

Guide de chimie

Première évaluation en 2016



Guide de chimie

Première évaluation en 2016

Programme du diplôme Guide de chimie

Version française de l'ouvrage publié originalement en anglais
en février 2014 sous le titre *Chemistry guide*

Publié en février 2014
Mis à jour en novembre 2015

Publié pour le compte de l'Organisation du Baccalauréat International, fondation éducative à but non lucratif
sise 15 Route des Morillons, CH-1218 Le Grand-Saconnex, Genève, Suisse, par

International Baccalaureate Organization (UK) Ltd
Peterson House, Malthouse Avenue, Cardiff Gate
Cardiff, Pays de Galles CF23 8GL
Royaume-Uni
Site Web : www.ibo.org

© Organisation du Baccalauréat International 2014

L'Organisation du Baccalauréat International (couramment appelée l'IB) propose quatre programmes d'éducation stimulants et de grande qualité à une communauté mondiale d'établissements scolaires, dans le but de bâtir un monde meilleur et plus paisible. Cette publication fait partie du matériel publié pour appuyer la mise en œuvre de ces programmes.

L'IB peut être amené à utiliser des sources variées dans ses travaux, mais vérifie toujours l'exactitude et l'authenticité des informations employées, en particulier dans le cas de sources participatives telles que Wikipédia. L'IB respecte les principes de la propriété intellectuelle et s'efforce toujours d'identifier les détenteurs des droits relatifs à tout matériel protégé par le droit d'auteur et d'obtenir d'eux, avant publication, l'autorisation de réutiliser ce matériel. L'IB tient à remercier les détenteurs de droits d'auteur qui ont autorisé la réutilisation du matériel apparaissant dans cette publication et s'engage à rectifier dans les meilleurs délais toute erreur ou omission.

Le générique masculin est utilisé ici sans aucune discrimination et uniquement pour alléger le texte.

Dans le respect de l'esprit international cher à l'IB, le français utilisé dans le présent document se veut mondial et compréhensible par tous, et non propre à une région particulière du monde.

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, mise en mémoire dans un système de recherche documentaire, ni transmise sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit, sans autorisation écrite préalable de l'IB ou sans que cela ne soit expressément autorisé par la loi ou par la politique et le règlement de l'IB en matière d'utilisation de sa propriété intellectuelle. Veuillez consulter à cet effet la page <http://www.ibo.org/fr/copyright>.

Vous pouvez vous procurer les articles et les publications de l'IB par l'intermédiaire du magasin en ligne de l'IB sur le site <http://store.ibo.org>. Toute question d'ordre général concernant les commandes doit être adressée au service des ventes et du marketing à Cardiff.

Courriel : sales@ibo.org

Déclaration de mission de l'IB

Le Baccalauréat International a pour but de développer chez les jeunes la curiosité intellectuelle, les connaissances et la sensibilité nécessaires pour contribuer à bâtir un monde meilleur et plus paisible, dans un esprit d'entente mutuelle et de respect interculturel.

À cette fin, l'IB collabore avec des établissements scolaires, des gouvernements et des organisations internationales pour mettre au point des programmes d'éducation internationale stimulants et des méthodes d'évaluation rigoureuses.

Ces programmes encouragent les élèves de tout pays à apprendre activement tout au long de leur vie, à être empreints de compassion, et à comprendre que les autres, en étant différents, puissent aussi être dans le vrai.



Profil de l'apprenant de l'IB

Tous les programmes de l'IB ont pour but de former des personnes sensibles à la réalité internationale, conscientes des liens qui unissent entre eux les humains, soucieuses de la responsabilité de chacun envers la planète et désireuses de contribuer à l'édification d'un monde meilleur et plus paisible.

En tant qu'apprenants de l'IB, nous nous efforçons d'être :

CHERCHEURS

Nous cultivons notre curiosité tout en développant des capacités d'investigation et de recherche. Nous savons apprendre indépendamment et en groupe. Nous apprenons avec enthousiasme et nous conservons notre plaisir d'apprendre tout au long de notre vie.

INFORMÉS

Nous développons et utilisons une compréhension conceptuelle, en explorant la connaissance dans un ensemble de disciplines. Nous nous penchons sur des questions et des idées qui ont de l'importance à l'échelle locale et mondiale.

SENSÉS

Nous utilisons nos capacités de réflexion critique et créative, afin d'analyser des problèmes complexes et d'entreprendre des actions responsables. Nous prenons des décisions réfléchies et éthiques de notre propre initiative.

COMMUNICATIFS

Nous nous exprimons avec assurance et créativité dans plus d'une langue ou d'un langage et de différentes façons. Nous écoutons également les points de vue d'autres individus et groupes, ce qui nous permet de collaborer efficacement avec eux.

INTÈGRES

Nous adhérons à des principes d'intégrité et d'honnêteté, et possédons un sens profond de l'équité, de la justice et du respect de la dignité et des droits de chacun, partout dans le monde. Nous sommes responsables de nos actes et de leurs conséquences.

OUVERTS D'ESPRIT

Nous portons un regard critique sur nos propres cultures et expériences personnelles, ainsi que sur les valeurs et traditions d'autrui. Nous recherchons et évaluons un éventail de points de vue et nous sommes disposés à en tirer des enrichissements.

ALTRUISTES

Nous faisons preuve d'empathie, de compassion et de respect. Nous accordons une grande importance à l'entraide et nous œuvrons concrètement à l'amélioration de l'existence d'autrui et du monde qui nous entoure.

AUDACIEUX

Nous abordons les incertitudes avec discernement et détermination. Nous travaillons de façon autonome et coopérative pour explorer de nouvelles idées et des stratégies innovantes. Nous sommes ingénieux et nous savons nous adapter aux défis et aux changements.

ÉQUILIBRÉS

Nous accordons une importance équivalente aux différents aspects de nos vies – intellectuel, physique et affectif – dans l'atteinte de notre bien-être personnel et de celui des autres. Nous reconnaissons notre interdépendance avec les autres et le monde dans lequel nous vivons.

RÉFLÉCHIS

Nous abordons de manière réfléchie le monde qui nous entoure, ainsi que nos propres idées et expériences. Nous nous efforçons de comprendre nos forces et nos faiblesses afin d'améliorer notre apprentissage et notre développement personnel.

Le profil de l'apprenant de l'IB incarne dix qualités mises en avant par les écoles du monde de l'IB. Nous sommes convaincus que ces qualités, et d'autres qui leur sont liées, peuvent aider les individus à devenir des membres responsables au sein des communautés locales, nationales et mondiales.

Table des matières

Introduction	1
Objet de ce document	1
Le Programme du diplôme	2
Nature de la science	7
Nature de la chimie	15
Objectifs globaux	20
Objectifs d'évaluation	21
Programme	22
Résumé du programme	22
Manières d'aborder l'enseignement et l'apprentissage de la chimie	24
Contenu du programme	29
Évaluation	197
L'évaluation dans le Programme du diplôme	197
Résumé de l'évaluation – NM	200
Résumé de l'évaluation – NS	201
Évaluation externe	202
Évaluation interne	204
Le projet du groupe 4	218
Annexes	223
Glossaire des mots-consignes	223
Bibliographie	226

Objet de ce document

Cette publication a pour but de guider la planification, l'enseignement et l'évaluation de la matière dans les établissements scolaires. Elle s'adresse avant tout aux enseignants concernés, même si ces derniers l'utiliseront également pour fournir aux élèves et à leurs parents des informations sur la matière.

Ce guide est disponible sur la page du Centre pédagogique en ligne (CPEL) consacrée à cette matière, à l'adresse <http://occ.ibo.org>. Le CPEL est un site Web à accès protégé par mot de passe, conçu pour les enseignants des programmes de l'IB. Il est également en vente sur le site du magasin de l'IB, accessible en ligne à l'adresse <http://store.ibo.org>.

Ressources complémentaires

D'autres publications, telles que du matériel de soutien pédagogique, des rapports pédagogiques, des instructions concernant l'évaluation interne et des descripteurs de notes finales se trouvent également sur le CPEL. Par ailleurs, des épreuves de sessions précédentes, ainsi que des barèmes de notation, sont en vente sur le site du magasin de l'IB.

Les enseignants sont encouragés à consulter régulièrement le CPEL où ils pourront trouver des ressources complémentaires créées ou utilisées par d'autres enseignants. Ils pourront également y ajouter des informations sur des ressources qu'ils ont trouvées utiles, telles que des sites Web, des ouvrages de référence, des vidéos, des revues ou des idées d'ordre pédagogique.

Remerciements

L'IB tient à remercier les professionnels de l'éducation et leurs établissements respectifs pour la généreuse contribution qu'ils ont apportée à l'élaboration de ce guide en termes de temps et de ressources.

Première évaluation en 2016

Le Programme du diplôme

Le Programme du diplôme est un programme d'études pré-universitaires rigoureux qui s'étend sur deux ans et s'adresse aux jeunes de 16 à 19 ans. Il couvre une grande sélection de domaines d'études et a pour but d'encourager les élèves, non seulement à développer leurs connaissances, mais également à faire preuve de curiosité intellectuelle ainsi que d'altruisme et de compassion. Ce programme insiste fortement sur le besoin de favoriser chez les élèves le développement de la compréhension interculturelle, de l'ouverture d'esprit et des attitudes qui leur seront nécessaires pour apprendre à respecter et évaluer tout un éventail de points de vue.

Le modèle du Programme du diplôme

Le programme est divisé en six domaines d'études, répartis autour d'un noyau de composantes obligatoires ou tronc commun (voir figure 1). Cette structure favorise l'étude simultanée d'une palette de domaines d'études. Ainsi, les élèves étudient deux langues vivantes (ou une langue vivante et une langue classique), une matière de sciences humaines ou de sciences sociales, une matière scientifique, les mathématiques et une discipline artistique. C'est ce vaste éventail de matières qui fait du Programme du diplôme un programme d'études exigeant conçu pour préparer efficacement les élèves à leur entrée à l'université. Une certaine flexibilité est néanmoins accordée aux élèves dans leur choix de matières au sein de chaque domaine d'études. Ils peuvent ainsi opter pour des matières qui les intéressent tout particulièrement et qu'ils souhaiteront peut-être continuer à étudier à l'université.



Figure 1
Modèle du Programme du diplôme

Choix de la bonne combinaison

Les élèves doivent choisir une matière dans chaque domaine d'études. Ils ont cependant la possibilité de choisir deux matières dans un même domaine d'études à la place d'une matière artistique. En principe, trois matières (et quatre au plus) doivent être présentées au niveau supérieur (NS) et les autres au niveau moyen (NM). L'IB recommande 240 heures d'enseignement pour les matières du NS et 150 heures pour celles du NM. Au NS, l'étude des matières est plus étendue et plus approfondie qu'au NM.

De nombreuses compétences sont développées à ces deux niveaux, en particulier les compétences d'analyse et de réflexion critique. À la fin du programme, les aptitudes des élèves sont mesurées au moyen d'une évaluation externe. Dans de nombreuses matières, l'évaluation finale comprend également une part de travaux dirigés évalués directement par les enseignants.

Le tronc commun du programme

Tous les élèves du Programme du diplôme prennent part aux trois composantes obligatoires qui constituent le tronc commun du programme.

Le cours de théorie de la connaissance (TdC) demande essentiellement aux élèves de mener une réflexion critique et de réfléchir sur le processus cognitif plutôt que d'apprendre un ensemble de connaissances spécifiques. Il amène les élèves à explorer la nature de la connaissance et à examiner comment nous connaissons ce que nous affirmons connaître. Pour ce faire, il les incite à analyser des assertions et à explorer des questions relatives à la construction de la connaissance. La TdC met l'accent sur les liens entre les différents domaines des connaissances partagées et les relie aux connaissances personnelles de telle sorte que l'individu prenne conscience de ses propres perspectives et de la façon dont elles peuvent différer de celles d'autrui.

Le programme créativité, action, service (CAS) est au cœur du Programme du diplôme. Il s'attache à aider les élèves à développer leur propre identité en accord avec les principes éthiques exprimés dans la déclaration de mission de l'IB et dans le profil de l'apprenant de l'IB. Il implique les élèves dans un éventail d'activités tout au long de leurs études dans le Programme du diplôme. Le programme CAS est constitué de trois composantes : créativité (arts et autres expériences impliquant la pensée créative), action (activité physique contribuant à un style de vie sain) et service (un échange volontaire et non rémunéré enrichissant l'apprentissage de l'élève). Le Programme CAS contribue probablement plus que toute autre composante du Programme du diplôme à la mission de l'IB, qui est de bâtir un monde meilleur et plus paisible, dans un esprit d'entente mutuelle et de respect interculturel.

Le mémoire, y compris le mémoire en étude du monde contemporain, est un travail de recherche indépendant de 4 000 mots maximum permettant aux élèves d'étudier un sujet qui les intéresse tout particulièrement. Les élèves peuvent choisir le domaine dans lequel ils entreprendront leurs recherches parmi les matières du Programme du diplôme qu'ils étudient, ou parmi deux matières dans le cas du mémoire interdisciplinaire en étude du monde contemporain. Cette composante leur offre également l'occasion de se familiariser avec les techniques de recherche individuelle et de rédaction requises au niveau universitaire. Ces recherches aboutissent à la production d'un important travail écrit, structuré et présenté de manière formelle. Les idées et les découvertes de l'élève y sont présentées avec cohérence sous la forme d'un raisonnement adapté à la ou aux matières choisies. Il vise à promouvoir des compétences de recherche et d'écriture de haut niveau, la découverte intellectuelle et la créativité. Il fournit une expérience d'apprentissage authentique aux élèves et leur offre l'occasion de se lancer dans une recherche personnelle sur le sujet de leur choix, sous la direction d'un superviseur.

Approches de l'enseignement et approches de l'apprentissage

Les approches de l'enseignement et de l'apprentissage dans le Programme du diplôme désignent des stratégies, des compétences et des attitudes déterminées imprégnant l'environnement d'enseignement et d'apprentissage. Ces outils et approches, intrinsèquement liés aux qualités du profil de l'apprenant, consolident l'apprentissage des élèves et les aident à se préparer à l'évaluation dans le cadre du Programme du diplôme et au-delà. Les approches de l'enseignement et de l'apprentissage dans le Programme du diplôme visent à :

- permettre aux enseignants de concevoir leur rôle comme celui de formateur d'apprenants autant que d'enseignant de contenus ;
- donner aux enseignants la possibilité de mettre en place des stratégies plus claires pour que les expériences d'apprentissage des élèves leur permettent de s'impliquer davantage et de façon plus significative dans la recherche structurée et la pensée critique et créative ;
- promouvoir les objectifs globaux de chaque matière (en les réduisant moins à de simples aspirations pour le cours) ainsi que la mise en relation de connaissances préalablement isolées (simultanéité des apprentissages) ;
- encourager les élèves à développer un éventail explicite de compétences de façon à les doter d'outils leur permettant de continuer à s'instruire activement après leur départ de l'établissement et à les aider, non seulement à obtenir de meilleurs résultats pour être admis à l'université, mais aussi à les préparer à réussir dans leurs études supérieures et au-delà ;
- renforcer davantage la cohérence et la pertinence de l'expérience du Programme du diplôme pour les élèves ;
- permettre aux établissements d'identifier ce qui fait le propre de l'éducation du Programme du diplôme de l'IB, avec son mélange d'idéalisme et d'approches pratiques.

Les cinq approches de l'apprentissage (compétences de réflexion, compétences sociales, compétences de communication, compétences d'autogestion et compétences de recherche) et les six approches de l'enseignement (un enseignement basé sur la recherche, inspiré par des concepts, mis en contexte, coopératif, différencié et reposant sur l'évaluation) couvrent les valeurs et les principes fondamentaux qui sous-tendent la pédagogie de l'IB.

La déclaration de mission de l'IB et le profil de l'apprenant de l'IB

Le Programme du diplôme vise à développer chez les élèves les connaissances, les compétences et les attitudes dont ils auront besoin pour atteindre les objectifs établis par l'IB, tels que définis dans la déclaration de mission de l'organisation et dans le profil de l'apprenant. Ainsi, l'enseignement et l'apprentissage dans le Programme du diplôme sont la concrétisation quotidienne de la philosophie pédagogique de l'organisation.

Intégrité en milieu scolaire

L'intégrité en milieu scolaire dans le Programme du diplôme est un ensemble de valeurs et de comportements reposant sur les qualités du profil de l'apprenant. Dans le cadre de l'enseignement, de l'apprentissage et de l'évaluation, l'intégrité en milieu scolaire permet de promouvoir l'intégrité de chacun, de susciter le respect de l'intégrité d'autrui et de leur travail, et de garantir que tous les élèves ont la même possibilité de démontrer les connaissances et les compétences qu'ils acquièrent au cours de leurs études.

Tous les travaux, notamment les travaux soumis à l'évaluation, doivent être authentiques et basés sur les propres idées de l'élève et doivent clairement identifier le travail et les idées empruntés à autrui. Les tâches d'évaluation qui exigent des enseignants qu'ils fournissent des conseils aux élèves ou qui exigent des élèves un travail en groupe doivent être réalisées conformément aux directives détaillées fournies par l'IB pour la matière concernée.

Pour obtenir de plus amples informations sur l'intégrité en milieu scolaire au sein de l'IB et du Programme du diplôme, veuillez consulter les publications de l'IB intitulées *Intégrité en milieu scolaire* (2011), *Le Programme du diplôme : des principes à la pratique* (2009) et *Règlement général du Programme du diplôme* (2011). Ce guide contient des informations spécifiques relatives à l'intégrité en milieu scolaire telle qu'elle s'applique aux composantes d'évaluation externe et interne de cette matière du Programme du diplôme.

Mention des sources des idées ou des travaux empruntés à autrui

Il est rappelé aux coordonnateurs et aux enseignants que les candidats doivent citer toutes les sources utilisées dans les travaux soumis à l'évaluation. Les informations fournies ci-après visent à clarifier cette exigence.

Les travaux que les candidats du Programme du diplôme remettent pour l'évaluation se présentent sous diverses formes et peuvent inclure des supports tels que du matériel audiovisuel, des textes, des graphiques, des images et/ou des données provenant de sources imprimées ou électroniques. Si un candidat utilise les travaux ou les idées d'une autre personne, il doit en citer la source en appliquant de manière systématique une méthode conventionnelle de mention des sources. Tout candidat ne respectant pas cette exigence sera soupçonné d'avoir commis une infraction au règlement. L'IB mènera alors une enquête qui pourra donner lieu à l'application d'une sanction par le comité d'attribution des notes finales de l'IB.

L'IB ne prescrit pas de méthode particulière à imposer aux candidats en ce qui concerne la mention des sources ou la présentation des citations au sein du texte ; cette décision est laissée à la discrétion des membres du personnel ou du corps enseignant concernés de l'établissement. En raison du large éventail de matières, des trois langues d'usage et de la diversité des méthodes de mention des sources, il serait irréalisable et restrictif de privilégier l'emploi de méthodes particulières. Dans la pratique, certaines méthodes sont plus largement utilisées, mais les établissements sont libres de choisir une méthode adaptée à la matière concernée et à la langue dans laquelle les candidats rédigent leur travail. Quelle que soit la méthode adoptée par l'établissement pour une matière donnée, il est attendu des élèves qu'ils fournissent au minimum les informations suivantes : le nom de l'auteur, la date de publication, le titre de la source et les numéros de page, selon le cas.

Les candidats doivent utiliser une méthode conventionnelle et l'appliquer de manière systématique afin de citer toutes les sources utilisées, y compris les sources paraphrasées ou résumées. Lors de la rédaction d'un texte, les candidats doivent établir une distinction nette entre leurs propres idées et celles empruntées à autrui, en utilisant des guillemets (ou tout autre moyen tel que la mise en retrait du texte) suivis d'une citation adaptée renvoyant à une référence dans la bibliographie. Si une source électronique est citée, la date de consultation doit impérativement être précisée. Il n'est pas attendu des candidats qu'ils maîtrisent parfaitement l'utilisation des méthodes de mention des sources. En revanche, ils doivent démontrer qu'ils ont bien cité toutes les sources utilisées. Les candidats doivent être informés qu'ils sont tenus d'identifier l'origine du matériel audiovisuel, des textes, des graphiques, des images et/ou des données provenant de sources imprimées ou électroniques dont ils ne sont pas l'auteur. Là encore, ils doivent utiliser une méthode adéquate de mention/citation des sources.

Diversité d'apprentissage et soutien en matière d'apprentissage

Les établissements doivent s'assurer que les candidats ayant des besoins en matière de soutien à l'apprentissage bénéficient d'aménagements raisonnables leur garantissant l'égalité de l'accès aux programmes de l'IB, conformément aux documents de l'IB intitulés *Candidats ayant des besoins en matière d'aménagement de la procédure d'évaluation* et *La diversité d'apprentissage et les besoins éducationnels spéciaux dans les programmes du Baccalauréat International*.

Nature de la science

La nature de la science est un thème fondamental dans les cours de biologie, chimie et physique. Cette section, intitulée « Nature de la science », figure dans les guides de biologie, de chimie et de physique, afin d'aider les enseignants à comprendre la signification de ce terme. Elle fournit une description exhaustive de la nature de la science au XXI^e siècle. Il est toutefois impossible de traiter en détail tous les thèmes des trois cours de sciences dans cette section, tant en termes d'enseignement que d'évaluation.

Cette section est structurée en paragraphes (1.1, 1.2, etc.) afin de relier les points importants aux références à la nature de la science dans le programme (pages en mode « Paysage »). Dans la section « Contenu du programme », les parties sur la nature de la science fournissent des exemples de compréhensions particulières. Les énoncés sur la nature de la science précédant chaque sujet expliquent comment illustrer un ou plusieurs thèmes de la nature de la science à l'aide des sections présentant les notions clés, applications et compétences de ce sujet. Ils ne reprennent pas les énoncés sur la nature de la science présentés ci-après, mais les développent dans un contexte spécifique (voir la section « Structure du programme »).

Technologie

Bien que cette section porte sur la nature de la science, il est important de préciser notre interprétation du terme « technologie », et de clarifier le rôle de la technologie qui émerge de la science et contribue à l'évolution de cette dernière. De nos jours, les mots « science » et « technologie » sont souvent utilisés indifféremment. Cela n'a toutefois pas toujours été le cas. La technologie est apparue avant la science. Par le passé, les matériaux étaient utilisés pour confectionner des objets utiles ou décoratifs, et ce, bien avant que nous comprenions qu'ils ont des propriétés différentes permettant de les utiliser à diverses fins. Dans le monde moderne, c'est l'inverse qui se passe : une compréhension de la science sous-tendant la technologie est à la base des développements technologiques. Les nouvelles technologies entraînent à leur tour des progrès scientifiques.

Malgré leur dépendance réciproque, la science et la technologie sont fondées sur des valeurs différentes : la première sur les preuves, la rationalité et la recherche d'une meilleure compréhension ; la seconde sur le côté pratique, la pertinence et l'utilité, avec une insistance croissante sur la durabilité.

1. Qu'est-ce que la science et qu'est-ce que la recherche scientifique ?

- 1.1. En science, l'hypothèse sous-jacente est que l'univers a une réalité externe et indépendante, qui peut être perçue par les sens et saisie par la raison.
- 1.2. Les sciences pures s'efforcent d'arriver à une compréhension commune de cet univers externe, tandis que les sciences appliquées et l'ingénierie créent des technologies à l'origine de nouveaux processus et produits. Les limites entre ces domaines sont toutefois floues.
- 1.3. Les scientifiques utilisent une grande variété de méthodes qui forment collectivement le processus scientifique. Il n'existe pas de « méthode scientifique » unique. Les scientifiques ont utilisé différentes méthodes à différentes époques, et continuent à le faire, afin d'accumuler des connaissances et des idées, mais ils ont une compréhension commune de ce qui les rend toutes scientifiquement valables.

- 1.4. Il s'agit d'une aventure passionnante et stimulante requérant beaucoup de créativité et d'imagination ainsi qu'une réflexion rigoureuse et approfondie et une application précise et minutieuse. Les scientifiques doivent également s'attendre à faire des découvertes inopinées, surprenantes et fortuites. L'histoire de la science montre que cela arrive très fréquemment.
- 1.5. Bon nombre de découvertes scientifiques procèdent d'une intuition et beaucoup d'autres sont le résultat d'une spéculation ou d'une simple curiosité concernant des phénomènes particuliers.
- 1.6. Les scientifiques ont une terminologie commune ainsi qu'un raisonnement commun qui fait appel à la logique déductive et inductive en recourant aux analogies et aux généralisations. Ils utilisent tous un outil puissant : les mathématiques, également appelées « langage de la science ». En effet, certaines explications scientifiques n'existent que sous une forme mathématique.
- 1.7. Les scientifiques doivent adopter une attitude sceptique face aux assertions. Cela ne signifie pas qu'ils doivent se montrer incrédules à l'égard de toute chose, mais plutôt qu'ils doivent suspendre leur jugement jusqu'à ce qu'ils aient une bonne raison de croire en l'exactitude ou la fausseté d'une assertion. Ces raisons doivent être fondées sur des preuves et des arguments.
- 1.8. L'importance des preuves est une notion commune et fondamentale. Les preuves peuvent être obtenues au moyen de l'observation ou de l'expérience. Elles peuvent être rassemblées en utilisant nos sens, et notamment la vue, mais une grande partie des recherches scientifiques modernes sont menées en se servant d'une instrumentation et de sondes ou capteurs capables de recueillir des données à distance et automatiquement dans des lieux trop confinés, trop éloignés ou imperceptibles par nos sens. L'amélioration de l'instrumentation et les nouvelles technologies ont souvent été à l'origine de nouvelles découvertes. Les observations, suivies d'une analyse et d'une déduction, ont mené à la théorie du big-bang sur l'origine de l'univers ainsi qu'à la théorie de l'évolution par la sélection naturelle. Dans ces deux cas, il était impossible de faire des expériences de contrôle. Certaines disciplines, telles que la géologie et l'astronomie, s'appuient fortement sur le recueil de données sur le terrain, mais toutes les disciplines utilisent, dans une certaine mesure, l'observation pour rassembler des preuves. L'expérimentation dans un environnement contrôlé – généralement un laboratoire – est une autre façon de se procurer des preuves sous forme de données, et elle est régie par de nombreux accords et conventions.
- 1.9. Les preuves sont utilisées pour élaborer des théories, faire des généralisations à partir des données pour énoncer des lois et proposer des hypothèses. Ces théories et hypothèses sont utilisées pour formuler des prédictions qui peuvent être vérifiées. Les théories peuvent ainsi être confirmées ou réfutées, puis être modifiées ou remplacées par de nouvelles théories.
- 1.10. En se fondant sur une compréhension théorique, les scientifiques élaborent des modèles, simples ou très complexes, pour expliquer les processus qui ne peuvent être observés. Ils se servent de modèles mathématiques réalisés sur ordinateur pour formuler des prédictions vérifiables, ce qui peut se révéler très utile lorsque l'expérimentation n'est pas possible. Les modèles testés au moyen d'expériences ou de données issues d'observations peuvent s'avérer inadéquats, auquel cas ils peuvent être modifiés ou remplacés par d'autres modèles.
- 1.11. Les résultats des expériences, ainsi que les connaissances acquises grâce à la modélisation et aux observations du monde naturel, peuvent être utilisés comme des preuves supplémentaires pour vérifier une assertion.
- 1.12. Les performances croissantes des ordinateurs ont rendu la modélisation bien plus puissante. Les modèles, généralement mathématiques, sont maintenant utilisés pour arriver à de nouvelles compréhensions quand une expérience ne peut être effectuée (et parfois aussi quand elle peut l'être). Cette modélisation dynamique de situations complexes, qui fait appel à de grandes quantités de données ainsi qu'à un grand nombre de variables et de calculs longs et complexes, n'est possible que grâce à l'augmentation de la puissance des ordinateurs. La modélisation du climat terrestre, par exemple, est utilisée pour prévoir les conditions climatiques futures ou pour faire une gamme de projections climatiques. Il existe un éventail de modèles dans ce domaine et les résultats obtenus

à partir de ces différents modèles ont été comparés afin de déterminer quels modèles sont les plus exacts. Les modèles peuvent parfois être testés en utilisant des données anciennes pour déterminer s'ils peuvent prévoir la situation actuelle. Lorsque le modèle passe ce test, nous sommes sûrs de son exactitude.

- 1.13. Les idées et les processus scientifiques ne peuvent exister que dans un contexte humain. La recherche scientifique est menée par une communauté d'individus issus de traditions et de milieux très divers, et cela a manifestement influencé la façon dont la science a progressé à différentes époques. Il est toutefois important de comprendre que « faire de la science » signifie faire partie d'une communauté de recherche qui partage certains principes, méthodes, compréhensions et processus.

2. La compréhension de la science

- 2.1. Les théories, les lois et les hypothèses sont des concepts utilisés par les scientifiques. Bien que ces concepts soient liés, il n'y a aucune progression de l'un à l'autre. Ces termes ont une signification particulière en science et il est important d'établir une distinction avec l'usage qui en est fait au quotidien.
- 2.2. Les théories sont elles-mêmes des modèles intégrés et complets de la façon dont l'univers ou certaines parties de l'univers fonctionnent. Une théorie peut comprendre des faits, des lois et des hypothèses vérifiées. Des prédictions peuvent être faites à partir des théories et elles peuvent être vérifiées à l'aide d'expériences ou d'observations attentives. On peut citer en exemple la théorie des germes ou la théorie atomique.
- 2.3. Les théories tiennent généralement compte des hypothèses et des prémisses d'autres théories, créant ainsi une compréhension cohérente de tout un éventail de phénomènes dans différentes disciplines. Il arrive cependant qu'une nouvelle théorie change radicalement la façon dont les concepts essentiels sont compris ou élaborés, impactant les autres théories et entraînant ce que l'on appelle parfois un « changement de paradigme » en science. L'un des changements de paradigmes scientifiques les plus connus a eu lieu lorsque notre conception du temps est passée d'un référentiel absolu à un référentiel propre à l'observateur dans la théorie de la relativité d'Einstein. La théorie de l'évolution par la sélection naturelle de Darwin a également changé notre compréhension de la vie sur Terre.
- 2.4. Les lois sont des énoncés descriptifs et normatifs, dérivés de l'observation de patterns réguliers de comportement. En général, elles sont exprimées sous une forme mathématique et peuvent être utilisées pour calculer des résultats et faire des prévisions. Tout comme les théories et les hypothèses, les lois ne peuvent être prouvées. Les lois scientifiques peuvent avoir des exceptions et être modifiées ou rejetées à la lumière de nouvelles preuves. Les lois n'expliquent pas nécessairement un phénomène. Citons comme exemple la loi de la gravitation universelle de Newton. Celle-ci nous indique que la force entre deux masses est inversement proportionnelle au carré de leur distance, et nous permet de calculer la force entre les masses quelle que soit leur distance, mais elle ne nous explique pas les raisons pour lesquelles les masses s'attirent. Il convient également de remarquer que le terme « loi » a été utilisé de différentes façons en science et que le fait de désigner ainsi une idée donnée est en partie déterminé par la discipline et l'époque à laquelle elle a été formulée.
- 2.5. Les scientifiques formulent parfois des hypothèses, c'est-à-dire des énoncés explicatifs sur le monde qui peuvent être vrais ou faux et qui suggèrent souvent une relation de cause à effet ou une corrélation entre des facteurs. Les hypothèses peuvent être vérifiées au moyen de l'expérience et de l'observation du monde naturel, et être confirmées ou réfutées.
- 2.6. Pour être scientifique, une idée (par exemple, une théorie ou une hypothèse) doit se concentrer sur le monde naturel et les explications naturelles, et elle doit pouvoir être vérifiée. Les scientifiques s'efforcent d'élaborer des hypothèses et des théories qui sont compatibles avec les principes acceptés, et qui simplifient et unifient les idées existantes.

- 2.7. Le principe du rasoir d'Occam sert de guide pour l'élaboration d'une théorie. Cette dernière doit être aussi simple que possible tout en ayant la plus grande capacité d'explication.
- 2.8. Les idées de corrélation et de cause sont très importantes en science. Une corrélation est une association ou un lien statistique entre deux variables. Elle peut être positive ou négative et un coefficient de corrélation peut être calculé, qui aura une valeur comprise entre +1 et -1. Une forte corrélation (positive ou négative) entre deux facteurs suggère quelque relation de cause à effet entre les deux facteurs, mais des preuves supplémentaires sont généralement requises avant que les scientifiques puissent accepter l'idée d'un lien causal. Pour établir un lien causal, c'est-à-dire montrer qu'un facteur en cause un autre, les scientifiques doivent disposer d'un mécanisme scientifique plausible reliant les facteurs. Cela renforce l'idée que l'un cause l'autre (par exemple, le tabagisme et le cancer du poumon). Ce mécanisme peut être testé au cours d'expériences.
- 2.9. La situation idéale est d'étudier la relation entre un facteur et un autre en contrôlant tous les autres facteurs dans un cadre expérimental. Cependant, cela est souvent impossible et les scientifiques, notamment en biologie et en médecine, utilisent l'échantillonnage, les études de cohortes et les études de cas pour renforcer leur compréhension de la causalité lorsque les expériences (par exemple, les tests en double aveugle et les essais cliniques) sont impossibles. Dans le domaine de la médecine, l'épidémiologie fait appel à une analyse statistique des données afin de découvrir les corrélations possibles lorsque peu de connaissances scientifiques établies sont disponibles ou qu'il est difficile de contrôler entièrement les circonstances. Tout comme dans les autres domaines, l'analyse mathématique des probabilités joue également un rôle.

