaître le mouvement d'un solide, c'est connaître le mouvement de chacun de ses points.

L'étude, dans le référentiel terrestre, du mouvement d'un solide soumis à la seule action de la Terre montre qu'il existe un point G dont le mouvement est plus simple que les autres : le centre d'inertie. Cette étude est conduite en référence à un ou

deux exemples concrets et simples de situations de dynamique. On pourra, à cette fin, utiliser des enregistrements vidéo ou chronophotographiques de mouvements judicieusement choisis.

### ● Forces macroscopiques s'exerçant sur un solide

La description microscopique des actions subies par un corps nécessite, en général, la connaissance de tout un ensemble de forces réparties en volume ou à la surface de contact avec les autres corps ; pour l'étude du mouvement du centre d'inertie des corps, la connaissance de la résultante de chacune de ces diverses actions est suffisante, d'où la modélisation, à ce niveau, de chacune de ces actions en terme d'une force unique ; par exemple : « résultante des forces de pesanteur » ou « résultante des forces de contact entre solides ». Pour pouvoir mettre un solide en rotation autour d'un axe fixe, la droite support d'une force ne doit pas passer par l'axe ni être parallèle à cet axe. Les déformations élastiques sont à citer car elles conduisent en particulier, après étalonnage, à des appareils de mesure de forces (dynamomètres).

Il est signalé aux élèves que les forces macroscopiques qui s'exercent sur un solide (exception faite de celles de pesanteur) ont pour origine l'interaction électromagnétique ; on fait ainsi le lien entre le domaine de la mécanique et celui des interactions fondamentales étudié dans la partie précédente.

### ● Une approche des lois de Newton

On se limite à un niveau de formulation semi-quantitatif des lois de Newton qu'on énoncera comme principes fondamentaux dans un référentiel galiléen. Valables pour tout corps même déformable, on se contentera ici de les appliquer à des solides.

La première loi permet de retrouver le principe d'inertie. Pour son application, le référentiel terrestre et le référentiel géocentrique seront considérés comme galiléens. L'approche quantitative de la deuxième loi s'appuie sur le constat d'une variation  $\Delta V_G$  de la vitesse du centre d'inertie calculée entre deux instants proches. La relation  $F = ma$  sera vue en classe terminale ; seuls la direction et le sens des vecteurs  $F$  et  $\Delta V_G$  seront comparés en classe de première (cas où la somme des forces est nulle, cas d'un mouvement rectiligne varié, cas d'un mouvement curviligne varié, cas d'un mouvement circulaire uniforme).

Pour la troisième loi, on dit que deux corps A et B sont en interaction si l'état de mouvement ou de repos de l'un (A) dépend de l'existence de l'autre (B). Une interaction entre deux corps A et B suppose toujours deux actions réciproques : celle de A sur B et celle de B sur A. Une expression plus complète de la troisième loi doit prendre en compte les moments des forces ; cela ne sera pas abordé ici. De plus, on évitera l'emploi de l'expression « loi de l'action et de la réaction » qui peut induire l'idée fautive d'une « réaction » causée par une « action » et lui faisant suite temporellement.

Il est intéressant de faire remarquer aux élèves que la résultante des forces de frottements s'exerçant sur un mobile peut être dirigée dans le sens opposé à la vitesse du mobile (freinage) mais aussi dans le même sens (propulsion).

On se limite dans ce programme au mouvement du centre d'inertie ; dans l'application des deux premières lois à ce point, pour effectuer la somme des forces, les vecteurs qui les décrivent seront représentés graphiquement à partir d'une origine commune ; ce point peut être le centre d'inertie ou de préférence, un point en dehors de la figure représentant le dispositif étudié.

## B - Travail mécanique et énergie

### Objectifs

Le but est d'introduire une grandeur fondamentale, l'énergie, dont la conservation constitue une des lois les plus générales de la physique et constitue le guide sous-jacent à la progression.

Différentes formes d'énergie sont introduites à partir de la notion du travail d'une force, tout en montrant que selon les situations, ces différentes formes sont susceptibles de se transformer les unes dans les autres. L'objectif est ainsi de progresser vers l'idée de conservation.

Enfin, pour illustrer le fait que le travail n'est pas le seul mode de transfert d'énergie, on termine cette introduction par quelques considérations simples sur le transfert thermique, en évitant la confusion entre chaleur et température.

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
<p>Identifier les effets sur un solide de forces dont les points d'application se déplacent dans le référentiel d'étude :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- modifications de la valeur de la vitesse d'un solide en chute libre, d'un solide glissant sur un plan incliné, de la valeur de la vitesse de rotation d'un solide autour d'un axe fixe,</li> <li>- modifications de l'altitude, de la température, de l'aspect, etc.</li> </ul> <p><i>Utiliser un tableur et un grapheur.</i> Étude quantitative des variations de la valeur de la vitesse d'un corps dans différentes situations * :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- chutes libres avec et sans vitesse initiale (utilisation de capteurs chronométrés, de logiciels, de vidéos, etc.),</li> <li>- satellites en mouvement circulaire uniforme,</li> <li>- solide lancé sur une table, etc.</li> </ul> <p>Analyse du travail de la force de gravitation qui s'exerce sur une comète ; conséquence sur sa vitesse.</p> <p>Expérience de Joule ou équivalente.</p> <p>Approche qualitative de la mise en contact de deux corps à des températures différentes : évolution vers l'équilibre thermique.</p> <p>Analyse qualitative des transferts d'énergie se faisant sur un système déterminé.</p>	<p><b>1 - Travail d'une force</b></p> <p><b>1.1</b> Notion de travail d'une force Effets possibles d'une force dont le point d'application se déplace.</p> <p><b>1.2</b> Travail d'une force constante <math>W_{AB} = F \cdot AB = F \cdot AB \cdot \cos\alpha</math> Unité de travail : le joule (symbole : J). Expression du travail du poids d'un corps. Travail moteur, travail résistant.</p> <p><b>1.3</b> Puissance du travail d'une ou plusieurs forces</p> <p><b>2 - Le travail : un mode de transfert de l'énergie</b></p> <p><b>2.1</b> Travail et énergie cinétique Dans un référentiel terrestre, étude expérimentale de la chute libre d'un corps au voisinage de la Terre ; travail du poids : <math>W_{AB}(P) = \Delta[(1/2) MV_G^2]</math>. Interprétation énergétique ; définition de l'énergie cinétique d'un solide en translation. Généralisation : pour un solide en translation soumis à diverses forces : <math>(1/2) MV_B^2 - (1/2) MV_A^2 = \Sigma W_{AB}(F_{ext})</math>.</p> <p><b>2.2</b> Travail et énergie potentielle de pesanteur Énergie potentielle d'un solide en interaction avec la Terre. Cas particulier des situations localisées au voisinage de la Terre. Relation <math>E_{pp} = Mgz</math>. Transformation d'énergie potentielle en énergie cinétique dans le cas de la chute libre.</p> <p><b>2.3</b> Travail et énergie interne Quelques autres effets du travail reçu (déformations élastiques, élévation de température, changements d'état physico-chimiques). Notion d'énergie interne.</p> <p><b>3 - Le transfert thermique</b> Un travail reçu peut produire une élévation de température d'un corps. Une élévation identique de température peut être obtenue par transfert d'énergie sous une autre forme : le transfert thermique ; aspect microscopique. Autre mode de transfert énergétique : le rayonnement.</p>	<p><i>Connaître quelques effets sur un solide de forces dont le ou les points d'application se déplacent.</i> Exprimer et calculer le travail d'une force constante.</p> <p>Savoir que le travail d'une force constante effectué entre deux points A et B est indépendant du chemin parcouru.</p> <p>Utiliser la relation <math>P = W/\Delta t</math>.</p> <p>Utiliser l'expression de l'énergie cinétique d'un solide en translation. <i>Mettre en œuvre un dispositif décrit.</i></p> <p>Utiliser le fait qu'entre deux positions, dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un solide en translation est égale à la somme des travaux des forces extérieures.</p> <p>Utiliser l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide au voisinage de la Terre.</p> <p>Expliciter la transformation d'énergie potentielle en énergie cinétique dans des cas simples.</p> <p>Savoir que l'énergie reçue par travail peut aussi être « stockée » par un corps dont certaines propriétés physiques ou chimiques sont modifiées.</p> <p>Savoir qu'à l'échelle macroscopique, un transfert thermique se fait spontanément du système dont la température est la plus élevée vers celui dont la température est la plus basse. Prévoir sur des exemples simples le sens d'un transfert thermique. Savoir que le rayonnement est un mode de transfert de l'énergie.</p>

La conclusion de l'analyse présentée dans le chapitre s'exprimera sous la forme suivante :  
À tout système dans un état donné, on peut associer une grandeur appelée « énergie ». Si l'énergie d'un système augmente ou diminue, c'est qu'il a reçu ou cédé de l'énergie, que ce soit par travail, par transfert thermique ou par rayonnement.

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

## Commentaires

### ● Travail d'une force

Partant d'exemples concrets de la vie quotidienne, on constate que des objets soumis à une force dont le point d'application se déplace peuvent :

- être mis en mouvement (chariot, wagon, brique glissant sur une table, etc.) ;
- changer d'altitude (bagage que l'on monte à l'étage) ;
- voir leur température s'élever ;
- se déformer temporairement ou définitivement.

Dans tous ces cas, on dira que la force travaille.

On définit le travail  $W_{AB}$  d'une force constante  $F$  pour un déplacement  $AB$  de son point d'application par la relation :  $W_{AB} = F \cdot AB = F \cdot AB \cdot \cos \alpha$ .

Pour un solide en translation, tous les points du solide ont même déplacement ; le travail de forces réparties est alors identique à celui de leur résultante.

Les forces de pesanteur (champ localement uniforme) sont équivalentes à une force unique appliquée au centre d'inertie. Les altitudes  $Z$  étant mesurées sur un axe  $Oz$  vertical dirigé vers le haut, on montrera que leur travail sur un solide s'exprime par  $W_{AB} = Mg (Z_A - Z_B)$  lorsque le centre d'inertie passe de l'altitude  $Z_A$  à l'altitude  $Z_B$  et qu'il est indépendant du chemin suivi.