3. L'objectivité de la science

- 3.1. Les données, qui peuvent être qualitatives ou quantitatives, constituent l'élément vital des scientifiques. Elles peuvent être obtenues en utilisant uniquement des observations ou des expériences spécialement conçues, ou encore au moyen de sondes ou capteurs électroniques dirigés à distance, ou de mesures directes. Les meilleures données pour la formulation de prédictions et de descriptions exactes et précises sont souvent qualitatives et elles doivent se prêter à une analyse mathématique. Les scientifiques analysent les données et recherchent des patterns, des tendances et des divergences, en s'efforçant de découvrir des relations et d'établir des liens causaux. Cependant, cela n'est pas toujours possible, et l'identification ainsi que la classification des observations et des éléments caractéristiques (par exemple, les types de galaxies ou de fossiles) demeurent des aspects importants de la recherche scientifique.
- 3.2. Des mesures répétées et de nombreuses lectures peuvent améliorer la fiabilité des données recueillies. Les données peuvent être présentées sous diverses formes (par exemple, graphiques linéaires et logarithmiques) et être analysées pour mettre en lumière une proportionnalité directe ou inverse, ou encore une relation exponentielle, par exemple.
- 3.3. Les scientifiques doivent être conscients des erreurs aléatoires et systématiques, et utiliser des techniques, telles que les barres d'erreur et les droites de meilleur ajustement sur les graphiques, afin de présenter les données de la façon la plus réaliste et objective possible. Il est également nécessaire de déterminer si les données aberrantes doivent être supprimées ou non.
- 3.4. Les scientifiques doivent comprendre la différence qui existe entre les erreurs et les incertitudes ainsi qu'entre l'exactitude et la précision. Ils doivent également comprendre et utiliser les notions mathématiques de moyenne, mode, médiane, etc. Des méthodes statistiques, telles que l'écart type et le test du chi carré, sont souvent utilisées et il est important de pouvoir évaluer l'exactitude d'un résultat. La capacité de choisir la technique qui convient dans différentes circonstances est un élément essentiel de la formation et du savoir-faire des scientifiques.

3. 5. Il est également très important que les scientifiques soient conscients des biais cognitifs qui peuvent avoir une incidence sur les méthodes expérimentales et l'interprétation des résultats expérimentaux. Le biais de confirmation, par exemple, est un biais cognitif bien documenté qui nous pousse à trouver des raisons de rejeter les données inattendues ou non conformes à nos attentes ou désirs, et à accepter peut-être trop facilement les données conformes à ces attentes ou désirs. En science, les processus et les méthodes sont en grande partie conçus de façon à tenir compte de ces biais, mais il convient de toujours veiller à ne pas y succomber.
3. 6. Si les scientifiques ne peuvent jamais être certains de l'exactitude d'un résultat ou d'une constatation, nous savons que certains résultats scientifiques sont presque des certitudes. Les scientifiques utilisent souvent le terme « niveaux de confiance » lorsqu'ils analysent les résultats. La découverte de l'existence du boson de Higgs est un bon exemple pour illustrer ce « niveau de confiance ». Il est probable que cette particule ne puisse jamais être observée directement et, pour établir son « existence », les physiciens des particules ont dû passer le test qu'ils se sont imposés concernant ce qui peut être considéré comme une découverte : le « niveau de certitude » 5 sigma qui correspond à environ 0,00003 % de chance que l'effet ne soit pas réel si on se base sur les preuves expérimentales.
3. 7. Au cours des dernières décennies, l'augmentation de la puissance des ordinateurs ainsi que la croissance de la technologie des détecteurs et des réseaux ont permis aux scientifiques de recueillir de grandes quantités de données. Des flots de données sont constamment téléchargés depuis de nombreuses sources (par exemple, des satellites de télédétection et des sondes spatiales) et de grandes quantités de données sont produites par les appareils de séquençage des gènes. Les expériences menées dans le grand collisionneur de hadrons du CERN produisent régulièrement 23 pétaoctets de données par seconde, ce qui équivaut à 13,3 années de contenus télévisuels à haute définition par seconde.
3. 8. La recherche implique d'analyser une grande quantité de ces données, stockées dans des bases de données, afin d'y déceler des éléments caractéristiques singuliers. Cette analyse doit être faite à l'aide de logiciels généralement créés par les scientifiques concernés. Les données et les logiciels peuvent ne pas être publiés avec les résultats scientifiques, mais ils sont généralement mis à la disposition des autres chercheurs.

4. Le visage humain de la science

- 4.1. La recherche scientifique est une activité reposant fortement sur la collaboration, et la communauté scientifique est composée d'individus travaillant dans les domaines des sciences, de l'ingénierie et de la technologie. Il est courant que les scientifiques de diverses disciplines travaillent en équipe afin de rassembler différents domaines d'expertise et différentes spécialisations pour atteindre un objectif commun qui n'est pas à la portée d'un seul domaine scientifique. Il arrive également que la façon dont un problème est formulé dans le paradigme d'une discipline limite les solutions possibles. Par conséquent, il peut être extrêmement utile de formuler le problème en utilisant diverses perspectives, dans lesquelles de nouvelles solutions sont possibles.
- 4.2. Ce travail d'équipe est rendu possible par une compréhension commune de la nécessité de faire preuve d'ouverture d'esprit et de faire abstraction de notre religion, culture, orientation politique, nationalité, âge et sexe en science. La science implique un échange gratuit d'informations et d'idées à l'échelle mondiale. Il va de soi que les scientifiques sont humains et qu'ils peuvent avoir des préjugés et faire preuve de parti pris, mais les institutions, les pratiques et les méthodes scientifiques contribuent au maintien de l'impartialité de la démarche scientifique.
- 4.3. Outre la collaboration visant à l'échange de résultats, les scientifiques collaborent quotidiennement à des projets menés à petite échelle et à grande échelle au sein des disciplines, laboratoires, organisations et pays, mais aussi entre eux, aidés dans cette tâche par la communication virtuelle. Quelques exemples de collaboration à grande échelle sont fournis ci-dessous.

- Le projet Manhattan : son but était de construire et de tester une bombe atomique. Plus de 130 000 personnes ont participé à ce projet qui a donné lieu à la création de plusieurs sites de recherche et de production secrets, et a abouti au largage de deux bombes atomiques sur Hiroshima et Nagasaki.
- Le projet de séquençage du génome humain : ce projet de recherche scientifique international a été lancé en 1990 dans le but de cartographier le génome humain. Doté d'un budget de trois milliards de dollars américains, il a abouti à la publication d'une séquence brute du génome en 2000. La séquence d'ADN est stockée dans des banques de données mises à la disposition de tous sur Internet.
- Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) : ce groupe, officiellement composé d'environ 2 500 scientifiques, a été créé à la demande des États membres de l'Organisation des Nations Unies. Il publie des rapports résumant les travaux d'autres scientifiques du monde entier.
- L'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN) : cette organisation internationale, fondée en 1954, est le plus grand laboratoire de physique des particules au monde. Situé à Genève, ce laboratoire emploie environ 2 400 personnes et communique ses résultats à 10 000 scientifiques et ingénieurs représentant plus de 100 nationalités et plus de 600 universités et établissements de recherche.

Tous ces exemples ont dans une certaine mesure provoqué une controverse et ont déchaîné les passions parmi les scientifiques et le public.

- 4.4. Les scientifiques consacrent beaucoup de temps à la lecture des résultats publiés par leurs pairs. Ils publient leurs résultats dans des revues scientifiques à l'issue d'un processus appelé « évaluation par les pairs ». Ce terme désigne l'examen anonyme et indépendant du travail de recherche d'un scientifique, ou plus souvent d'une équipe de scientifiques, par plusieurs scientifiques travaillant dans le même domaine, et ce, afin de déterminer si les méthodes de recherche sont valables et si le travail apporte de nouvelles connaissances dans ce domaine. Les scientifiques participent également à des congrès où ils animent des présentations et partagent des affiches montrant leurs travaux. La publication de revues scientifiques à comité de lecture sur Internet a permis d'accroître l'efficacité avec laquelle il est possible de trouver et de consulter la littérature scientifique. De plus, il existe un grand nombre d'organisations nationales et internationales pour les scientifiques travaillant dans des domaines spécialisés au sein des disciplines.
- 4.5. Souvent, les scientifiques travaillent dans des domaines, ou produisent des résultats, qui ont d'importantes implications éthiques et politiques. Parmi ces domaines, on peut citer le clonage, le génie génétique appliqué aux aliments et aux organismes, la recherche sur les cellules souches et les technologies de reproduction, l'énergie nucléaire, le développement d'armes (nucléaires, chimiques et biologiques), les greffes de tissus et d'organes, et d'autres domaines faisant appel à l'expérimentation sur les animaux (voir la politique de l'IB en matière d'expérimentation animale). Des questions se posent également concernant les droits de propriété intellectuelle et le libre échange des informations, qui peuvent avoir un impact important sur la société. L'activité scientifique est le fait des universités, des entreprises commerciales, des organisations gouvernementales, des ministères de la Défense et des organisations internationales. En outre, des questions de brevets et de droits de propriété intellectuelle se posent lorsque la recherche a lieu dans un environnement sécurisé.
- 4.6. L'intégrité et la représentation objective des données sont primordiales en science : les résultats ne doivent pas être truqués, manipulés ou falsifiés. Pour garantir l'intégrité en milieu universitaire et prévenir le plagiat, toutes les sources sont citées et les aides et soutiens sont dûment mentionnés. L'évaluation par les pairs ainsi que l'examen approfondi et le scepticisme de la communauté scientifique permettent également d'atteindre ces objectifs.
- 4.7. Toute recherche scientifique nécessite un financement et la source de ce financement joue un rôle déterminant dans la prise de décisions concernant le type de recherche pouvant être menée. Le

financement provenant des gouvernements et des œuvres de bienfaisance est parfois utilisé pour la recherche fondamentale (c'est-à-dire la recherche qui ne procure aucun avantage direct évident à quiconque) tandis que celui provenant d'entreprises privées est souvent employé pour la recherche appliquée (c'est-à-dire la recherche en vue de produire une technologie ou un produit particulier). Des facteurs politiques et économiques déterminent souvent la nature et l'importance du financement. Les scientifiques doivent souvent consacrer du temps aux demandes de subventions de recherche et présenter des arguments en faveur des recherches qu'ils souhaitent entreprendre.

- 4.8. La science a permis de résoudre bon nombre de problèmes et d'améliorer le sort de l'humanité, mais elle a aussi été utilisée d'une manière immorale et d'une façon qui a involontairement entraîné des problèmes. Les progrès en matière de système sanitaire, d'approvisionnement en eau pure et d'hygiène ont conduit à une baisse importante des taux de mortalité, mais, en l'absence d'une baisse compensatoire des taux de natalité, cela a provoqué un accroissement considérable des populations, avec tous les problèmes de ressources, d'énergie et d'approvisionnement alimentaire que cela entraîne. Les débats sur l'éthique, l'analyse risques-avantages, l'évaluation des risques et le principe de précaution sont autant d'exemples de façons dont la science assure le bien commun.

5. La culture scientifique et la compréhension de la science par le public

- 5.1. Une compréhension de la nature de la science est essentielle lorsque la société doit prendre des décisions concernant des résultats et des questions scientifiques. Comment le public juge-t-il ? Il se peut que le public ne puisse pas émettre de jugements en se basant sur sa compréhension directe d'une science, mais il peut se poser la question importante de savoir si les processus scientifiques ont été suivis, et les scientifiques ont un rôle à jouer dans l'apport de réponses à cette question.
- 5.2. En tant qu'experts dans leurs domaines respectifs, les scientifiques sont bien placés pour expliquer leurs problèmes et leurs résultats au public. Sortis de leur domaine de spécialisation, ils ne sont pas plus qualifiés qu'un citoyen ordinaire pour conseiller autrui sur des questions scientifiques, même si leur compréhension des processus scientifiques peut les aider à prendre des décisions personnelles et à informer le public de la crédibilité ou de l'in vraisemblance d'une assertion sur le plan scientifique.
- 5.3. Outre la connaissance de la façon dont les scientifiques travaillent et pensent, la culture scientifique suppose une prise de conscience des raisonnements erronés. Les biais cognitifs et les erreurs de raisonnement susceptibles d'influencer les individus (y compris les scientifiques) sont nombreux et ils doivent être rectifiés chaque fois que cela est possible. À titre d'exemples, on peut citer le biais de confirmation, les généralisations hâtives, la relation causale erronée (ou en latin « *post hoc, ergo propter hoc* »), le raisonnement spécieux, la redéfinition (changement des règles du jeu en cours de jeu), l'appel à la tradition, l'argument d'autorité et l'accumulation d'anecdotes considérées comme des preuves.
- 5.4. Lorsque ces biais et faux raisonnements ne sont pas correctement gérés ou rectifiés, ou lorsque les processus et les mécanismes régulateurs de la science sont ignorés ou incorrectement appliqués, le résultat est une « pseudoscience ». Ce terme désigne des convictions et des pratiques prétendument scientifiques, qui ne respectent ou ne suivent pas les normes des méthodes scientifiques appropriées. En d'autres termes, elles ne sont pas appuyées de preuves, n'ont pas de cadre théorique, ne sont pas toujours vérifiables et sont donc falsifiables, sont exprimées de manière peu rigoureuse ou peu claire, et ne sont souvent pas étayées par des tests scientifiques.
- 5.5. L'utilisation d'une terminologie appropriée constitue un autre élément clé. Les mots que les scientifiques conviennent de désigner comme des termes scientifiques ont souvent une signification différente dans le langage quotidien et le discours scientifique destiné au public doit en tenir compte. Le terme « théorie », par exemple, désigne une intuition ou une spéculation dans le langage courant,

alors qu'en science, une théorie reconnue est une idée scientifique ayant produit des prédictions qui ont été rigoureusement vérifiées, et ce, de bien des façons. Pour le grand public, un aérosol n'est qu'un vaporisateur, tandis que pour les scientifiques, il s'agit d'un ensemble de particules liquides ou solides en suspension dans un milieu gazeux.

5.6. Quel que soit le domaine scientifique (qu'il s'agisse de la recherche fondamentale, la recherche appliquée ou l'ingénierie des nouvelles technologies), il existe d'innombrables possibilités d'exercer sa pensée créatrice et son imagination. La science a fait des progrès considérables, mais il subsiste un grand nombre de questions sans réponse, qui sont autant de défis à relever pour les nouvelles générations de scientifiques.

Le diagramme ci-après fait partie d'un diagramme interactif présentant le processus de recherche scientifique en pratique. Vous trouverez la version interactive dans la référence suivante : How science works: The flowchart [en ligne]. *Understanding Science*. University of California Museum of Paleontology [référence du 1^{er} février 2013]. Disponible sur Internet : <<http://undsci.berkeley.edu/article/scienceflowchart>>.

Comment fonctionne la science

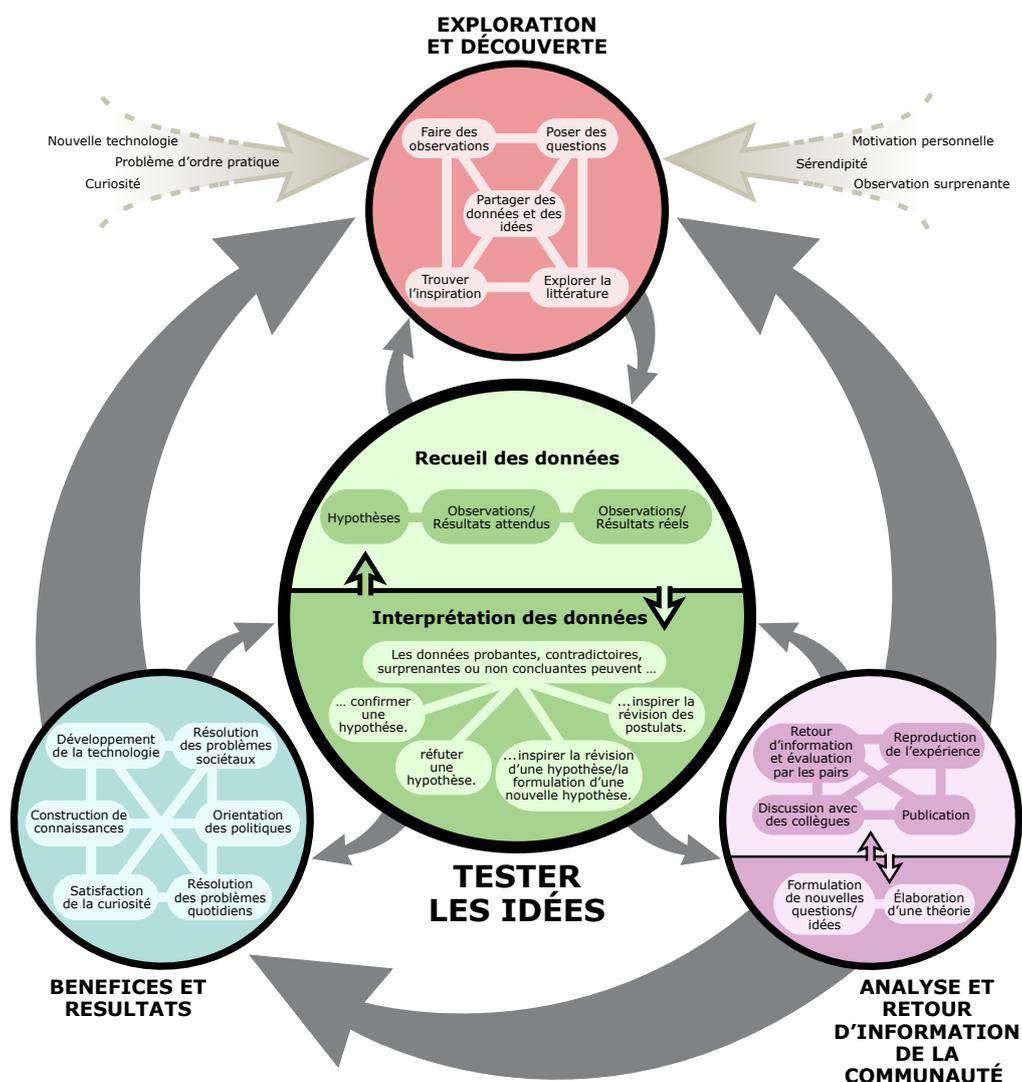


Figure 2
Processus menant à la découverte scientifique

Nature de la chimie

La chimie est une science expérimentale qui associe l'étude de la théorie à l'acquisition de compétences pratiques et de recherche. Elle est au cœur de toutes les sciences étant donné que l'environnement physique dans lequel nous vivons ainsi que tous les systèmes biologiques reposent sur des principes chimiques. En plus d'être une discipline qui présente un intérêt en soi, la chimie est aussi une matière requise pour de nombreux autres cours de l'enseignement supérieur (par exemple, médecine, biologie et sciences de l'environnement) et elle peut préparer à un futur emploi.

La terre, l'eau, l'air et le feu sont souvent décrits comme les quatre éléments de l'Antiquité. On les retrouve dans l'hindouisme et le bouddhisme. Platon, le philosophe grec, a été le premier à appeler ces entités des « éléments ». L'étude de la chimie a considérablement changé depuis ses origines, qui remontent au début de l'alchimie. À l'époque, les alchimistes cherchaient à transmuter les métaux vils en or. Si les alchimistes modernes ne sont pas considérés comme de vrais scientifiques, la chimie moderne trouve ses racines dans l'étude de l'alchimie. Les alchimistes ont été parmi les premiers à avoir élaboré des techniques de laboratoire et des procédures expérimentales rigoureuses. Robert Boyle, souvent reconnu comme le père de la chimie moderne, a commencé ses expériences en tant qu'alchimiste.

Malgré l'évolution passionnante et extraordinaire des idées tout au long de l'histoire de la chimie, certaines choses demeurent inchangées. L'observation reste essentielle en chimie et requiert parfois de prendre des décisions quant à ce qu'il faut rechercher. Les procédures scientifiques suivies par les plus éminents scientifiques dans le passé sont toujours utilisées aujourd'hui par les chimistes et, détail crucial, sont aussi accessibles aux élèves dans les établissements scolaires. Le corps des connaissances scientifiques est aujourd'hui si étendu et si complexe, et les outils et les compétences propres à la chimie théorique et la chimie expérimentale sont si spécialisés, qu'il est difficile (voire impossible) d'être hautement compétent dans ces deux domaines. Les élèves doivent en être conscients, tout comme ils doivent être conscients du fait que, grâce à l'interaction libre et rapide des idées théoriques et des résultats expérimentaux publiés dans la littérature scientifique, il est possible d'entretenir le lien fondamental entre ces deux domaines.

Le cours de chimie du Programme du diplôme comporte les principes essentiels de la matière, et, grâce aux diverses options proposées, il donne aux enseignants la possibilité d'adapter leur cours aux besoins de leurs élèves. Le cours peut être suivi au niveau moyen (NM) et au niveau supérieur (NS). Il répond ainsi aux besoins des élèves qui désirent se spécialiser en chimie dans l'enseignement supérieur et ceux qui ne le souhaitent pas.

Au niveau scolaire, tous les élèves doivent se consacrer à l'étude de la théorie et à l'expérimentation. Ces deux domaines de la chimie doivent se compléter naturellement, comme c'est le cas dans la communauté scientifique plus étendue. Le cours de chimie du Programme du diplôme permet aux élèves d'acquérir des techniques et compétences pratiques traditionnelles, et d'utiliser avec une aisance croissante les mathématiques, qui sont le langage utilisé en science. Il leur permet également de développer des compétences en matière de relations interpersonnelles et de technologies numériques qui sont essentielles pour la recherche scientifique au XXI^e siècle et qui peuvent être utilisées dans la vie de tous les jours, contribuant ainsi, à elles seules, à l'amélioration de la qualité de la vie.

Modes d'enseignement

La chimie peut être enseignée de diverses manières. Par nature, la chimie se prête à une approche expérimentale et l'IB s'attend à ce qu'il en soit tenu compte tout au long du cours.

L'ordre de présentation du contenu du programme **n'a rien à voir** avec l'ordre dans lequel il sera enseigné. Chaque enseignant doit décider de l'organisation du cours en fonction de la situation qui lui est propre. Les enseignants peuvent enseigner certains contenus de l'option dans le tronc commun ou le module complémentaire du niveau supérieur (MCNS), ou l'option peut être enseignée dans un module distinct.

Science et dimension internationale

La science elle-même est une activité internationale : l'échange d'informations et d'idées par-delà les frontières nationales a été essentiel pour le progrès de la science. Cet échange ne constitue pas un phénomène nouveau, mais il s'est accéléré ces derniers temps grâce au développement des technologies de l'information et de la communication. En effet, l'idée que la science est une invention occidentale est un mythe : bon nombre de fondements de la science moderne ont été posés il y a plusieurs siècles par les civilisations arabe, indienne et chinoise, entre autres. Les enseignants sont encouragés à insister sur cette contribution pendant l'étude de divers thèmes, en utilisant, par exemple, des échelles chronologiques sur des sites Web. De par l'accent qu'elle met sur l'évaluation par les pairs, l'ouverture d'esprit et la liberté de pensée, la méthode scientifique (dans son sens le plus large) transcende les politiques, les religions, les sexes et les nationalités. Lorsque les thèmes s'y prêtent, les sections décrivant le programme dans les guides du groupe 4 comportent des liens illustrant les aspects internationaux de la science.

Du point de vue de l'organisation, il existe maintenant de nombreux organismes internationaux voués à la promotion de la science. Les organismes de l'Organisation des Nations Unies, tels que l'Unesco, le PNUE et l'OMM, au sein desquels la science joue un rôle prépondérant, sont bien connus, mais il existe des centaines d'autres organismes internationaux représentant chaque branche de la science. Les installations nécessaires aux recherches à grande échelle (par exemple, en physique des particules et pour le projet de séquençage du génome humain) sont dispendieuses et seules les coentreprises financées par de nombreux pays rendent leur réalisation possible. Les données issues de ces recherches sont partagées par les scientifiques du monde entier. Les élèves et les enseignants des matières du groupe 4 sont encouragés à consulter les bases de données et les sites Web très complets de ces organismes scientifiques internationaux afin de mieux comprendre la dimension internationale de la recherche scientifique.

De plus en plus, on reconnaît que bon nombre de problèmes scientifiques sont de nature internationale et cela a conduit à adopter une approche mondiale de la recherche dans de nombreux domaines. Les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat en constituent un exemple de premier ordre. D'un point de vue pratique, le projet du groupe 4 (que tous les élèves étudiant une matière scientifique doivent entreprendre) reflète le travail de vrais scientifiques en favorisant la collaboration entre les établissements scolaires dans toutes les régions.

La capacité de la connaissance scientifique à transformer les sociétés est sans pareil. Elle peut produire de grands bienfaits universels ou renforcer les inégalités et nuire aux hommes et à l'environnement. Conformément à la déclaration de mission de l'IB, les élèves étudiant une matière du groupe 4 doivent être conscients de la responsabilité morale des scientifiques de veiller à ce que les connaissances et les données scientifiques soient équitablement mises à la disposition de tous les pays et que ces derniers aient la capacité scientifique de les utiliser pour développer des sociétés viables.

Il convient d'attirer l'attention des élèves sur les sections du programme dans lesquelles des liens sont établis avec la sensibilité internationale. Des exemples illustrant la sensibilité internationale en science sont fournis sous chaque sujet dans la section « Contenu du programme ». Les enseignants peuvent également utiliser les ressources disponibles sur le site Web « Objectif monde » de l'IB (<http://globalengagement.ibo.org/fr>).

Différences entre le NM et le NS

Dans le groupe 4, les élèves du NM et du NS étudient un tronc commun et sont soumis à un système d'évaluation interne identique. De plus, certains éléments de l'option étudiée par les élèves du NM et du NS se chevauchent. Ces élèves étudient un programme qui favorise le développement de certaines compétences, qualités et attitudes, qui sont décrites dans la section « Objectifs d'évaluation » du présent guide.

Si les compétences et les activités des matières du groupe 4 sont communes aux élèves du NM et du NS, les élèves du NS doivent également étudier certains thèmes de façon plus approfondie dans le cadre des modules complémentaires du niveau supérieur (MCNS) et des options communes. Le NM et le NS diffèrent par l'étendue et la profondeur de l'étude.

Acquis préliminaires

L'expérience montre que les élèves sans formation scientifique ou connaissances préalables en science seront capables d'étudier avec succès une matière du groupe 4 au NM. Leur approche de l'apprentissage, caractérisée par les qualités du profil de l'apprenant de l'IB, jouera un rôle important.

Même s'il n'existe aucune volonté de restreindre l'accès aux matières du groupe 4, il est cependant souhaitable, pour la plupart des élèves envisageant l'étude d'une de ces disciplines au NS, d'avoir préalablement suivi un cours de science. Aucun programme précis n'est spécifié, mais les élèves qui ont suivi le Programme d'éducation intermédiaire (PEI) de l'IB, un cours de science équivalent dans le cadre d'un programme national ou un cours de science propre à l'établissement, sont bien préparés à l'étude d'une matière scientifique au NS.

Liens avec le Programme d'éducation intermédiaire (PEI)

Les élèves ayant suivi les cours de sciences expérimentales, de design et de mathématiques du PEI sont bien préparés pour les matières du groupe 4. L'harmonisation entre le cours de sciences expérimentales du PEI et les cours du groupe 4 permet une transition sans heurt du PEI au Programme du diplôme. La planification simultanée des nouveaux cours du groupe 4 et du projet « Une nouvelle page pour le PPCS » (lancés en 2014) a permis une meilleure mise en concordance.

Dans le PEI, la recherche scientifique occupe une place centrale dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences expérimentales. Elle permet aux élèves de développer une façon de penser ainsi qu'un ensemble de compétences et de processus qui, en plus de leur permettre d'acquérir et d'utiliser des connaissances, leur donne la capacité d'aborder en toute confiance la composante d'évaluation interne des matières du groupe 4. Les sciences expérimentales du PEI visent à développer des apprenants du XXI^e siècle. Un programme de sciences holistique permet aux élèves d'acquérir et d'utiliser un mélange de capacités intellectuelles, savoir-faire sociaux, motivation personnelle, connaissances conceptuelles et compétences en matière de résolution de problèmes dans un environnement d'apprentissage reposant sur la recherche (Rhoton 2010). La recherche vise à favoriser la compréhension qu'ont les élèves de la science en leur donnant des occasions d'explorer, seuls et en groupe, des problèmes les concernant par le biais de la recherche et de l'expérimentation. Elle fournit une compréhension scientifique solide et essentiellement conceptuelle aux élèves qui souhaitent étudier une matière du groupe 4.

Dans le PEI, les enseignants utilisent leur jugement professionnel pour évaluer les réalisations des élèves. Ils sont aidés en cela par des critères d'évaluation publiés, précis et connus à l'avance, qui garantissent la transparence de l'évaluation. L'IB pratique une évaluation qualifiée de « critériée ». Cette évaluation n'est donc pas « normative » puisqu'elle juge les travaux des élèves sur la base de niveaux attendus d'accomplissements et non en les comparant les uns aux autres dans le cadre d'une distribution attendue des notes. Il est important de souligner que l'objectif unique et primordial de l'évaluation au sein du PEI (tout comme celle au sein du Programme primaire et du Programme du diplôme) est de soutenir les objectifs pédagogiques et de favoriser un bon apprentissage chez les élèves. Les tâches d'évaluation se basent sur une évaluation de l'atteinte des objectifs globaux et spécifiques du cours, et, par conséquent, un enseignement conforme aux exigences du cours permet à son tour un enseignement efficace préparant les élèves aux exigences officielles de l'évaluation. Les élèves doivent comprendre ce que sont les pratiques, normes et attentes en matière d'évaluation. Tous ces éléments doivent leur être présentés naturellement au début du programme, et être intégrés dans les activités réalisées en classe et à la maison. L'expérience de l'évaluation critériée acquise au sein du PEI aide grandement les élèves qui souhaitent étudier une matière du groupe 4 du Programme du diplôme à comprendre les exigences de l'évaluation interne.

Le programme de sciences expérimentales du PEI est organisé autour de concepts moteurs. Il a pour but d'aider les apprenants à construire du sens grâce à un meilleur esprit critique et à un transfert des connaissances. En premier lieu, il utilise des **concepts clés**, c'est-à-dire de grandes idées, à la fois puissantes et cohésives, en rapport avec le cours de sciences expérimentales mais aussi avec les autres groupes de matières. Ces concepts clés facilitent à la fois l'apprentissage de la discipline et l'apprentissage interdisciplinaire ainsi que l'établissement de liens avec les autres matières. Si les concepts clés donnent de l'ampleur au programme, les **concepts connexes** du cours de sciences expérimentales permettent quant à eux une étude approfondie. Les concepts connexes peuvent être considérés comme les grandes idées qui confèrent une orientation et une profondeur aux unités, et qui aident les élèves à acquérir une compréhension conceptuelle.

Le tableau ci-après présente les 16 concepts clés du PEI. Les trois concepts apparaissant en gras sont ceux sur lesquels se concentre le cours de sciences expérimentales du PEI.

Concepts clés du PEI			
Esthétique	Changement	Communication	Communautés
Liens	Créativité	Culture	Développement
Forme	Interactions mondiales	Identité	Logique
Perspective	Relations	Systemes	Temps, lieu et espace

En outre, les élèves du PEI ont la possibilité de se prêter à une évaluation en ligne facultative et fondée sur des concepts afin de mieux se préparer aux cours de sciences du Programme du diplôme.

Sciences et théorie de la connaissance (TdC)

Le cours de TdC (première évaluation en 2015) invite les élèves à réfléchir sur la nature de la connaissance et sur la façon dont nous savons ce que nous affirmons connaître. Le cours présente huit modes de la connaissance : la raison, l'émotion, la langue / le langage, la perception sensorielle, l'intuition, l'imagination, la foi et la mémoire. Les élèves explorent ces modes de production des connaissances dans le contexte de divers domaines de la connaissance : les sciences naturelles, les sciences humaines, les arts, l'éthique, l'histoire, les mathématiques, les systèmes de connaissances religieuses et les systèmes de connaissances des cultures autochtones. Le cours de TdC exige également des élèves qu'ils comparent les différents domaines de la connaissance, en réfléchissant à la manière dont les connaissances sont construites dans les diverses disciplines ainsi qu'aux points communs et aux différences entre ces disciplines.

Les leçons de TdC peuvent aider les élèves dans leur étude des sciences, tout comme l'étude des sciences peut les aider dans leur cours de TdC. Ce dernier permet aux élèves de participer à des discussions enrichissantes et plus larges sur certaines questions, comme celle de savoir ce qu'implique la dénomination « science » pour une discipline ou celle de savoir si la quête de la connaissance scientifique devrait être soumise à des contraintes d'ordre éthique. Le cours de TdC leur donne également l'occasion de réfléchir sur les méthodes scientifiques, et de les comparer aux méthodes utilisées dans d'autres domaines de la connaissance. Il est désormais largement admis qu'il n'existe pas une seule et unique méthode scientifique, au sens poppérien du terme. Les sciences utilisent plutôt un éventail d'approches pour expliquer le fonctionnement du monde naturel. Les différentes disciplines scientifiques mettent toutes l'accent sur l'utilisation du raisonnement inductif et déductif, sur l'importance des preuves, etc. Les élèves sont encouragés à comparer et opposer les méthodes scientifiques aux méthodes utilisées en art ou en histoire, par exemple.

Les élèves ont ainsi de nombreuses occasions d'établir des liens entre leur cours de sciences et leur cours de TdC. Une façon dont les enseignants de sciences peuvent les aider à établir des liens avec la TdC est d'attirer leur attention sur les questions sur la connaissance qui se posent dans leur matière. Les questions sur la connaissance sont des questions ouvertes au sujet de la connaissance. Quelques exemples sont fournis ci-dessous.

- Comment distinguer une science d'une pseudoscience ?
- Lorsqu'un scientifique fait une expérience, quel rapport y a-t-il entre ses attentes et sa perception ?
- Comment la connaissance scientifique progresse-t-elle ?
- Quel est le rôle de l'imagination et de l'intuition en science ?
- Quelles sont les similarités et les différences entre les méthodes utilisées en sciences naturelles et celles utilisées en sciences humaines ?

Des exemples de questions sur la connaissance pertinentes sont fournis tout au long de ce guide (sous les sujets dans la section « Contenu du programme »). Des exemples de questions sur la connaissance intéressantes sont également proposés dans les sections « Domaines de la connaissance » et « Cadre conceptuel de la connaissance » du guide de TdC. Les enseignants peuvent s'en servir pour les discussions en classe. Il convient d'encourager les élèves à poser des questions sur la connaissance et à discuter de ces questions pendant les leçons de sciences et de TdC.

Objectifs globaux

Objectifs globaux du groupe 4

En étudiant la biologie, la chimie ou la physique, les élèves devraient prendre conscience de la façon dont les scientifiques travaillent et communiquent entre eux. Si la méthode scientifique peut prendre un grand nombre de formes, c'est l'accent mis sur l'approche pratique, grâce au travail expérimental, qui caractérise ces matières.

Grâce au thème fondamental de la nature de la science, les matières du groupe 4 visent à permettre aux élèves :

1. d'apprécier l'étude des sciences et la créativité scientifique dans un contexte mondial en leur proposant des activités d'apprentissage stimulantes et exigeantes ;
2. d'acquérir un ensemble de connaissances, de méthodes et de techniques propres aux sciences et à la technologie ;
3. de mettre en application et d'utiliser un ensemble de connaissances, de méthodes et de techniques propres aux sciences et à la technologie ;
4. de développer leur capacité à analyser, évaluer et synthétiser les informations scientifiques ;
5. de développer un sens critique de la nécessité et de la valeur d'une collaboration et d'une communication efficaces au cours des activités scientifiques ;
6. de développer des compétences en matière d'expérimentation et de recherche scientifique, et notamment la capacité à utiliser les technologies modernes ;
7. d'acquérir et de mettre en pratique les compétences en communication nécessaires au XXI^e siècle lors de l'étude des sciences ;
8. de développer un sens critique, en tant que citoyens du monde, des implications éthiques de l'utilisation des sciences et de la technologie ;
9. d'appréhender les ressources et les limites des sciences et de la technologie ;
10. de favoriser une compréhension des rapports existant entre les disciplines scientifiques et de leur influence sur d'autres domaines de la connaissance.

Objectifs d'évaluation

Les objectifs d'évaluation définis pour la biologie, la chimie et la physique reflètent les aspects des objectifs globaux qui feront officiellement l'objet d'une évaluation interne ou externe. Cette évaluation se concentrera sur la nature de la science. Les cours de sciences du Programme du diplôme ont pour but d'amener les élèves à atteindre les objectifs d'évaluation suivants.

1. Démontrer une connaissance et une compréhension :
 - a. des faits, des concepts et de la terminologie ;
 - b. des méthodes et des techniques ;
 - c. des modes de communication des informations scientifiques.
2. Utiliser :
 - a. les faits, les concepts et la terminologie ;
 - b. les méthodes et les techniques ;
 - c. les méthodes de communication des informations scientifiques.
3. Élaborer, analyser et évaluer :
 - a. des hypothèses, des questions de recherche et des prédictions ;
 - b. des méthodes et des techniques ;
 - c. des données primaires et secondaires ;
 - d. des explications scientifiques.
4. Faire preuve des compétences en matière d'expérimentation et de recherche ainsi que des compétences personnelles qui sont nécessaires pour mener des recherches éclairantes et éthiques.

Résumé du programme

Composante du programme	Nombre d'heures d'enseignement recommandé	
	NM	NS
Tronc commun	95	
1. Les relations stœchiométriques	13,5	
2. La structure atomique	6	
3. La périodicité	6	
4. La liaison et la structure chimiques	13,5	
5. L'énergétique / La thermochimie	9	
6. La cinétique chimique	7	
7. L'équilibre	4,5	
8. Les acides et les bases	6,5	
9. Les processus redox	8	
10. La chimie organique	11	
11. La mesure et le traitement des données	10	
Module complémentaire du niveau supérieur (MCNS)		60
12. La structure atomique		2
13. Le tableau périodique : les métaux de transition		4
14. La liaison et la structure chimiques		7
15. L'énergétique / La thermochimie		7
16. La cinétique chimique		6
17. L'équilibre		4
18. Les acides et les bases		10
19. Les processus redox		6
20. La chimie organique		12
21. La mesure et l'analyse		2
Option	15	25
A. Les matériaux	15	25
B. La biochimie	15	25
C. L'énergie	15	25
D. La chimie médicinale	15	25

Composante du programme	Nombre d'heures d'enseignement recommandé	
	NM	NS
Programme de travaux pratiques	40	60
Les activités pratiques	20	40
La recherche individuelle (évaluation interne – ÉI)	10	10
Le projet du groupe 4	10	10
Nombre total d'heures d'enseignement	150	240

La durée de l'enseignement recommandée est de 240 heures pour les cours de niveau supérieur et de 150 heures pour les cours de niveau moyen, tel que stipulé dans le document intitulé *Règlement général du Programme du diplôme* (2011, page 4, article 8.2).

Manières d'aborder l'enseignement et l'apprentissage de la chimie

Structure du programme

La section « Programme » est structurée de la même manière dans les guides de chimie, de physique et de biologie. Cette nouvelle structure permet de mettre en lumière et de cibler certains aspects de l'enseignement et de l'apprentissage.

Thèmes ou options

Les thèmes sont numérotés et les options sont indiquées par des lettres (par exemple, « Thème 6 – La cinétique chimique » ou « Option D. La chimie médicinale »).

Sujets

Les sujets sont numérotés (par exemple, « 6.1 La théorie des collisions et les vitesses de réaction »). Des renseignements complémentaires ainsi que des conseils sur le nombre d'heures pouvant être consacrées aux sujets sont fournis dans le matériel de soutien pédagogique.

Chaque sujet commence par une idée essentielle, c'est-à-dire une interprétation durable qui est considérée comme faisant partie de la perception qu'a le public de la science. Elle est suivie d'une section intitulée « Nature de la science » qui fournit des exemples précis dans un contexte illustrant certains aspects de la nature de la science. Ces exemples sont directement liés aux références spécifiques faites dans la partie du guide intitulée « Nature de la science » afin d'aider les enseignants à mieux comprendre le thème général à étudier.

Sous le thème fondamental « Nature de la science » se trouvent deux colonnes. La première indique les « Notions clés », c'est-à-dire les idées d'ordre général qui doivent être enseignées. La section « Applications et compétences » vient ensuite. Elle présente les applications et les compétences spécifiques qui doivent être développées à partir des compréhensions. Enfin, la section « Directives et informations supplémentaires » fournit des informations sur les limites et les restrictions ainsi que sur le degré d'approfondissement requis pour les enseignants et les examinateurs. Tous les points mentionnés dans la section « Nature de la science » précédant les deux colonnes et dans la première colonne sont susceptibles de faire l'objet d'une évaluation. Dans la deuxième colonne, certains points de la section « Sensibilité internationale » feront l'objet d'une évaluation, comme c'était le cas dans l'ancien programme.

La deuxième colonne suggère aux enseignants des références pertinentes à la sensibilité internationale. Elle fournit également des exemples de questions sur la théorie de la connaissance (voir *Guide de théorie de la connaissance* publié en 2013), qui peuvent être utilisés pour amener les élèves à se concentrer sur la préparation de l'essai de TdC portant sur un sujet prescrit. La section « Utilisation » établit des liens entre le sujet et d'autres parties du programme de chimie, d'autres guides de matières du Programme du diplôme ou des applications dans le monde réel. Enfin, la section « Objectifs globaux » montre comment certains objectifs globaux du groupe 4 sont pris en considération dans le sujet.

Structure du guide

Thème 1 – <Titre>

Idée essentielle : cette section indique l'idée essentielle pour chaque sujet.

1.1 Sujet	
<p>Nature de la science</p> <p>Cette section relie le sujet au thème fondamental de la nature de la science.</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Cette section fournit des précisions sur les exigences en matière de contenu pour chaque sujet. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Cette section indique la façon dont les élèves doivent utiliser les notions de la section « Notions clés ». Par exemple, ces applications pourraient impliquer des calculs mathématiques ou la démonstration de compétences pratiques. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Cette section fournit des précisions et indique les restrictions aux exigences relatives aux sections « Notions clés » et « Applications et compétences ». <p>Référence au recueil de données</p> <ul style="list-style-type: none"> Cette section comprend des références à des parties spécifiques du recueil de données. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Idées que les enseignants peuvent facilement mentionner pendant leurs leçons. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Exemples de questions sur la théorie de la connaissance. <p>Utilisation (y compris la sous-section « Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires »)</p> <ul style="list-style-type: none"> Liens avec d'autres thèmes du <i>Guide de chimie</i>, avec diverses applications concrètes et avec d'autres cours du Programme du diplôme. <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Liens avec les objectifs globaux des matières du groupe 4.

Compétences en matière d'expérimentation dans les matières du groupe 4

« J'entends et j'oublie. Je vois et je me souviens. Je fais et je comprends. »

Confucius

Le travail en laboratoire ou sur le terrain fait partie intégrante de l'étude de chacune des matières du groupe 4. Les travaux pratiques permettent aux élèves d'être en contact direct avec des phénomènes naturels et des sources de données secondaires. Ils donnent aux élèves l'occasion de concevoir des recherches, de recueillir des données, d'acquérir des compétences de manipulation, d'analyser des résultats, de collaborer avec leurs pairs ainsi que d'évaluer et de communiquer leurs constatations. Les expériences peuvent servir à présenter un thème ou à étudier un phénomène, ou encore permettre aux élèves d'examiner des questions et des curiosités, et d'y réfléchir.

Les expériences pratiques donnent aux élèves la possibilité de mettre en œuvre quelques-unes des procédures utilisées par les scientifiques. Elles leur permettent d'expérimenter la nature de la pensée et de la recherche scientifiques. Toutes les théories et lois scientifiques commencent par des observations.

Il est important que les élèves participent à un programme de travaux pratiques fondé sur la recherche qui permet le développement des compétences nécessaires à la recherche scientifique. Le simple fait de pouvoir suivre des instructions ou de reproduire une procédure expérimentale donnée ne suffit pas. Il convient de leur donner l'occasion d'effectuer une véritable recherche. L'acquisition des compétences nécessaires à la recherche scientifique permettra aux élèves d'élaborer une explication fondée sur des preuves fiables et un raisonnement logique. Une fois acquises, ces compétences de réflexion d'ordre supérieur permettront aux élèves de continuer à apprendre tout au long de leur vie et d'avoir une culture scientifique.

Le programme de travaux pratiques de l'établissement doit refléter toute l'ampleur et la profondeur du cours, y compris l'option. Il doit également préparer les élèves à la recherche individuelle qu'ils devront entreprendre dans le cadre de l'évaluation interne. Pour développer les compétences de manipulation des élèves, il convient de leur apprendre à suivre scrupuleusement les instructions et à utiliser un équipement et des techniques variés en se montrant prudents, compétents et méthodiques.

Dans la partie « Contenu du programme », la section « Applications et compétences » indique les compétences de travaux pratiques en laboratoire, les techniques et les expériences spécifiques que les élèves doivent utiliser au cours de l'étude de leur matière du groupe 4. D'autres compétences de travaux pratiques en laboratoire, techniques et expériences recommandées par l'IB sont énumérées dans la section « Objectifs globaux » des pages consacrées au programme. L'objectif global 6 des matières du groupe 4 se rapporte directement au développement de compétences en matière d'expérimentation et de recherche.

Compétences requises en mathématiques

Tous les élèves suivant le cours de chimie du Programme du diplôme doivent être capables :

- d'effectuer les opérations mathématiques de base (addition, soustraction, multiplication et division) ;
- d'effectuer des calculs impliquant des moyennes, des décimales, des fractions, des pourcentages, des proportions, des approximations et des inverses ;
- d'utiliser la notation mathématique standard (par exemple, $3,6 \times 10^6$) ;
- d'utiliser la proportionnalité directe et la proportionnalité inverse ;
- de résoudre des équations algébriques simples ;
- de construire des graphiques (en utilisant les échelles et les axes appropriés) incluant deux variables qui montrent des relations linéaires et non linéaires ;
- d'interpréter des graphiques, y compris la signification des pentes (gradients) et de leurs variations, de l'intersection avec les axes et des aires limitées par une courbe et les axes ;
- d'interpréter des données présentées sous diverses formes (par exemple, graphiques en barres, histogrammes et graphiques circulaires).

Recueil de données

Le recueil de données doit être considéré comme faisant partie intégrante du programme de chimie. Il doit être utilisé tout au long du cours et non pas uniquement pendant l'évaluation externe. Le recueil de données contient des équations utiles, des constantes, des données, des formules développées et des

tableaux d'informations. Dans la section « Contenu du programme » du présent guide, des références directes aux informations contenues dans le recueil de données permettent aux élèves de se familiariser avec son utilisation et son contenu. Il est recommandé d'utiliser le recueil de données pour toutes les activités en classe et les évaluations propres à l'établissement.

Pour l'épreuve 1 au NM et au NS, les candidats ne sont pas autorisés à utiliser le recueil de données, mais ils se voient remettre un exemplaire du tableau de la classification périodique des éléments figurant dans la section 6 de ce recueil. Un exemplaire non annoté du recueil de données doit être mis à la disposition de chaque candidat pour les épreuves 2 et 3 au NM et au NS.

Utilisation des technologies de l'information et de la communication

L'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) est recommandée dans tous les aspects du cours, notamment dans le programme de travaux pratiques et dans les activités quotidiennes effectuées en classe. Les enseignants doivent se référer aux pages consacrées à l'utilisation des TIC dans le matériel de soutien pédagogique.

Planification du cours

Le programme, tel qu'il est présenté dans le présent guide, ne prétend pas imposer un ordre pour l'étude des thèmes, mais il apporte des informations concernant les contenus à étudier avant la fin du cours. Le programme d'études élaboré par l'établissement doit répondre le mieux possible aux besoins des élèves. Par exemple, il pourra être élaboré en fonction des ressources disponibles et tenir compte de l'expérience et des connaissances préalables des élèves ou d'autres exigences imposées à l'échelle locale.

Au NS, les enseignants peuvent choisir d'enseigner simultanément les thèmes du tronc commun et les thèmes du MCNS ou choisir de les enseigner en spirale, c'est-à-dire enseigner les thèmes du tronc commun en 1^{re} année puis revenir sur ces thèmes du tronc commun lors de l'étude des thèmes du MCNS en 2^e année. Le thème de l'option peut être enseigné comme un thème distinct ou être intégré dans l'enseignement des thèmes du tronc commun et/ou du MCNS.

Quelle que soit la stratégie adoptée, il convient de prévoir suffisamment de temps pour les révisions en vue des examens. Les élèves doivent également se voir accorder du temps pour réfléchir sur leur apprentissage et leur évolution en tant qu'apprenants.

Le profil de l'apprenant de l'IB

Le cours de chimie contribue au développement des qualités du profil de l'apprenant de l'IB. En suivant ce cours, les élèves prendront connaissance de ces qualités. Par exemple, les exigences de l'évaluation interne donnent l'occasion aux élèves de développer chaque aspect du profil de l'apprenant de l'IB. Le tableau suivant fournit un certain nombre de références aux cours du groupe 4 pour chaque qualité du profil de l'apprenant.

Qualité du profil de l'apprenant	Biologie, chimie et physique
Chercheurs	Objectifs globaux 2 et 6 Travaux pratiques et évaluation interne
Informés	Objectifs globaux 1 et 10, section « Sensibilité internationale » Travaux pratiques et évaluation interne
Sensés	Objectifs globaux 3 et 4, section « Théorie de la connaissance » Travaux pratiques et évaluation interne
Communicatifs	Objectifs globaux 5 et 7, évaluation externe Travaux pratiques et évaluation interne
Intègres	Objectifs globaux 8 et 9 Travaux pratiques et évaluation interne, comportements/pratiques éthiques (affiche sur les pratiques éthiques dans le cadre du Programme du diplôme et politique de l'IB en matière d'expérimentation animale), intégrité en milieu scolaire
Ouverts d'esprit	Objectifs globaux 8 et 9, section « Sensibilité internationale » Travaux pratiques et évaluation interne, projet du groupe 4
Altruistes	Objectifs globaux 8 et 9 Travaux pratiques et évaluation interne, projet du groupe 4, comportements/pratiques éthiques (affiche sur les pratiques éthiques dans le cadre du Programme du diplôme et politique de l'IB en matière d'expérimentation animale)
Audacieux (courageux)	Objectifs globaux 1 et 6 Travaux pratiques et évaluation interne, projet du groupe 4
Équilibrés	Objectifs globaux 8 et 10 Travaux pratiques et évaluation interne, projet du groupe 4, travail sur le terrain
Réfléchis	Objectifs globaux 5 et 9 Travaux pratiques et évaluation interne, projet du groupe 4

Contenu du programme

	Nombre d'heures d'enseignement recommandé
Tronc commun	95 heures
Thème 1 – Les relations stœchiométriques	13,5
1.1 Présentation de la nature particulière de la matière et de la transformation chimique	
1.2 Le concept de mole	
1.3 Les masses et les volumes de réactifs	
Thème 2 – La structure atomique	6
2.1 L'atome nucléaire	
2.2 La configuration électronique	
Thème 3 – La périodicité	6
3.1 Le tableau périodique	
3.2 Les tendances périodiques	
Thème 4 – La liaison et la structure chimiques	13,5
4.1 La liaison et la structure ioniques	
4.2 La liaison covalente	
4.3 Les structures covalentes	
4.4 Les forces intermoléculaires	
4.5 La liaison métallique	
Thème 5 – L'énergétique / La thermochimie	9
5.1 La mesure des variations énergétiques	
5.2 La loi de Hess	
5.3 Les enthalpies de liaison	
Thème 6 – La cinétique chimique	7
6.1 La théorie des collisions et les vitesses de réaction	

	Nombre d'heures d'enseignement recommandé
Thème 7 – L'équilibre	4.5
7.1 L'équilibre	
Thème 8 – Les acides et les bases	6.5
8.1 Les théories des acides et des bases	
8.2 Les propriétés des acides et des bases	
8.3 L'échelle de pH	
8.4 Les acides et les bases forts et faibles	
8.5 Les dépôts acides	
Thème 9 – Les processus redox	8
9.1 L'oxydation et la réduction	
9.2 Les cellules électrochimiques	
Thème 10 – La chimie organique	11
10.1 Les bases de la chimie organique	
10.2 La chimie des groupements fonctionnels	
Thème 11 – La mesure et le traitement des données	10
11.1 Les incertitudes et les erreurs dans les mesures et les résultats	
11.2 Les techniques graphiques	
11.3 L'identification spectroscopique des composés organiques	
Module complémentaire du niveau supérieur (MCNS)	60 heures
Thème 12 – La structure atomique	2
12.1 Les électrons dans les atomes	
Thème 13 – Le tableau périodique : les métaux de transition	4
13.1 Les éléments de la première rangée du bloc d	
13.2 Les complexes colorés	
Thème 14 – La liaison et la structure chimiques	7
14.1 La liaison covalente, le domaine électronique et les géométries moléculaires	
14.2 L'hybridation	

	Nombre d'heures d'enseignement recommandé
Thème 15 – L'énergétique / La thermochimie	7
15.1 Les cycles énergétiques	
15.2 L'entropie et la spontanéité	
Thème 16 – La cinétique chimique	6
16.1 L'expression de la vitesse et le mécanisme réactionnel	
16.2 L'énergie d'activation	
Thème 17 – L'équilibre	4
17.1 La loi de l'équilibre	
Thème 18 – Les acides et les bases	10
18.1 Les acides et les bases de Lewis	
18.2 Les calculs impliquant des acides et des bases	
18.3 Les courbes de pH	
Thème 19 – Les processus redox	6
19.1 Les cellules électrochimiques	
Thème 20 – La chimie organique	12
20.1 Les types de réactions organiques	
20.2 Les voies de synthèse	
20.3 La stéréoisomérisation	
Thème 21 – La mesure et l'analyse	2
21.1 L'identification spectroscopique des composés organiques	

Options 15 heures (NM) / 25 heures (NS)

A. Les matériaux

Thèmes du tronc commun

- A.1 Introduction à la science des matériaux
- A.2 Les métaux et la spectroscopie d'émission couplée par plasma induit (ICP)
- A.3 Les catalyseurs
- A.4 Les cristaux liquides
- A.5 Les polymères
- A.6 La nanotechnologie
- A.7 L'impact environnemental : les matières plastiques

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

A.8 Les métaux supraconducteurs et la cristallographie aux rayons X

A.9 Les polymères de condensation

A.10 L'impact environnemental : les métaux lourds

B. La biochimie

Thèmes du tronc commun

B.1 Introduction à la biochimie

B.2 Les protéines et les enzymes

B.3 Les lipides

B.4 Les glucides

B.5 Les vitamines

B.6 La biochimie et l'environnement

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

B.7 Les protéines et les enzymes

B.8 Les acides nucléiques

B.9 Les pigments biologiques

B.10 La stéréochimie dans les biomolécules

C. L'énergie

Thèmes du tronc commun

C.1 Les sources d'énergie

C.2 Les combustibles fossiles

C.3 La fusion et la fission nucléaires

C.4 L'énergie solaire

C.5 L'impact environnemental : le réchauffement de la planète

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

C.6 L'électrochimie, les piles rechargeables et les piles à combustible

C.7 La fusion nucléaire et la fission nucléaire

C.8 Les cellules photovoltaïques et les cellules solaires sensibilisées par colorant (CSSC)

D. La chimie médicinale

Thèmes du tronc commun

D.1 L'action des produits pharmaceutiques et des drogues

D.2 L'aspirine et la pénicilline

D.3 Les opiacés

D.4 La régulation du pH gastrique

D.5 Les médicaments antiviraux

D.6 L'impact de certains médicaments sur l'environnement

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

D.7 Le Taxol : une étude de cas concernant un auxiliaire chiral

D.8 La médecine nucléaire

D.9 La détection et l'analyse des drogues

Thème 1 – Les relations stœchiométriques

13,5 heures

Idée essentielle : les propriétés physiques et chimiques dépendent des modes d'association d'atomes différents.

1.1 Présentation de la nature particulière de la matière et de la transformation chimique	
Nature de la science Relevé de mesures quantitatives avec répétitions pour assurer la fiabilité – Les proportions définies et multiples. (3.1)	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> • Les atomes d'éléments divers s'associent selon des rapports fixes pour former des composés dont les propriétés diffèrent de celles des éléments qui les composent. • Les mélanges contiennent plusieurs éléments et/ou composés qui ne sont pas chimiquement liés entre eux ; ils conservent donc leurs propriétés individuelles. • Les mélanges sont homogènes ou hétérogènes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les symboles et les équations chimiques sont internationaux et ils permettent aux scientifiques de communiquer efficacement entre eux sans avoir à recourir à la traduction. • L'UICPA (Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée) est l'autorité à l'échelle mondiale chargée d'élaborer la nomenclature normalisée des composés organiques et inorganiques.
Applications et compétences	Théorie de la connaissance
<ul style="list-style-type: none"> • Déduction d'équations chimiques quand les réactifs et les produits sont précisés. • Application des symboles précisant l'état physique (s), (l), (g) et (aq) dans les équations. • Explication des variations observables au niveau des propriétés physiques et de la température durant des changements d'état. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les équations chimiques sont le « langage » de la chimie. En quoi l'utilisation de langages universels aide-t-elle ou freine-t-elle la recherche de la connaissance ? • La découverte de l'oxygène, qui a détrôné la théorie du phlogistique de la combustion, est un exemple de changement de paradigme. Comment le savoir scientifique progresse-t-il ?
Directives et informations supplémentaires	Utilisation
<ul style="list-style-type: none"> • La pondération des équations doit inclure une variété de types de réaction. • Les noms des changements d'état – fusion, solidification, vaporisation (évaporation et ébullition), condensation, sublimation et précipitation – doivent être couverts. 	<ul style="list-style-type: none"> • La réfrigération et en quoi elle est associée aux changements d'état. • L'économie des atomes. • La lyophilisation des aliments.

1.1 Présentation de la nature particulière de la matière et de la transformation chimique	
<ul style="list-style-type: none"> • Le terme « chaleur latente » n'est pas requis. • Les noms et les symboles des éléments figurent à la section 5 du recueil de données. 	<p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Thème 4.1 – La déduction des formules des composés ioniques</p> <p>Thème 5.1 – La réaction du cycle d'enthalpie ; l'état standard d'un élément ou d'un composé</p> <p>Thème 6.1 – La théorie cinétique</p> <p>Thème 8.2 – Les réactions de neutralisation</p> <p>Thème 10.2 – Les réactions de combustion</p> <p>Option A.4 – Les cristaux liquides</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : les impacts environnementaux négatifs des systèmes de réfrigération et de climatisation sont importants. L'utilisation des CFC en tant que fluides frigorigènes a été un contributeur principal à la diminution de la couche d'ozone.

Idée essentielle : la mole permet d'établir un lien entre le nombre de particules et la masse qui peut être mesurée.

1.2 Le concept de mole	
Nature de la science	
Les concepts : le concept de mole développé à partir du concept associé de « poids équivalent » au début du XIX ^e siècle. (2.3)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La mole est un nombre fixe de particules et elle fait référence à la quantité, n, de substance. • Les masses des atomes sont comparées sur une échelle relativement au ^{12}C et elles sont exprimées sous la forme de masse atomique relative (A_r) et de formule/masse moléculaire relative (M_r). • La masse molaire (M) est exprimée en unités g mol^{-1}. • La formule empirique et la formule moléculaire d'un composé indiquent respectivement le rapport le plus simple et le nombre réel d'atomes présents dans une molécule. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calcul des masses molaires d'atomes, d'ions, de molécules et d'unités formulaires. • Résolution de problèmes impliquant les rapports entre le nombre de particules, la quantité de substance en moles et la masse en grammes. • Conversion en une formule chimique de la composition exprimée sous forme d'un pourcentage en masse et vice versa. • Détermination de la formule moléculaire d'un composé en fonction de sa formule empirique et de sa masse molaire. • Obtention et utilisation de données expérimentales pour dériver les formules empiriques d'après des réactions impliquant des variations du poids. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le système international d'unités (SI) se réfère au système de mesure métrique ; il comporte sept unités de base. • Le Bureau international des poids et mesures (BIPM) est une organisation internationale de normalisation dont le but consiste à assurer l'uniformité en matière d'application des unités du SI dans le monde entier. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'ordre de grandeur de la constante d'Avogadro n'a pas de commune mesure avec notre expérience quotidienne. En quoi notre expérience quotidienne limite-t-elle notre intuition ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les calculs stœchiométriques sont essentiels aux processus chimiques dans la recherche et l'industrie, par exemple, dans les industries alimentaire, médicale, pharmaceutique et manufacturière. • Dans le cas des solides cristallins, le volume molaire est déterminé par la technique de la cristallographie aux rayons X. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 2.1 – L'échelle des atomes et des particules qui les composent. Thèmes 4.1, 4.3 et 4.5 – La structure en réseau des composés ioniques, la structure moléculaire des composés covalents et le réseau métallique. Thèmes 5.1 et 15.2 – Les variations d'enthalpie standard et d'entropie définie par mole. Thème 19.1 – Les rapports molaires des produits dans l'électrolyse.</p>

1.2 Le concept de mole	
Directives et informations supplémentaires	Objectifs globaux
<ul style="list-style-type: none">• La valeur de la constante d'Avogadro (L ou N_A) figure à la section 2 du recueil de données et elle sera indiquée pour les questions de l'épreuve 1.• L'unité de masse molaire utilisée en général (g mol^{-1}) est une unité dérivée du SI.	<ul style="list-style-type: none">• Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure le pourcentage en masse d'hydrates, la combustion du magnésium ou le calcul de la constante d'Avogadro.• Objectif global 7 : des enregistreurs de données peuvent être utilisés pour mesurer les variations de poids durant les réactions.

Idée essentielle : les rapports molaires dans les équations chimiques peuvent servir à calculer les rapports réactifs en masse et en volume gazeux.

1.3 Les masses et les volumes de réactifs	
Nature de la science	
La formulation d'observations attentives et l'obtention de preuves pour les théories scientifiques – L'hypothèse initiale d'Avogadro. (1.8)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les réactifs peuvent être soit limitants, soit en excès. • Le rendement expérimental peut différer du rendement théorique. • La loi d'Avogadro permet de déterminer le rapport molaire des gaz en réaction à partir des volumes des gaz. • Le volume molaire d'un gaz parfait est une constante à une température et une pression données. • La concentration molaire d'une solution est déterminée par la quantité de soluté et le volume de solution. • Une solution étalon est une solution dont on connaît la concentration. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Résolution de problèmes ayant trait aux quantités de substances en réaction, aux réactifs limitants et en excès, au rendement théorique, au rendement expérimental et au pourcentage de rendement. • Calcul des volumes de gaz en réaction en appliquant la loi d'Avogadro. • Résolution de problèmes et analyse de graphiques impliquant le rapport entre la température, la pression et le volume pour une masse donnée de gaz parfait. • Résolution de problèmes associés à l'équation des gaz parfaits. • Explication des écarts par rapport au comportement idéal des gaz réels sous basse température et haute pression. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'unité SI de la pression est le Pascal (Pa), $N\ m^{-2}$, mais de nombreuses autres unités continuent à être couramment utilisées dans différents pays. Citons, entre autres : atmosphère (atm), millimètres de mercure (mm Hg) Torr, bar et livres par pouce carré (psi). Le bar (10^5 Pa) est maintenant largement utilisé en tant qu'unité utile car il est très proche de 1 atm. L'unité SI pour le volume est le m^3, mais le litre est une unité couramment utilisée. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'attribution de nombres aux masses des éléments chimiques a permis à la chimie de devenir une science physique. Pourquoi les mathématiques réussissent-elles aussi bien à décrire le monde naturel ? • L'équation des gaz parfaits peut être déduite d'un petit nombre de suppositions sur le comportement idéal. Quel rôle jouent la raison, la perception, l'intuition et l'imagination dans le développement des modèles scientifiques ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les variations du volume gazeux durant les réactions chimiques sont responsables du gonflement des sacs d'air dans les véhicules et sont à la base de nombreuses autres réactions explosives, telles que la décomposition du TNT (trinitrotoluène). • Le concept du rendement en pourcentage centésimal est vital dans le contrôle de l'efficacité des processus industriels. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 4.4 – Les forces intermoléculaires Thème 5.1 – Les calculs des variations d'enthalpie molaire Thème 9.1 – Les titrages redox</p>

1.3 Les masses et les volumes de réactifs

- Obtention et utilisation de valeurs expérimentales pour calculer la masse molaire d'un gaz à partir de l'équation des gaz parfaits.
 - Résolution de problèmes impliquant la concentration molaire, la quantité de soluté et le volume de solution.
 - Utilisation de la méthode de titrage expérimentale pour calculer la concentration d'une solution par rapport à une solution étalon.
- Directives et informations supplémentaires**
- Les valeurs du volume molaire d'un gaz parfait figurent à la section 2 du recueil de données.
 - L'équation des gaz parfaits, $PV = nRT$, et la valeur de la constante des gaz parfaits (R) figurent aux sections 1 et 2 du recueil de données.
 - Les unités de concentration doivent inclure : g dm^{-3} , mol dm^{-3} et parties par million (ppm).
 - L'utilisation de parenthèses carrées est requise pour indiquer la concentration molaire.