### ● Travail et énergie cinétique

On part ici de situations concrètes permettant d'étudier les effets d'une force extérieure sur la valeur de la vitesse du centre d'inertie d'un solide en translation, en particulier l'influence de la direction de la force par rapport à la direction du vecteur vitesse (étude de la chute libre d'un solide sans vitesse initiale, étude de la chute libre avec vitesse initiale vers le haut durant la montée ou d'un mouvement de projectile, étude du mouvement circulaire d'un satellite, étude d'un solide lancé et s'arrêtant sur un plan horizontal, etc.).

L'idée est de chercher s'il existe une relation entre la valeur de la vitesse du centre d'inertie du solide et le travail des forces extérieures. Cette relation est d'abord introduite par le calcul du travail du poids dans le cas de la chute libre d'un corps au voisinage de la Terre. On interprète de façon énergétique cette relation de la façon suivante : le travail du poids a servi à faire varier la vitesse du solide. On définit l'énergie cinétique d'un solide en translation par la relation  $1/2 \cdot MV_G^2$  ; l'énergie cinétique est donc une grandeur caractéristique de son état de mouvement.

Cette relation est ensuite généralisée à d'autres exemples simples, où d'autres forces que celle de pesanteur agissent.

Pour un solide en translation, la somme des travaux des forces extérieures  $\Sigma W_{AB}(F_{ext})$  est aussi égale au « travail » de leur résultante  $(\Sigma F_{ext}) \cdot AB$ , tous les points du solide ayant le même déplacement  $AB$  que le centre d'inertie. Remarque : la relation  $\Delta(1/2 \cdot MV_G^2) = 1/2 \cdot MV_B^2 - 1/2 \cdot MV_A^2 = (\Sigma F_{ext}) \cdot AB$  est valable en fait sans restriction quel que soit le mouvement, même pour un système déformable (elle est une conséquence du théorème du centre d'inertie).

### ● Travail et énergie potentielle de pesanteur

Le choix fait a pour but d'éviter les changements du système étudié lors de l'analyse énergétique de l'interaction d'un corps avec la Terre : le système est le solide soumis à une force extérieure connue (à la surface de la Terre : le poids). C'est pour cela que l'énergie potentielle d'interaction solide-Terre est désignée dans la colonne centrale Contenus par « énergie potentielle d'un solide en interaction avec la Terre ».

On introduit qualitativement la variation d'énergie potentielle de pesanteur comme étant le travail qu'il faut fournir pour éloigner un corps du centre de la Terre d'un point A à un point B, le corps étant au repos en A et en B. Pour élever le centre d'inertie de ce corps de l'altitude  $Z_A$  à l'altitude  $Z_B$ , il faut lui appliquer et faire travailler une force  $F$  (c'est la force exercée par l'opérateur). L'application de la loi précédente s'écrit alors :

$$1/2 \cdot MV_B^2 - 1/2 \cdot MV_A^2 = \Sigma W_{AB}(F_{ext}) = W_{AB}(P) + W_{AB}(F).$$

$$V_A \text{ et } V_B \text{ étant nulles, on en déduit que } W_{AB}(F) = -W_{AB}(P) = Mg(Z_B - Z_A).$$

L'énergie potentielle de pesanteur est définie par la grandeur  $MgZ$ ,  $Z$  étant l'altitude. Pour illustrer la transformation d'énergie potentielle en énergie cinétique, on pourra faire un retour sur la chute libre ou sur un mouvement de projectile et constater que la somme  $1/2.MV_G^2 + MgZ$  est constante. On fait remarquer la cohérence du discours énergétique introduit dans la partie précédente, à savoir que du travail pouvait accroître l'énergie cinétique d'un corps. Ici, il accroît son énergie potentielle, qui elle-même peut ultérieurement se transformer en énergie cinétique.

On aborde ainsi une première fois la conservation de l'énergie sans pour autant l'évoquer de manière explicite aux élèves.

#### ● Autres effets du travail

L'idée directrice est qu'en plus de son énergie cinétique et de son énergie potentielle d'interaction avec la Terre, un corps peut aussi stocker de l'énergie qui se manifeste à l'échelle macroscopique sous diverses formes plus ou moins indépendantes les unes des autres (déformation élastique, variation de température et/ou de pression, changement d'état physico-chimique, etc.).

Par exemple le mouvement relatif de deux solides en contact, en présence de forces de frottement, s'accompagne généralement d'une élévation de température de chacun des solides.

Autres exemples : l'énergie stockée différemment dans un ressort, un élastique, un gaz comprimé, un accumulateur, qui peut, au moins en partie, être récupérée en mettant par exemple des corps en mouvement (lanceur d'un flipper, arbalète, carabine à ressort, moteurs à ressort, voiture électrique, etc.).

Toutes ces formes d'énergie sont regroupées sous la dénomination « énergie interne  $U$  ». Aucune expression de l'énergie interne ne sera proposée.

#### ● Un autre mode de transfert d'énergie : le transfert thermique

En apportant de l'énergie par travail mécanique ou électrique (plus tard pour ce dernier point), on peut échauffer un corps, d'où l'idée qu'en général à une élévation de température correspond une énergie stockée plus importante.

On s'appuie ensuite sur l'étude de situations simples dans lesquelles un système voit son énergie évoluer (par exemple, un corps chaud qu'on laisse refroidir au contact de l'air atmosphérique ou un corps froid placé au contact d'une source chaude). On définit alors un deuxième mode de transfert d'énergie : le transfert thermique (cette expression sera utilisée de préférence au terme de chaleur pour éviter la confusion trop fréquente entre chaleur et température).

On indique qu'à l'échelle macroscopique, ce transfert d'énergie s'effectue spontanément du système dont la température est la plus élevée vers celui dont la température est la plus basse. On se limite dans cette première approche au transfert thermique par conduction. Cette notion de transfert thermique sera réinvestie dans l'enseignement de SVT.

Il a été vu en classe de seconde que la température est la variable macroscopique rendant compte de l'agitation des molécules d'un gaz. Le transfert thermique est un mode de transfert désordonné qui s'interprète à l'échelle microscopique par des transferts d'énergie lors d'interactions concernant des particules situées à l'interface entre le système et son environnement. Le transfert d'énergie par rayonnement ne fait ici l'objet que d'une approche simple et qualitative à partir d'exemples courants (soleil, lampe, etc.).

#### ● Approche du principe de conservation de l'énergie

On pourra conclure cette partie présentant le principe de conservation de l'énergie sous la forme : à tout système dans un état donné, on peut associer une grandeur appelée « énergie ». Si l'énergie d'un système augmente ou diminue, c'est qu'il a reçu ou cédé de l'énergie, que ce soit sous la forme de travail, de transfert thermique ou de rayonnement.

### III - Électrodynamique

(Durée indicative : 15 heures, 5 TP)

#### Objectifs

Dans une première partie, on montre comment se transforme l'énergie dans un circuit électrique en soulignant l'importance de l'effet Joule, autant dans ses applications que dans ses inconvénients. À cette occasion, l'élève va réinvestir les connaissances sur l'introduction à l'énergie.

L'approche énergétique est privilégiée, mais c'est aussi l'occasion de s'approprier certaines lois de l'électrocinétique.

La seconde partie comporte l'étude des forces magnétiques sur les courants dont le rôle pratique est considérable ; pour la première fois, une action à distance est décrite localement à l'aide d'un intermédiaire, un champ vectoriel : le champ magnétique ; les caractéristiques de la force de Laplace sont précisées et l'utilisation de ces forces à la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique permet d'enrichir les bilans abordés en mécanique.

#### A - Circuit électrique en courant continu

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
<p>Interpréter en termes de transferts d'énergie qu'une lampe brille, qu'une résistance s'échauffe, qu'un moteur tourne.</p> <p>Mesures de tensions et d'intensités dans un circuit série dans le but de calculer des grandeurs énergétiques.</p> <p>Mesure du potentiel électrique de différents points d'un circuit par rapport à celui d'un point choisi comme référence ; tracé d'un diagramme des potentiels le long d'un circuit.</p> <p>Inventorier quelques manifestations de l'effet Joule dans la vie courante.</p>	<p><b>1 - Transferts d'énergie au niveau d'un générateur et d'un récepteur</b></p> <p><b>1.1</b> Énergie électrique <math>W_e</math> reçue par un récepteur, traversé par le courant d'intensité <math>I</math>, pendant <math>\Delta t</math> :  <math>W_e = (V_A - V_B) I \Delta t</math> avec <math>U_{AB} = (V_A - V_B) &gt; 0</math>                      Puissance électrique du transfert :  <math>P = U_{AB} I</math>.</p> <p><b>1.2</b> Effet Joule : applications</p> <p><b>1.3</b> Énergie électrique transférée du générateur au reste du circuit pendant la durée <math>\Delta t</math> : <math>W_e = (V_P - V_N) I \Delta t</math>  <math>(V_P - V_N) = U_{PN}</math> désigne la différence de potentiel ou tension entre les bornes positive et négative du générateur et <math>I</math> l'intensité du courant qui le traverse.                      Puissance électrique du transfert :  <math>P = U_{PN} I</math></p> <p><b>1.4</b> Bilan du transfert d'énergie pendant la durée <math>\Delta t</math>                      Un récepteur absorbe une énergie électrique <math>U_{AB} I \Delta t</math>, en « dissipe » une partie <math>r I^2 \Delta t</math> et convertit le reste sous une autre forme (mécanique, chimique).                      Un générateur transforme partiellement une forme d'énergie (mécanique, chimique) <math>E I \Delta t</math> en énergie électrique disponible <math>U_{PN} I \Delta t</math>.                      Le complément <math>r I^2 \Delta t</math> est « dissipé » sous forme thermique par effet Joule.</p>	<p>Utiliser le principe de conservation de l'énergie pour faire un bilan qualitatif au niveau d'un récepteur.</p> <p><i>Mesurer une différence de potentiel.                      Mesurer l'intensité d'un courant.</i></p> <p><i>Réaliser un circuit d'après un schéma conventionnel et dessiner le schéma d'un circuit réalisé.</i></p> <p>Savoir que l'effet Joule est un effet thermique associé au passage du courant dans un conducteur.</p> <p>Représenter sur un schéma une tension par une flèche.</p> <p>Savoir que, dans un circuit où il n'y a qu'un générateur, le potentiel électrique est une grandeur qui décroît de la borne positive vers la borne négative.                      Savoir que la grandeur « puissance électrique » permet d'évaluer la rapidité d'un transfert d'énergie.</p>