Thème 17.1 – Les calculs de l'équilibre

Thème 18.2 – Les titrages acide-base

Thèmes 21.1 et A.8 – La cristallographie aux rayons X

Physique, thème 3.2 – La loi des gaz parfaits

Objectifs globaux

- **Objectif global 6** : le modèle expérimental pourrait inclure des réactifs en excès et limitants. Les expériences pourraient inclure la détermination gravimétrique en faisant précipiter un sel insoluble.
- **Objectif global 7** : les enregistreurs de données peuvent servir à mesurer les variations de température, de pression et de volume dans les réactions ou à déterminer le volume de la constante des gaz parfaits, R .
- **Objectif global 8** : l'unité « parties par million », ppm, est couramment utilisée pour mesurer de faibles taux de polluants dans des fluides. Cette unité est pratique pour communiquer de très faibles concentrations, mais elle n'est pas une unité SI officielle.

Thème 2 – La structure atomique

6 heures

Idée essentielle : la masse d'un atome se concentre dans son noyau minuscule de charge positive.

<p>2.1 L'atome nucléaire</p> <p>Nature de la science</p> <p>Les preuves et les améliorations des instruments : les particules alpha ont permis de développer le modèle nucléaire de l'atome proposé à l'origine par Rutherford. (1.8)</p> <p>Les changements de paradigme : la théorie des particules subatomiques de la matière représente un changement de paradigme en science qui s'est produit vers la fin des années 1800. (2.3)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les atomes contiennent un noyau dense chargé positivement qui se compose de protons et de neutrons (nucléons). • Les électrons chargés négativement occupent l'espace extérieur au noyau. • Le spectromètre de masse sert à déterminer la masse atomique relative d'un élément à partir de sa composition isotopique. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation des symboles nucléaires A_ZX pour en déduire le nombre de protons, de neutrons et d'électrons dans les atomes et les ions. • Calculs impliquant les valeurs non entières des masses atomiques relatives et l'abondance des isotopes à partir de données fournies, y compris des spectres de masse. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les masses relatives et les charges des particules subatomiques doivent être connues ; les valeurs réelles figurent à la section 4 du recueil de données. On peut considérer que la masse de l'électron est négligeable. • Il n'est pas nécessaire d'étudier des exemples spécifiques d'isotopes. • Il n'est pas nécessaire de connaître le mode de fonctionnement du spectromètre de masse. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'enrichissement isotopique utilise les propriétés physiques pour séparer les isotopes de l'uranium, et il est utilisé dans de nombreux pays dans le cadre de programmes portant sur l'énergie et les armes nucléaires. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Richard Feynman : « Si tout le savoir scientifique venait à être détruit, et si une seule phrase était transmise à la prochaine génération, je crois que ce serait que toutes les choses sont constituées d'atomes ». Les modèles et les théories que créent les scientifiques sont-ils des descriptions exactes du monde naturel, ou bien principalement des interprétations utiles pour la prédiction, l'explication et le contrôle du monde naturel ? • Aucune particule subatomique ne peut (ou ne pourra) être observée directement. Quelles méthodes de la connaissance utilisons-nous pour interpréter des preuves indirectes, obtenues par le biais de la technologie ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les radioisotopes sont utilisés en médecine nucléaire pour le diagnostic, le traitement et la recherche, à titre de traceurs en recherche biochimique et pharmaceutique et « d'horloges chimiques » dans la datation géologique et archéologique. • Les scanners réalisés en tomographie par émission de positrons (TEP) produisent des images tridimensionnelles de la concentration d'un traceur dans l'organisme et ils peuvent servir à détecter les cancers.

2.1 L'atome nucléaire	<p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Thèmes 11.3, 21.1 et options D.8 et D.9 – L'IRM Options C.3 et C.7 – La fission nucléaire Option D.8 – La médecine nucléaire</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none">• Objectif global 7 : des simulations de l'expérience de la feuille d'or de Rutherford peuvent être réalisées.• Objectif global 8 : les radionucléides constituent un danger pour la santé en raison de leurs effets ionisants sur les cellules.
-----------------------	--

Idée essentielle : la configuration électronique d'un atome peut être déduite de son nombre atomique.

2.2 La configuration électronique	
Nature de la science	
En recherche scientifique, les développements succèdent aux améliorations des appareils : l'utilisation de l'électricité et du magnétisme dans les rayons cathodiques de Thomson. (1.8)	
Les théories sont remplacées : la mécanique quantique figure parmi les modèles les plus actualisés de l'atome. (1.9)	
L'utilisation de théories pour expliquer les phénomènes naturels : les spectres de raies sont expliqués par le modèle de l'atome de Bohr. (2.2)	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> • Les spectres d'émission sont produits quand des photons sont émis par les atomes alors que les électrons excités retournent à un niveau d'énergie inférieur. • Le spectre d'émission de l'hydrogène apporte des preuves de l'existence d'électrons dans des niveaux d'énergie discrets, lesquels convergent aux énergies supérieures. • On attribue au niveau d'énergie principal, ou couche, un nombre entier, n ; il peut contenir un nombre maximum d'électrons égal à $2n^2$. • Un modèle plus détaillé de l'atome décrit la scission du niveau principal d'énergie en sous-niveaux s, p, d et f, d'énergie successivement croissante. • Les sous-niveaux contiennent un nombre fixe d'orbitales, des régions spatiales où la probabilité de trouver un électron est élevée. • Chaque orbitale a un état d'énergie défini pour une configuration électronique donnée, dans un environnement chimique déterminé, et peut contenir deux électrons de spin opposé. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN) est gérée par ses États membres de l'Union européenne (20 États en 2013), avec l'aide de scientifiques de nombreux autres pays. Elle gère le plus grand centre de recherche en matière de physique des particules du monde, et dispose d'accélérateurs et de détecteurs de particules qui servent à étudier les constituants fondamentaux de la matière. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le principe d'incertitude de Heisenberg stipule qu'il y a une limite théorique à la précision avec laquelle nous pouvons connaître l'impulsion et la position d'une particule. Quelles en sont les implications pour les limites du savoir humain ? • « Un objectif des sciences physiques a été de donner une image exacte du monde matériel. Un résultat [...] a été de prouver que cet objectif ne peut être atteint ». Jacob Bronowski. Quelles sont les implications de cette assertion pour les objectifs des sciences naturelles en particulier, et pour le savoir en général ?

2.2 La configuration électronique											
<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Description de la relation entre la couleur, la longueur d'onde, la fréquence et l'énergie dans le spectre électromagnétique. Distinction entre un spectre continu et un spectre de raies. Description du spectre d'émission de l'atome d'hydrogène, y compris les relations entre les raies et les transitions électroniques entre les premier, second et troisième niveaux d'énergie. Reconnaissance de la forme d'une orbitale atomique s et de celle des orbitales atomiques p_x, p_y et p_z. Application du principe de l'Aufbau, de la règle de Hund et du principe d'exclusion de Pauli pour écrire les configurations électroniques des atomes et des ions jusqu'à $Z = 36$. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Des détails du spectre électromagnétique figurent à la section 3 du recueil de données. Il n'est pas nécessaire de connaître les noms des différentes séries dans le spectre de l'hydrogène. Les configurations électroniques complètes (ex. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$) et les configurations électroniques abrégées (ex. $[\text{Ne}] 3s^2 3p^4$) doivent être étudiées. Des diagrammes doivent être utilisés pour représenter les caractéristiques et l'énergie relative des orbitales. Cette représentation des orbitales prend la forme de flèches dans des carrés, comme l'illustre le schéma ci-dessous. <p style="text-align: center;">N: <table style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1↓</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1↓</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td></tr><tr><td style="padding: 0 10px;">1s</td><td style="padding: 0 10px;">2s</td><td style="padding: 0 10px;">2p</td><td colspan="2"></td></tr></table></p> <ul style="list-style-type: none"> Les configurations électroniques exceptionnelles du Cr et du Cu doivent être étudiées. 	1↓	1↓	1	1	1	1s	2s	2p			<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Les spectres d'absorption et d'émission sont largement utilisés en astronomie pour analyser la lumière provenant des étoiles. La spectroscopie d'absorption atomique est un moyen très sensible pour déterminer la présence et la concentration d'éléments métalliques. Les feux d'artifice – Les spectres d'émission. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 3.1 et 3.2 – La périodicité Thème 4.1 – La déduction des formules des composés ioniques Thème 6.1 – La distribution de l'énergie de Maxwell-Boltzmann en tant que fonction de densité de probabilité Physique, thème 7.1 et option D.2 – Caractéristiques stellaires</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : les spectres d'émission pourraient être observés en utilisant des tubes à décharge de divers gaz et un spectroscopie. Les tests à la flamme pourraient servir à étudier des spectres.
1↓	1↓	1	1	1							
1s	2s	2p									

Thème 3 – La périodicité

6 heures

Idee essentielle : la répartition des éléments dans le tableau périodique aide à prédire leur configuration électronique.

3.1 Le tableau périodique	
Nature de la science L'obtention de preuves à l'appui de théories scientifiques en formulant et en testant des prédictions reposant sur celles-ci. Les scientifiques organisent les sujets en fonction de la structure et de leur fonction ; le tableau périodique en est un exemple clé. Les premiers modèles du tableau périodique de Mendeleïev, et plus tard de Moseley, ont permis de prédire les propriétés d'éléments qui n'avaient pas encore été découverts. (1.9)	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> Le tableau périodique se présente sous la forme de quatre blocs associés aux quatre sous-niveaux - s, p, d, et f. Le tableau périodique est composé de groupes (colonnes verticales) et de périodes (lignes horizontales). Le numéro de la période (n) est le niveau d'énergie qui est occupé par les électrons. Le numéro du niveau d'énergie principal et le nombre d'électrons de valence dans un atome peuvent être déduits d'après sa position dans le tableau périodique. Le tableau périodique indique les positions des métaux, des non-métaux et des éléments amphotères. 	<ul style="list-style-type: none"> L'élaboration du tableau périodique a pris de nombreuses années et a impliqué la collaboration de scientifiques de divers pays sur la base des travaux et des idées de chacun. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Quel rôle les raisonnements inductif et déductif ont-ils joué dans l'élaboration du tableau périodique ? Quel rôle jouent-ils dans la science en général ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> D'autres matières scientifiques utilisent également le tableau périodique pour comprendre la structure et la réactivité des éléments dans le cadre de leurs propres disciplines.
Applications et compétences	Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 2.2 – La configuration électronique
<ul style="list-style-type: none"> Déduction de la configuration électronique d'un atome en fonction de la position qu'occupe l'élément dans le tableau périodique, et vice-versa. 	

3.1 Le tableau périodique	
<p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il est important de connaître les termes métaux alcalins, halogènes, gaz nobles, métaux de transition, lanthanides et actinides. • Le système de numérotation des groupes de 1 à 18, tel que recommandé par l’IUPAC, doit être utilisé. 	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 3 : appliquer l’organisation du tableau périodique pour comprendre les tendances générales au niveau des propriétés. • Objectif global 4 : pouvoir analyser des données pour expliquer l’organisation des éléments. • Objectif global 6 : pouvoir reconnaître des échantillons physiques ou des images des éléments courants.

Idée essentielle : des tendances apparaissent au niveau des propriétés physiques et chimiques des éléments en progressant horizontalement au sein d'une période et en descendant au sein d'un groupe.

3.2 Les tendances périodiques	
Nature de la science	
La recherche de patterns : la position qu'occupe un élément dans le tableau périodique permet aux scientifiques de prédire exactement ses propriétés physiques et chimiques. Cela confère aux scientifiques l'aptitude à synthétiser de nouvelles substances en fonction de la réactivité attendue des éléments. (3.1)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les tendances verticales et horizontales dans le tableau périodique se manifestent pour le rayon atomique, le rayon ionique, l'énergie d'ionisation, l'affinité électronique et l'électronégativité. Les tendances au niveau du comportement métallique et non métallique résultent des tendances ci-dessus. Dans une période, les propriétés des oxydes évoluent depuis des propriétés basiques jusqu'à des propriétés acides, en passant par des propriétés amphotères. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Prédiction et explication du comportement métallique et non métallique d'un élément d'après sa position dans le tableau périodique. Discussion sur les similitudes et les différences au niveau des propriétés des éléments d'un même groupe, en faisant référence aux métaux alcalins (groupe 1) et aux halogènes (groupe 17). Formulation d'équations pour expliquer les variations du pH pour les réactions de Na_2O, MgO, P_4O_{10} et des oxydes d'azote et de soufre avec l'eau. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> L'industrialisation a conduit à la production de nombreux produits qui causent des problèmes globaux lorsqu'ils sont libérés dans l'environnement. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> La puissance prédictive du tableau périodique de Mendeleïev illustre la « prise de risques » qui existe en science. Quelle est la démarcation entre les revendications scientifiques et les revendications pseudo-scientifiques ? Le tableau périodique est un excellent exemple de la classification en science. En quoi la classification et la catégorisation aident-elles et en quoi freinent-elles la recherche du savoir ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Thème 2.2 – Les anomalies au niveau des valeurs de l'énergie de première ionisation peuvent être associées à la stabilité dans la configuration électronique.</p> <p>Thème 8.5 – La genèse des pluies acides.</p>

3.2 Les tendances périodiques	
<p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seuls des exemples de tendances générales au sein des périodes et en descendant dans les groupes sont requis. En ce qui concerne l'énergie d'ionisation, les discontinuités au niveau de son augmentation dans une période doivent être traitées. • Les tendances dans les groupes doivent inclure le traitement des réactions des métaux alcalins avec l'eau, des métaux alcalins avec les halogènes, ainsi que l'étude des éléments halogènes et de leurs ions halogénure. 	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectifs globaux 1 et 8 : quel est l'impact des pluies acides sur la planète ? • Objectif global 6 : réaliser au laboratoire des expériences illustrant les tendances chimiques ou recourir à des démonstrations réalisées par l'enseignant. • Objectif global 6 : l'utilisation d'ions de métaux de transition à titre de catalyseurs peut être étudiée. • Objectif global 7 : les tendances périodiques peuvent être étudiées en utilisant des bases de données informatiques.

Thème 4 – La liaison et la structure chimiques

13,5 heures

Idée essentielle : les composés ioniques sont formés d'ions maintenus dans des structures en réseau par des liaisons ioniques.

4.1 La liaison et la structure ioniques	
Nature de la science L'utilisation de théories pour expliquer les phénomènes naturels – Les composés ioniques fondus conduisent l'électricité alors que les composés ioniques solides ne le font pas. La solubilité et les points de fusion des composés ioniques peuvent servir à expliquer les observations. (2.2)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les ions positifs (cations) sont formés par des métaux cédant des électrons de valence. Les ions négatifs (anions) sont formés par des non-métaux captant des électrons. Le nombre d'électrons cédés ou captés est déterminé en fonction de la configuration électronique de l'atome. La liaison ionique est le résultat de l'attraction électrostatique entre des ions de charges opposées. En conditions normales, les composés ioniques sont d'habitude des solides ayant des structures en réseau. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Déduction de la formule et du nom d'un composé ionique à partir des ions qui le composent, y compris les ions polyatomiques. Explication des propriétés physiques des composés ioniques (volatilité, conductivité électrique et solubilité) sur la base de leur structure. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> En chimie, les règles générales (telle la règle de l'octet) ont souvent des exceptions. Combien d'exceptions doivent exister avant qu'une règle ne cesse d'être utile ? Quelles preuves de l'existence des ions possédez-vous ? En quoi les preuves directes diffèrent-elles des preuves indirectes ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Les liquides ioniques sont des solvants efficaces et des électrolytes utilisés dans des sources d'électricité et des procédés industriels respectueux de l'environnement. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 3.2 – Les tendances périodiques Thème 21.1 et Option A.8 – L'utilisation de la cristallographie aux rayons X dans les déterminations structurales. Physique, thème 5.1 – L'électrostatique</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 3 : utiliser des conventions pour nommer les composés ioniques.

4.1 La liaison et la structure ioniques	<p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none">• Les élèves doivent connaître les noms des ions polyatomiques suivants : NH_4^+, OH^-, NO_3^-, HCO_3^-, CO_3^{2-}, SO_4^{2-} et PO_4^{3-}.
	<ul style="list-style-type: none">• Objectif global 6 : les élèves pourraient examiner des composés d'après leur type de liaison et leurs propriétés ou obtenir du chlorure de sodium par évaporation solaire.• Objectif global 7 : une simulation informatique pourrait être utilisée pour observer les structures en réseau des cristaux.

Idée essentielle : les composés covalents se forment par partage d'électrons.

4.2. La liaison covalente	
Nature de la science	
<p>La recherche de tendances et de divergences : les composés contenant des non-métaux ont des propriétés différentes des propriétés de ceux qui contiennent à la fois des non-métaux et des métaux. (2.5)</p> <p>L'utilisation des théories pour expliquer les phénomènes naturels : Lewis a introduit une classe de composés qui partagent des électrons. Pauling a utilisé l'idée de l'électronégativité pour expliquer le partage inégal d'électrons. (2.2)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une liaison covalente est formée par l'attraction électrostatique entre une paire d'électrons partagée et les noyaux chargés positivement. • Les liaisons covalentes simples, doubles et triples impliquent respectivement une, deux et trois paires d'électrons partagée(s). • Plus le nombre d'électrons partagés augmente, plus les liaisons deviennent courtes et fortes. • La polarité de liaison résulte de la différence au niveau des électronégativités des atomes liés. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Déduction de la nature polaire d'une liaison covalente d'après les valeurs d'électronégativité. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • La polarité de liaison peut être décrite par des charges partielles, des dipôles ou des vecteurs. • Les valeurs d'électronégativité figurent à la section 8 du recueil de données. 	<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les micro-ondes – La cuisine avec des molécules polaires. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 10.1 – Les molécules organiques</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 3 : utiliser les conventions pour nommer les composés liés par covalence.

Idée essentielle : les structures de Lewis (électrons représentés par des points) montrent les domaines électroniques dans la couche de valence et elles servent à prédire la forme des molécules.

4.3 Les structures covalentes	
Nature de la science	
Les scientifiques utilisent des modèles pour représenter le monde réel – Le développement du modèle de la forme moléculaire (RPEV) pour expliquer les propriétés observables. (1.10)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les structures de Lewis (électrons représentés par des points) montrent tous les électrons de valence dans une espèce liée par covalence. • La « règle de l'octet » fait référence à la tendance qu'ont les atomes à atteindre une couche de valence avec un total de huit électrons. • Certains atomes, tels Be et B, peuvent former des composés stables avec des octets d'électrons incomplets. • Des structures de résonance se produisent quand il y a plus d'une position possible pour une double liaison dans une molécule. • Les formes des espèces sont déterminées par la répulsion des paires d'électrons, selon la théorie de la RPEV. • Le carbone et le silicium forment des structures covalentes / covalentes à réseau géantes. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dédution de la structure de Lewis des molécules et des ions faisant apparaître tous les électrons de valence jusqu'à un maximum de quatre paires d'électrons sur chaque atome. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • La nécessité d'avoir des structures de résonance diminue-t-elle la valeur ou la validité de la théorie de Lewis ? Quels critères utilise-t-on pour évaluer la validité d'une théorie scientifique ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Option A.7 – La biodégradabilité des matières plastiques Biologie, thème 2.3 – La structure tridimensionnelle des molécules et le rapport entre la structure et la fonction.</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 7 : des simulations informatiques peuvent être utilisées pour la modélisation de structures RPEV.

4.3 Les structures covalentes	
	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de la théorie de la RPEV pour prédire la géométrie du domaine électronique et la géométrie moléculaire des espèces possédant deux, trois et quatre domaines électroniques. • Prédiction des angles de liaison à partir de la géométrie moléculaire et de la présence de paires non liantes d'électrons. • Prédiction de la polarité moléculaire à partir de la polarité de liaison et de la géométrie moléculaire. • Dédution des structures de résonance, notamment mais pas exclusivement C_6H_6, CO_3^{2-} et O_3. • Explication des propriétés des composés covalents géants sur base de leurs structures. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le terme « domaine électronique » doit être utilisé à la place de l'expression « centre de charge négative ». • Dans une structure de Lewis, les paires d'électrons peuvent être représentées par des points, des croix, des traits ou une association quelconque de ces éléments. • Les allotropes du carbone (diamant, graphite, graphène, C_{60} buckminsterfullerène), et SiO_2 doivent être étudiés. • Les liaisons covalentes de coordination doivent être traitées.

Idée essentielle : les propriétés physiques des substances moléculaires résultent de types de force différents entre leurs molécules.

4.4 Les forces intermoléculaires	
Nature de la science	
<p>Obtention de preuves pour des théories scientifiques en formulant et en testant des prédictions reposant sur celles-ci – Les forces de dispersion de London et la liaison hydrogène peuvent être utilisées pour expliquer des interactions particulières. Par exemple, les composés covalents moléculaires peuvent exister à l'état liquide et à l'état solide. Pour expliquer cette propriété, il doit y avoir des forces d'attraction entre leurs particules qui sont significativement supérieures à celles qui pourraient être attribuées à la gravité. (2.2)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les forces intermoléculaires incluent les forces de dispersion de London, les forces dipôle-dipôle et la liaison hydrogène. Les forces relatives de ces interactions sont les forces de dispersion de London < les forces dipôle-dipôle < les liaisons hydrogène. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Déduction des types de force intermoléculaire présents dans les substances, d'après leur structure et leur formule chimique. Explication des propriétés physiques des composés covalents (volatilité, conductivité électrique et solubilité) sur base de leur structure et des forces intermoléculaires. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> L'expression « forces de dispersion de London » fait référence aux forces entre dipôles induits qui existent entre des atomes ou groupes d'atomes et elles doivent être utilisées pour des entités non polaires. Le terme « van der Waals » est un terme inclusif puisqu'il regroupe les forces dipôle-dipôle, les forces entre dipôles induits et les forces de dispersion de London. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> La nature de la liaison hydrogène fait l'objet de nombreuses discussions et la définition actuelle de l'UICPA cite six critères qui doivent être utilisés comme preuves de l'existence de la liaison hydrogène. En quoi un vocabulaire spécialisé aide-t-il et en quoi freine-t-il le développement du savoir ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Option A.5 – L'utilisation des plastifiants Option A.7 – Le contrôle de la biodégradabilité Option B.3 – Les points de fusion des graisses <i>cis/trans</i> Biologie, thèmes 2.2, 2.3, 2.4 et 2.6 – Comprendre comment les forces intermoléculaires interviennent dans les molécules de l'organisme.</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 7 : des simulations informatiques peuvent être utilisées pour montrer les interactions dues aux forces intermoléculaires.

Idée essentielle : les liaisons métalliques impliquent un réseau de cations avec des électrons délocalisés.

4.5 La liaison métallique	
Nature de la science	
L'utilisation de théories pour expliquer les phénomènes naturels – Les propriétés des métaux diffèrent de celles des substances covalentes et ioniques ; cela est dû à la formation de liaisons non directionnelles avec un « océan » d'électrons délocalisés. (2.2)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une liaison métallique est causée par l'attraction électrostatique entre un réseau d'ions positifs et des électrons délocalisés. • La force d'une liaison métallique dépend de la charge des ions et du rayon de l'ion métallique. • Les alliages contiennent en général plus d'un métal et ils ont de meilleures propriétés. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explication de la conductivité électrique et de la malléabilité des métaux. • Explication des tendances au niveau des points de fusion des métaux. • Explication des propriétés des alliages sur base de la liaison non directionnelle. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les tendances doivent se limiter aux éléments des blocs « s » et « p ». • Des exemples de divers alliages doivent être étudiés. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • La disponibilité de ressources en métaux et leur mode d'extraction varient énormément d'un pays à l'autre et constituent un facteur déterminant de la richesse d'un pays. Au fur et à mesure du développement des technologies, la demande pour divers métaux change et des stratégies prudentes deviennent nécessaires pour gérer l'approvisionnement de ces ressources limitées. <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Option A.6 – L'utilisation des métaux en nanotechnologie Biologie, thème 2.2 – L'eau</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 1 : l'impact global de la valeur des métaux précieux et de leurs procédés et lieux d'extraction. • Objectif global 7 : des simulations informatiques peuvent être utilisées pour illustrer des exemples de liaison métallique.

Idée essentielle : les variations d'enthalpie accompagnant des réactions chimiques peuvent être calculées en fonction de leur effet sur la température du milieu ambiant.

5.1 La mesure des variations énergétiques

Nature de la science

Le principe fondamental : la conservation de l'énergie est un principe fondamental de la science. (2.6)

La formulation d'observations attentives : transferts d'énergie mesurables entre les systèmes et leur environnement. (3.1)

Notions clés

- La chaleur est une forme d'énergie.
- La température est une mesure de l'énergie cinétique moyenne des particules.
- L'énergie totale est conservée dans les réactions chimiques.
- Les réactions chimiques qui impliquent un transfert de chaleur entre le système et le milieu ambiant sont décrites comme endothermiques ou exothermiques.
- La variation d'enthalpie (ΔH) pour les réactions chimiques est indiquée en kJ mol^{-1} .
- Les valeurs ΔH sont habituellement exprimées dans les conditions standard et notées ΔH°

Applications et compétences

- Calcul de la variation de chaleur quand la température d'une substance pure est modifiée en utilisant $q = mc\Delta T$.
- Une expérience de calorimétrie pour mesurer une enthalpie de réaction doit être réalisée et les résultats doivent être évalués.

Sensibilité internationale

- L'unité de température SI est le kelvin (K), mais l'échelle Celsius ($^\circ\text{C}$), qui a les mêmes intervalles entre les graduations, est couramment utilisée dans la plupart des pays. L'exception est le cas des États-Unis qui continuent à utiliser l'échelle Fahrenheit ($^\circ\text{F}$) pour toutes les communications extrascientifiques.

Théorie de la connaissance

- Quels critères utilisons-nous pour juger des divergences entre des valeurs expérimentales et des valeurs théoriques ? Quels modes de connaissance utilisons-nous pour évaluer les limitations expérimentales et les suppositions théoriques ?

Utilisation

- Détermination du potentiel énergétique de substances importantes dans les domaines des aliments et des combustibles.

Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :

Thème 1.1 – La conservation de la masse, les changements d'état

Thème 1.2 – Le concept de mole

5.1 La mesure des variations énergétiques	
<p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Les variations d'enthalpie de combustion (ΔH_c°) et de formation (ΔH_f°) doivent être étudiées. Considérer les réactions en solution aqueuse et les réactions de combustion. L'état standard fait référence à l'état le plus stable d'une substance pure à 100 kPa. La température ne fait pas partie de la définition de l'état standard, mais la température choisie est en général 298 K. La capacité calorifique massique de l'eau est fournie à la section 2 du recueil de données. Les élèves peuvent supposer que la densité et les capacités calorifiques massiques des solutions sont égales à celles de l'eau, mais ils doivent être conscients de cette approximation. Dans les expériences, les pertes de chaleur dans l'environnement et la capacité calorifique du calorimètre doivent être considérées, mais l'utilisation d'une bombe calorimétrique n'est pas requise. 	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : les expériences peuvent inclure les variations d'enthalpie issues de données expérimentales fournies (potentiel énergétique des aliments, enthalpie de la fonte de la glace ou la variation d'enthalpie de réactions simples en solution aqueuse). Objectif global 7 : utilisation de bases de données pour analyser le potentiel énergétique des aliments. Objectif global 7 : utilisation d'enregistreurs de données pour relever les variations de température.

Idee essentielle : dans les transformations chimiques, de l'énergie ne peut être créée ni détruite (premier principe de la thermodynamique).

<p>5.2 La loi de Hess</p> <p>Nature de la science</p> <p>Les hypothèses : en se basant sur la conservation de l'énergie et la théorie atomique, les scientifiques peuvent tester l'hypothèse selon laquelle, si les mêmes produits sont formés à partir de mêmes réactifs initiaux, alors la variation d'énergie doit être la même quel que soit le nombre d'étapes. (2.4)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> La variation d'enthalpie pour une réaction réalisée en une série d'étapes est égale à la somme des variations d'enthalpie des étapes individuelles. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application de la loi de Hess pour calculer les variations d'enthalpie. Calcul ΔH de réaction en utilisant les données ΔH_f°. Détermination de la variation d'enthalpie d'une réaction qui est le bilan de plusieurs réactions dont les variations d'enthalpie sont connues. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Les données relatives à l'enthalpie de formation figurent à la section 12 du recueil de données. Voici une application de la loi de Hess : $\Delta H_{\text{réaction}} = \Sigma(\Delta H_f^\circ \text{ produits}) - \Sigma(\Delta H_f^\circ \text{ réactifs}).$ 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Le recyclage des matériaux est souvent un moyen efficace de réduire l'impact de la production sur l'environnement, mais, d'un point de vue énergétique, son efficacité varie d'un pays à l'autre. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> La loi de Hess est un exemple de l'application de la conservation de l'énergie. Quels sont les défis et les limitations de l'application de principes généraux à des situations spécifiques ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> La loi de Hess a une signification dans l'étude de la nutrition, des drogues et de l'énergie libre de Gibbs dans les cas où la synthèse directe à partir d'éléments constitutifs est impossible. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Physique, thème 2.3 – Conservation de l'énergie / la masse</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 4 : discuter de la source des valeurs admises et utiliser cette idée pour critiquer les expériences. Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure des activités de laboratoire illustrant la loi de Hess. Objectif global 7 : utilisation d'enregistreurs de données pour relever les variations de température.

Idée essentielle : l'énergie est absorbée quand des liaisons sont rompues et elle est libérée quand des liaisons sont formées.

5.3 Les enthalpies de liaison	
Nature de la science	
Les modèles et les théories : les variations d'énergie mesurées peuvent être expliquées sur la base du modèle des liaisons rompues et des liaisons formées. Puisque ces explications reposent sur un modèle, la concordance avec des données empiriques dépend du degré de sophistication du modèle et les données obtenues peuvent servir à modifier les théories, le cas échéant. (2.2)	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> • La formation de liaisons libère de l'énergie et la rupture de liaisons nécessite de l'énergie. • L'enthalpie moyenne de liaison est l'énergie requise pour briser une mole d'une liaison dans une molécule gazeuse pondérée sur les valeurs de composés similaires. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calcul des variations d'enthalpie à partir de valeurs d'enthalpie de liaison connues et comparaison de celles-ci aux valeurs mesurées expérimentalement. • Schématisation et évaluation des profils d'énergie potentielle lorsqu'il s'agit de déterminer si ce sont les réactifs ou les produits qui sont les plus stables et si la réaction est exothermique ou endothermique. • Discussion de la force de liaison dans l'ozone, comparé à l'oxygène en ce qui concerne son importance pour l'atmosphère. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les valeurs d'enthalpie de liaison figurent à la section 11 du recueil de données. • Les enthalpies moyennes de liaison ne sont valides que pour les gaz, et les calculs impliquant des enthalpies de liaison risquent d'être inexacts car ils ne prennent pas les forces intermoléculaires en compte. 	<ul style="list-style-type: none"> • La diminution de la couche d'ozone stratosphérique est un problème préoccupant dans les régions polaires de la planète, bien que la pollution qui la provoque provienne d'une variété de régions et de sources. L'action et la coopération internationales ont aidé à limiter le problème de la diminution de la couche d'ozone. <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les sources d'énergie, telles que la combustion des combustibles fossiles, nécessitent de grandes valeurs ΔH. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 4.3 – Les structures covalentes</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : les expériences pourraient porter sur l'enthalpie de la combustion du propane ou du butane. • Objectif global 7 : des enregistreurs de données peuvent être utilisés pour relever les variations de température. • Objectif global 8 : les conséquences morales, éthiques, sociales, économiques et écologiques de la diminution de la couche d'ozone et ses causes.

Thème 6 – La cinétique chimique

7 heures

Idée essentielle : plus les chances de collisions entre les molécules possédant suffisamment d'énergie et orientées dans le bon sens sont élevées, plus la réaction est rapide.

6.1 La théorie des collisions et les vitesses de réaction

Nature de la science

Le principe du rasoir d'Occam est utilisé à titre de guide pour développer une théorie. Bien que nous ne puissions pas voir directement comment se déroulent les réactions au niveau moléculaire, nous pouvons élaborer des théories d'après les modèles atomiques actuels. La théorie des collisions constitue un bon exemple de ce principe. (2.7)

Notions clés

- Les espèces réagissent à la suite de collisions lorsqu'elles possèdent une énergie suffisante et une orientation favorable.
- La vitesse d'une réaction s'exprime en termes de variation de la concentration d'un réactif/produit particulier par unité de temps.
- Les variations de concentration au cours d'une réaction peuvent être indirectement suivies en contrôlant les variations de masse, de volume et de couleur.
- L'énergie d'activation (E_a) est l'énergie minimale requise par des molécules en collision pour que les collisions soient efficaces et déclenchent une réaction.
- En réduisant E_a , un catalyseur accélère la vitesse d'une réaction chimique, sans subir lui-même de modification chimique permanente.

Applications et compétences

- Description de la théorie cinétique en termes de déplacement de particules dont l'énergie cinétique moyenne est proportionnelle à la température (en kelvin).
- Analyse de données graphiques et numériques obtenues lors d'expériences sur la vitesse de réaction.

Sensibilité internationale

- La diminution de la couche d'ozone stratosphérique a été largement causée par l'action catalytique des CFC et elle constitue un problème préoccupant dans les régions polaires. Ces produits chimiques proviennent d'une variété de régions et de sources ; une action et une coopération internationales ont été nécessaires pour limiter le problème de la diminution de la couche d'ozone.

Théorie de la connaissance

- L'échelle de température Kelvin donne une mesure naturelle de l'énergie cinétique du gaz, alors que l'échelle artificielle Celsius repose sur les propriétés de l'eau. Les propriétés physiques, comme la température, sont-elles inventées ou découvertes ?

Utilisation

Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :
Thème 5.3 – Que peut signifier « thermodynamiquement stable » par opposition à « cinétiquement stable » ?
Thème 13.1 – Les feux d'artifice et les ions
Option A.3 – Les utilisations quotidiennes des catalyseurs
Option B.2 – Les enzymes
Biologie, thème 8.1 – Le métabolisme

6.1 La théorie des collisions et les vitesses de réaction	
<ul style="list-style-type: none"> • Explication des effets de la température, de la pression/concentration et de la taille des particules sur la vitesse d'une réaction. • Construction de courbes de distribution de l'énergie de Maxwell-Boltzmann pour expliquer la probabilité de collisions efficaces et les facteurs qui les affectent, notamment de l'effet d'un catalyseur. • Étude expérimentale des vitesses de réaction et évaluation des résultats. • Schématisation et explication des profils énergétiques avec et sans catalyseurs. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le calcul des vitesses de réaction à partir de tangentes sur les graphiques de la concentration, du volume ou de la masse en fonction du temps doit être traité. • Les élèves doivent connaître les graphiques des variations de concentration, de volume ou de masse en fonction du temps. 	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectifs globaux 1 et 8 : quelles sont certaines des controverses concernant la vitesse de modification du climat ? Pourquoi existent-elles ? • Objectif global 6 : étudier la vitesse d'une réaction avec et sans catalyseur. • Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure l'étude des vitesses en faisant varier la concentration d'un réactif ou la température. • Objectif global 7 : utiliser des simulations pour montrer comment les collisions entre molécules sont affectées par la modification de propriétés macroscopiques telles que la température, la pression et la concentration. • Objectif global 8 : le rôle que jouent les catalyseurs dans le domaine de la chimie verte.

Idée essentielle : de nombreuses réactions sont réversibles. Ces réactions atteindront un état d'équilibre quand les vitesses des réactions directe et inverse seront égales. La position d'équilibre peut être contrôlée en faisant varier les conditions.

7.1 L'équilibre	
Nature de la science L'obtention de preuves pour des théories scientifiques : le marquage isotopique et son utilisation pour définir l'équilibre. (1.8) Le langage commun interdisciplinaire : le terme « équilibre dynamique » est utilisé dans d'autres contextes, mais pas nécessairement en référence à la définition utilisée en chimie. (5.5)	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> Un état d'équilibre est atteint dans un système fermé quand les vitesses des réactions directe et inverse sont égales. La loi de l'équilibre décrit la manière dont la constante d'équilibre (K_c) peut être déterminée à partir de l'équation d'une réaction chimique particulière. La valeur de la constante d'équilibre indique le degré d'avancement d'une réaction à l'état d'équilibre et elle dépend de la température. Le quotient réactionnel (Q) mesure la quantité relative de produits et de réactifs présents durant une réaction à un moment donné. Q est l'expression de l'équilibre avec des concentrations hors de l'équilibre. La position de l'équilibre change lorsque la concentration, la pression et la température sont modifiées. Un catalyseur n'a aucun effet sur la position de l'équilibre ou sur la constante d'équilibre. 	<ul style="list-style-type: none"> Le procédé Haber a été décrit comme la réaction chimique la plus importante au monde car il a révolutionné la production mondiale de denrées alimentaires. Il a également eu un grand impact sur l'armement durant les deux guerres mondiales. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Les scientifiques étudient le monde en utilisant diverses échelles : l'échelle macroscopique et l'échelle microscopique. Quels modes de connaissance nous permettent de passer de l'échelle macroscopique à l'échelle microscopique ? La chimie utilise un vocabulaire spécialisé : un système fermé est un système dans lequel il n'y a aucun échange de matière entre le système et le milieu environnant. Notre vocabulaire se borne-t-il à communiquer notre savoir ou représente-t-il ce que nous pouvons savoir ?

7.1 L'équilibre	
<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les caractéristiques des systèmes chimiques et physiques dans un état d'équilibre. • Déduction de l'expression de la constante d'équilibre (K_c) à partir d'une équation pour une réaction homogène. • Détermination du rapport entre différentes constantes d'équilibre (K_c) pour la même réaction (à la même température) quand il est représenté par des équations exprimées de différentes façons. • Application du principe de Le Chatelier pour prédire les effets qualitatifs des variations de température, de pression et de concentration sur la position de l'équilibre et sur la valeur de la constante d'équilibre. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les systèmes physiques et chimiques doivent être étudiés. • Les relations entre les valeurs de K_c de réactions comportant plusieurs étapes ou de réactions qui sont l'inverse les unes des autres doivent être traitées. Il n'est pas requis d'étudier les détails spécifiques relatifs aux procédés industriels. 	<ul style="list-style-type: none"> • La carrière de Fritz Haber a coïncidé avec les bouleversements politiques de deux guerres mondiales. Il a contrôlé l'utilisation de chlore sur les champs de bataille de la Première Guerre mondiale, puis a travaillé à la production d'explosifs. En quoi le contexte social des travaux scientifiques affecte-t-il les méthodes et les découvertes de la science ? Les scientifiques devraient-ils être tenus pour moralement responsables des applications de leurs découvertes ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les crochets sont utilisés en chimie dans tout un éventail de contextes : par exemple pour les concentrations (thème 1.3), les complexes (thème 14.1) et les structures de Lewis (thème 4.3). <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 8.4 – Le comportement des acides et des bases faibles</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : le principe de Le Chatelier peut être étudié qualitativement en observant les variations de la pression, de la concentration et de la température sur divers systèmes à équilibre. • Objectif global 7 : des animations et des simulations peuvent être utilisées pour illustrer le concept de l'équilibre dynamique. • Objectif global 8 : faire prendre conscience des implications morales, éthiques et économiques de l'utilisation des sciences et des technologies. Il est possible d'utiliser une étude de cas sur Fritz Haber pour discuter du rôle des scientifiques dans la société.

Idée essentielle : de nombreuses réactions impliquent le transfert d'un proton entre un acide et une base.

8.1 Les théories des acides et des bases

Nature de la science

La falsification des théories – HCN a modifié la théorie selon laquelle l'oxygène l'élément qui conférerait ses propriétés acides à un composé. Cette circonstance a permis le développement d'autres théories acide-base. (2.5)

Les théories sont remplacées par d'autres : une ancienne théorie de l'acidité a été élaborée à partir de la sensation d'un goût acide, mais elle s'est avérée fautive. (1.9)

La compréhension de la science par le public : hors du domaine de la chimie, les résultats sont parfois exprimés en termes de « test acide » ou « test du papier tournesol ». (5.5)

Notions clés

- Un acide de Brønsted–Lowry est un donneur de protons/ H^+ , et une base de Brønsted–Lowry est un accepteur de protons/ H^+ .
- Les espèces amphotères (amphiprotiques) peuvent avoir un comportement tantôt acide et tantôt basique.
- Une paire d'espèces se différenciant par un seul proton s'appelle une paire acide-base conjuguée.

Applications et compétences

- Déduction de l'acide et de la base de Brønsted–Lowry dans une réaction chimique.
- Déduction de l'acide conjugué ou de la base conjuguée dans une réaction chimique.

Directives et informations supplémentaires

- La théorie de Lewis n'est pas requise ici.
- La localisation du proton transféré doit être clairement indiquée.

Sensibilité internationale

- *Acidus* signifie aigre en latin, alors que *alkali* est dérivé du mot arabe signifiant cendres calcinées. *Oxygene* signifie formateur d'acide en grec, et reflète la fausse croyance selon laquelle l'élément oxygène était responsable des propriétés acides d'un composé. La théorie acide-base a été développée par des scientifiques du monde entier, et son vocabulaire a été influencé par leurs diverses langues.

Théorie de la connaissance

- Le comportement des acides et des bases peut s'expliquer en utilisant des théories différentes. En quoi les explications en chimie diffèrent-elles des explications dans d'autres domaines, tels que l'histoire ?

Utilisation

Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :
 Thème 3.2 – Le caractère acide/basique des oxydes
 Thème 8.5 – Les oxydes non métalliques sont responsables de la précipitation acide
 Option B.2 – Les acides aminés agissant comme des espèces amphotères
 Option D.4 – Les antiacides sont des bases qui neutralisent l'excès d'acide chlorhydrique dans l'estomac.

8.1 Les théories des acides et des bases	
<ul style="list-style-type: none">• Par exemple, $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$ au lieu de $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2/\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$.• Les élèves doivent connaître la représentation d'un proton dans une solution aqueuse sous la forme de H^+ (aq) ainsi que de H_3O^+ (aq).• La différence entre les termes « amphotérique » et « amphiprotique » doit être étudiée.	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none">• Objectif global 9 : chaque théorie a ses points forts et ses limitations. L'avoisier a été appelé le père de la chimie moderne mais il s'était trompé au sujet de l'oxygène dans le contexte acide-base.

Idée essentielle : la caractérisation d'un acide dépend de preuves empiriques telles que la production de gaz dans les réactions avec des métaux, les changements de couleur des indicateurs ou le dégagement de chaleur dans des réactions avec des oxydes métalliques et des hydroxydes.

8.2 Les propriétés des acides et des bases	
Nature de la science	
L'obtention de preuves pour des théories : les propriétés observables des acides et des bases ont mené à la modification des théories des acides et des bases. (1.9)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> La majorité des acides ont des réactions chimiques caractéristiques observables avec les métaux les oxydes métalliques, les hydroxydes métalliques, les hydrogencarbonates et les carbonates. Du sel et de l'eau sont produits dans les réactions de neutralisation exothermiques. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Pondération d'équations chimiques impliquant des acides. Identification de l'acide et de la base nécessaires pour produire des sels différents. Les candidats doivent savoir comment faire des titrages acide-base avec divers indicateurs. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Les bases qui ne sont pas hydroxylées, telles que l'ammoniac, les carbonates solubles et les hydrogencarbonates doivent être étudiées. Les changements de couleur de divers indicateurs figurent à la section 22 du recueil de données. 	<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Nous utilisons plusieurs acides et bases dans notre vie quotidienne, par exemple, des antirouilles ou des nettoyants pour fours, dans les aliments ou les dentifrices ou pour traiter les piqûres d'abeille ou de guêpe. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 1.3 – Les titrages acide-base Thème 3.2 – Le caractère acide/basique des oxydes Thème 5.1 – La variation d'enthalpie des réactions de neutralisation</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : les preuves de ces propriétés pourraient découler d'expériences réalisées par l'élève.

Idée essentielle : l'échelle de pH est une échelle artificielle utilisée pour faire la distinction entre les solutions acides, neutres et basiques/alcalines.

8.3 L'échelle de pH	
Nature de la science	
Le rasoir d'Occam : l'échelle de pH est une tentative d'exprimer quantitativement l'acidité relative d'une large gamme de concentrations en H^+ au moyen d'une échelle numérique très simple. (2.7)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • $pH = -\log[H^+(aq)]$ et $[H^+] = 10^{-pH}$ • Une variation d'une unité de pH représente une variation d'un facteur 10 de la concentration en ion hydrogène $[H^+]$. • Les valeurs du pH permettent de distinguer les solutions acides, neutres et alcalines. • La constante de produit ionique, $K_e = [H^+][OH^-] = 10^{-14}$ à 298 K. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Résolution de problèmes impliquant pH, $[H^+]$ et $[OH^-]$. • Les élèves doivent savoir utiliser un pH-mètre et un indicateur universel. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les élèves ne seront pas évalués à propos des valeurs pOH. • Dans le cadre du présent sujet, les élèves ne doivent se soucier que des acides forts et des bases fortes. • Il n'est pas nécessaire de savoir que K_e dépend de la température. • Il est possible d'utiliser des équations impliquant H_3O^+ au lieu de H^+. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • La chimie utilise le langage universel des mathématiques comme moyen de communication. Pourquoi est-il important d'avoir un seul langage « scientifique » ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Mathématiques NM (thème 1.2) et Mathématiques NS (thème 1.2) – L'étude des logarithmes</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 3 : les élèves doivent pouvoir utiliser et appliquer le concept du pH dans tout un éventail de contextes expérimentaux et théoriques. • Objectif global 6 : un titrage acide-base pourrait être contrôlé avec un indicateur ou une sonde de pH.

Idée essentielle : le pH dépend de la concentration de la solution. La force des acides ou des bases dépend de leur degré de dissociation en solution aqueuse.

8.4 Les acides et les bases forts et faibles	
Nature de la science	
De meilleurs instruments : l'utilisation de techniques analytiques ultramodernes a permis de quantifier la force relative de divers acides et bases. (1.8)	
La recherche de tendances et de divergences : les patterns et les anomalies des forces relatives des acides et des bases peuvent s'expliquer au niveau moléculaire. (3.1)	
Les résultats d'expériences ou des modèles peuvent servir de preuves supplémentaires à l'appui d'une affirmation. Les données pour un type particulier de réaction appuient l'idée que les acides faibles existent en état d'équilibre. (1.9)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les acides et les bases forts et faibles diffèrent au niveau du degré d'ionisation. À concentrations égales, les acides et les bases forts ont une conductivité plus élevée que les acides et les bases faibles. Un acide fort est un bon donneur de protons et a une base conjuguée faible. Une base forte est un bon accepteur de protons et a un acide conjugué faible. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Distinction entre les acides forts et faibles au niveau des vitesses de leurs réactions avec les métaux, les oxydes métalliques, les hydroxydes métalliques les hydrogencarbonates métalliques et les carbonates métalliques. Les acides et les bases forts et faibles diffèrent également en ce qui concerne leurs conductivités électriques pour des solutions de mêmes concentrations. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Les termes ionisation et dissociation peuvent être utilisés de manière interchangeable. Se référer à la section 21 du recueil de données pour une liste des acides et des bases faibles. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> La force d'un acide peut être déterminée en utilisant des sondes de pH et de conductivité. De quelles manières les technologies, qui surpassent nos sens, changent-elles ou renforcent-elles notre vue du monde ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 1.3 – La chimie des solutions Thème 7.1 – Les acides et les bases faibles impliquent des réactions réversibles</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : les élèves doivent avoir réalisé des expériences qualitatives avec des acides et des bases forts ainsi que faibles. Les exemples doivent inclure : H_2SO_4 (aq), HCl (aq), HNO_3 (aq), NaOH (aq) et NH_3 (aq). Objectif global 7 : les élèves pourraient utiliser des enregistreurs de données pour analyser la force des acides et des bases.

Idée essentielle : l'industrialisation croissante a conduit à une plus grande production d'oxydes d'azote et de soufre, ce qui a généré des pluies acides qui endommagent notre environnement. Ces problèmes peuvent être réduits en collaborant avec les organisations nationales et intergouvernementales.

8.5 Les dépôts acides	
Nature de la science	
Les risques et les problèmes : les oxydes de métaux et de non-métaux peuvent être caractérisés par leurs propriétés acido-basiques. Les dépôts acides constituent un thème dont on peut discuter sous divers angles. La chimie nous permet de comprendre l'impact que les activités de l'homme ont sur l'environnement et de le limiter. (4.8)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La pluie est naturellement acide puisqu'elle contient du CO_2 dissous et parce que son pH est de 5,6. Le pH des dépôts acides est inférieur à 5,6. • Les dépôts acides se forment quand des oxydes d'azote ou de soufre sont dissous dans l'eau et produisent HNO_3, HNO_2, H_2SO_4 et H_2SO_3. • Les sources des oxydes de soufre et d'azote et les effets des dépôts acides doivent être connus <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pondération des équations de combustion du soufre et de l'azote pour former leurs oxydes et la formation ultérieure de H_2SO_3, H_2SO_4, HNO_2 et HNO_3. • Distinction entre les méthodes de captage précombustion et postcombustion pour réduire les émissions d'oxydes de soufre. • Déduction des équations des dépôts acides pour les dépôts acides sur certains métaux réactifs et sur les carbonates. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le pays polluant et le pays pollué ne sont pas souvent les mêmes. Les dépôts acides constituent un polluant secondaire qui affecte des régions situées loin de la source principale. Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de coopérer à l'échelle internationale. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toutes les pluies sont acides mais elles ne sont pas toutes des « pluies acides ». Les termes scientifiques ont une définition précise. Le vocabulaire scientifique communique-t-il simplement notre savoir d'une manière neutre ou peut-il avoir une terminologie de grande valeur ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 3.2 – Le caractère acide/basique des oxydes Option B.2 – La variation du pH et l'activité enzymatique Option C.2 – Le dioxyde de soufre est produit lors de la combustion de combustibles fossiles avec des taux élevés d'impuretés sulfureuses. Géographie, option G – Milleux urbains : le stress urbain et la ville durable ; NS – Les interactions planétaires : la modification de l'environnement Systèmes de l'environnement et sociétés Thème 5.8 – Les dépôts acides</p>

8.5 Les dépôts acides

Objectifs globaux

- **Objectif global 6** : les effets des pluies acides sur divers matériaux de construction pourraient être étudiés quantitativement.
- **Objectif global 8** : une discussion sur l'impact des pluies acides dans différents pays aidera à prendre conscience de l'impact de ce polluant secondaire sur l'environnement et des implications politiques.
- **Objectif global 8** : les autres moyens de réduire la production d'oxydes (utilisation d'autobus, partage de véhicules, etc.) peuvent faire l'objet d'une discussion.

Thème 9 – Les processus redox

8 heures

Idee essentielle : les réactions redox (oxydoréduction) jouent un rôle clé dans de nombreux processus chimiques et biochimiques.

<p>9.1 L'oxydation et la réduction</p> <p>Nature de la science</p> <p>La manière d'utiliser des preuves : les modifications de la définition de l'oxydation et de la réduction, qui est passée d'une définition impliquant des éléments spécifiques (oxygène et hydrogène) à une définition impliquant un transfert d'électrons, puis à une autre impliquant les nombres d'oxydation, est un bon exemple de la manière dont les scientifiques élargissent des similitudes pour en faire des principes généraux. (1.9)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'oxydation et la réduction peuvent être considérées en termes de gain d'oxygène ou de perte d'hydrogène, de transfert d'électrons ou de modification du nombre d'oxydation. • Un agent oxydant est réduit, et un agent réducteur est oxydé. • Il existe des nombres d'oxydation variables pour les métaux de transition et pour la plupart des non-métaux du groupe principal. • La série d'activité classe les métaux en fonction de la facilité avec laquelle ils subissent une oxydation. • La méthode de Winkler peut servir à mesurer la demande biochimique en oxygène (DBO), qui sert à mesurer le degré de pollution d'un échantillon d'eau. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Déduction des états d'oxydation d'un atome dans un ion ou un composé. • Déduction du nom d'un composé métal de transition à partir d'une formule donnée, en appliquant des nombres d'oxydation représentés par des chiffres romains. • Identification des espèces oxydées et réduites et des agents oxydants et réducteurs, dans les réactions redox. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'accès à une alimentation en eau potable non polluée a été reconnu par les Nations unies comme un droit humain fondamental. Pourtant, on estime que plus d'un milliard d'individus ne peuvent y accéder. La désinfection de l'approvisionnement en eau utilise fréquemment des agents oxydants comme le chlore ou l'ozone, pour tuer les agents microbiens pathogènes. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • La chimie a développé un langage systématique qui a rendu les noms les plus anciens désuets. Qu'a-t-on perdu et gagné dans ce processus ? • Les états d'oxydation sont utiles pour expliquer les réactions redox. Les conversions artificielles sont-elles un moyen utile ou valide de clarifier les connaissances ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • La respiration aérobie, les piles, les piles solaires, les piles à combustibles, la décoloration par l'eau oxygénée de la mélanine des cheveux, l'eau de Javel à usage domestique, le brunissement des aliments exposés à l'air, etc. • Le fait de conduire sous l'influence de l'alcool est un problème universel qui provoque de graves accidents de la circulation. L'alcool est une réaction redox.

9.1 L'oxydation et la réduction	
<ul style="list-style-type: none"> • Déduction des réactions redox en utilisant des demi-équations dans des solutions acides ou neutres. • Déduction de la faisabilité d'une réaction redox à partir de la série d'activité ou de données réactionnelles. • Résolution d'une gamme de problèmes de titrage redox. • Application de la méthode de Winkler pour calculer la DBO. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le nombre d'oxydation et l'état d'oxydation sont souvent utilisés de manière interchangeable, bien que l'UICPA fasse officiellement la distinction entre ces deux expressions. Selon l'UICPA, les nombres d'oxydation doivent être représentés par des chiffres romains. • Les états d'oxydation doivent être représentés avec le signe figurant devant le chiffre, par exemple +2 et non 2+. • L'état d'oxydation de l'hydrogène dans les hydrures métalliques (-1) et l'oxygène dans les peroxydes (-1) doit être connu. • Une série d'activité simple figure à la section 25 du recueil de données. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les antioxydants naturels et synthétiques en chimie alimentaire. • Les lentilles photochromiques. • La corrosion et la galvanisation. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 1.3 – La détermination expérimentale des quantités, des masses, des volumes et des concentrations de solutions Thème 3.2 – La réactivité des halogènes Thèmes 4.1 et 4.2 – La différence entre la liaison ionique et la liaison covalente Thème 10.2 – L'oxydation des alcools Biologie, thèmes 8.2 et 8.3 – Les réactions redox en physiologie</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure la démonstration de la série d'activité, les titrages redox et l'utilisation de la méthode Winkler pour mesurer la DBO. • Objectif global 8 : les agents oxydants comme le chlore peuvent servir de désinfectants. L'utilisation du chlore en tant que désinfectant est une source d'inquiétude en raison de son aptitude à oxyder d'autres espèces formant des sous-produits nocifs (tel le trichlorométhane).

Idée essentielle : les piles voltaïques convertissent l'énergie chimique en énergie électrique et les cellules d'électrolyse convertissent l'énergie électrique en énergie chimique.

9.2 Les cellules électrochimiques	
Nature de la science	
Les implications éthiques de la recherche : le désir de produire de l'énergie peut être motivé par les besoins sociaux ou le profit. (4.5)	
<p>Notions clés</p> <p>Les piles voltaïques (<i>galvaniques</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les piles voltaïques convertissent l'énergie provenant de processus chimiques exothermiques spontanés en énergie électrique. • L'oxydation se produit à l'anode (électrode négative) et la réduction se produit à la cathode (électrode positive) d'une pile voltaïque. <p>Les cellules d'électrolyse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les cellules d'électrolyse convertissent l'énergie électrique en énergie chimique en provoquant des processus non spontanés. • L'oxydation se produit à l'anode (électrode positive) et la réduction se produit à la cathode (électrode négative) d'une cellule d'électrolyse. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construction et annotation des deux types de cellules électrochimiques. • Explication de la manière dont une réaction redox sert à produire de l'électricité dans une pile voltaïque et description de la circulation du courant dans une cellule d'électrolyse. • Distinction entre le flux électronique et le flux ionique dans les deux cellules électrochimiques. • Réalisation d'expériences de laboratoire impliquant une pile voltaïque type utilisant deux demi-piles métal/ion. métallique 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • La recherche sur l'exploration spatiale se concentre souvent sur des facteurs d'énergie. La pile à combustible élémentaire hydrogène-oxygène peut servir de source d'énergie dans les vaisseaux spatiaux, tels que ceux mis au point par la NASA aux États-Unis. La station spatiale internationale constitue un bon exemple de projet multinational impliquant la communauté scientifique internationale. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'énergie est-elle simplement un concept abstrait utilisé pour justifier l'association constante de certains types de changement ? Des concepts comme l'énergie sont-ils réels ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les piles à combustible. • Les stimulateurs cardiaques. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Option C.6 – Les piles à combustibles Physique, thème 5.3 – Les cellules électrochimiques</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : construction d'une pile voltaïque type utilisant deux demi-piles métal-ion / métallique

9.2 Les cellules électrochimiques

- Déduction des produits de l'électrolyse d'un sel fondu.

Directives et informations supplémentaires

- Dans le cas des piles voltaïques, la convention utilisée pour schématiser une pile doit être connue.

- **Objectif global 6** : les expériences d'électrolyse pourraient inclure celle d'un sel fondu. Une vidéo pourrait aussi être utilisée pour illustrer certains de ces procédés électrolytiques.

- **Objectif global 8** : bien que la pile à combustible à hydrogène soit considérée comme respectueuse de l'environnement et comme une alternative efficace au moteur à combustion interne, le stockage du combustible hydrogène est un problème important. L'utilisation de méthanol liquide, qui peut être produit à partir de végétaux, en tant que combustible neutre en carbone (c'est-à-dire un combustible qui ne contribue pas à l'effet de serre) dans les piles à combustible présente un énorme potentiel. Quels sont les obstacles actuels au développement des piles à combustible ?

Thème 10 – La chimie organique

11 heures

Idée essentielle : la chimie organique se concentre sur la chimie des composés contenant du carbone.

10.1 Les bases de la chimie organique	
Nature de la science	
La sérendipité : le PTFE et la super colle. (1.4) Les implications éthiques : les médicaments, les additifs et les pesticides peuvent avoir des effets nocifs sur les individus et l'environnement. (4.5)	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> • Une série homologue est une série de composés appartenant à la même famille, ayant la même formule générale, et qui diffèrent les uns des autres par une unité structurale commune. • Les formules de structure peuvent être représentées sous forme développée ou sous forme condensée. • Les isomères de structure sont des composés ayant la même formule moléculaire mais dont les atomes sont disposés différemment. • Les groupements fonctionnels sont les éléments réactifs des molécules. • Les composés saturés ne contiennent que des liaisons simples alors que les composés insaturés contiennent des liaisons doubles ou triples. • Le benzène est un hydrocarbure non saturé aromatique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Un petit pourcentage de nations contrôle les ressources pétrolières mondiales. L'interdépendance des pays qui sont des importateurs nets et de ceux qui sont des exportateurs nets est un facteur important en matière d'élaboration de politiques globales et de développements économiques. • Le taux d'octane ou indice d'octane) peut être décrit comme une mesure standard de la performance du combustible utilisé pour les voitures et les avions. La détermination de l'indice d'octane varie souvent énormément d'une région à l'autre du globe, et elle est rendue plus compliquée par le fait que des pays différents utilisent des moyens différents pour exprimer les valeurs. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'étiquette « chimie organique » découle de la fausse conception qu'une force vitale est requise pour expliquer la chimie de la vie. Pouvez-vous trouver des exemples où le vocabulaire a évolué suite à des malentendus analogues ? Le langage peut-il et doit-il être contrôlé pour éliminer de tels problèmes ? • Kekulé a déclaré que son inspiration concernant la structure cyclique du benzène était née d'un rêve. Quel rôle les méthodes d'acquisition de connaissances moins analytiques jouent-elles au niveau de l'acquisition de connaissances scientifiques ?
	

10.1 Les bases de la chimie organique	
<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Explication des tendances au niveau des points d'ébullition des représentants d'une série homologue. Distinction entre les formules empiriques, moléculaires et de structure Identification des différentes classes : alcanes, alcènes, alcynes, halogénoalcanes, alcools, éthers, aldéhydes, cétones, esters, acides carboxyliques, amines, amides, nitriles et arènes. Identification des groupements fonctionnels typiques présents dans les molécules : phényles, hydroxyles, carbonyles, acides carboxyliques, carboxamides, aldéhydes, esters, amines, nitriles, alcyles, alkényles et alkynyles. Construction de modèles tridimensionnels (réels ou virtuels) de molécules organiques. Application des règles de l'IUPAC dans la nomenclature des isomères à chaîne droite et à chaîne ramifiée. Identification des atomes de carbone primaire, secondaire et tertiaire dans les halogénoalcanes et les alcools et les atomes d'azote primaire, secondaire et tertiaire dans les amines. Discussion sur la structure du benzène en utilisant des preuves physiques et chimiques. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Les formules compactes doivent être discutées dans le cours. Les formules générales (par exemple, C_nH_{2n+2}) des alcanes, alcènes, alcynes, cétones, alcools, aldéhydes et acides carboxyliques doivent être connues. 	<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> La distillation fractionnée utilise souvent de nombreux produits pétrochimiques. Teintures, pesticides, herbicides, explosifs, savon, produits de beauté, parfums synthétiques et arômes. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 1.2 – Les formules empiriques et moléculaires Thèmes 4.2 et 4.3 – Les structures de Lewis (électrons représentés par des points), les liaisons multiples, la théorie RPEV, la résonance et la liaison, la polarité moléculaire Thème 4.4 – Les forces intermoléculaires Thème 5.3 – Les réactions exothermiques et les enthalpies de liaison Thème 8.4 – Les acides faibles Option A.5 – Les matériaux et les polymères Option B.2 et B.7 – Les protéines Option D.9 – La structure organique dans les médicaments</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : utiliser soit des kits de modèles, soit des programmes graphiques générés par ordinateur pour construire des modèles tridimensionnels d'une large gamme de molécules organiques. Objectif global 6 : les expériences peuvent inclure la distillation pour séparer des liquides ou l'utilisation d'un évaporateur rotatif pour extraire un solvant d'un mélange. Objectif global 8 : l'utilisation de combustibles fossiles en tant que source d'énergie principale a des conséquences. On peut obtenir de nombreux produits à partir des combustibles fossiles en raison de la richesse intrinsèque de la chimie du carbone. Cela soulève quelques questions fondamentales : les combustibles fossiles ont-ils trop de valeur pour être brûlés et en quoi affectent-ils l'environnement ? Qui devrait être responsable de la prise de décisions à cet égard ?

10.1 Les bases de la chimie organique	
<ul style="list-style-type: none">• La distinction entre les noms de classes et les noms de groupements fonctionnels doit être faite. Par exemple, dans le cas de OH, l'hydroxyle est le groupe fonctionnel alors que l'alcool est le nom de la classe.• La nomenclature suivante doit être étudiée :<ul style="list-style-type: none">– les alcanes non cycliques et les halogénoalcanes jusqu'aux halhexanes ;– les alcènes jusqu'à l'hexène et les alcynes jusqu'à l'hexyne ;– les composés jusqu'à six atomes de carbone (dans la chaîne élémentaire aux fins de la nomenclature) et qui ne renferment qu'un seul des groupements fonctionnels, tels que les hydroxyles, les éthers, les carbonyles (à partir des aldéhydes ou des cétones), les esters et les acides carboxyliques.	<ul style="list-style-type: none">• Objectif global 8 : discuter de l'utilisation d'alcools et de biocombustibles comme combustibles se substituant à l'essence et au diesel.

Idée essentielle : la structure, les liaisons et les réactions chimiques impliquant des interconversions de groupements fonctionnels sont les fils conducteurs en chimie organique.

10.2 La chimie des groupements fonctionnels	
Nature de la science	
L'utilisation de données : la majorité des progrès réalisés jusqu'à ce jour en matière de développements et d'applications de la recherche scientifique peut remonter aux réactions chimiques organiques clés impliquant des interconversions de groupements fonctionnels. (3.1)	
<p>Notions clés</p> <p><i>Les alcanes</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Les alcanes ont une faible réactivité et ils subissent des réactions de substitution de radicaux libres. <p><i>Les alcènes</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Les alcènes sont plus réactifs que les alcanes et ils subissent des réactions d'addition. L'eau de brome peut être utilisée pour distinguer les alcènes des alcanes. <p><i>Les alcools</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Les alcools subissent des réactions d'estérification (ou de condensation) avec les acides et certains subissent des réactions d'oxydation. <p><i>Les halogénoalcanes</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Les halogénoalcanes sont plus réactifs que les alcanes. Ils peuvent subir des réactions de substitution (nucléophiles). Un nucléophile est une espèce riche en électrons contenant une seule paire qu'il cède à un carbone auquel il manque des électrons. <p><i>Les polymères</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Les polymères d'addition consistent en une large gamme de monomères et ils sont à la base de l'industrie des matières plastiques. <p><i>Le benzène</i></p>	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Le méthane est un gaz à effet de serre et sa libération par les ruminants dans des pays comme le Brésil, l'Uruguay, l'Argentine et la Nouvelle-Zélande contribue énormément aux émissions totales de gaz à effet de serre. Les décharges publiques sont également une source de méthane et, dans certains pays, des technologies sont en cours de développement pour récupérer le gaz comme source d'énergie pour produire de l'électricité et de la chaleur. L'abus d'alcool est un problème croissant dans de nombreux pays et il peut avoir un impact sur leurs économies et leurs structures sociales. <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Usage des alcanes en tant que combustibles. Le rôle de l'éthène dans le mûrissement des fruits. Les alcools utilisés en tant qu'additifs combustibles. Les alcools et leur rôle dans l'alcootest. Les esters, usages variés : parfums, arômes alimentaires, solvants, nitroglycérine, biocarburant et analgésiques. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 9.1 – Les processus redox Option A.5 – Les polymères Option B.3 – Les lipides</p>

10.2 La chimie des groupements fonctionnels	
<ul style="list-style-type: none"> Le benzène ne subit pas facilement des réactions d'addition, mais il subit par contre des réactions de substitution (électrophile). <p>Applications et compétences</p> <p><i>Les alcanes</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Formulation d'équations de combustion complète et incomplète d'hydrocarbures. Explication de la réaction du méthane et de l'éthane avec les halogènes en termes du mécanisme de substitution de radicaux libres impliquant une rupture homolytique photochimique des liaisons. <p><i>Les alcènes</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Formulation d'équations de réactions des alcènes avec l'hydrogène et les halogènes et des alcènes symétriques avec les halogénures d'hydrogène et avec l'eau. Résumé de la polymérisation d'addition des alcènes. Rapport entre la structure du monomère et celle du polymère; l'unité répétitive. <p><i>Les alcools</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Formulation d'équations de combustion complète des alcools. Formulation d'équations d'oxydation des alcools primaires et secondaires (en utilisant une solution acidifiée de dichromate de potassium ou de permanganate de potassium comme agent oxydant). Explication de la distillation et chauffage à reflux dans la séparation des aldéhydes et des acides carboxyliques. Formulation de l'équation de la réaction de condensation d'un alcool avec un acide carboxylique en présence d'un catalyseur (par exemple, acide sulfurique concentré) pour former un ester. <p><i>Les halogénoalcanes</i></p>	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure la distinction entre les alcanes et les alcènes, la préparation d'un savon et l'utilisation de la filtration par gravité, la filtration sous vide (en utilisant un ballon de Buchner), la purification (recristallisation comprise), le chauffage à reflux et la distillation, la détermination du point de fusion et l'extraction. Objectif global 8 : discuter de la signification de l'hydrogénation des alcènes dans la production des aliments, y compris les graisses <i>trans</i> comme sous-produits.