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
<p>Analyser l'influence de l'agencement des composants sur l'énergie transférée par le générateur au reste du circuit.</p> <p>Justification de l'utilisation de hautes tensions pour le transport de l'énergie électrique.</p>	<p><b>2. Comportement global d'un circuit</b></p> <p><b>2.1</b> Distribution de l'énergie électrique pendant la durée <math>\Delta t</math> :  <math>W_e</math> (générateur) = <math>\Sigma W_e</math>(récepteur)            Justification énergétique des lois d'additivité des tensions et des intensités (loi des noeuds).</p> <p><b>2.2</b> Étude des paramètres influant sur l'énergie transférée par le générateur au reste d'un circuit résistif :            – influence de la force électromotrice <math>E</math>,            – influence des résistances et de leurs associations,            – relation <math>I = E / R_{eq}</math>,            – puissance maximale disponible aux bornes d'un générateur, tolérée par un récepteur.</p>	<p>Utiliser l'additivité des résistances en série et des conductances en parallèle.</p> <p>Faire des prévisions quantitatives lors de la réalisation ou de la modification du circuit à partir de la relation <math>I = E / R_{eq}</math>.</p>

### Commentaires

Lors de l'étude des transferts d'énergie concernant un récepteur en régime permanent, l'approche du principe de conservation de l'énergie vue à la fin de la mécanique va permettre d'introduire simplement le fait que de l'énergie a nécessairement été transférée du générateur au récepteur. On utilise alors l'expression « d'énergie électrique transférée », notée  $W_e$ , de préférence à l'expression de « travail électrique » d'usage moins courant.

Pour les bilans, on utilise les conventions « récepteur », d'une part, et « générateur », d'autre part. Les tensions sont automatiquement algébrisées car elles se présentent comme des différences de potentiel ; comme seuls des circuits simples, parcourus par des courants continus, sont ici étudiés, le sens du courant est clairement identifié et l'algébrisation de l'intensité n'apparaît pas comme indispensable, l'intensité étant en pratique positive ; ainsi  $W_e$  et  $P$  sont des grandeurs positives. Le professeur peut commencer à introduire l'algébrisation de l'intensité en précisant simplement sur les schémas le sens d'orientation choisi pour le circuit mais cela ne constitue absolument pas une exigence du programme.

On attire l'attention sur le fait qu'il n'y a transfert d'énergie que si la portion de circuit considérée est soumise à une tension différente de zéro et est traversée par un courant dont l'intensité n'est pas nulle.

On insiste sur l'omniprésence de l'effet Joule, en justifiant que dans certains cas cet effet est mis au rang des pertes (dans les générateurs, par exemple, ou les lignes de transport) et que, dans d'autres, il s'agit d'un effet utile. L'étude de l'effet Joule est aussi l'occasion de rencontrer un nouveau mode de transfert de l'énergie : le rayonnement, toujours associé aux effets thermiques et même dominant dans certains radiateurs électriques et les lampes.

On n'étudie que des circuits comportant un seul générateur de tension ; néanmoins, le professeur peut mentionner le fait que les générateurs de tension continue sont souvent associés en série de manière à additionner les f.é.m. Les générateurs qui fournissent une tension (et un courant) continu à partir du « secteur » (souvent appelées : alimentations continues) possèdent en général un circuit électronique interne qui, si l'on respecte la limitation d'intensité indiquée, stabilise la tension aux bornes de sortie ; dans ce cas, l'alimentation est équivalente à un générateur de résistance interne négligeable et dont la f.é.m.  $E$  est égale à la tension aux bornes de sortie.

L'étude des paramètres influant sur l'énergie transférée par le générateur au reste du circuit permet d'insister sur le rôle de la résistance équivalente du circuit. On montre que finalement l'intensité du courant dépend de cette résistance et que, pour un

circuit entièrement résistif, cette intensité est égale à  $E / R_{eq}$ . On n'exploitera cette relation que dans des situations où  $E$  est une constante du générateur. Les associations de conducteurs sont mises en œuvre dans le but de constater leur effet sur l'intensité du courant, donc sur l'énergie délivrée par le générateur de tension. Il est important, en revanche, que l'élève retienne que les associations en série ont pour effet d'augmenter la résistance totale et que les associations en parallèle, en augmentant la conductance totale, aboutissent à une résistance plus faible que la plus petite d'entre elles. On peut souligner que les installations domestiques utilisent des associations en parallèles aux bornes de l'installation.

## B - Magnétisme, forces électromagnétiques

### Objectifs

À cause de l'importance de l'attraction électrique entre charges de types opposés, la matière est presque toujours macroscopiquement neutre et les forces électrostatiques alors inobservables. Aussi, ce sont les forces « magnétiques » qui ont au niveau macroscopique le rôle technique et industriel le plus important. De plus, ces forces entraînent des effets mécaniques immédiatement observables, sans précautions particulières, permettant des manipulations aisées.

Enfin, on dispose là d'une interaction à distance, bien visible et contrôlable ; c'est une situation de choix pour introduire pour la première fois un concept nouveau et fondamental, celui de champ, grandeur qui caractérise localement l'espace où se produisent les effets étudiés, mécaniques dans le cas présent.

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
<p>Étude documentaire sur l'histoire du magnétisme et de l'électromagnétisme*. <i>Expérience de l'aimant brisé.</i></p> <p>Comparaison de deux champs magnétiques.</p> <p>Mise en œuvre d'expériences montrant les caractéristiques du champ magnétique créé par : – un courant rectiligne ; – une bobine ou un solénoïde. Comparaison du champ externe d'un solénoïde et celui d'un barreau aimanté. Mise en évidence du champ magnétique terrestre.</p> <p>Utiliser la loi de Laplace pour interpréter qualitativement des expériences telles que : – barre mobile sur rails, – action entre courants parallèles, – mouvement d'une bobine au voisinage d'un aimant.</p> <p>Mise en évidence du principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique, d'un moteur à courant continu. Observer le fonctionnement en micro-phonie d'un HP électro-dynamique.</p>	<p><b>1 - Champ magnétique</b> Action d'un aimant, d'un courant continu, sur une très courte aiguille aimantée. Vecteur champ magnétique <math>B</math> : direction, sens, valeur et unité.</p> <p>Exemples de lignes de champ magnétique ; champ magnétique uniforme. Superposition de deux champs magnétiques (addition vectorielle).</p> <p><b>2 - Champ magnétique créé par un courant</b> Proportionnalité de la valeur du champ <math>B</math> et de l'intensité du courant en l'absence de milieux magnétiques. Champ magnétique créé par : – un courant rectiligne, – un solénoïde.</p> <p><b>3 - Forces électromagnétiques</b> Loi de Laplace ; direction, sens, valeur de la force : <math>F = I/B \sin \alpha</math>.</p>	<p>Une petite aiguille aimantée permet d'obtenir la direction et le sens du champ magnétique dans une petite région de l'espace. Les caractéristiques du vecteur champ magnétique. <i>Réaliser des spectres magnétiques.</i> <i>Utiliser une sonde à effet Hall.</i> Les lignes de champ magnétique se referment sur elles-mêmes. Connaître la topographie du champ magnétique créé par : – un courant rectiligne, – un solénoïde.</p> <p>Savoir que la valeur de <math>B</math> dépend de la géométrie du courant, de son intensité ainsi que du point de mesure.</p> <p>Appliquer la loi de Laplace pour évaluer la force qui s'exerce sur une portion rectiligne de circuit.</p> <p>Sur un schéma de principe donné, représenter la force de Laplace qui explicite le fonctionnement : – d'un haut-parleur électrodynamique, – d'un moteur à courant continu.</p> <p>Connaître les ordres de grandeur de la puissance des moteurs électriques usuels.</p>

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

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
	<p><b>4 - Couplage électromécanique</b>            Conversion d'énergie électrique en énergie mécanique.            Rôle moteur des forces de Laplace.            Observation de l'effet réciproque associé au mouvement d'un circuit dans un champ magnétique : conversion d'énergie mécanique en énergie électrique.</p>	

### Commentaires

#### ● Champ magnétique

Toute étude des actions mécaniques s'exerçant entre des aimants, ainsi que leur interprétation, sont exclues ; l'action sur une petite aiguille aimantée est constatée et sert simplement de support expérimental pour introduire la notion de champ magnétique. L'unité est donnée et la valeur d'un champ magnétique est mesurée par une sonde spécifique (teslamètre).

L'expression du champ magnétique créé par un courant rectiligne n'est pas au programme ; celle du champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde de grande longueur, si elle est donnée, le sera sous la forme :  $B = \mu_0 nI$  avec  $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ S.I.}$

#### *Remarque*

On appelle « champ » toute grandeur, fonction des coordonnées de position d'un point de l'espace, utilisée pour décrire localement les propriétés de la matière ou pour interpréter les phénomènes qui s'y produisent ; on parle ainsi de « champ de pression » (exemple des cartes météo) ; de même, la distribution spatiale de température est un « champ de température » même si l'expression est peu utilisée ; ce sont deux exemples de champs scalaires. Si la grandeur est vectorielle, on parle de « champ vectoriel » ; exemples : champ électrique, champ magnétique, champ de vitesses dans un fluide.

#### ● Forces électromagnétiques

Aucune expression vectorielle de la force de Laplace n'est demandée. On dégagera les paramètres utiles et leur rôle : direction de la force, sens dépendant de ceux du courant  $I$  et du champ magnétique  $B$ , proportionnalité à  $I$  et  $B$ , influence de l'angle entre  $B$  et le conducteur.

#### ● Couplage électromécanique

L'objectif est de montrer le rôle considérable qu'ont les forces électromagnétiques par la possibilité de convertir, quasi-intégralement, énergie électrique en énergie mécanique (potentielle, cinétique) et réciproquement ; de plus, elles sont à l'origine de nombreux systèmes électromécaniques, actionneurs et transducteurs. Ce rôle sera illustré par l'analyse des forces de Laplace sur un circuit simple, par exemple un cadre rectangulaire pour présenter le principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu.