10.2 La chimie des groupements fonctionnels

- Formulation de l'équation des réactions de substitution des halogénoalcanes en présence d'hydroxyde de sodium en solution aqueuse

Directives et informations supplémentaires

- Il est nécessaire de faire référence aux étapes d'initiation, de propagation et de terminaison dans les réactions de substitution de radicaux libres. Les radicaux libres doivent être représentés par un seul point.
- Les mécanismes S_N1 et S_N2 et les réactions de substitution électrophile ne sont pas requis.

Thème 11 – La mesure et le traitement des données

10 heures

Idee essentielle : toutes les mesures ont une limite en matière de précision et d'exactitude, et cela doit être pris en compte lors de l'évaluation des résultats expérimentaux.

11.1 Les incertitudes et les erreurs dans les mesures et les résultats	
Nature de la science Le relevé de mesures quantitatives répétées pour garantir la fiabilité : la précision, l'exactitude ainsi que les erreurs systématiques et aléatoires doivent être interprétées en les répétant. (3.2, 3.4)	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> Les données qualitatives incluent toutes les informations non numériques issues d'observations et non de mesures. Les données quantitatives sont obtenues à partir de mesures et elles sont toujours associées à des erreurs/incertitudes aléatoires, déterminées par les appareils et à des limitations humaines telles que le temps de réaction. La propagation des erreurs aléatoires dans le traitement des données montre l'impact qu'ont les incertitudes sur le résultat final. Le modèle et la procédure expérimentaux entraînent, en général, des erreurs systématiques dans les mesures, ce qui cause un écart dans un certain sens. Le fait de répéter les essais et les mesures réduira les erreurs aléatoires mais non les erreurs systématiques. 	<ul style="list-style-type: none"> En raison de la collaboration entre sept organisations internationales, notamment l'UICPA, l'International Standards Organization (ISO) a publié le <i>Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement</i> en 1995. Celui-ci a été largement adopté dans la plupart des pays et il a été traduit en plusieurs langues. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> La science a été décrite comme une activité auto-correctrice et accessible à la communauté. Dans quelle mesure ces caractéristiques s'appliquent-elles également à d'autres domaines de la connaissance ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Écrasement du vaisseau spatial « Climate Orbiter » sur Mars. Les résultats initialement publiés par le CERN au sujet de la vitesse des neutrinos étaient erronés. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Option D.1 – Les essais sur les médicaments</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : la distinction entre les articles de verrière de Classe A et de Classe B ainsi que leurs rôles différents pourraient être explorés.
Applications et compétences	
<ul style="list-style-type: none"> Distinction entre les erreurs aléatoires et les erreurs systématiques. Enregistrement des incertitudes dans toutes les mesures comme une plage d'incertitude (\pm) de part et d'autre d'une précision appropriée. Discussion des manières de réduire les incertitudes dans une expérience. Propagation des incertitudes dans les données traitées, y compris l'utilisation des incertitudes sous forme de pourcentage. 	

11.1 Les incertitudes et les erreurs dans les mesures et les résultats	
<ul style="list-style-type: none"> • Discussion des erreurs systématiques dans tous les travaux expérimentaux, leur impact sur les résultats et sur la manière de les réduire. • Estimation de l'impact éventuel majeur ou mineur d'une source d'erreur particulière sur le résultat final. • Calcul de l'erreur en pourcentage quand le résultat expérimental peut être comparé à un résultat théorique ou accepté. • Distinction entre l'exactitude et la précision lors de l'évaluation des résultats. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le nombre de chiffres significatifs dans un résultat se base sur le nombre de chiffres indiqués dans les données. Pour l'addition et la soustraction, la réponse finale doit être exprimée avec le nombre minimal de décimales. Pour la multiplication ou la division, la réponse finale est exprimée avec le nombre minimum de chiffres significatifs. • Il est à noter que la valeur des données doit être enregistrée avec la même précision que l'erreur aléatoire. • Les unités du SI doivent être utilisées dans tout le programme. 	<ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : considérer les obligations morales qu'ont les scientifiques de communiquer leurs données dans leur intégralité, y compris les incertitudes expérimentales. Le cas de la « fusion froide » de Fleischmann et de Pons dans les années 1990 est un exemple du non-respect de cette obligation.

Idée essentielle : les graphiques sont une représentation visuelle des tendances dans les données.

11.2 Les techniques graphiques	
Nature de la science	
L'idée de corrélation : la corrélation peut être testée dans les expériences dont les résultats peuvent être représentés sous forme de graphiques. (2.8)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les techniques graphiques sont un moyen efficace de communiquer l'effet d'une variable indépendante sur une variable dépendante, et elles peuvent conduire à la détermination de grandeurs physiques. Les graphiques esquissés sont annotés mais leurs axes ne portent pas d'échelle ; ils servent à montrer des tendances qualitatives, telles que les variables qui sont proportionnelles ou inversement proportionnelles. Les graphiques tracés sont annotés et leurs axes portent une échelle ; ils sont utilisés dans les mesures quantitatives. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Dessiner des graphiques de résultats expérimentaux, en choisissant correctement les axes et l'échelle. Interprétation de graphiques en termes de rapports entre les variables dépendantes et les variables indépendantes. Production et interprétation d'une droite de meilleur ajustement ou de courbes passant par les points de données, notamment savoir déterminer quand elle peut être ou non considérée comme une fonction linéaire. Calcul de grandeurs à partir de graphiques, en mesurant la pente (gradient) et l'intersection avec les axes, en utilisant les unités appropriées. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Les diagrammes et les graphiques, qui vont bien au-delà des barrières linguistiques, peuvent faciliter la communication entre les scientifiques du monde entier. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Les graphiques sont une représentation visuelle des données, et ils font donc appel à la perception sensorielle en tant que mode de connaissance. Dans quelle mesure leur interprétation s'appuie-t-elle sur d'autres modes de connaissance, tels que le langage et la raison ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Les représentations graphiques de données sont largement utilisées dans divers domaines tels que la modélisation démographique, financière et climatique. L'interprétation de ces tendances statistiques peut souvent mener à des prédictions, et elle soutient ainsi l'élaboration de politiques gouvernementales dans de nombreux domaines tels que la santé et l'éducation. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 1.3 – Les graphiques représentant le volume gazeux, la température, la pression Thème 6.1 – La distribution de la fréquence de Maxwell–Boltzmann ; les graphiques de la concentration en fonction du temps et de la vitesse en fonction de la concentration Thème 16.2 – La courbe d'Arrhenius pour déterminer l'énergie d'activation Thème 18.3 – Les courbes de titrage Option B.7 – La cinétique enzymatique Option C.5 – L'effet de serre ; la concentration en dioxyde de carbone et les</p>

11.2 Les techniques graphiques	<p>températures du globe Option C.7 – Le graphique du premier ordre / de désintégration</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none">• Objectif global 7 : on peut utiliser un traceur de courbes ainsi que des tableurs et obtenir automatiquement les droites de meilleur ajustement et les gradients.
--------------------------------	--

Idée essentielle : les techniques analytiques peuvent être utilisées pour déterminer la structure d'un composé, analyser la composition d'une substance ou déterminer le degré de pureté d'un composé. Les techniques spectroscopiques sont utilisées dans l'identification structurale des composés organiques et inorganiques.

11.3 L'identification spectroscopique des composés organiques	
<p>Nature de la science</p> <p>L'amélioration des instruments : la spectrométrie de masse, la résonance magnétique nucléaire du proton et la spectroscopie dans l'infrarouge ont fait de l'identification et de la détermination structurale des composés des activités de routine. (1.8)</p> <p>Des modèles sont développés pour expliquer certains phénomènes qui peuvent ne pas être observables, par exemple, les spectres ont pour base le modèle de la vibration des liaisons. (1.10)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Le degré d'insaturation ou l'indice de déficit en hydrogène (IDH) peuvent servir à déterminer, à partir de la formule moléculaire, le nombre de cycles ou de liaisons multiples dans une molécule. La spectrométrie de masse (SM), la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire du proton (RMN ¹H) et la spectroscopie dans l'infrarouge (IR) sont des techniques qui peuvent servir à identifier les composés et à déterminer leur structure. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Détermination de l'IDH à partir d'une formule moléculaire. Déduction d'informations ayant trait aux caractéristiques structurales d'un composé à partir de données sur sa composition, en pourcentages, obtenues par SM, RMN ¹H ou IR. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Le spectre électromagnétique (SEM) figure à la section 3 du recueil de données. Les régions du spectre correspondant à chaque technique doivent être comprises. Les principes de fonctionnement de ces méthodes ne sont pas requis. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Le contrôle et l'analyse des toxines et des xénobiotiques dans l'environnement constituent une activité permanente qui implique la collaboration entre les scientifiques de pays différents. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Les ondes électromagnétiques peuvent transmettre des informations qui vont bien au-delà des perceptions sensorielles. Quelles sont les limitations à la perception sensorielle comme mode de connaissance ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> La spectroscopie dans l'IR est utilisée dans les détecteurs thermiques et les capteurs à distance en physique. Les protons dans les molécules d'eau au sein des cellules humaines peuvent être détectés par imagerie par résonance magnétique (IRM), produisant ainsi une représentation tridimensionnelle des organes du corps humain.

11.3 L'identification spectroscopique des composés organiques

- Le recueil de données fournit la gamme des longueurs d'onde caractéristiques des absorptions IR (section 26), les données concernant la RMN ^1H (section 27) et les fragments SM spécifiques (section 28). Dans le cas de la RMN ^1H , seule la capacité à déduire le nombre d'environnements différents dans lesquels est placé un atome d'hydrogène (proton), et les nombres relatifs d'atomes d'hydrogène dans chaque environnement est requise. Les courbes d'intégration doivent être étudiées mais les figures de dédoublement des pics ne sont pas requises.

Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :
Thème 1.2 – La détermination de la formule empirique à partir de données de composition en pourcentages ou à partir d'autres données expérimentales, et la détermination de la formule moléculaire à partir, à la fois, de la formule empirique et de données expérimentales.

Thème 2.1 – L'atome nucléaire

Thème 5.3 – Les enthalpies de liaison

Objectifs globaux

- Objectif global 7** : les bases de données spectrales peuvent être utilisées ici.
- Objectif global 8** : les effets des divers gaz à effet de serre dépendent de leur abondance et de leur aptitude à absorber le rayonnement thermique.

Thème 12 – La structure atomique

2 heures

Idée essentielle : la nature quantifiée des transitions d'énergie est associée aux états d'énergie des électrons dans les atomes et les molécules.

<p>12.1 Les électrons dans les atomes</p> <p>Nature de la science</p> <p>Les preuves expérimentales appuient les théories. Les spectres d'émission apportent les preuves de l'existence des niveaux d'énergie. (1.8)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dans un spectre d'émission, la limite de convergence à une fréquence plus élevée correspond à l'énergie de première ionisation. • Les tendances au niveau de l'énergie de première ionisation au sein des périodes expliquent l'existence des niveaux principaux et des sous-niveaux d'énergie dans les atomes. • Les données d'énergie d'ionisation successives d'un élément apportent des informations qui montrent les relations avec la configuration électronique. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Résolution de problèmes en utilisant $E = h\nu$. • Calcul de la valeur de l'énergie de première ionisation à partir de données spectrales pour obtenir la longueur d'onde ou la fréquence de la limite de convergence. • Déduction du groupe auquel appartient un élément à partir de ses données d'énergie d'ionisation successives. • Explication des tendances et des discontinuités dans l'énergie de première ionisation au sein d'une période. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • En 2012, deux équipes internationales indépendantes travaillant au Grand collisionneur de hadrons du CERN ont annoncé qu'elles avaient découvert une particule dont le comportement correspondait à celui du « boson de Higgs » déjà prédit. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • « Ce que nous observons n'est pas la nature elle-même, mais la nature exposée à notre méthode de questionnement. » Werner Heisenberg. Un électron peut se comporter comme une onde ou comme une particule, selon les conditions expérimentales. La perception sensorielle peut-elle nous apporter des connaissances objectives sur le monde ? • L'équation de de Broglie montre que les particules macroscopiques ont une longueur d'onde trop courte pour que nous puissions observer leurs propriétés ondulatoires. Est-ce significatif de parler de propriétés qui ne peuvent jamais être observées par la perception sensorielle ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • La microscopie électronique a permis de faire de nombreux progrès en biologie, par exemple, en matière d'ultrastructure des cellules et des virus. Le microscope à effet tunnel (MET) utilise un stylet d'un seul atome pour explorer une surface et produire une image 3D au niveau atomique.

<p>12.1 Les électrons dans les atomes</p>	<p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • La valeur de la constante de Planck (h) et $E = h\nu$ figurent aux sections 1 et 2 du recueil de données. • L'utilisation de la formule de Rydberg n'est pas requise dans les calculs de l'énergie d'ionisation.
	<p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Thème 3.2 – Les tendances périodiques Thème 4.1 – Les liaisons ioniques Thème 15.1 – L'enthalpie de réseau</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 7 : les bases de données pourraient être utilisées pour élaborer des graphiques de tendances au niveau des énergies d'ionisation et des simulations sont disponibles pour illustrer l'expérience de diffraction des électrons de Davisson-Germer.

Thème 13 – Le tableau périodique : les métaux de transition

4 heures

Idee essentielle : les éléments de transition ont des propriétés caractéristiques ; ces propriétés découlent du fait qu'ils ont tous des sous-niveaux d incomplets.

13.1 Les éléments de la première rangée du bloc d	
Nature de la science La recherche de tendances et de divergences : les éléments de transition adoptent certains patterns de comportement. Les éléments Zn, Cr et Cu ne suivent pas ces patterns et ils sont donc considérés comme anormaux dans la première rangée du bloc d. (3.1)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les éléments de transition ont des états d'oxydation variables, ils forment des ions complexes avec les ligands. Ils forment des composés colorés et font preuve de propriétés catalytiques et magnétiques. Le Zn n'est pas considéré comme un élément de transition car il ne forme pas des ions avec des orbitales d incomplètes. Les éléments de transition présentent un état d'oxydation de +2 quand les électrons s sont enlevés. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Explication de l'aptitude qu'ont les métaux de transition à former des états d'oxydation variables à partir d'énergies d'ionisation successives. Explication de la nature de la liaison de coordination dans un ion complexe. Déduction de la charge totale, d'après la formule de l'ion et des ligands présents. Explication des propriétés magnétiques des métaux de transition en termes d'électrons non appariés. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Les charges courantes des ions métalliques des éléments de transition sont fournies dans la section 9 du recueil de données, et les nombres d'oxydation courants sont donnés dans la section 14. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Les propriétés et les utilisations des métaux de transition en font d'importants produits de base à l'échelle internationale. L'exploitation minière de métaux précieux est un facteur important dans les économies de certains pays. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Les symboles médicaux utilisés pour désigner la femme et l'homme découlent des symboles alchimiques du cuivre et du fer. Quel rôle la pseudoscience qu'est l'alchimie a-t-elle joué dans le développement de la science moderne ? <p>Utilisation Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 9.1 – Les réactions redox Thème 10.2 – L'oxydation des alcools, l'hydrogénation des alcènes Option A.3 – La catalyse homogène et hétérogène</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : les états d'oxydation du vanadium et du manganèse, par exemple, pourraient être étudiés expérimentalement. Les métaux de transition pourraient être analysés en utilisant des titrages redox. Objectif global 8 : l'impact économique de la corrosion du fer.

Idée essentielle : les orbitales d ont la même énergie dans un atome isolé, mais elles se séparent en deux sous-niveaux dans un ion complexe. Le champ électrique des ligands peut causer le dédoublement des orbitales d dans des ions complexes, de sorte que l'énergie d'une transition électronique entre eux correspond à un photon de lumière visible.

13.2 Les complexes colorés	
Nature de la science Les modèles et les théories : la couleur des complexes des métaux de transition peut s'expliquer en utilisant des modèles et des théories basés sur la manière dont les électrons sont répartis dans les orbitales d. (1.10) Transdisciplinaire : la couleur liée à la symétrie peut être explorée dans les sciences, l'architecture et les arts. (4.1)	
Notions clés	Utilisation
<ul style="list-style-type: none"> Les sous-niveaux des orbitales d, se scindent en deux ensembles d'orbitales d'énergies différentes dans un ion complexe. Les complexes d'éléments du bloc d sont colorés, car la lumière est absorbée quand un électron est excité entre les orbitales d. La couleur absorbée est complémentaire de la couleur observée. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Explication de l'effet de la nature de l'ion métallique, du nombre d'oxydation du métal et de la nature du ligand sur la couleur des complexes d'ions des métaux de transition. Explication de l'effet de différents ligands sur le dédoublement des orbitales d dans les complexes de métaux de transition et de la couleur observée sur base de la série spectrochimique. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> La série spectrochimique figure à la section 15 du recueil de données. Une liste des ligands polydentates est donnée à la section 16 du recueil de données. 	<p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 2.2 – La configuration électronique des atomes et des ions</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : les couleurs d'une gamme d'ions complexes, d'éléments tels que Cr, Fe, Co, Ni et Cu, pourraient être étudiées. Objectif global 7 : les ions complexes pourraient être étudiés en utilisant un spectromètre enregistreur de données. Objectif global 8 : la concentration des ions de métaux de transition toxiques doit être contrôlée avec précaution dans les systèmes environnementaux.

13.2 Les complexes colorés

- Il n'est pas demandé aux élèves de se rappeler de la couleur d'ions complexes spécifiques.
- Le lien entre la couleur observée et la couleur absorbée est illustré par le disque des couleurs figurant à la section 17 du recueil de données.
- Il n'est pas demandé aux élèves de connaître les diverses figures de dédoublement des pics et leur lien avec le nombre de coordination. Seul le dédoublement des orbitales 3d dans un champ cristallin octaédrique doit être étudié.

Thème 14 – La liaison et la structure chimiques

7 heures

Idee essentielle : les structures plus complexes et les explications plus approfondies des systèmes de liaison exigent souvent des concepts et des théories plus élaborés à propos de la liaison chimique.

14.1 La liaison covalente, le domaine électronique et les géométries moléculaires

Nature de la science

Le principe du rasoir d'Occam : les théories concernant les liaisons ont été modifiées au fil du temps. Les théories les plus récentes doivent rester aussi simples que possible, tout en optimisant la capacité d'explication, par exemple, l'idée de charge formelle. (2.7)

Notions clés

- Les liaisons covalentes découlent du recouvrement d'orbitales atomiques. Une liaison sigma (σ) est formée par le recouvrement complet d'orbitales atomiques coaxiales ; il en résulte une densité électronique qui se concentre entre les noyaux des atomes liants. Une liaison pi (π) est formée par le recouvrement latéral d'orbitales atomiques ; il en résulte une densité électronique qui se situe au-dessus et au-dessous du plan des noyaux des atomes liés.
- La charge formelle (CF) peut être utilisée pour décider quelle structure de Lewis (électrons représentés par des points) est privilégiée parmi plusieurs structures possibles. La CF est la charge qu'aurait un atome si tous les atomes dans la molécule avaient la même électronégativité. La CF = (Nombre d'électrons de valence) – $\frac{1}{2}$ (Nombre d'électrons de liaison) – (Nombre d'électrons non liants). La structure de Lewis dans laquelle les atomes ont des valeurs de la CF les plus proches de zéro est celle qui est privilégiée.
- Les exceptions à la règle de l'octet incluent certaines espèces qui ont des octets incomplets et des octets élargis.
- La délocalisation implique des électrons qui sont partagés par/entre plus d'une paire dans une molécule ou un ion, au lieu d'être localisés entre une paire d'atomes.

Sensibilité internationale

- En quoi la diminution de la couche d'ozone a-t-elle changé au fil du temps ? Qu'avons-nous fait, en tant que communauté planétaire, pour réduire la diminution de la couche d'ozone ?
- Dans quelle mesure la diminution de la couche d'ozone est-elle un exemple tout à la fois d'un succès et d'un échec en ce qui concerne la résolution d'un problème environnemental international ?

Théorie de la connaissance

- La liaison covalente peut être décrite en utilisant la théorie des liaisons de valence ou des orbitales moléculaires. Dans quelle mesure le fait de pouvoir décrire le même phénomène de plusieurs manières est-il un point fort ou un point faible ?

Utilisation

- L'action des médicaments et les liens avec une structure de molécules.
- La visiologie et les liens avec une structure de molécules.

Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :

Thèmes 4.2 et 4.3 – Les structures de Lewis (électrons représentés par des points), la théorie RPEV, la résonance, la liaison et la polarité moléculaire
Thème 10.1 – Les formes des molécules organiques
Thème 13.1 – La chimie des métaux de transition

14.1 La liaison covalente, le domaine électronique et les géométries moléculaires	
<ul style="list-style-type: none"> La résonance implique l'utilisation de deux ou de plusieurs structures de Lewis pour représenter une molécule particulière ou un ion particulier. Une structure de résonance est l'une parmi deux ou plusieurs structures de Lewis alternatives décrivant une molécule ou un ion qui ne peuvent être entièrement décrits au moyen d'une seule structure de Lewis. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Prédire si la combinaison coaxiale d'orbitales atomiques conduit à la formation de liaisons sigma (σ) ou pi (π). Déduction des structures de Lewis (électrons représentés par des points) des molécules et des ions, représentant tous les électrons de valence jusqu'à six paires d'électrons sur chaque atome. Application des CF pour déterminer, parmi différentes structures de Lewis (électrons représentés par des points), celle qui est la structure privilégiée. Déduction, au moyen de la théorie RPEV de la géométrie du domaine électronique et de la géométrie moléculaire lorsque cinq et six domaines électroniques sont représentés ; déduction des angles de liaison correspondants. Explication de la longueur d'onde de la lumière requise pour dissocier l'oxygène et l'ozone. Description du mécanisme de la diminution de la couche d'ozone, réaction catalysée par les CFC et NO_x. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> L'association linéaire des orbitales atomiques pour former des orbitales moléculaires doit être couverte dans le contexte de la formation de liaisons sigma (σ) et pi (π). La polarité des molécules, dans le cas de géométries comportant cinq et six domaines électroniques, doit également être étudiée. 	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 1 : l'impact global de la diminution de la couche d'ozone. Objectif global 7 : des simulations informatiques peuvent être utilisées pour modéliser les structures prédites par la théorie RPEV. Objectif global 8 : les implications morales, éthiques, sociales, économiques et environnementales de la diminution de la couche d'ozone et sa solution.

Idée essentielle : l'hybridation découle du mélange des orbitales atomiques pour former le même nombre de nouvelles orbitales hybrides équivalentes qui peuvent avoir la même énergie moyenne que les orbitales atomiques y contribuant.

14.2 L'hybridation	
Nature de la science	
La nécessité de considérer les théories comme incertaines : l'hybridation dans la théorie des liaisons de valence peut aider à expliquer les géométries moléculaires, bien qu'elle soit limitée. La mécanique quantique implique plusieurs théories expliquant les mêmes phénomènes, en fonction d'exigences spécifiques. (2.2)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une orbitale hybride résulte d'une restructuration de divers types d'orbitales atomiques d'un même atome. <p>Applications</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explication de la formation d'orbitales hybrides sp^3, sp^2 et sp dans le méthane, l'éthène et l'éthyne. • Identification et explication des rapports entre les structures de Lewis, les domaines électroniques, les géométries moléculaires et les types d'hybridation. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les élèves doivent considérer uniquement les espèces avec hybridation sp^3, sp^2 et sp. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'hybridation est un dispositif mathématique qui nous permet d'établir un lien entre les liaisons dans une molécule et sa symétrie. Quel est le rapport entre les sciences naturelles, les mathématiques et le monde naturel ? Quel rôle la symétrie joue-t-elle dans les différents domaines de la connaissance ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 4.3 – Les structures de Lewis (électrons représentés par des points), la théorie REPV, la résonance, la liaison et la polarité moléculaire Thème 10.1 – Les formes des molécules organiques Thème 13.1 – La chimie des métaux de transition</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 7 : des simulations informatiques peuvent être utilisées pour modéliser les orbitales hybrides.

Thème 15 – L'énergétique / La thermochimie

7 heures

Idée essentielle : le concept selon lequel la variation d'énergie accompagnant une réaction qui se déroule en une seule étape est équivalente à l'addition d'étapes élémentaires peut être appliqué aux transformations impliquant des composés ioniques.

<p>15.1 Les cycles énergétiques</p> <p>Nature de la science Le relevé de mesures quantitatives répétées pour assurer la fiabilité : les cycles énergétiques permettent de calculer des valeurs qui ne peuvent pas être déterminées directement. (3.2)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les équations représentatives [par exemple, $M^+(g) \rightarrow M^+(aq)$] peuvent être utilisées pour exprimer l'enthalpie/énergie d'hydratation, d'ionisation, d'atomisation, d'affinité électronique, de réseau, de liaison et de dissolution L'enthalpie de dissolution, l'enthalpie d'hydratation et l'enthalpie de réseau sont associées dans un cycle énergétique. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Construction de cycles de Born-Haber pour les oxydes et les chlorures des groupes 1 et 2. Construction de cycles énergétiques à partir de l'enthalpie d'hydratation, de réseau et de dissolution. Par exemple : dissolution de NaOH ou de NH_4Cl solides dans l'eau. Calcul des variations d'enthalpie à partir des cycles de Born-Haber ou des cycles énergétiques de dissolution. Établissement d'un lien entre la taille et la charge des ions et les enthalpies de réseau et d'hydratation. Réalisation d'expériences de laboratoire mettant en jeu des réactions de simple substitution en solution aqueuse. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Il est important de pouvoir obtenir des mesures de grandeurs qui ne sont pas accessibles à une mesure directe. Les températures des puits de forage, la profondeur d'une couche de neige, le recul des glaciers, les vitesses d'évaporation et les cycles de précipitation constituent des indicateurs indirects du réchauffement de la planète. Pourquoi la collaboration entre pays pour combattre des problèmes mondiaux, tels que le réchauffement de la planète, est-elle aussi importante ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Autres cycles énergétiques : le cycle du carbone, le cycle de Krebs et le transfert d'électrons en biologie. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 1.2 et 1.3 – Les rapports stœchiométrique Thème 3.2 – L'énergie d'ionisation, les rayons atomiques et ioniques Thème 5.3 – L'enthalpie de liaison</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 4 : discuter de la source des valeurs admises et utiliser cette idée pour critiquer des expériences. Objectif global 6 : une expérience possible consiste à calculer soit l'enthalpie de cristallisation de l'eau, soit la capacité calorifique de l'eau quand un glaçon est plongé dans de l'eau chaude.

15.1 Les cycles énergétiques**Directives et informations supplémentaires**

- L'effet polarisant de certains ions conférant un caractère covalent à certaines substances largement ioniques ne sera pas évalué.
 - Les termes suivants, ayant trait à l'enthalpie/énergie, doivent être connus : ionisation, atomisation, affinité électronique, réseau, liaison covalente, hydratation et dissolution.
 - Les valeurs des énergies de réseau (section 18), les enthalpies de dissolution dans l'eau (section 19) et les enthalpies d'hydratation (section 20) figurent dans le recueil de données.
- **Objectif global 7** : utiliser des enregistreurs de données pour relever des variations de température. Utiliser des bases de données pour y prélever des valeurs admises.

Idee essentielle : une réaction est spontanée si la transformation globale mène à une augmentation de l'entropie totale (système plus milieu environnant). Le sens spontané d'évolution s'accompagne toujours d'une augmentation de l'entropie totale de l'univers, aux dépens de l'énergie disponible pour effectuer un travail utile. C'est ce que l'on appelle le deuxième principe de la thermodynamie.

15.2 L'entropie et la spontanéité	
Nature de la science	
Les théories peuvent être remplacées. L'idée d'entropie a évolué au cours du temps, en raison des progrès réalisés dans le domaine de la statistique et des probabilités. (2.2)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Le terme « entropie » (S) fait référence à la distribution de l'énergie disponible parmi les particules. Plus les possibilités de distribuer l'énergie sont nombreuses, plus l'entropie est élevée. L'énergie libre de Gibbs (G) est le lien entre l'énergie qui peut être obtenue à partir d'une réaction chimique et la variation d'enthalpie (ΔH), la variation d'entropie (ΔS) et la température absolue (T). L'entropie gaz>liquide>solide dans les mêmes conditions. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Prédiction d'une augmentation ou d'une diminution de l'entropie au cours d'une transformation, compte tenu de l'état physique des réactifs et des produits. Calcul des variations d'entropie (ΔS) à partir de valeurs d'entropie standard données (S°). Application de $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$ pour prévoir la spontanéité d'une transformation et calculs montrant comment diverses conditions d'enthalpie et de température l'influenceront. Rapport entre ΔG et la position de l'équilibre. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> L'énergie renouvelable est une initiative des Nations unies ayant pour but de doubler les ressources énergétiques renouvelables mondiales d'ici 2030. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> « Entropie » est un terme technique qui a une signification précise. Quel est le degré d'importance de termes techniques de ce genre dans des domaines différents de la connaissance ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Thème 5.2 – La loi de Hess Thème 5.3 – L'enthalpie de liaison Thème 7.1 – L'équilibre Option C.1 – La qualité de l'énergie Physique, option B.2 – Thermodynamique</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectifs globaux 1, 4 et 7 : utiliser des bases de données pour rechercher les réactions hypothétiques capables de produire de l'énergie libre. Objectif 6 : des expériences relatives à des processus endothermiques et exothermiques pourraient être réalisées à plusieurs reprises en vue de comparer la fiabilité des données répétitives ainsi que les valeurs théoriques.

15.2 L'entropie et la spontanéité

Directives et informations supplémentaires

- Examiner diverses conditions qui influencent ΔG dans les réactions.
- ΔG est un moyen utile de prendre en compte à la fois la variation d'entropie directe due à la transformation des produits chimiques, et la variation d'entropie indirecte du milieu environnant résultant du gain / de la perte d'énergie calorifique.
- Les données thermodynamiques figurent à la section 12 du recueil de données.

Thème 16 – La cinétique chimique

6 heures

Idée essentielle : les expressions de la vitesse ne peuvent être déterminées qu'empiriquement et celles-ci limitent les mécanismes réactionnels possibles. Dans des cas particuliers, tels qu'une chaîne de réactions élémentaires, hors d'équilibre et comportant une seule barrière d'activation significative, l'équation de la vitesse est déterminée par l'étape la plus lente de la réaction.