Le calcul du travail des forces de Laplace sera éventuellement effectué sur l'exemple du rail, ce qui permet de réinvestir la notion de travail vue en mécanique. L'étude générale de leur travail ainsi que la notion de flux magnétique sont hors programme. On s'intéressera au rendement global de cette conversion d'énergie sur un système expérimental bien choisi.

L'apparition d'une f.é.m., et éventuellement d'un courant dans un circuit se déplaçant dans un champ magnétique fixe, est un exemple de phénomène d'induction ; un exemple différent a été introduit en classe de troisième, la rotation d'un aimant devant une bobine fixe (cas de la « dynamo » de bicyclette). L'étude de ces phénomènes d'induction, y compris de celui d'auto-induction, n'est pas au programme de la classe de première ; on se limite ici à une simple observation du phénomène pour montrer la réciprocité du couplage.

## IV - Optique

(Durée indicative : 9 heures, 3 TP)

### Objectifs

L'objectif est avant tout ici de construire le concept d'image compris comme l'interprétation, effectuée par le cerveau conditionné à la propagation rectiligne, du signal reçu par l'œil.

On s'interroge tout d'abord sur les conditions dans lesquelles un objet est vu.

Dans les études du miroir plan et de la lentille convergente, on commence par localiser les images perçues. On interprète ensuite le résultat de cette localisation en s'interrogeant sur le trajet effectivement suivi par la lumière. Puis on modélise ces phénomènes en construisant, sur une représentation de la situation, des rayons lumineux. On écrit enfin les lois ou les relations rendant compte des phénomènes observés.

L'étude d'un instrument d'optique simple illustrera l'étude effectuée, par exemple en montrant, dans le cas d'une lunette astronomique, comment l'association de lentilles convergentes bien choisies permet d'observer des objets éloignés sous un angle plus grand qu'à l'œil nu.

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
<p>Élaborer une réponse aux questions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Peut-on voir la lumière?</li> <li>- À quelles conditions un objet est-il visible ?</li> </ul> <p>Observation de l'effet d'une lentille convergente, divergente, sur un faisceau de lumière parallèle.</p> <p>Observation et construction de l'image d'un objet donné par un miroir plan ; détermination du champ d'observation. Expérience dite des deux bougies.</p> <p>Étude documentaire sur le télescope de Newton (schéma permettant de visualiser les principales pièces, contexte historique, etc.)*.</p> <p>Étude documentaire et expérimentale d'un instrument d'optique tel que *:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- lunette astronomique,</li> <li>- lunette terrestre,</li> <li>- instrument de projection ou de rétro-projection.</li> </ul>	<p><b>1 - Conditions de visibilité d'un objet</b> Rôle de l'œil dans la vision directe des objets. Propagation de la lumière : modèle du rayon lumineux ; point-objet. Lentilles convergentes ; lentilles divergentes. Critères simples de tri.</p> <p><b>2 - Images formées par les systèmes optiques</b></p> <p><b>2.1 Images données par un miroir plan</b> Observation et localisation de l'image d'un objet donnée par un miroir plan. Point-image conjugué d'un point objet. Lois de la réflexion.</p> <p><b>2.2 Images données par une lentille convergente</b> Observation et localisation des images données par une lentille convergente. Modélisation géométrique d'une lentille mince convergente ; centre optique, foyers ; distance focale, vergence. Modélisation analytique : relations de conjugaison et de grandissement des lentilles minces convergentes. La loupe.</p> <p><b>3 - Un exemple d'appareil optique</b> Modélisation expérimentale d'un instrument d'optique simple : lunette astronomique, rétroprojection, lunette terrestre ou jumelles, appareil de projection ou de rétro-projection, etc.</p>	<p>Savoir que:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- un objet ne peut être vu que s'il est éclairé ou s'il émet de la lumière ;</li> <li>- un objet ne peut être vu que si de la lumière provenant de cet objet arrive dans l'œil.</li> </ul> <p>Savoir que lors de la vision d'une image à travers un système optique, la lumière issue de l'objet pénètre dans l'œil après un parcours non rectiligne et que le cerveau l'interprète comme venant en ligne droite.</p> <p><i>Localiser expérimentalement une image.</i></p> <p>Déterminer graphiquement la position et la grandeur de l'image d'un point objet dans le cas d'un miroir plan.</p> <p>Schématiser une lentille mince convergente et indiquer les positions de ses foyers et du centre optique. Déterminer graphiquement la position de l'image d'un point-objet donnée par une lentille convergente. Utiliser les relations de conjugaison des lentilles minces convergentes. Utiliser le grandissement. <i>Être capable de faire un montage permettant de mesurer la distance focale d'une lentille convergente.</i> <i>Être capable de prévoir le sens du déplacement d'une image consécutif à un déplacement de l'objet.</i> Comprendre les rôles des éléments constitutifs d'un appareil d'optique n'utilisant que des lentilles convergentes et des miroirs plans.</p>

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

## Commentaires

On insistera sur le fait qu'on ne voit pas la lumière mais seulement des objets à condition que ceux-ci envoient de la lumière dans l'œil de l'observateur.

Ceci a lieu lorsque l'objet est lui-même émetteur de lumière (cas d'un filament incandescent), ou lorsque l'objet diffuse vers l'œil de l'observateur une partie de la lumière qu'il reçoit. On ne fera pas de distinction fondamentale entre ces deux cas. Par conséquent, on ne parlera pas de sources primaires ou secondaires mais d'objets, qu'ils soient lumineux ou éclairés.

Le professeur veillera à ce que l'expression « rayon lumineux » ne soit pas mal interprétée et ne laisse pas croire aux élèves que l'on « voit la lumière ».

On notera que la vision humaine est étroitement liée au fonctionnement du cerveau derrière le récepteur qu'est l'œil. L'interprétation des signaux reçus en terme d'image est liée au conditionnement du cerveau à la propagation rectiligne de la lumière. Ce concept d'image ne peut donc être confondu avec « l'image » que l'on peut former sur un écran diffusant. Dans les instruments de projection, on récupère, en effet, la lumière transmise par le système optique sur un écran placé dans le plan de l'image (réelle). On ne confondra pas l'écran ainsi éclairé (objet diffusant) avec l'image proprement dite.

À ce niveau, on ne fera pas de distinction entre les notions d'images réelles et virtuelles (et encore moins d'objets réels et virtuels).

On désigne par « point-objet » un point de l'objet étudié et par « point-image » un point de l'image. On appelle « rayon lumineux » la ligne (pas nécessairement rectiligne) représentant le chemin effectivement suivi par la lumière.

L'étude expérimentale des images données par un miroir ou par une lentille pourra être présentée en analogie avec le travail effectué en classe de seconde sur la parallaxe (localisation d'objets inaccessibles). Les conditions d'obtention des images (conditions de Gauss) ne seront pas évoquées à ce niveau.

Outre la mise en place d'une notion importante, l'introduction de la relation de conjugaison a des objectifs autres que purement disciplinaires.

Elle permet de travailler sur des outils mathématiques souvent mal acquis par les élèves : inverses, valeurs algébriques, repérages sur un axe.

L'étude d'un appareil d'optique permettra d'illustrer les notions introduites ; son choix sera effectué en tenant compte des possibilités expérimentales et des motivations des élèves.

# P

## rogramme de chimie

### I - La mesure en chimie

(Durée indicative : 16 h de cours, 8 ou 9 TP)

#### Objectifs

Le principal objectif de cette première partie est de montrer comment la chimie permet d'accéder à la détermination de concentrations ou de quantités de matière d'espèces chimiques données (solides, liquides et gazeuses). L'élève est d'abord sensibilisé, à partir de quelques exemples pris dans la vie courante, à la nécessité de disposer de différentes techniques de mesure. Puis il est amené à mesurer des grandeurs physiques liées aux quantités de matière, d'une part pour la préparation de solutions électrolytiques et, d'autre part, pour le suivi de transformations chimiques.

La détermination des concentrations est d'abord réalisée par une méthode directe d'étalonnage, sans intervention de réactions chimiques (analyses non destructives) ; la méthode de mesure proposée est la conductimétrie. En classe de première, la conductimétrie est choisie parce qu'elle met en jeu, dans certaines limites de concentration, une grandeur physique, la conductance, proportionnelle à la concentration d'espèces ioniques présentes en solution.

Lorsqu'il n'est pas possible ou trop long de procéder par étalonnage, les quantités de matière sont déterminées à partir de dosages mettant en jeu une transformation chimique n'impliquant qu'une réaction chimique (analyses destructives).

Les réactions chimiques de dosage que l'on aborde en classe de première sont limitées à des réactions acido-basiques et des réactions d'oxydoréduction. Les objectifs sont la maîtrise du bilan de matière, la compréhension du dosage qui permet la mesure sélective de la quantité de matière d'une espèce chimique donnée et la compréhension de l'équivalence.

Tout au long de l'année, l'élève est éduqué à la connaissance du risque et du danger, à la surveillance et à la protection de l'environnement, ainsi qu'à l'acquisition d'un comportement responsable, en particulier au laboratoire de chimie.

#### A - Pourquoi mesurer des quantités de matière ?

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
<i>Faire émerger la nécessité de la mesure à partir d'exemples pris dans différents domaines : surveillance et protection de l'environnement, analyses biologiques, agroalimentaires, etc.</i>	À partir d'exemples pris dans la vie courante, montrer la nécessité de disposer de différentes techniques de mesure et sensibiliser au choix d'une technique en fonction d'un objectif.	

#### B - Grandeurs physiques liées aux quantités de matière

##### Objectifs

Cette partie est une reprise et un prolongement de la troisième partie du programme de la classe de seconde sur les transformations chimiques.

Les connaissances des élèves sur l'utilisation des grandeurs physiques liées aux quantités de matière, ainsi que les activités expérimentales correspondantes, sont réinvesties, puis développées ; en effet, alors que le programme se limitait en classe

de seconde à la dissolution d'espèces moléculaires, à leur dilution ainsi qu'à la dilution de solutions ioniques, les élèves abordent maintenant l'étude des solutions électrolytiques sous l'angle de la solvatation des ions et de la détermination des concentrations molaires de ces ions. Le bilan de matière s'appuyant sur les activités expérimentales est présenté selon la méthode proposée pour la classe de seconde, à savoir la construction d'un tableau descriptif de l'évolution du système au cours de la transformation en utilisant la notion d'avancement de la réaction (rappelons qu'en classe de seconde, il n'y avait pas de compétences exigibles sur cette partie).