16.1 L'expression de la vitesse et le mécanisme réactionnel	
Nature de la science Le principe du rasoir d'Occam : les théories les plus récentes doivent rester aussi simples que possible tout en optimisant la capacité d'explication. La faible probabilité de collisions entre trois molécules signifie que des mécanismes réactionnels par étapes sont plus probables. (2.7)	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> Les réactions peuvent se produire en plusieurs étapes et l'étape la plus lente détermine la vitesse de la réaction (étape déterminante de la vitesse/ EDV). La molarité d'une étape élémentaire est le nombre de particules de réactifs participant à cette étape. L'ordre d'une réaction peut être exprimé sous la forme d'un nombre entier ou d'une fraction. L'ordre d'une réaction peut décrire, en ce qui concerne un réactif, le nombre de particules participant à l'étape déterminante de la vitesse. Les équations de la vitesse ne peuvent être déterminées qu'expérimentalement. La valeur de la constante de vitesse (k) est affectée par la température et ses unités sont déterminées d'après l'ordre global de la réaction. Les catalyseurs modifient un mécanisme réactionnel en introduisant une étape d'énergie d'activation inférieure. 	<ul style="list-style-type: none"> Le premier catalyseur utilisé dans l'industrie a servi à produire de l'acide sulfurique. La production d'acide sulfurique a pendant longtemps étroitement reflété la santé économique d'un pays. Quels sont certains des indicateurs courants de la santé économique d'un pays ? <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Un mécanisme réactionnel peut être appuyé par des preuves indirectes. Quel est le rôle des preuves empiriques dans les théories scientifiques ? A-t-on jamais des certitudes en science ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> La recherche sur le cancer porte exclusivement sur l'identification de mécanismes relatifs aux agents cancérigènes, aux agents anticancéreux et aux inhibiteurs de tumeurs. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 20.1 – Les mécanismes organiques, en particulier S_N1 et S_N2 Option A.3 – Les catalyseurs Biologie, thème 8.1 – Les enzymes agissant en tant que catalyseurs</p>

16.1 L'expression de la vitesse et le mécanisme réactionnel	
<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dédution de l'expression de la vitesse pour une équation à partir de données expérimentales et résolution de problèmes impliquant l'expression de la vitesse. • Schématiser, identifier et analyser les représentations graphiques pour des réactions d'ordre zéro, d'ordre un et d'ordre deux. • Évaluation de mécanismes réactionnels proposés pour qu'il y ait correspondance avec les données cinétiques et stoechiométriques. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les calculs doivent se limiter aux ordres comportant des nombres entiers. • Considérer les graphiques de la concentration en fonction du temps et de la vitesse en fonction de la concentration. • Utiliser les profils des niveaux d'énergie potentielle pour illustrer les réactions à plusieurs étapes, en montrant sur le profil la valeur de E_a la plus élevée dans l'étape déterminante de la vitesse. • Les catalyseurs interviennent au niveau de l'étape déterminante de la vitesse. • Les réactions dans lesquelles l'étape déterminante de la vitesse n'est pas la première étape doivent être considérées. • Est appropriée, toute expérience qui permet aux élèves de faire varier les concentrations pour observer l'effet sur la vitesse, et donc déterminer une équation de vitesse. 	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 7 : utiliser des bases de données, des enregistreurs de données et d'autres applications TIC pour rechercher des mécanismes proposés pour la réalisation de travaux en laboratoire et d'expériences virtuelles en vue d'analyser des facteurs qui influencent les équations de la vitesse.

Idée essentielle : l'énergie d'activation d'une réaction peut être déterminée d'après l'effet de la température sur la vitesse de la réaction.

16.2 L'énergie d'activation	
Nature de la science	
Les théories peuvent être appuyées, réfutées ou remplacées par de nouvelles théories. La modification de la température a un bien plus grand effet sur la vitesse de la réaction que l'on ne pourrait l'expliquer par son effet sur les vitesses des collisions. Ce constat a conduit à l'équation d'Arrhenius qui propose un modèle quantitatif pour expliquer l'effet d'une variation de température sur la vitesse d'une réaction. (2.5)	
Notions clés	Utilisation
<ul style="list-style-type: none"> • L'équation d'Arrhenius utilise le fait que la constante de vitesse dépend de la température pour déterminer l'énergie d'activation. • Un graphique de $1/T$ en fonction de $\ln k$ est une courbe linéaire présentant un gradient $-E_a/R$ et une intersection avec les axes de $\ln A$. • Le facteur de fréquence (ou facteur pré-exponentiel) (A) prend en compte la fréquence des collisions avec des orientations appropriées. 	<ul style="list-style-type: none"> • La lumière clignotante des lucioles est produite par un procédé chimique impliquant des enzymes. • La relation entre l'hypothèse de la « clé adaptée à la serrure » à propos des enzymes et l'équation d'Arrhenius. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 6.1 – La théorie des collisions</p>
Applications et compétences	Objectifs globaux
<ul style="list-style-type: none"> • Analyse de la représentation graphique de l'équation d'Arrhenius sous sa forme linéaire $\ln k = \frac{-E_a}{RT} + \ln A$. • Utilisation de l'équation d'Arrhenius $k = A e^{\frac{-E_a}{RT}}$. • Description de la relation entre la température et la constante de vitesse ; description de la relation entre le facteur de fréquence et la complexité des collisions entre molécules. • Détermination et évaluation des valeurs de l'énergie d'activation et des facteurs de fréquence à partir de données. 	<ul style="list-style-type: none"> • Objectifs globaux 4 et 7 : utiliser des simulations et des expériences virtuelles pour étudier l'effet de la température et des facteurs stériques sur les vitesses de réaction. • Objectif global 6 : les expériences pourraient consister en une collecte de relevés de température, afin d'obtenir suffisamment de données pour tracer un graphique. • Objectif global 7 : des calculateurs graphiques peuvent être utilisés pour saisir et analyser facilement des données à propos de E_a et des valeurs du facteur de fréquence.

16.2 L'énergie d'activation

Directives et informations supplémentaires

- Utiliser les diagrammes de niveaux d'énergie pour illustrer les réactions évoluant en plusieurs étapes et montrer l'étape déterminante de la vitesse (EDV) dans le diagramme.
- Considérer diverses sources de données en utilisant l'expression linéaire $\ln k = \frac{-E_a}{RT} + \ln A$. L'expression $\ln \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$ est fournie dans le recueil de données.

Thème 17 – L'équilibre

4 heures

Idée essentielle : la position de l'équilibre peut être quantifiée par la loi de l'équilibre. La constante d'équilibre d'une réaction particulière ne dépend que de la température.

17.1 La loi de l'équilibre	
Nature de la science	
L'emploi du raisonnement quantitatif : des expressions de la vitesse déterminées expérimentalement pour des réactions directes et inverses peuvent être déduites directement à partir des équations stœchiométriques et permettent d'appliquer le principe de Le Chatelier. (1.8, 1.9)	
Notions clés	
<ul style="list-style-type: none"> Le principe de Le Chatelier ayant trait aux variations de concentration peut être expliqué par la loi de l'équilibre. La position d'équilibre correspond à une valeur d'entropie maximale et à une valeur minimale de l'énergie libre de Gibbs. La variation de l'énergie libre de Gibbs d'une réaction et la constante d'équilibre peuvent toutes deux être utilisées pour exprimer la position d'équilibre d'une réaction. Elles sont reliées par l'équation $\Delta G^\circ = -RT \ln K$. 	<ul style="list-style-type: none"> La loi de l'équilibre peut être déduite en présumant que l'ordre de la réaction directe et de la réaction inverse correspond aux coefficients dans l'équation chimique. Quel est le rôle du raisonnement déductif en sciences ? Nous pouvons utiliser les mathématiques pour modéliser des systèmes à l'équilibre. Est-ce parce que nous créons les mathématiques pour refléter la réalité ou parce que la réalité est intrinsèquement mathématique ? En sciences, de nombreux problèmes ne peuvent être résolus qu'en faisant des suppositions qui simplifient les mathématiques. Quel est le rôle de l'intuition dans la résolution de problèmes ?
Applications et compétences	
<ul style="list-style-type: none"> Résolution de problèmes d'équilibre homogène en utilisant l'expression de K_c. Rapport entre ΔG° et la constante d'équilibre. Calculs utilisant l'équation $\Delta G^\circ = -RT \ln K$. 	<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Le concept d'un système fermé en équilibre dynamique peut être appliqué à une gamme de systèmes relevant des sciences biologiques, environnementales et humaines.
Directives et informations supplémentaires	
<ul style="list-style-type: none"> L'expression $\Delta G^\circ = -RT \ln K$ figure à la section 1 du recueil de données. Il ne sera pas demandé aux élèves d'établir l'expression $\Delta G^\circ = -RT \ln K$. L'utilisation des équations du second degré ne sera pas évaluée. 	<p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Thème 1.3 – Les équations stœchiométriques Thème 7.1 – L'équilibre Thème 18.2 – Les équilibres des acides et des bases faibles Option A.10 – K_{ps} Options B.7 et D.4 – Les calculs relatifs aux solutions tampons</p>

17.1 La loi de l'équilibre	<p data-bbox="272 913 300 1122">Objectifs globaux</p> <ul data-bbox="320 241 451 1122" style="list-style-type: none"><li data-bbox="320 241 379 1122">• Objectif global 6 : la constante d'équilibre d'une réaction d'estérification et d'autres réactions pourrait être étudiée expérimentalement.<li data-bbox="395 241 451 1122">• Objectif global 7 : le concept d'équilibre dynamique peut être illustré par des animations informatiques.
----------------------------	---

Thème 18 – Les acides et les bases

10 heures

Idee essentielle : le concept acide–base peut s'étendre aux réactions qui n'impliquent aucun transfert de protons.

18.1 Les acides et les bases de Lewis	
<p>Nature de la science</p> <p>Les théories peuvent être appuyées, réfutées ou remplacées par de nouvelles théories. Les théories des acides et des bases peuvent s'étendre à un plus large domaine d'applications en considérant des paires non liantes d'électrons. La théorie de Lewis n'invalide pas la théorie de Brønsted-Lowry, elle la complète. (2.5)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Un acide de Lewis est un accepteur de paires non liantes d'électrons et une base de Lewis est un donneur de paires non liantes d'électrons Quand une base de Lewis réagit avec un acide de Lewis, il se forme une liaison de coordination. Un nucléophile est une base de Lewis et un électrophile est un acide de Lewis. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> La théorie des acides et des bases a été développée par des scientifiques de nationalités diverses, travaillant en collaboration ou en concurrence. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Le même phénomène peut parfois être exploré sous divers angles, et expliqué par des théories différentes. Par exemple, jugeons-nous des théories opposées d'après leur universalité, leur simplicité ou leur élégance ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 4.2 et 4.3 – Les molécules covalentes et les schémas de Lewis Thème 13.2 – Les complexes de métaux de transition Thème 20.1 – Les nucléophiles</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : les complexes de métaux de transition peuvent être étudiés expérimentalement. Objectif global 7 : des animations peuvent être utilisées pour différencier les diverses théories des acides et des bases.
<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application de la théorie acide-base de Lewis à la chimie inorganique et organique pour identifier le rôle des espèces réagissantes. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Des exemples de réactions organiques ainsi qu'inorganiques doivent être étudiés. Les rapports entre les acides et les bases de Brønsted-Lowry et les acides et les bases de Lewis doivent être discutés. 	

Idée essentielle : la loi de l'équilibre peut être appliquée aux réactions acide-base. Les problèmes numériques peuvent être simplifiés en faisant des suppositions au sujet des concentrations relatives des espèces impliquées. L'utilisation de logarithmes est également importante ici.

18.2 Les calculs impliquant des acides et des bases	
Nature de la science	
L'obtention de preuves pour des théories scientifiques : l'application de la loi de l'équilibre permet de déterminer la force des acides et des bases et d'établir un lien entre celle-ci et leur structure moléculaire. (1.9)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> L'expression de la constante de dissociation d'un acide faible (K_a) et d'une base faible (K_b). Pour une paire acide-base conjugués $K_a \times K_b = K_w$. Le rapport entre K_a et pK_a est ($pK_a = -\log K_a$) et le rapport entre K_b et pK_b est ($pK_b = -\log K_b$). <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Résolution de problèmes impliquant $[H^+ (aq)]$, $[OH^- (aq)]$, pH, pOH, K_a, pK_a, K_b et pK_b. Discussion des forces relatives des acides et des bases en utilisant les valeurs de K_a, pK_a, K_b et pK_b. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> La valeur K_w dépend de la température. Le calcul du pH de solutions tampons ne sera évalué que dans les options B.7 et D.4. Seuls des exemples impliquant le transfert d'un proton seront évalués. Les calculs du pH à des températures autres que 298°K peuvent être évalués. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Les mathématiques constituent un langage universel. La nature mathématique de ce thème aide les chimistes à communiquer entre eux d'une manière plus objective même si leurs langues maternelles sont différentes. <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Thème 8.1 – Les paires acide-base conjuguées Thème 8.3 – Le concept du pH Thème 8.4 – Les acides et les bases forts et faibles Options B.7 et D.4 – Les solutions tampons</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : les propriétés des acides forts et faibles pourraient être étudiées expérimentalement.

18.2 Les calculs impliquant des acides et des bases	<ul style="list-style-type: none">• Les élèves doivent indiquer quand des approximations sont utilisées dans des calculs d'équilibre.• L'utilisation d'équations quadratiques ne sera pas évaluée.
--	---

Idée essentielle : les courbes de pH peuvent être étudiées expérimentalement mais elles sont déterminées mathématiquement par les constantes de dissociation de l'acide et de la base. Un indicateur ayant un point de virage approprié peut être utilisé pour déterminer le point d'équivalence de la réaction.

18.3 Les courbes de pH	
Nature de la science	
Le pouvoir accru des instruments et les progrès réalisés en matière de techniques disponibles : le développement des techniques de mesure du pH a permis d'obtenir des mesures instantanées plus fiables du pH. (3.7)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les caractéristiques des courbes de pH selon les différentes combinaisons d'acides et de bases forts et faibles. Un indicateur acide-base est un acide faible ou une base faible dont les composés de la paire acide-base conjugués ont des couleurs différentes. La relation entre la gamme de pH d'un indicateur acide-base, qui est un acide faible, et la valeur de son pK_a. Sur la courbe de pH, la zone tampon est la région où de petites additions d'acide ou de base ne produisent aucun changement ou un changement minime du pH. La composition et l'action d'une solution tampon. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> L'allure des graphiques du pH en fonction du volume d'agent titrant, pour les titrages impliquant des acides et des bases faibles, avec une explication de leurs caractéristiques importantes. Sélection d'un indicateur approprié pour un titrage, lorsque le point d'équivalence du titrage et le point de virage de l'indicateur sont connus. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Une courbe de pH est-elle une description exacte de la réalité ou une représentation artificielle ? La science fournit-elle une représentation de la réalité ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 5.1 – Les titrages thermométriques/conductimétriques Thème 16.2 – Quelles sont les caractéristiques mathématiques inhabituelles d'une courbe de pH ? Les élèves doivent aussi savoir utiliser les logarithmes népériens de l'utilisation de l'équation d'Arrhenius dans le thème 16.2.</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure l'examen de courbes de pH, la détermination de la valeur pK_a d'un acide faible, la préparation et l'étude d'une solution tampon et la détermination de la valeur pK_a d'un indicateur. Objectif global 7 : des enregistreurs de données, des bases de données, des tableurs et des simulations peuvent tous être utilisés. Par exemple, le point d'équivalence pourrait être déterminé en utilisant une sonde de conductivité ou une sonde de température.

18.3 Les courbes de pH										
<ul style="list-style-type: none"> Alors que la nature du tampon acide–base reste toujours la même, les solutions tampons peuvent être préparées soit en mélangeant un acide ou une base faible avec une solution d'un sel contenant son conjugué, soit en neutralisant partiellement un acide ou une base faible avec un acide ou une base forte. Prédiction du pH relatif de solutions aqueuses salines formées par différentes associations d'acides et de bases forts et faibles. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Seuls des exemples impliquant le transfert d'un proton seront évalués. Les caractéristiques importantes sont les suivantes : <ul style="list-style-type: none"> l'intersection avec l'axe du pH ; le point d'équivalence ; la zone tampon ; les points où $pK_a = \text{pH}$ ou $pK_b = \text{pOH}$. Pour un indicateur qui est un acide faible : <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">$\text{HIn}(\text{aq})$</td> <td style="text-align: center;">\rightleftharpoons</td> <td style="text-align: center;">$\text{H}^+(\text{aq}) + \text{In}^-(\text{aq})$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Couleur A</td> <td></td> <td style="text-align: center;">Couleur B</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> On peut considérer que la couleur d'un indicateur vire dans un intervalle de pH égal à $pK_a \pm 1$. Pour un indicateur qui est une base faible : <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">$\text{BOH}(\text{aq})$</td> <td style="text-align: center;">\rightleftharpoons</td> <td style="text-align: center;">$\text{B}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$</td> </tr> </table> 	$\text{HIn}(\text{aq})$	\rightleftharpoons	$\text{H}^+(\text{aq}) + \text{In}^-(\text{aq})$	Couleur A		Couleur B	$\text{BOH}(\text{aq})$	\rightleftharpoons	$\text{B}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$	
$\text{HIn}(\text{aq})$	\rightleftharpoons	$\text{H}^+(\text{aq}) + \text{In}^-(\text{aq})$								
Couleur A		Couleur B								
$\text{BOH}(\text{aq})$	\rightleftharpoons	$\text{B}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$								

18.3 Les courbes de pH	
Couleur A	Couleur B
<ul style="list-style-type: none">• Des exemples d'indicateurs figurent à la section 22 du recueil de données.• Les sels formés à partir des quatre combinaisons possibles d'acides et de bases forts et faibles doivent être considérés. Les calculs ne sont pas requis.	

Thème 19 – Les processus redox

6 heures

Idee essentielle : les conversions énergétiques entre l'énergie électrique et l'énergie chimique sont au centre des cellules électrochimiques.

19.1 Les cellules électrochimiques	
Nature de la science	
L'emploi du raisonnement quantitatif : les potentiels d'électrode et l'électrode standard à hydrogène. (3.1)	
La collaboration et les implications éthiques : les scientifiques ont collaboré pour travailler sur les technologies ayant trait aux cellules électrochimiques et ils doivent prendre en compte les implications environnementales et éthiques de l'utilisation de piles à combustible et de piles à batteries. (4.5)	
Notions clés	
<ul style="list-style-type: none"> • Une pile voltaïque produit une force électromotrice (FEM) qui entraîne un déplacement des électrons de l'anode (électrode négative) vers la cathode (électrode positive) en empruntant le circuit externe. On appelle la FEM « potentiel de la pile » (E°). • L'électrode standard à hydrogène (ESH) comprend une électrode inerte de platine en contact avec une solution d'ions hydrogène H^+ 1 mol dm^{-3} et de l'hydrogène dissous sous la pression de 100 kPa et à la température de 298 K. Le potentiel standard d'électrode (E°) est le potentiel (tension) de la demi-équation de la réduction dans les conditions standard, mesurée relativement à l'ESH. La concentration du soluté est 1 mol dm^{-3} et, pour les gaz, la pression est de 100 kPa. La E° de l'ESH est 0 V. • Quand des solutions aqueuses sont électrolysées, l'eau peut être oxydée en oxygène à l'anode et réduite en hydrogène à la cathode. • $\Delta G^{\circ} = -nFE^{\circ}$. Quand E° est positif, ΔG° est négatif, ce qui indique qu'il s'agit d'un processus spontané. Quand E° est négatif, ΔG° est positif, ce qui indique qu'il s'agit d'un processus non spontané. Quand $E^{\circ} = 0$, alors $\Delta G^{\circ} = 0$. 	<ul style="list-style-type: none"> • De nombreuses cellules électrochimiques peuvent servir de sources d'énergie pour aider à résoudre les problèmes mondiaux en matière d'énergie. Certaines piles, telles les piles à combustible microbiennes super-efficaces (CCM) (aussi appelées piles à combustible biologiques ou encore piles à bactéries) peuvent contribuer à l'assainissement de l'environnement. Comment les gouvernements nationaux et la communauté internationale décident-ils des priorités scientifiques en ce qui concerne le financement ? <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'ESH est un exemple de référence arbitraire. Nos connaissances scientifiques seraient-elles les mêmes si nous choissions des références différentes ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • La galvanoplastie. • Les processus électrochimiques en dentisterie. • La corrosion des métaux.
Sensibilité internationale	

19.1 Les cellules électrochimiques	
<ul style="list-style-type: none"> Le courant, la durée de l'électrolyse et la charge de l'ion influencent la quantité de produit formé au niveau des électrodes durant l'électrolyse. La galvanoplastie implique l'application d'un revêtement électrolytique sous forme d'une mince couche de métal sur un objet. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Calcul des potentiels de piles en utilisant les potentiels standard d'électrode. Prédiction de la spontanéité ou de la non-spontanéité d'une réaction en utilisant les valeurs E°. Détermination des variations d'énergie microbiennes ou piles à bactéries standard (ΔG°) en utilisant les potentiels standard d'électrode. Explication des produits formés durant l'électrolyse de solutions aqueuses. Réalisation d'expériences en laboratoire incluant des réactions de simple substitution en solution aqueuse. Détermination des quantités relatives de produits formés durant les processus électrolytiques. Explication du procédé de la galvanoplastie. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Les procédés électrolytiques à envisager d'un point de vue théorique doivent inclure l'électrolyse de solutions aqueuses [par exemple, chlorure de sodium, sulfate de cuivre(II), etc.] et de l'eau en utilisant tout à la fois des électrodes de platine ou de graphite et des électrodes de cuivre. Les explications doivent faire référence aux valeurs E°, à la nature de l'électrode et à la concentration de l'électrolyte. 	<p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 1.2 et 1.3 – Les problèmes impliquant le nombre d'Avogadro, la quantité de substance et l'équation des gaz parfaits. Thème 9.1 – Les processus redox. Thème 15.2 – La spontanéité d'une réaction. Option C.6 – L'équation de Nernst. Biologie, option B.3 – La protection de l'environnement : le traitement des déchets et les piles à combustible microbiennes ou piles à bactéries.</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 8 : les piles à combustible biologiques peuvent produire de l'énergie électrique pour alimenter des appareils électriques, les habitations, les usines, etc. Elles peuvent aider à dépolluer l'environnement. Les piles à combustible microbiennes (CCM) alimentées par des microbes peuplant les égouts peuvent épurer ces derniers, ce qui pourrait constituer un traitement gratuit des eaux usées.

<p>19.1 Les cellules électrochimiques</p>		<ul style="list-style-type: none">• $\Delta G^\circ = -nFE^\circ$ figure à la section 1 du recueil de données.• La constante de Faraday = 96 500 C mol⁻¹ figure à la section 2 du recueil de données.• L'expression « piles en série » doit être comprise.
---	--	--

Idée essentielle : les principaux types de réactions organiques incluent la substitution nucléophile, l'addition électrophile, la substitution électrophile et les réactions redox. Les mécanismes réactionnels varient et ils aident à comprendre les différents types de réactions.

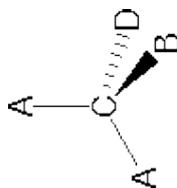
20.1 Les types de réactions organiques	
<p>Nature de la science</p> <p>La recherche de tendances et de divergences : en comprenant divers types de réactions organiques et leurs mécanismes, il est possible de synthétiser de nouveaux composés aux propriétés nouvelles qui peuvent ensuite être utilisés dans plusieurs applications. Les types de réactions organiques se répartissent en un certain nombre de catégories distinctes. (3.1)</p> <p>La collaboration et les implications éthiques : les scientifiques ont collaboré dans les travaux de recherche de nouveaux mécanismes de synthèse et ils ont pris en compte les implications éthiques et environnementales de l'adoption d'une chimie verte. (4.1, 4.5)</p>	
<p>Notions clés</p> <p><i>Les réactions de substitution nucléophile</i></p> <ul style="list-style-type: none"> S_N1 représente une réaction de substitution nucléophile monomoléculaire et S_N2 représente une réaction de substitution nucléophile bimoléculaire. S_N1 implique un intermédiaire carbocation. S_N2 implique une réaction symétrique avec un état de transition. Pour les halogénoalcane tertiaires, le mécanisme prédominant est S_N1 et pour les halogénoalcane primaires, c'est S_N2. Les deux mécanismes se produisent pour les halogénoalcane secondaires. L'étape déterminante de la vitesse (étape lente) dans une réaction S_N1 dépend uniquement de la concentration de l'halogénoalcane ; la vitesse = $k[\text{halogénoalcane}]$. Pour S_N2, la vitesse = $k[\text{halogénoalcane}][\text{nucléophile}]$. S_N2 est stéréospécifique avec une inversion de configuration au niveau du carbone. Il vaut mieux réaliser des réactions S_N2 en utilisant des solvants non polaires aprotiques alors que pour les réactions S_N1, il est préférable d'utiliser des solvants polaires protiques. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Quel rôle la chimie verte et durable joue-t-elle dans un contexte mondial dans le domaine de la chimie organique ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> La synthèse organique joue un rôle vital dans la conception de médicaments et leur assimilation en médecine et en biochimie. La nutrition, la science alimentaire et la biotechnologie ont également la chimie organique comme support. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 10.1 et 10.2 – La chimie organique Thème 14.1 – La liaison covalente Thème 14.2 – L'hybridation Option A.5 et A.9 – Les polymères</p>

20.1 Les types de réactions organiques	
<p>Les réactions d'addition électrophile</p> <ul style="list-style-type: none"> Un électrophile est une espèce déficitaire en électrons qui peut accepter des paires d'électrons cédées par un nucléophile. Les électrophiles sont des acides de Lewis. La règle de Markovnikov peut être appliquée pour prédire le principal produit dans les réactions d'addition électrophile des alcènes asymétriques avec les halogénures d'hydrogène et les interhalogènes. La formation du principal produit peut être expliquée en termes de stabilité relative des carbocations possibles dans le mécanisme réactionnel. <p>Les réactions de substitution électrophile</p> <ul style="list-style-type: none"> Le benzène est l'hydrocarbure aromatique (arène) le plus simple. Il présente des liaisons pi (π) délocalisées dans le cycle. Chaque liaison carbone-carbone a un ordre de liaison de 1,5. Le benzène est susceptible d'être attaqué par des réactifs électrophiles. <p>Les réactions de réduction</p> <ul style="list-style-type: none"> Les acides carboxyliques peuvent être réduits en alcools primaires (par l'intermédiaire de l'aldéhyde). Les cétones peuvent être réduites en alcools secondaires. Les agents réducteurs types sont l'hydrure de lithium-aluminium (utilisé pour réduire les acides carboxyliques) et le borohydride de sodium. <p>Applications et compétences</p> <p>Les réactions de substitution nucléophile</p> <ul style="list-style-type: none"> Explication de la raison pour laquelle l'hydroxyde est un meilleur nucléophile que l'eau. Déduction du mécanisme des réactions de substitution nucléophile des halogénoalcane avec l'hydroxyde de sodium aqueux en termes des mécanismes SN1 et SN2. Explication de la raison pour laquelle la vitesse dépend de la nature de l'halogène (c'est-à-dire le groupe partant), que l'halogénoalcane soit primaire, secondaire ou tertiaire, et du choix du solvant. 	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : visualiser des composés organiques en trois dimensions au moyen de modèles moléculaires. Objectif global 6 : une gamme d'expériences de réactions de synthèse organique explorant divers types de réaction et des interconversions de groupements fonctionnels pourrait être réalisée. Les techniques principales de la chimie organique pourraient inclure le chauffage à reflux, la distillation, la filtration, la purification (y compris les techniques chromatographiques), les séparations et les extractions. Objectif global 6 : la synthèse (ou la réaction) au laboratoire d'un exemple de drogue ou de médicament d'usage courant (par exemple, l'aspirine) ou d'un produit à usage domestique (par exemple, la décoloration du ketchup à la tomate, la réaction d'addition électrophile du brome).

20.1 Les types de réactions organiques	
<ul style="list-style-type: none"> • Résumé de la différence entre les solvants protiques et les solvants aprotiques. <p>Les réactions d'addition électrophile</p> <ul style="list-style-type: none"> • Déduction du mécanisme des réactions d'addition électrophile des alcènes par les halogènes/interhalogènes et les halogénures d'hydrogène. <p>Les réactions de substitution électrophile</p> <ul style="list-style-type: none"> • Déduction du mécanisme de la réaction de nitration (substitution électrophile) du benzène (en utilisant un mélange d'acide nitrique concentré et d'acide sulfurique). <p>Les réactions de réduction</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formulation de réactions de réduction de composés contenant un groupement carbonyle : réduction des aldéhydes et des cétones en alcools primaires et secondaires, et réduction des acides carboxyliques en alcools, en utilisant des agents réducteurs appropriés. • Conversion du nitrobenzène en phénylamine lors d'une réaction en deux étapes. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il est demandé de faire référence à la rupture hétérolytique pour les réactions S_N1. • La différence entre la rupture homolytique et la rupture hétérolytique doit être comprise. • Dans les schémas décrivant les mécanismes réactionnels, il faut opérer la distinction entre les flèches incurvées et les flèches à demi-pointe (en forme d'hameçon). 	

20.1 Les types de réactions organiques

- L'utilisation de charges partielles (δ^+ et δ^-) et de représentations tridimensionnelles à l'aide de traits pleins et de triangles pleins ou hachurés (comme illustré ci-dessous) doit être encouragée, le cas échéant, pour expliquer les mécanismes réactionnels.



- Les conditions expérimentales particulières et les réactifs-types de toutes les réactions doivent être connus (par exemple, catalyseurs, agents réducteurs, chauffage à reflux, etc.). Cependant, il n'est pas nécessaire d'inclure des détails plus précis, tels que des températures spécifiques.

Idée essentielle : la synthèse organique est la préparation systématique d'un composé, à partir d'une matière de départ largement disponible, par voie synthétique qui peut souvent impliquer une série d'étapes différentes.

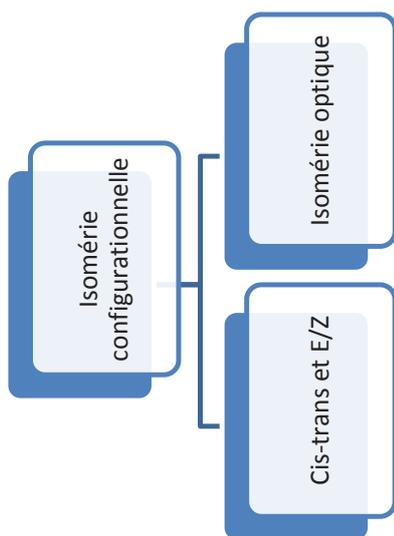
20.2 Les voies de synthèse	
Nature de la science	
La méthode scientifique : sur le plan de la conception de la synthèse organique le processus cognitif du chimiste organicien implique une rétro-synthèse et l'aptitude à penser à rebours. (1.3)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La synthèse d'un composé organique commence avec une matière de départ facilement disponible qui subit une série d'étapes Les interconversions des groupements fonctionnels sont à la base de telles voies synthétiques. • La rétro-synthèse des composés organiques. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Déduction de voies synthétiques à étapes multiples à partir de réactifs de départ et de produit(s) donnés. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les conversions comprenant plus de quatre étapes ne seront pas évaluées dans les voies de synthèse. • Les types de réaction peuvent couvrir n'importe laquelle des réactions couvertes dans le cadre du thème 10 et du sujet 20.1. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quelle importance ont les produits naturels pour les pays en voie de développement ? Explorez quelques exemples spécifiques de produits naturels disponibles dans les pays en voie de développement qui sont importants pour les pays développés. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une approche rétro-synthétique est souvent utilisée dans la conception de voies de synthèse. Quels sont les rôles de l'imagination, de l'intuition et du raisonnement au niveau de la résolution de problèmes pratiques ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les produits naturels, notamment le taxol, la mescaline et la capsaïcine, sont des composés isolés à partir de sources naturelles. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 10.1 et 10.2 – La chimie organique</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : série d'expériences de synthèse organique en plusieurs étapes (jusqu'à quatre étapes au maximum).

Idée essentielle : la stéréoisomérisie implique des isomères dont les atomes sont disposés différemment dans l'espace mais dont la connectivité ou la multiplicité des liaisons (c'est-à-dire simples, doubles ou triples) ne diffèrent pas d'un isomère à l'autre.

20.3 Le stéréoisomérisie	
Nature de la science	
Transdisciplinaire : la forme tridimensionnelle d'une molécule organique est l'élément essentiel de sa structure et souvent de ses propriétés. La majorité des constituants de l'organisme humain est chirale. (4.1)	
Notions clés <ul style="list-style-type: none"> Les stéréoisomères sont subdivisés en deux classes : les isomères conformationnels, qui s'interconvertissent par rotation autour d'une liaison σ, et les isomères configurationnels qui s'interconvertissent uniquement en brisant une liaison et en la reformant. 	Sensibilité internationale <ul style="list-style-type: none"> Dans certains pays, des drogues et des médicaments ont-ils été vendus et administrés sous la forme de racémates à la place de l'énantiomère approprié doué de l'activité thérapeutique attendue ? Pouvez-vous penser à des drogues ou à des médicaments qui pourraient être utilisé(e)s pour de bonnes études de cas dans ce contexte ?
<pre> graph TD A[Isomérisie] --> B[Isomérisie structurale] A --> C[Stéréoisomérisie] C --> D[Isomérisie configurationnelle] C --> E[Isomérisie conformationnelle] </pre>	Théorie de la connaissance <ul style="list-style-type: none"> L'existence des isomères optiques fournit des preuves indirectes de l'existence d'un atome de carbone à liaisons tétraédriques. Quels modes de connaissance nous permettent d'établir un lien entre des preuves indirectes et nos théories ? Le stéréoisomérisie peut être étudiée en utilisant des modèles physiques et informatiques. Quel est le rôle de tels modèles dans d'autres domaines de la connaissance ? L'un des défis pour le scientifique et pour l'artiste consiste à représenter le monde tridimensionnel en deux dimensions. Quelles sont les similitudes et les différences entre ces deux approches ? Quel est le rôle des différents modes d'accès à la connaissance dans les deux approches ?