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
<p><i>À partir d'une expérience, établir un bilan de matière. Lors de ce premier TP, réinvestir les acquis concernant l'emploi du matériel de laboratoire et les précautions d'utilisation concernant les « produits ».</i></p> <p>Observer les modèles du chlorure de sodium et du fluorure de calcium. <i>Mise en solution de solides, de liquides et de gaz (expérience du jet d'eau) et mise en évidence des ions par des tests chimiques.</i> <i>Préparation de solutions ioniques de concentrations données à partir de solides ioniques ou de solutions concentrées. Expérience d'électrisation mettant en évidence le caractère dipolaire de la molécule d'eau.</i></p> <p><i>Effectuer une transformation chimique au cours de laquelle se forme un produit à l'état gazeux. Réaliser, chaque fois que possible, un test de reconnaissance des réactifs et des produits.</i> <i>À température constante, mesurer le volume du gaz (la pression étant connue) ou la pression de ce gaz (le volume étant connu).</i> <i>Utiliser un manomètre absolu ou relatif pour mesurer la variation de pression au cours de la transformation.</i> <i>Calculer une quantité de matière gazeuse.</i></p>	<p><b>1 - Masse, volume, pression</b> Grandeurs physiques liées aux quantités de matière solide ou liquide (masse, volume), et gazeuse (masse, volume, pression).</p> <p>Volume molaire d'un gaz parfait à pression et température connues.</p> <p><b>2 - Concentration ; solutions électrolytiques</b> Solide ionique. Obtention d'une solution électrolytique par dissolution de solides ioniques, de liquides ou de gaz dans l'eau. Caractère dipolaire d'une molécule (dipôle permanent) : exemples de la molécule de chlorure d'hydrogène et de la molécule d'eau ; corrélation avec la classification périodique des éléments. Solvatation des ions ; interaction entre les ions dissous et les molécules d'eau. Cas particulier du proton. Concentration molaire de soluté apporté, notée <math>c</math>, et concentration molaire effective des espèces dissoutes, notée <math>[X]</math>.</p> <p><b>3 - Applications au suivi d'une transformation chimique</b> Évolution d'un système au cours d'une transformation chimique : avancement, tableau descriptif de l'évolution et bilan de matière.</p>	<p><i>Choisir le matériel de laboratoire en fonction d'un objectif et l'utiliser correctement.</i> <i>Savoir utiliser une documentation pour connaître les dangers des « produits » utilisés, pour identifier sur l'étiquette d'un flacon les phrases de risque et de sécurité et déduire la conduite à tenir en cas d'accident.</i> Connaître l'équation des gaz parfaits : <math>pV = nRT</math> et l'utiliser pour déterminer une quantité de matière (<math>n</math>), connaissant les autres facteurs (<math>p</math>, <math>V</math> et <math>T</math>). Déterminer la quantité de matière d'un solide à partir de sa masse et celle d'un soluté moléculaire en solution à partir de sa concentration molaire et du volume de la solution homogène.</p> <p>Savoir que, dans un solide ionique, l'attraction entre un ion et ses plus proches voisins est assurée par l'interaction coulombienne. Écrire l'équation de la réaction associée à la dissolution dans l'eau d'une espèce conduisant à une solution électrolytique. <i>À partir des quantités de matière apportées et du volume de solution, déterminer la concentration molaire d'une solution électrolytique et la distinguer de la concentration molaire effective des ions.</i> Rendre compte du caractère dipolaire de la molécule d'eau selon la nature des atomes et la structure géométrique de la molécule. Savoir que les ions en solution sont solvatés.</p> <p>Décrire l'évolution des quantités de matière dans un système chimique au cours d'une transformation en fonction de l'avancement de la réaction. Déterminer le réactif limitant connaissant l'équation de la réaction et les quantités initiales des réactifs. Prévoir le volume final (la pression étant connue) ou la pression finale (le volume étant connu) d'un système produisant une quantité de matière, <math>n</math>, d'un gaz à température constante, <math>T</math>.</p>

## Commentaires

L'étude du solide ionique montre que celui-ci est constitué d'anions et de cations ordonnés dans l'espace et que chaque ion est entouré d'ions voisins de signes opposés ; l'enseignant précise que le solide ionique est neutre et se limite à sa formule statistique, mais ne donne pas de définition de la maille et ne développe pas de calculs. Lorsqu'une molécule est constituée de deux atomes différents, sa dissymétrie peut être à l'origine de l'apparition d'un caractère dipolaire (dipôle permanent) dont l'enseignant précise qu'il résulte de la non superposition des barycentres des charges positives et négatives des atomes qui la constituent ; il n'introduit pas le moment dipolaire d'une molécule et ne développe ni calculs, ni formalisme d'écriture. Le terme d'électronégativité peut être utilisé, sans introduire d'échelles. L'enseignant fait référence au tableau périodique pour interpréter le caractère dipolaire d'une molécule.

Le phénomène de solvatation des ions est mentionné comme une interaction ion-dipôle : les ions en solution s'entourent de molécules d'eau, et ceci d'autant plus que l'ion est petit et que sa charge est élevée (en relation avec l'interaction coulombienne vue en physique). Dans le cas particulier du proton, l'ion obtenu s'écrit  $\text{H}^+(\text{aq})$ . Cette écriture conventionnelle, simple et cohérente avec celle utilisée pour les autres ions, facilite l'écriture de nombreuses équations chimiques. Toutefois, il est possible d'utiliser la notation formelle courante  $\text{H}_3\text{O}^+$  (l'IUPAC recommande l'appellation oxonium) dans l'écriture des réactions acido-basiques lorsque le solvant est l'eau. L'écriture  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$  n'est pas nécessaire.

D'une manière générale, l'enseignant est attentif à écrire et faire préciser l'état physique des espèces étudiées :

solide (s), liquide ( $\lambda$ ), gazeux (g), espèce en solution aqueuse (aq).

Il précise les notations d'écriture (selon l'objectif, l'élève est amené à utiliser l'une ou l'autre de ces notations) : une solution aqueuse de chlorure de sodium est notée  $\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$  ; une solution de sulfate de potassium est notée :

$2\text{K}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ .

Par souci de simplification, on peut éventuellement admettre :  $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$  (ou  $2\text{K}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ ), mais en aucun cas :  $\text{NaCl}$  (ou  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ).

La réaction associée à la dissolution dans l'eau est notée dans le cas :

– d'un solide ionique :  $\text{NaCl}(\text{s}) \rightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$  ;

– d'un liquide :  $\text{HNO}_3(\lambda) \rightarrow \text{H}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$  ou  $\text{H}_2\text{SO}_4(\lambda) \rightarrow 2\text{H}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$  ;

– d'un gaz :  $\text{HCl}(\text{g}) \rightarrow \text{H}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ .

La distinction entre la concentration molaire de soluté apporté dans une solution et la concentration molaire effective des espèces présentes en solution est clairement faite. Dans une solution aqueuse de sulfate de sodium de concentration molaire  $c = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ , les concentrations molaires en ions sodium,  $[\text{Na}^+]$  et en ions sulfate,  $[\text{SO}_4^{2-}]$  sont différentes :  $[\text{Na}^+] = 0,2 \text{ mol.L}^{-1}$  et  $[\text{SO}_4^{2-}] = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ . Écrire :  $[\text{Na}_2\text{SO}_4]_{\text{initial}}$  pour désigner  $c$  ne convient pas. La notation  $c$  se réfère à ce qui a été introduit (ou apporté) dans la solution, la notation  $[\text{X}]$  se réfère à ce qui est effectivement présent dans la solution.

Les situations plus délicates où la mise en solution aqueuse s'accompagne d'une transformation chimique qui n'est pas totale seront vues en classe de terminale (par exemple, les concentrations molaires en ions acétate et en ions oxonium diffèrent de la concentration apportée d'acide acétique ; c'est le cas des électrolytes faibles).

## C - Comment déterminer des quantités de matière en solution à l'aide d'une mesure physique ? L'exemple de la conductimétrie

### Objectifs

L'objectif est la détermination d'une quantité de matière en utilisant une méthode physique impliquant un étalonnage préalable. En effet, en solution aqueuse, les grandeurs physiques : masse, volume, pression, ne conviennent pas toujours pour déterminer des quantités de matière.

La conductance d'une portion de solution électrolytique (grandeur macroscopique notée  $G$ ) peut permettre la détermination de quantités de matières d'espèces ioniques par une méthode d'étalonnage qui impose qu'aucune transformation chimique

n'ait lieu entre les espèces en solution (la concentration ne doit dépendre que de la dilution). La conductimétrie illustre en outre, au niveau microscopique, l'un des modes de conduction de l'électricité : la conduction ionique dans une solution, celle-ci dépendant de la nature des ions et de leur concentration.

L'entrée par l'expérience est privilégiée.

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
<p>Réaliser une expérience de migration d'ions en utilisant un générateur de tension continue.</p> <p>Mesurer la résistance et la conductance d'une portion de solution électrolytique en utilisant un GBF en mode sinusoïdal, un ampèremètre, un voltmètre et deux électrodes planes et parallèles.</p> <p>Étudier expérimentalement et qualitativement les effets de quelques grandeurs d'influence (<math>S</math>, <math>L</math>, <math>c</math>).</p> <p>Préparer des solutions ioniques de différentes concentrations en <math>\text{NaCl}</math> et tracer la courbe d'étalonnage <math>G = f(c)</math>.</p> <p>Utiliser cette courbe pour déterminer la concentration inconnue d'une solution de <math>\text{NaCl}</math>*.</p> <p>Comparer les conductances de solutions d'électrolytes courants (à partir de <math>\text{NaOH}</math>, <math>\text{KOH}</math>, <math>\text{HCl}</math>, <math>\text{NH}_4\text{Cl}</math>, <math>\text{NaCl}</math> et <math>\text{KCl}</math>).</p> <p>Déduire de ces mesures :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– une échelle relative des conductivités molaires ioniques de quelques ions,</li> <li>– que la conductance d'une solution de <math>\text{KOH}</math> peut être retrouvée à partir de celles des solutions de <math>\text{KCl}</math>, <math>\text{NaCl}</math> et <math>\text{NaOH}</math> prises aux mêmes concentrations.</li> </ul>	<p><b>1 - Conductance d'une solution ionique, <math>G</math></b> Méthode de mesure de la conductance. Grandeurs d'influence (température et état de surface des électrodes, surface des électrodes, distance entre elles, nature et concentration de la solution). Courbe d'étalonnage <math>G = f(c)</math>.</p> <p><b>2 - Conductivité d'une solution ionique, <math>\sigma</math></b> Définition à partir de la relation <math>G = \sigma \cdot S/L</math>. Relation entre <math>\sigma</math> et <math>c</math>.</p> <p><b>3 - Conductivité molaire ionique, <math>\lambda_i</math>, et relation entre les conductivités molaires ioniques et la conductivité d'une solution</b> Utilisation d'un tableau des conductivités molaires ioniques des ions les plus courants. Comparaison des conductivités molaires ioniques des ions <math>\text{H}^+</math> (aq) et <math>\text{HO}^-</math> (aq) à celles d'autres ions. Limites de la méthode d'étalonnage.</p>	<p>Savoir que la présence d'ions est nécessaire pour assurer le caractère conducteur d'une solution.</p> <p>Relation entre résistance et conductance.</p> <p>Connaître les grandeurs d'influence (<math>S</math>, <math>L</math>, <math>c</math>).</p> <p>Relation entre la conductance mesurée et la conductivité d'une solution électrolytique.</p> <p>Réaliser une gamme de solutions de différentes concentrations à partir d'une solution mère et tracer la courbe d'étalonnage <math>G = f(c)</math>.</p> <p>Exploiter cette courbe pour déterminer la concentration inconnue d'une solution.</p> <p>Utiliser la relation qui existe entre la conductivité d'une solution ionique peu concentrée, les conductivités molaires ioniques des ions présents et leurs concentrations molaires.</p> <p>Interpréter les résultats de mesures de conductance de plusieurs solutions de même concentration et possédant un ion commun.</p>

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

### Commentaires

Dans le cas d'électrolytes forts, la conductance d'une solution électrolytique (obtenue avec un seul soluté) est proportionnelle à la concentration molaire de soluté apporté tant que cette concentration n'excède pas une valeur de l'ordre de  $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ . Cette propriété, plus accessible à la compréhension des élèves que d'autres grandeurs liées à la concentration par des relations mathématiques plus complexes (pH, potentiel d'oxydoréduction, etc.), est utilisée pour déterminer des concentrations inconnues à l'aide de courbes d'étalonnage. Cette méthode consiste à tracer une courbe  $G = f(c)$  en utilisant des solutions de composition et de concentration connues et d'en déduire une concentration inconnue par interpolation.

Dans la mesure du possible, et cette partie du programme s'y prête bien, l'enseignant met les élèves devant des situations-problèmes pour l'interprétation des phénomènes observés et pour la recherche de la concentration inconnue d'une solution (qui pourrait être le sérum physiologique injectable, par exemple).

Cette partie du cours peut être utilisée par l'enseignant pour discuter de notions telles que chiffres significatifs, moyenne des résultats, incertitudes absolues et relatives. Pour une série de mesures, l'enseignant fait remarquer que cette méthode, pour être valable, suppose que ces mesures sont toujours faites dans les mêmes conditions physiques (température et état de surface de la cellule de conductimétrie, surface des électrodes et distance entre elles ; ces grandeurs sont appelées grandeurs d'influence).

La conductivité molaire ionique peut être suggérée expérimentalement à partir de la comparaison des conductances de solutions d'électrolytes forts, par exemple NaCl et NaOH ou KCl et KOH.

La relation entre les conductivités molaires ioniques des ions monochargés et la conductivité de la solution s'écrit :  $\sigma = \sum_i \lambda_i [X_i]$  ; les unités sont celles du Système International :  $\sigma$  en  $S \cdot m^{-1}$ ,  $\lambda_i^0$  en  $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$ ,  $[X_i]$  en  $mol \cdot m^{-3}$ , les conductivités molaires ioniques,  $\lambda_i$ , sont assimilées aux conductivités molaires ioniques à dilution infinie  $\lambda_i^0$  (valeurs données dans les tables).

Pour des solutions électrolytiques de type :  $M^+ (aq) + X^- (aq)$  dans lesquelles  $[X^-] = [M^+] = c$ , la relation s'écrit alors :  $\sigma = \lambda_M \cdot [M^+] + \lambda_X \cdot [X^-] = (\lambda_M + \lambda_X) \cdot c$ .

Il n'est pas fait allusion à la mobilité des ions, mais il importe de faire remarquer que la conductivité molaire ionique des ions,  $H_3O^+$  et  $HO^-$  est plus élevée que celle de la plupart des autres ions.

L'enseignant doit préciser que pour déterminer des quantités de matière en solution, la méthode d'étalonnage a ses limites ; en l'occurrence, la méthode d'étalonnage conductimétrique n'est pas applicable lorsque la solution est un mélange d'espèces ioniques de plusieurs solutés (l'eau de mer, par exemple). Ce dernier point ne doit donner lieu à aucun développement expérimental ou théorique.

## D - Comment déterminer des quantités de matière en solution à l'aide de la réaction chimique ?

### Objectifs

Dans une perspective unifiante de la physique et de la chimie, en conformité avec la présentation faite en physique des interactions fondamentales, les transformations chimiques impliquent toutes des redistributions d'électrons au niveau des couches externes des atomes. Au cours de l'histoire, l'étude des réactions chimiques associées à de nombreuses transformations a amené les chimistes à proposer des classifications plus spécifiques pour ces réactions. Ainsi, par exemple, les réactions acido-basiques, au sens de Brønsted, impliquent des transferts de protons entre entités et les réactions d'oxydoréduction des transferts d'électrons. Dans cette partie, l'objectif est la réalisation et l'exploitation d'un dosage et la compréhension de la notion d'équivalence ; les réactions chimiques proposées prises dans les domaines de l'acido-basicité et de l'oxydoréduction servent de support à ces dosages ; l'enseignant s'attache à faire le parallèle entre les réactions acido-basiques et les réactions d'oxydoréduction.

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
<p><i>Montrer le passage réciproque de l'acide à la base dans le cas des indicateurs colorés.</i></p> <p>Acides et bases contenus dans des produits de la vie courante : vinaigre, détartrant, déboucheur de canalisations, etc.</p>	<p><b>1- Réactions acido-basiques</b></p> <p>Exemples de réactions acido-basiques comme réactions impliquant des transferts de protons.</p> <p>À partir de l'écriture de chacune des réactions, faire émerger la définition d'un acide et d'une base au sens de Brønsted.</p> <p>Quelques acides et bases usuels.</p> <p>Couple acide/base.</p> <p>Couples de l'eau : <math>H_3O^+/H_2O</math> ; <math>H_2O/HO^- (aq)</math>.</p> <p>L'eau est un ampholyte.</p>	<p>Définir un acide et une base au sens de Brønsted.</p> <p>Connaître quelques couples acide/base et y reconnaître l'acide et la base :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>H_3O^+/H_2O</math>.</li> <li>- <math>H_2O/HO^- (aq)</math>.</li> <li>- <math>NH_4^+ (aq)/NH_3 (aq)</math>.</li> <li>- <math>CH_3CO_2H (aq)/CH_3CO_2^- (aq)</math>.</li> </ul> <p>Savoir écrire l'équation d'une réaction acido-basique.</p>
<p><i>Montrer le passage réciproque de l'oxydant au réducteur en caractérisant l'oxydant ou le réducteur formé.</i></p> <p>Oxydants et réducteurs contenus dans des produits de la vie courante : eau de Javel, eau oxygénée, acide ascorbique, etc.</p>	<p><b>2 - Réactions d'oxydoréduction</b></p> <p>Exemples de réactions d'oxydoréduction comme réactions impliquant des transferts d'électrons.</p> <p>À partir de l'écriture de chacune des réactions, faire émerger, dans des cas simples, la définition d'un oxydant et d'un réducteur.</p>	<p>Définir un oxydant et un réducteur.</p> <p>Reconnaître l'oxydant et le réducteur de quelques couples :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>H^+ (aq)/H_2 (g)</math>.</li> <li>- <math>M^{n+} (aq)/M(s)</math> (cation métallique/métal).</li> <li>- <math>Fe^{3+} (aq)/Fe^{2+} (aq)</math>.</li> <li>- <math>MnO_4^- (aq)/Mn^{2+} (aq)</math>,</li> </ul>

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
<p>Utiliser la conductimétrie pour le dosage d'un détartrant par une solution de soude ou le dosage d'un déboucheur d'évier par une solution de chlorure d'hydrogène (acide chlorhydrique).</p> <p>Dosage des ions fer(II) par les ions permanganate en milieu acide, ou du dioxyde par les ions thiosulfate. Intervalle de confiance d'une mesure en vue d'estimer la précision d'un dosage.</p>	<p>Couple oxydant/réducteur.</p> <p>Mise en évidence de la nécessité d'une méthode et d'un formalisme pour écrire l'équation d'une réaction d'oxydoréduction.</p> <p>Utilisation du tableau périodique pour donner des exemples de réducteurs (les métaux) et d'oxydants parmi les non-métaux (dihalogènes et dioxygène).</p> <p><b>3 - Dosages (ou titrages) directs</b></p> <p>La réaction chimique comme outil de détermination des quantités de matière.</p> <p>Utilisation d'un tableau décrivant l'évolution du système au cours du dosage.</p> <p>Équivalence lors d'un dosage.</p>	<p>– <math>I_2(aq)/I^-(aq)</math>, – <math>S_4O_6^{2-}(aq)/S_2O_3^{2-}(aq)</math>.</p> <p>Savoir écrire l'équation d'une réaction d'oxydoréduction.</p> <p>Savoir définir l'équivalence lors d'un dosage ; en déduire la quantité de matière du réactif dosé. Estimer la précision du dosage (justification du nombre de chiffres significatifs employés).</p>

### Commentaires

Comme en classe de seconde, la réaction chimique s'écrit avec pour symbolisme la simple flèche  $\rightarrow$ . Dans les exemples choisis pour illustrer les réactions acido-basiques et d'oxydoréduction, les transformations impliquant une seule réaction doivent être « totales » afin d'être parfaitement traduites par le symbolisme de la simple flèche. C'est de ces exemples, lors de l'écriture des réactions acido-basiques, qu'émerge la définition d'un acide ou d'une base au sens de Brønsted et que le couple acide/base est introduit. Il en est de même pour les réactions d'oxydoréduction et le couple oxydant/réducteur, les concepts de couple acide/base et de couple oxydant/réducteur étant unifiés à travers le concept plus général de transfert de particules.

Pour montrer le passage réciproque d'un acide à une base, il est possible de choisir un couple acide/base dans lequel l'acide et la base conjuguée ont des couleurs différentes : un indicateur coloré acido-basique (noté, par exemple,  $HIn/In^-$  ou à l'aide de sa formule brute).

Concernant les réactions d'oxydoréduction, la même démarche est employée ; les exemples doivent être soigneusement choisis selon une progression. Sur un exemple simple, par exemple cation métallique/métal, il est possible de faire émerger que les transferts de particules sont des transferts d'électrons (un ou plusieurs électrons).

L'enseignant est vigilant sur les notations et insiste sur le fait que les protons en solution aqueuse sont solvatés et que les électrons n'existent pas à l'état libre en solution aqueuse.

Les différentes notations proposées concernant les protons solvatés, les solutions aqueuses d'acides ou de bases, les solutions électrolytiques ont été vues lors de l'étude des solutions électrolytiques.

Un lien est fait avec le programme de SVT en mentionnant des couples redox tels que :  $NAD^+/NADH$ ,  $O_2/H_2O$ , Pyruvate/Lactate, etc.

À l'issue de la classe de première, il serait bon que l'élève connaisse et sache écrire la formule chimique d'acides et de bases usuels :

- solution de chlorure d'hydrogène (acide chlorhydrique), acide nitrique, acide sulfurique et solution de dioxyde de carbone (noté  $CO_2, H_2O$ ) ;
- solution d'hydroxyde de sodium, d'hydroxyde de potassium, d'ammoniac, de carbonate de sodium et d'hydrogencarbonate de sodium.

La notion de « force » d'un oxydant ou d'un réducteur, d'un acide ou d'une base, la notion de polyacides ou de polybases ne sont pas abordées en classe de première. L'écriture de la formule chimique de l'acide sulfurique ou celle du carbonate de sodium ne doivent donner lieu à aucun développement en termes de polyacide ou de polybase.

Pour écrire une demi-équation acido-basique ou d'oxydoréduction concernant un couple donné, un formalisme d'écriture est proposé utilisant le signe égal = ; le couple acide/base est défini par l'écriture formelle : acide = base + H<sup>+</sup> ; le couple oxydant/réducteur par : oxydant + n e<sup>-</sup> = réducteur.

L'équation de la réaction (issue des deux demi-équations) continue de s'écrire avec pour symbolisme la simple flèche →.

Lors d'un dosage, à chaque ajout de réactif titrant, l'avancement atteint dans l'état final est maximal. La valeur limite, notée x<sub>eq</sub>, correspond à l'état où le réactif titrant et le réactif titré sont tous deux intégralement consommés. L'équivalence est définie comme l'état du système dans lequel le réactif titré devient le réactif limitant alors qu'avant l'équivalence du réactif limitant était le réactif titrant. La quantité de matière du réactif titré est déduite du tableau décrivant l'évolution du système au cours du dosage.

La dépendance de la conductance avec la concentration de l'espèce ionique à doser est affine (dans certaines limites). Cette caractéristique a, entre autres, motivé le choix de la conductimétrie comme technique de dosage. La courbe de dosage (sous réserve de pouvoir négliger la dilution) se présente alors comme une suite de segments de droite dont la rupture de pente permet de déterminer l'équivalence. En classe de première, seuls des dosages mettant en jeu des électrolytes forts (et donc totalement dissociés dans l'eau) sont proposés.

Cette partie convient particulièrement pour réinvestir les comportements de sécurité et de protection de l'environnement à partir des manipulations et des lectures d'étiquettes des « produits » utilisés. Elle convient également pour provoquer la réflexion des élèves sur l'utilisation raisonnée des produits courants présentant un danger.

## II - La chimie créatrice

(Durée indicative : 11 h de cours, 4 ou 5 TP)

### Objectifs

L'objectif de cette partie est de faire apparaître qu'une formule chimique a du sens pour un chimiste, qu'elle évoque des propriétés physiques et chimiques, qu'elle est un outil qui lui permet de rationaliser et de prévoir le comportement des espèces chimiques. Les molécules organiques ont été choisies pour atteindre cet objectif.

L'élève met en évidence lors d'un travail expérimental complété par un travail documentaire que les molécules de la chimie organique comportent un squelette carboné et éventuellement un ou plusieurs groupes caractéristiques (groupes fonctionnels).

La démarche consiste ensuite à développer la lecture des squelettes carbonés en montrant leur diversité, leur influence sur les propriétés des molécules et à présenter des modifications possibles de ces squelettes carbonés : allonger, raccourcir, ramifier, cycliser ou déshydrogéner.

Les applications industrielles choisies pour illustrer ces modifications sont empruntées tout particulièrement à la chimie du pétrole qui conduit aux carburants et aux polymères.

Dans cette partie, l'objectif est aussi d'initier à la réactivité sous deux aspects : exploration du champ de réactivité d'une famille de composés (en l'occurrence, les alcools), et synthèses montrant le passage d'un groupe caractéristique à un autre. Les synthèses effectuées mettent en œuvre les techniques de base d'un laboratoire de

chimie. Elles conduisent à préciser à nouveau les règles de sécurité et de protection de l'environnement. Chaque fois que possible, des applications industrielles sont présentées.

La chimie est créatrice de ses objets comme l'illustre la multitude et la diversité des molécules ainsi que la richesse de leurs applications.

Cette partie du programme permet aussi à l'élève d'élargir sa culture scientifique.

## A - La chimie organique : de sa naissance à son omniprésence dans le quotidien

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
Travail documentaire* : – composition des espèces chimiques organiques (importance quantitative des éléments C et H principalement), – histoire de la chimie organique sous l'angle des découvertes et des hommes, – mise en évidence de la multitude et de la diversité des molécules en chimie organique (nombre de molécules, nombre d'espèces organiques synthétisées chaque année, etc.), – importance économique de la chimie organique.	<b>1 - Qu'est-ce que la chimie organique ?</b> Cerner le champ de la chimie organique. Ressources naturelles : photosynthèse, synthèses biochimiques et hydrocarbures fossiles.  <b>2 - Le carbone, élément de base de la chimie organique</b> Comment l'atome de carbone établit-il des liaisons avec d'autres atomes ?  <b>3 - Quelques dates dans l'histoire de la chimie organique</b>  <b>4 - L'omniprésence de la chimie organique</b>	Savoir que les molécules de la chimie organique sont constituées principalement des éléments C et H.  À l'aide des règles du « duet » et de l'octet, décrire les liaisons que peut établir un atome de carbone avec ses atomes voisins.

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

### Commentaires

L'esprit de cette partie est de montrer, en réinvestissant le programme de la classe de seconde (en particulier, la première partie), l'importance de la chimie de synthèse (l'homme reproduit des espèces naturelles et crée des espèces chimiques nouvelles). Les représentations de Lewis des molécules permettent d'identifier les liaisons simple, double et triple et de préciser leur orientation dans l'espace.

La présentation de l'histoire de la chimie organique et la recherche documentaire correspondante se prêtent particulièrement bien à des entrées historiques en y associant les chimistes concernés : la théorie de la « force vitale », l'histoire de la détermination de la formule et de la structure du benzène, la croissance vertigineuse de la chimie organique après 1827 (date à laquelle F. Wöhler effectue la synthèse de l'urée) grâce à la synthèse de nouvelles molécules (colorants, médicaments, parfums synthétiques, etc.).

## B - Apprendre à lire une formule chimique

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
<i>Expériences visant à montrer l'importance du squelette carboné, du groupe caractéristique et leur rôle respectif sur les propriétés physiques et chimiques : tests de solubilité, tests de caractérisation.</i>	<b>1 - Introduction</b> Une molécule organique comporte un squelette carboné et, éventuellement, des groupes caractéristiques.	Reconnaître une chaîne carbonée saturée linéaire ou non. Donner le nom des alcanes (en se limitant aux alcanes comportant une chaîne de 6 atomes de carbone au plus). Reconnaître la présence d'une liaison double sur une chaîne carbonée (alcènes et dérivés éthyléniques).

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
<p>Travail documentaire de sensibilisation aux différentes représentations de molécules (y compris des molécules biologiques en lien avec le programme de SVT) faisant apparaître différents types de squelettes et faisant émerger la notion de groupe caractéristique*.</p> <p><i>Éléments de nomenclature, isomérie (en se limitant aux alcanes comportant une chaîne de 6 atomes de carbone au plus et aux molécules de type CHA = CHB), modèles moléculaires et logiciels de simulation*.</i></p> <p>Activités documentaires, utilisation de cédéroms, vidéos et expériences de cours permettant d'illustrer les transformations des pétroles (par reformage, craquage catalytique et vapocraquage) et la polymérisation en spécifiant les produits obtenus (carburants et polymères) ainsi que leurs nombreuses applications*.</p> <p><i>Illustration expérimentale du champ de réactivité des alcools.</i></p> <p><i>Synthèses permettant de réinvestir et d'acquérir des techniques expérimentales au laboratoire et d'illustrer la réactivité de molécules sous l'angle du passage d'un groupe à un autre avec caractérisation du groupe obtenu.</i></p> <p>Applications industrielles.</p>	<p><b>2 - Le squelette carboné</b></p> <p>a) La diversité des chaînes carbonées – Chaîne linéaire, ramifiée ou cyclique saturée et insaturée. Formule brute, formule semi-développée plane, approche de l'écriture topologique, isomérie de constitution mise en évidence sur quelques exemples simples de l'isomérie Z et E. – Influence de la chaîne carbonée sur les propriétés physiques : température d'ébullition, densité, solubilité (les exemples sont pris sur des chaînes saturées). – Application à la distillation fractionnée.</p> <p>b) La modification du squelette carboné Allonger, raccourcir, ramifier, cycliser ou déshydrogéner à partir de quelques applications industrielles : chimie du pétrole, polyaddition des alcènes et des dérivés éthyléniques.</p> <p><b>3 - Les groupes caractéristiques : initiation</b></p> <p>a) Reconnaître les familles de composés : amine, composé halogéné, alcool, aldéhyde, cétone, acide carboxylique.</p> <p>b) Illustrer la réactivité des alcools : oxydation, déshydratation (élimination), passage aux composés halogénés (substitution).</p> <p>c) Passage d'un groupe caractéristique à un autre : quelques exemples au laboratoire et dans l'industrie.</p>	<p>Donner les formules brute et semi-développée d'une molécule simple. Prévoir les isomères de constitution d'une molécule à partir de sa formule brute (en se limitant aux alcanes comportant une chaîne de 6 atomes de carbone au plus).</p> <p>À partir d'un monomère <math>\text{CH}_2 = \text{CHA}</math>, écrire le motif du polymère obtenu par polyaddition :</p> $\text{---}(\text{CH}_2 - \text{CHA})\text{---}_n$ <p>Au vu de la formule développée plane d'une molécule, reconnaître les familles de composés suivantes : amine, composé halogéné, alcool, aldéhyde, cétone et acide carboxylique.</p> <p><i>Lors de la réaction d'un alcool, reconnaître s'il s'agit d'une réaction d'oxydation, de déshydratation (élimination) ou de substitution.</i></p> <p>Connaître les familles de composés obtenus par oxydation ménagée d'un alcool. Écrire la réaction d'oxydation d'un alcool par les ions permanganate en milieu acide.</p> <p><i>Mettre en œuvre au laboratoire une extraction par solvant, un chauffage à reflux, une filtration sous vide, une CCM, une distillation en justifiant du choix du matériel à utiliser.</i></p> <p><i>Déterminer la valeur du rendement d'une synthèse.</i></p>

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

### Commentaires

En menant des expériences au laboratoire, l'élève prend conscience de l'importance du squelette carboné et découvre l'influence de la structure sur quelques propriétés physiques et chimiques : longueur de la chaîne carbonée, structure linéaire ou ramifiée, présence ou non de liaisons doubles, de groupes caractéristiques. L'élève manipule, puis s'interroge. En ayant connaissance des formules chimiques des produits utilisés, il relie ces formules aux propriétés physiques et chimiques observées. La manipulation est complétée par un travail documentaire visant à « apprendre à lire » différentes formules de molécules : différents types de squelettes, eux-mêmes éven-

tuellement porteurs de divers groupes caractéristiques. Plusieurs modes de représentations sont utilisés ; en lien avec le programme de SVT des molécules complexes peuvent être présentées. Le programme de la classe de première se limite à la reconnaissance des groupes caractéristiques suivants :  $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{X}$ ,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{CO}$ ,  $-\text{CO}_2\text{H}$  et aux familles de composés correspondants. Les réactifs de caractérisation utilisés : solution aqueuse de dibrome, 2,4-dinitrophénylhydrazine, réactif de Fehling ou réactif de Tollens, solution alcoolique de nitrate d'argent, ions permanganate, papier pH, permettent d'identifier expérimentalement quelques-uns de ces groupes. Ces tests peuvent donner l'occasion de spécifier les couples oxydant/réducteur mis en jeu ; dans des cas simples, ils peuvent donner lieu à l'écriture des réactions chimiques correspondantes. La famille des acides carboxyliques et celle des amines se prêtent bien à un retour sur les couples acide/base. Les amines ne doivent donner lieu à aucun développement ; il s'agit seulement, en lien avec le programme de SVT, de permettre la reconnaissance du groupe amine d'un acide aminé.

Pour illustrer un champ de réactivité d'une famille de composés, les alcools conviennent bien parce qu'ils permettent de revoir les réactions d'oxydoréduction et parce que ce groupe joue un rôle central en biochimie (en lien avec le programme de SVT). Les synthèses effectuées au laboratoire donnent quelques exemples d'aménagement fonctionnel : l'enseignant illustre, sur quelques cas bien choisis, le passage d'un groupe à un autre et inversement (RX/ROH ; ROH/dérivés carbonylés) et également le passage des alcools aux dérivés éthyléniques. Les tests caractéristiques précédents permettent d'identifier ces groupes.

Des exemples de modification du squelette carboné et de l'aménagement fonctionnel sont pris dans la chimie industrielle. À propos de la chimie du pétrole, l'enseignant présente les opérations industrielles de craquage catalytique, de vapocraquage et de reformage sans les développer, l'objectif étant limité à mettre en évidence les modifications du squelette carboné sur les produits obtenus. Les polymères obtenus par polyaddition d'alcènes et de dérivés éthyléniques ainsi que les carburants sont choisis comme exemples de transformations des pétroles (ces aspects seront réinvestis dans la partie III : L'énergie au quotidien). Les composés halogénés, importants pour leurs applications industrielles, donnent l'occasion de poser le problème des solvants chlorés et les précautions d'emploi au laboratoire (utilisation et déchets).

### **III - L'énergie au quotidien : la cohésion de la matière et les aspects énergétiques de ses transformations**

(Durée indicative : 4 heures de cours, 1 ou 2 TP)

#### **Objectifs**

Les parties précédentes du programme ont conduit l'élève à réaliser que des transformations chimiques impliquent des changements dans la structure de la matière. L'objectif de cette dernière partie est de mettre en relation l'aspect énergétique de ces transformations avec la cohésion de la matière et de comparer les ordres de grandeur des énergies de cohésion de deux types d'assemblages de la matière : les associations d'atomes dans les molécules isolées (gaz) et les assemblages de molécules dans les liquides ou les solides moléculaires.

Cette partie fournit aussi l'occasion de développer chez les élèves une véritable culture scientifique. Les élèves sont mis en situation de questionnement et de recherche au sujet de quelques grands problèmes liés aux choix énergétiques quotidiens, collectifs ou individuels et à leurs conséquences sur l'environnement. C'est l'occasion de renforcer l'éducation des élèves à la sécurité et à l'évaluation des risques.

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
<p><i>Observation d'effets thermiques associés à des transformations chimiques (mettant en jeu des réactions acido-basiques, d'oxydoréduction, de dissolution ou de combustion) et à des changements d'état.</i></p> <p><i>Comparaison des ordres de grandeur de l'énergie libérée au cours d'une réaction de combustion et de l'énergie transférée au cours d'une réaction de vaporisation.</i></p> <p>Applications dans la vie quotidienne des effets thermiques associés à différentes transformations.</p> <p>Activités documentaires liées aux combustions, par exemple dans les moteurs à explosion et les centrales thermiques à flamme (rejets, sécurité, etc.)*.</p>	<p><b>1 - La cohésion de la matière</b> La molécule : assemblage d'atomes ; énergie de liaison d'une liaison AB, notée <math>D_{AB}</math>. Les assemblages de molécules : le solide et le liquide comparés au gaz (ordre de grandeur des distances entre les molécules ; de l'ordre au désordre) ; énergie de cohésion.</p> <p><b>2 - Les transformations de la matière : aspects énergétiques et effets thermiques associés</b> Transformations chimiques. Changements d'état. Utiliser les énergies de liaison pour estimer l'ordre de grandeur de l'énergie transférée au cours d'une réaction mettant en jeu des espèces chimiques à l'état gazeux.</p> <p><b>3 - Quelques applications au quotidien des effets thermiques</b> Transports et chauffage : enjeux et conséquences sur l'environnement.</p>	<p>Être capable de donner une définition de l'énergie de liaison.</p> <p>Savoir que l'énergie de cohésion de solides ou de liquides composés de molécules est un ordre de grandeur plus faible qu'une énergie de liaison.</p>

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

### Commentaires

Les énergies de cohésion des assemblages considérés sont évaluées au travers des énergies échangées lors de la dissociation d'une mole d'assemblage.

Dans une molécule AB, l'énergie de cohésion, qui s'identifie ici à l'énergie de liaison, est définie comme l'énergie à apporter pour dissocier une mole de AB (g) en une mole de A (g) et une mole de B (g), selon la réaction :  $AB(g) \rightarrow A(g) + B(g)$ .

Dans un liquide ou un solide (molécules M), l'énergie de cohésion est définie comme l'énergie à apporter pour dissocier une mole de M (s) ou une mole de M (l) en une mole de M (g) selon la réaction :  $M(s) \rightarrow M(g)$ , ou  $M(l) \rightarrow M(g)$ .

Dans ce contexte, les énergies de cohésion s'expriment en  $J \cdot mol^{-1}$ .

Dans cette partie, il ne s'agit pas de développer une description approfondie des trois états physiques de la matière ou une approche structurale des interactions moléculaires. L'enseignant dégage les caractéristiques communes ou distinctes des trois états physiques de la matière selon des critères de distance (évaluée par rapport au diamètre moléculaire) et des critères d'ordre. Des modèles moléculaires ou des simulations informatiques peuvent être proposés pour illustrer la notion d'ordre.

Comme en classe de seconde, l'enseignant veille à bien faire la distinction entre la transformation d'un système (qui va d'un état initial à un état final) et le processus qui est associé à cette transformation : à une transformation chimique est associée une réaction chimique ; à un changement d'état est associée la réaction correspondante de vaporisation, de fusion, etc.

Compte tenu de leur importance dans la vie quotidienne, les réactions de combustion sont choisies pour illustrer les aspects énergétiques des transformations ; les réactions de combustion sont ici envisagées sous l'angle thermique (l'enseignant n'insiste pas sur le fait qu'elles font partie des réactions d'oxydoréduction). Seules les réactions de combustion d'espèces chimiques à l'état gazeux peuvent donner lieu à quelques applications numériques (les valeurs des énergies de liaison trouvées dans les tables usuelles sont le plus souvent des énergies moyennes de liaison).

De nombreuses activités peuvent être proposées par l'enseignant concernant les applications des effets thermiques dans la vie quotidienne.

Le choix de ces activités est réalisé selon les possibilités locales (visites d'usine, de centrales, de centres de traitement des déchets, etc.) et les ressources existantes (vidéo, cédéroms, etc.). Il n'y a pas de connaissances et savoir-faire exigibles, l'objectif étant une formation à la citoyenneté, et non une accumulation supplémentaire de savoirs.

Achevé d'imprimer sur les presses de l'imprimerie DESMET-LAIRE  
Dépôt légal mai 2002