20.3 Le stéréoisomérisme

- Les isomères configurationnels sont eux-mêmes subdivisés en isomères cis-trans, en isomères E/Z et en isomères optiques.



- Les isomères cis-trans peuvent exister dans les alcènes ou les cycloalcanes (ou hétéroalcanes) et ils diffèrent entre eux au niveau des positions des atomes (ou groupes) par rapport à un plan de référence. Selon l'UICPA, les isomères E/Z font référence aux alcènes de la forme R¹R²C=CR³R⁴ (R¹ ≠ R², R³ ≠ R⁴) où ni R¹ ni R² n'a besoin d'être différent de R³ ou de R⁴.
- Un carbone chiral est un carbone joint à quatre atomes ou groupes différents.
- Un composé optiquement actif peut faire pivoter le plan de la lumière polarisée lorsque cette dernière traverse une solution de ce composé. Les isomères optiques sont des énantiomères. Les énantiomères sont des images spéculaires non superposables. Les diastéréomères ne sont pas des images spéculaires.
- Un mélange racémique (ou racémate) est un mélange de deux énantiomères en quantités égales ; il est optiquement inactif.

Utilisation

- De nombreux médicaments et de nombreuses drogues dérivés de sources naturelles sont chiraux ; ils incluent la nicotine, la dopamine, la thyroxine et le naproxène.
- Le rôle de la stéréochimie dans la science de la vision et la science alimentaire.
- Dans de nombreux parfums, la stéréochimie peut souvent être jugée plus importante que la composition chimique.

Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :

Thèmes 10.1 et 10.2 – La chimie organique
 Option B.4 – Les glucides
 Option B.10 – La stéréochimie dans les biomolécules
 Option D.7 – L'importance de la chiralité et l'action des médicaments

Objectifs globaux

- Objectif global 6** : les expériences pourraient inclure la synthèse et la caractérisation d'un énantiomère [par exemple, (-) menthol] ou la résolution d'un mélange racémique.

<p>20.3 Le stéréoisomérisation</p>	<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construction de modèles en 3-D (réels ou virtuels) d'une large gamme de stéréoisomères. • Explication de la stéréoisomérisation dans les alcènes non cycliques et les cycloalcanes en C3 et C4. • Comparaison des propriétés physiques et chimiques des énantiomères. • Description et explication des isomères optiques dans des molécules organiques simples. • Distinction des isomères optiques en utilisant un polarimètre. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le terme isomères géométriques, tel que recommandé par l'IUPAC, est maintenant désuet et l'usage des termes isomères cis-trans et isomères E/Z doit être encouragé dans le programme d'enseignement. • Dans le système E/Z, le groupe de plus haute priorité selon la règle de Cahn-Ingold-Prelog et qui est attaché à l'un des atomes de la double liaison terminale de l'alcène (soit R1 ou R2) est comparé au groupe de plus haute priorité attaché à l'autre atome de la double liaison (soit R3 ou R4). Le stéréoisomère est Z si les groupes considérés se trouvent du même côté d'un plan de référence traversant la liaison double perpendiculairement au plan contenant les liaisons liant les groupes aux atomes de la double liaison ; l'autre stéréoisomère est appelé E. • Les représentations par des traits pleins, des triangles pleins et des triangles hachurés doivent être utilisées pour représenter les isomères optiques.
------------------------------------	--

Idée essentielle : bien que les techniques de caractérisation spectroscopiques forment le pilier de l'identification structurale des composés, il n'existe pas de technique qui permette une identification structurale complète d'une molécule.

21.1 L'identification spectroscopique des composés organiques	
Nature de la science	
L'amélioration des instruments modernes : les progrès réalisés en matière de techniques spectroscopiques (IR, RMN ¹ H et SM) sont à l'origine des connaissances détaillées de la structure des composés. (1.8)	
Notions clés	
<ul style="list-style-type: none"> L'identification structurale des composés implique plusieurs techniques analytiques différentes, notamment l'IR, la RMN ¹H et la SM. Dans un spectre de RMN ¹H à haute résolution, les pics simples, présents en faible résolution, peuvent se scinder en d'autres groupes de pics. La technique structurale de la cristallographie aux rayons X sur monocristal peut être utilisée pour déterminer la longueur des liaisons et les angles de liaison des composés cristallins. 	<ul style="list-style-type: none"> La communauté des chimistes partage souvent au niveau international des informations ayant trait aux structures chimiques. La base de données « The Cambridge Crystallographic Database, ChemSpider », développée par la Royal Society of Chemistry et la Protein Data Bank (RCSB PDB) (au Brookhaven National Laboratory, États-Unis) constituent des exemples qui soulignent la nature internationale de la communauté scientifique.
Applications et compétences	
<ul style="list-style-type: none"> Explication de l'utilisation du tétraméthylsilane (TMS) en tant qu'étalon de référence. Déduction de la structure d'un composé à partir d'informations obtenues en utilisant une gamme de techniques de caractérisation analytiques (cristallographie aux rayons X, IR, RMN ¹H et SM). 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Le rapport d'intensité des raies d'un spectre RMN à haute résolution est donné par les nombres du triangle de Pascal, un modèle mathématique connu indépendamment depuis plus de mille ans dans un certain nombre de cultures différentes. Pourquoi les mathématiques sont-elles un outil aussi efficace en sciences ? Les mathématiques sont-elles la science des modèles ?
Directives et informations supplémentaires	
<ul style="list-style-type: none"> Les élèves doivent pouvoir interpréter ce qui suit à partir de spectres RMN ¹H : nombre de pics, aire sous chaque pic, déplacement chimique et multiplicité (dédoublément) des pics. Le traitement des constantes de couplage spin-spin ne sera pas évalué mais les élèves doivent connaître les singulets, les doublets, les triplets et les quartets. 	<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Les protons dans les molécules d'eau au sein des cellules humaines peuvent être détectés par le biais de l'imagerie par résonance magnétique (IRM), qui produit une image tridimensionnelle des organes du corps humain. Pourquoi l'IRM est-elle en train de remplacer les examens par tomographie dans certaines applications, alors qu'elle est utilisée comme technique complémentaire dans d'autres ?

21.1 L'identification spectroscopique des composés organiques	
<ul style="list-style-type: none"> • La RMN ^1H haute résolution doit être étudiée. • Les détails précis de la cristallographie aux rayons X sur monocristal ne doivent pas être connus mais les élèves doivent savoir que cette technique d'éclaircissement des structures existe dans le plus large contexte de l'identification structurale des composés inorganiques et organiques. • Les principes opérationnels d'aucune de ces méthodes ne sont requis. 	<ul style="list-style-type: none"> • La SM (et d'autres techniques comme la CCM, la CG, la CG-SP et la CLHP) peut être utilisée en médecine légale sur une scène de crime. • Les techniques analytiques peuvent être utilisées pour tester l'abus de drogues par des athlètes de haut niveau. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 11.3 – L'identification des composés par spectroscopie Option B.2 – La chromatographie et la séparation des protéines Option B.9 – La chromatographie et les pigments Option D.7 – Les auxiliaires chiraux</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 7 : des bases de données spectrales peuvent être utilisées ici.

Thèmes du tronc commun

Idée essentielle : la science des matériaux implique la compréhension des propriétés d'un matériau, puis leur application à des structures particulières.

A.1 Introduction à la science des matériaux	
Nature de la science Les améliorations en technologie : des matériaux différents ont été utilisés à diverses fins avant même que l'on ait une explication scientifique de leurs propriétés. (1.8) Les patterns en science : l'histoire a caractérisé les civilisations en fonction des matériaux qu'elles utilisaient. L'âge de la pierre, l'âge du bronze et l'âge du fer. Il existe plusieurs modes de classification des matériaux selon des caractéristiques particulières. (3.1)	
Notions clés <ul style="list-style-type: none"> Les matériaux sont classés en fonction de leurs utilisations, de leurs propriétés, du type de liaisons et de leur structure. Les propriétés d'un matériau, sur la base du degré de caractère covalent, ionique ou métallique du composé, peuvent être déduites de sa position dans un triangle des liaisons. Les composites sont des mélanges dans lesquels les matériaux se composent de deux phases distinctes : une phase de renforcement qui est incluse dans une phase matricielle. Applications et compétences <ul style="list-style-type: none"> Utilisation des diagrammes sous forme de triangles des liaisons pour les composés binaires à partir des données d'électronégativité. Évaluation de divers modes de classification des matériaux. Établissement d'une relation entre les caractéristiques physiques (point de fusion, perméabilité, conductivité, élasticité, friabilité) d'un matériau et le type de liaisons et les caractéristiques structurales (compacité, mobilité des électrons, aptitude des atomes à se déplacer les uns par rapport aux autres). 	Sensibilité internationale <ul style="list-style-type: none"> Quels matériaux utilisaient les civilisations anciennes telles que les Aztèques, les Romains et les Chinois ? Bien que ces civilisations anciennes aient été situées en des lieux géographiques divers, les matériaux qu'elles utilisaient étaient similaires. Théorie de la connaissance <ul style="list-style-type: none"> Bien qu'il soit pratique de classer les matériaux en diverses catégories, aucune classification unique n'est « parfaite ». Comment évaluons-nous les différents systèmes de classification que nous utilisons dans des domaines de connaissance différents ? En quoi notre besoin de catégoriser le monde nous aide-t-il ou nous empêche-t-il de rechercher des informations ? Utilisation Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 4.2 – Le rôle de l'électronégativité dans les types de liaison Objectifs globaux <ul style="list-style-type: none"> Objectifs globaux 1 et 3 : l'examen de structures tétraédriques et de types de liaison ; position des réseaux covalents et des polymères dans ces diagrammes.

A.1 Introduction à la science des matériaux	
Directives et informations supplémentaires <ul style="list-style-type: none">• La perméabilité à l'humidité doit être considérée à la lumière des liaisons et de la compacité.• Considérer les propriétés des métaux, des polymères et de la céramique en termes de liaisons métalliques, covalentes et ioniques.• Se référer à la section 29 du recueil de données pour un diagramme des liaisons sous forme de triangle.	<ul style="list-style-type: none">• Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure l'étude de l'éirement de bandes en caoutchouc dans divers milieux chimiques, les propriétés des métaux, des polymères, de la céramique ou des composites, la fabrication de dalles en béton à partir de diverses proportions de ciment, de sable et de gravier et l'évaluation de la résistance à la rupture lors du séchage.

Idée essentielle : les métaux peuvent être extraits de leurs minerais puis être inclus dans un alliage en vue d'obtenir les caractéristiques désirées. La spectroscopie d'émission optique couplée par plasma induit (ICP-MS/OES) ionise les métaux et utilise les spectres de masse et d'émission à des fins d'analyse.

A.2 Les métaux et la spectroscopie d'émission couplée par plasma induit (ICP)	
<p>Nature de la science</p> <p>Le développement de nouveaux instruments et techniques : la spectroscopie ICP, développée suite à l'interprétation de principes scientifiques, peut être utilisée pour identifier et quantifier des traces de métaux. (1.8)</p> <p>Les détails des données : après avoir découvert que des traces de certains matériaux peuvent considérablement améliorer la performance d'un métal, l'alliage était tout au début plus un art qu'une science. (3.1)</p>	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> L'utilisation de métaux de terre rare, ou de minéraux exotiques, a énormément augmenté. Ils sont utilisés en technologie verte, dans le domaine des médicaments, des lasers, des techniques d'armement et dans d'autres domaines. Leur obtention est onéreuse mais la demande continue à augmenter. Que se passe-t-il si les réserves de métaux de terre rare ne sont contrôlées que par un petit nombre de pays, alors qu'elles sont utilisées dans de nombreux pays ? <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Quels facteurs/résultats devrait-on utiliser pour évaluer la manière dont sont gérés le temps, l'argent et les efforts consacrés à la recherche scientifique ? Qui décide des thèmes de recherche ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 2.1 et 12.1 – La spectrométrie de masse Thème 2.2 – Les spectres d'émission Thème 9.1 – L'oxydation et la réduction</p>
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> La réduction par le coke (carbone), le recours à un métal plus réactif, ou l'électrolyse sont des moyens qui permettent d'obtenir certains métaux à partir de leurs minerais. Le rapport entre la charge et le nombre de moles d'électrons est donné par la constante de Faraday, F. Les alliages sont des mélanges homogènes de métaux avec d'autres métaux ou des non métaux. Les composés diamagnétiques et paramagnétiques diffèrent au niveau du couplage spin de l'électron et de leur comportement dans des champs magnétiques. Des traces de métaux peuvent être identifiées et quantifiées en les ionisant avec du plasma argon en spectroscopie d'émission couplée par plasma induit (ICP) en utilisant la spectroscopie de masse ICP-MS et la spectroscopie d'émission optique ICP-OES. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Déduction d'équations redox pour la réduction de métaux. Établissement d'une relation entre la méthode d'extraction et la position d'un métal sur la série d'activité. 	

A.2 Les métaux et la spectroscopie d'émission couplée par plasma induit (ICP)	
<ul style="list-style-type: none"> • Explication de la production d'aluminium par électrolyse de l'alumine dans de la cryolithe en fusion. • Explication de la raison pour laquelle l'alliage modifie les propriétés des métaux. • Résolution de problèmes stœchiométriques en utilisant la constante de Faraday sur la base des masses déposées sur les électrodes d'une cellule d'électrolyse. • Discussion du paramagnétisme et le diamagnétisme en relation avec la structure électronique des métaux. • Explication de l'état du plasma et de sa production en ICP-MS/OES. • Identification des métaux et des abondances à partir de données simples et de courbes d'étalonnage obtenues par ICP-MS et ICP-OES. • Explication de la séparation et dosage des ions métalliques par SM et OES. • Utilisations de l'ICP-MS et de l'ICP-OES. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • La constante de Faraday figure à la section 2 du recueil de données. • Des détails sur les aspects opérationnels des instruments à ICP-MS et ICP-OES ne seront pas évalués. • Seule l'analyse de métaux doit être envisagée. • L'importance de l'étalonnage doit être considérée. 	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure le calcul de la constante de Faraday par électrolyse du sulfate de cuivre aqueux, la détermination de la concentration d'une solution d'un sel de nickel ou de cuivre en appliquant la loi de Beer et en se servant de la spectrophotométrie. L'analyse de la composition d'un alliage pourrait aussi être effectuée en laboratoire, par exemple la détermination colorimétrique du manganèse dans un trombone ou l'analyse gravimétrique de l'argent ou du cuivre dans une pièce de monnaie. • Objectif global 7 : des animations impliquant l'ICP pourraient être utilisées. • Objectif global 7 : des simulations et des expériences virtuelles pourraient être utilisées pour étudier les semi-conducteurs.

Idée essentielle : les catalyseurs agissent en fournissant à la réaction une réactionnelle alternative. Les catalyseurs accélèrent toujours la réaction et restent inchangés à la fin de la réaction.

A.3 Les catalyseurs	
Nature de la science	
L'utilisation de modèles : les catalyseurs servaient déjà à accélérer les réactions avant même d'avoir réussi à interpréter leur mode d'action. Cela a conduit à des modèles qui sont constamment testés et améliorés. (1.10)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les réactifs sont adsorbés sur des catalyseurs hétérogènes au niveau des sites actifs et les produits désorbent. • Les catalyseurs homogènes s'associent chimiquement aux réactifs pour former un complexe transitoire activé ou un intermédiaire réactionnel. • Les propriétés catalytique des métaux de transition dépendent des propriétés d'adsorption/d'absorption du métal et des états d'oxydation variables. • Les zéolites agissent comme des catalyseurs sélectifs en raison de leur structure en forme de cage. • Les particules catalytiques sont presque toujours des nanoparticules qui ont de grandes surfaces par masse unitaire. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explication des facteurs intervenant au niveau du choix d'un catalyseur pour un processus. • Description de la manière dont les métaux agissent comme catalyseurs hétérogènes. • Description des avantages des nanocatalyseurs dans l'industrie. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le palladium, le platine et le rhodium sont des catalyseurs courants utilisés dans les convertisseurs catalytiques. En raison de la valeur marchande de ces métaux, les vols de convertisseurs catalytiques sont de plus en plus fréquents. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Certains matériaux utilisés comme catalyseurs efficaces sont toxiques et nocifs pour l'environnement. La dégradation de l'environnement en vue d'acquies des connaissances est-elle justifiée ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 6.1 et 16.1 – Les mécanismes réactionnels Thème 10.2 – Les réactions d'estérification et d'hydrogénation Thème 16.2 – L'énergie d'activation Thème 10.2 – Les réactions d'estérification et d'hydrogénation Option B.10 – L'hydrogénation des graisses</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectifs globaux 1 et 3 : étudier divers catalyseurs en termes d'avantages et de risques.

A.3 Les catalyseurs	
Directives et informations supplémentaires <ul style="list-style-type: none">• Considérer les propriétés catalytiques telles que la sélectivité pour le produit désiré uniquement, l'efficacité, l'aptitude à agir dans des conditions douces/sévères, l'impact sur l'environnement et les impuretés.• L'utilisation de nanocatalyseurs carbonés doit être étudiée.	<ul style="list-style-type: none">• Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure l'étude de la décomposition du tartrate sodico-potassique par le chlorure de cobalt et la décomposition de l'eau oxygénée par le dioxyde de manganèse.• Objectif 6 : un échange d'ions en utilisant la zéolithe pourrait être étudié.• Objectif 7 : des expériences virtuelles et des simulations impliquant des nanoparticules comme catalyseurs pourraient être réalisées ici.

Idée essentielle : les cristaux liquides sont des fluides dont les propriétés physiques dépendent de l'orientation des molécules par rapport à un certain axe fixé dans le matériau.

A.4 Les cristaux liquides	
Nature de la science La sérendipité et les découvertes scientifiques : Friedrich Reinitzer a découvert les cristaux liquides par pur hasard en 1888, alors qu'il faisait des expériences sur le cholestérol benzoate. (1.4)	
Notions clés <ul style="list-style-type: none"> Les cristaux liquides sont des liquides dont les propriétés physiques (électriques, optiques et élastiques) dépendent de l'orientation des molécules par rapport à un axe déterminé dans le matériau. Les cristaux liquides thermotropes sont des substances pures qui se comportent comme un cristal liquide dans une gamme de températures. Les cristaux liquides lyotropes sont des solutions qui présentent un état de cristal liquide dans une (certaine) gamme de concentrations. La phase nématique d'un cristal liquide se caractérise par des molécules en forme de bâtonnets distribuées de manière aléatoire mais qui, en moyenne, adoptent une orientation commune. Applications et compétences <ul style="list-style-type: none"> Discussion des propriétés requises pour qu'une substance soit utilisée dans des affichages à cristaux liquides (ACL). Explication du comportement des cristaux liquides au niveau moléculaire. 	Sensibilité internationale <ul style="list-style-type: none"> La production de nombreux équipements électroniques se concentre dans certaines régions du globe où les conditions de travail sont loin d'être idéales. Devrait-il y avoir des normes de travail fixes à l'échelle internationale pour tous les travailleurs ? Quelles implications cela aurait-il sur le coût des biens de consommation ? Théorie de la connaissance <ul style="list-style-type: none"> Les développements technologiques signifient que nous pouvons stocker de grandes quantités d'information sous un faible volume. Cela signifie-t-il que nous pouvons accéder à un savoir plus étendu ? Utilisation Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 20.3 – La chiralité et les stéréoisomères Objectifs globaux <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure l'étude d'un cristal liquide thermotrope et la gamme de températures qui affecte ces cristaux. Objectif global 7 : des animations informatiques pourraient être utilisées pour étudier des cristaux liquides thermotropes.

A.4 Les cristaux liquides	<p data-bbox="272 217 304 2027">Directives et informations supplémentaires</p> <ul data-bbox="304 217 697 2027" style="list-style-type: none"><li data-bbox="304 217 464 2027">• Les propriétés requises par les cristaux liquides sont, entre autres : la stabilité chimique, une phase qui est stable dans une gamme de températures appropriée, la polarité afin que les molécules puissent changer d'orientation lors de l'application d'un champ électrique et une vitesse de commutation rapide.<li data-bbox="464 217 544 2027">• Le savon et l'eau sont des exemples de cristaux liquides lyotropes et les nitriles biphényliques sont des exemples de cristaux liquides thermotropes.<li data-bbox="544 217 608 2027">• Le comportement des cristaux liquides doit se limiter aux nitriles biphényliques.<li data-bbox="608 217 697 2027">• Les smectiques et d'autres types de cristaux liquides ne doivent pas être traités.
----------------------------------	---

Idee essentielle : les polymères sont constitués d'unités monomères répétitives qui peuvent être manipulées de diverses manières pour conférer aux structures les propriétés désirées.

<p>A.5 Les polymères</p> <p>Nature de la science</p> <p>Les progrès en technologie : grâce aux progrès réalisés en technologie (diffraction des rayons X, microscopes électroniques à effet tunnel, etc.), les scientifiques ont pu comprendre ce qui se produit au niveau moléculaire et manipuler la matière de manière innovante. Cela a permis de développer de nouveaux polymères. (3.7)</p> <p>Les théories peuvent être remplacées. La proposition de Staudinger selon laquelle les macromolécules sont constituées de nombreuses unités répétitives a été intégrée dans le développement de la science des polymères. (1.9)</p> <p>L'éthique et l'évaluation des risques : le développement et l'utilisation des polymères ont augmenté plus rapidement que la compréhension des risques qu'ils présentent, tels que les problèmes posés par leur recyclage ou leurs propriétés cancérigènes éventuelles. (4.5)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les matériaux thermoplastiques ramollissent lorsqu'ils sont chauffés et durcissent lorsqu'ils refroidissent. • Un polymère thermodurcissable est un prépolymère dans un état solide mou ou visqueux qui passe irréversiblement à un état thermodurci dès qu'il est séché. • Les élastomères sont souples et peuvent être déformés mais ils retrouveront quasiment leur forme d'origine dès que la contrainte sera éliminée. • Le polyéthylène haute densité (PEHD) ne présente pas de ramifications permettant aux chaînes de former un assemblage plus compact. • Le polyéthylène (polyéthène) basse densité (PEBD) présente quelques ramifications et il est plus souple. • L'addition de plastifiants à un polymère l'assouplit tout en affaiblissant les forces intermoléculaires entre les chaînes de polymères. • L'économie d'atomes est une mesure de l'efficacité appliquée en chimie verte. • Les polymères d'addition isotactiques ont des substituants du même côté. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avant la Seconde Guerre mondiale, on n'avait pratiquement jamais entendu parler des matières plastiques. En quoi l'introduction des matières plastiques a-t-elle transformé le monde sur les plans économique, social et écologique ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 10.2 et 20.1 – Les réactions d'addition et de condensation</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : les propriétés physiques du polyéthylène haute densité et du polyéthylène basse densité pourraient être étudiées ; la synthèse d'un polyester, d'un polyamide ou d'un autre polymère pourrait être réalisée quantitativement en vue de mesurer l'efficacité atomique.

A.5 Les polymères	<ul style="list-style-type: none">• Les substituants des polymères d'addition atactiques sont disposés de manière aléatoire. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none">• Description de l'utilisation des plastifiants dans le chlorure de polyvinyle et les hydrocarbures volatils lors de la formation de la mousse de polystyrène.• Résolution de problèmes et évaluation de l'économie d'atomes dans les réactions de synthèse.• Description de la manière dont les propriétés des polymères dépendent de leurs caractéristiques structurales.• Décrire des moyens de modifier les propriétés des polymères, y compris le PEBD et le PEHD.• Dédution des structures des polymères formés par polymérisation du 2-méthylpropène. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none">• L'équation de l'économie d'atomes, exprimée en pourcentage, se trouve à la section 1 du recueil de données.• Ne considérer que les mousses de polystyrène comme exemples de la modification des propriétés des polymères.
--------------------------	---

Idée essentielle : les techniques chimiques positionnent les atomes dans les molécules en utilisant des réactions chimiques alors que les techniques physiques permettent de manipuler et de positionner les atomes/molécules en fonction de besoins spécifiques.

A.6 La nanotechnologie	
Nature de la science	
L'amélioration des instruments : les microscopes électroniques à haute puissance ont permis d'étudier la position des atomes. (1.8)	
La nécessité de considérer les théories comme incertaines : le rôle de l'approche par essais et erreurs dans le développement des nanotubes et des théories qui leur sont associées. (2.2)	
« Les principes de la physique, pour autant que je puisse en juger, ne s'opposent pas à la possibilité de manipuler des choses atome par atome. Il ne s'agit pas d'une tentative de violer une loi quelconque ; en principe, c'est quelque chose qui peut être fait, mais qui ne l'a pas encore été dans la pratique parce que nous sommes trop grands. » Richard Feynman, lauréat du Prix Nobel de physique.	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> • L'auto-assemblage moléculaire est l'assemblage de bas en haut des nanoparticules, et il peut se produire en fixant sélectivement des molécules à des surfaces spécifiques. L'auto-assemblage peut également se produire spontanément dans une solution. • Les méthodes possibles pour produire des nanotubes sont l'arc électrique, le dépôt chimique en phase vapeur (DCPV) et le monoxyde de carbone haute pression (HPCO). • L'arc électrique implique, soit la vaporisation de la surface de l'une des électrodes de carbone, soit la production d'un arc électrique entre des électrodes de métal immergées dans un solvant organique, lequel forme un petit dépôt en forme de bâtonnet au niveau de l'anode. 	<ul style="list-style-type: none"> • Certaines études ont montré que l'inhalation de poussières de nanoparticules peut être tout aussi nocive que l'inhalation d'amiante. La nanotechnologie devrait-elle être réglementée ou est-ce que cela ferait obstacle à la recherche ? • La collaboration internationale en matière d'exploration spatiale ne cesse de s'intensifier. Un ascenseur spatial à nanotubes de carbone serait-il réalisable ? Aurait-il un intérêt ? Quelles en sont les implications ?
Applications et compétences	Théorie de la connaissance
<ul style="list-style-type: none"> • Distinction entre les techniques physiques et chimiques pour manipuler les atomes et former des molécules. • Description de la structure et des propriétés des nanotubes de carbone. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'utilisation du microscope à effet tunnel nous a permis de « voir » des atomes individuels, ce qui était considéré comme impossible jusqu'alors. En quoi ces progrès technologiques nous font-ils changer d'avis quant aux connaissances que nous pouvons acquérir ? • Certaines personnes s'inquiètent de l'implication possible de la nanotechnologie. Comment évaluons-nous les conséquences éventuelles des futurs développements dans ce domaine ? Les connaissances dont nous avons besoin relèvent-elles du domaine public ou comptons-nous sur l'autorité des experts ?

<p>A.6 La nanotechnologie</p>	<p>Explication de la raison pour laquelle un gaz inerte, et non l'oxygène, est nécessaire pour la préparation par DCPV des nanotubes de carbone.</p> <p>Explication de la production de carbone à partir de solvants organiques dans la méthode de l'arc électrique, par oxydation à l'anode.</p> <p>Dédiction des équations pour la production d'atomes de carbone à partir du HPCO.</p> <p>Discussion de quelques implications et applications de la nanotechnologie.</p> <p>Explication de la raison pour laquelle les nanotubes sont robustes et sont de bons conducteurs de l'électricité.</p> <p>Directives et informations supplémentaires</p> <p>Les implications possibles de la nanotechnologie incluent l'incertitude en ce qui concerne les taux de toxicité sur une échelle nanométrique, les risques inconnus qu'impliquent de nouveaux matériaux pour la santé, les préoccupations du fait que les systèmes de défense ne sont pas efficaces contre des particules à l'échelle nanométrique, les responsabilités des industries et des gouvernements impliqués dans cette recherche.</p> <p>La conductivité du graphène et des fullerènes peut s'expliquer en termes de délocalisation des électrons. Une explication reposant sur l'hybridation n'est pas requise.</p>	<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> La synthèse des protéines dans les cellules est une forme de nanotechnologie, les ribosomes agissant en tant qu'assembleurs de molécules. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 4.3 – La polarité moléculaire</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectifs globaux 1, 8 et 9 : étudier la conception et la fabrication à grande échelle de produits relevant de la nanotechnologie et leurs implications. Les exemples pourraient inclure l'équipement sportif, les produits médicaux, la construction, la dépollution de l'environnement, la robotique, l'armement ou d'autres utilisations commerciales. Objectifs globaux 7, 8 et 9 : des animations, simulations et vidéos ayant trait à la fabrication et aux utilisations des nanotubes devraient être utilisées.
--------------------------------------	---	--

Idée essentielle : bien que la science des matériaux produise de nombreux nouveaux produits utiles, des problèmes sont associés au recyclage de certains de ces matériaux et aux hauts niveaux de toxicité qui y sont associés.

A.7 L'impact environnemental : les matières plastiques	
Nature de la science Les risques et les problèmes : la recherche scientifique s'exerce souvent en ayant à l'esprit les avantages, mais les risques et les implications doivent également être pris en compte. (4.8)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les matières plastiques ne se dégradent pas facilement en raison de leurs fortes liaisons covalentes. • La combustion du chlorure de polyvinyle libère des dioxines, du gaz HCl et des produits de la combustion incomplète des hydrocarbures. • Les dioxines contiennent des hétérocycles insaturés à six atomes avec deux atomes d'oxygène, généralement en positions 1 et 4. • Les dioxines chlorées perturbent les hormones, causant ainsi des dommages cellulaires et génétiques. • Le recyclage des matières plastiques nécessite un traitement plus poussé que les autres matériaux. • Les matières plastiques sont recyclées en fonction des divers types de résine. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Déduction de l'équation de toute réaction de combustion donnée. • Discussion de la raison pour laquelle le recyclage des polymères est un processus à forte consommation d'énergie. • Discussion de l'impact de l'utilisation des matières plastiques sur l'environnement. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le symbole international pour « recycler, réutiliser, réduire » est un ruban de Möbius conçu vers la fin des années 1960. Toutefois, ce symbole n'est pas aussi bien reconnu à l'échelle mondiale que les autres symboles. Quels facteurs influencent la reconnaissance des symboles ? • Comment les nations peuvent-elles aborder le problème de la circulation des matières plastiques dans l'océan pacifique ? <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les produits de la science et de la technologie peuvent avoir un impact négatif sur l'environnement. Les scientifiques sont-ils moralement responsables de l'impact qu'ont leurs produits ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Thème 9.1 – Les réactions redox</p> <p>Thème 10.1 – Les composés organiques</p> <p>Thème 11.3 – La spectroscopie dans l'infrarouge</p> <p>Biologie, option C.3 – L'impact de l'être humain sur les écosystèmes</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 7 : la base de données des codes CIR et des spectres IR peut être utilisée.

A.7 L'impact environnemental : les matières plastiques	
<ul style="list-style-type: none"> • Comparaison des structures des diphényles polychlorés (DPC) et des dioxines. • Discussion des problèmes de santé associés à l'utilisation de plastifiants volatils dans la production des polymères. • Distinction des codes d'identification des résines (CIR) des matières plastiques qui peuvent être identifiées à partir d'un spectre IR. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les dioxines ne se décomposent pas dans l'environnement et elles peuvent passer dans la chaîne alimentaire. • Considérer les dibenzodioxines polychlorées (DBPC) et les DPC comme exemples de dioxines chlorées ou de substances analogues, présentant des propriétés cancérigènes. • Considérer les esters de phtalate en tant qu'exemples de plastifiants. • Les incendies domestiques peuvent dégager de nombreuses toxines émanant des matières plastiques (rideaux de douche, etc.) On utilise souvent des câbles exempts d'halogène et à faible émission de fumée pour éviter ces risques. • Les codes d'identification des résines (CIR) figurent à la section 30 du recueil de données. • Les structures des molécules de divers matériaux figurent à la section 31 du recueil de données. 	<ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : le développement de la chimie verte a sensibilisé en matière d'implications éthiques et écologiques de l'utilisation des sciences et des technologies.

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

Idée essentielle : la supraconductivité est une résistance électrique nulle ; elle provoque la neutralisation des champs magnétiques externes. La cristallographie aux rayons X peut servir à analyser les structures moléculaires.

A.8 Les métaux supraconducteurs et la cristallographie aux rayons X

Nature de la science

L'importance des théories : les matériaux supraconducteurs, à résistance électrique nulle à une certaine température, constituent un bon exemple de théories qui doivent être modifiées pour s'adapter aux nouvelles données. Il est important de comprendre les principes scientifiques fondamentaux sur lesquels reposent les instruments modernes. (2.2)

Notions clés

- Les supraconducteurs sont des matériaux qui n'offrent aucune résistance aux courants électriques en-dessous d'une température critique.
- L'effet Meissner est l'aptitude qu'a un supraconducteur à créer un champ magnétique-miroir d'un champ externe et ainsi à le neutraliser.
- Dans les conducteurs métalliques, la résistance est causée par des collisions entre des électrons et des ions positifs du réseau.
- La théorie de Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) explique que, en-dessous de la température critique, les électrons dans les supraconducteurs forment des paires de Cooper qui se déplacent librement dans le supraconducteur.
- Les supraconducteurs de type 1 ont des transitions supraconductrices soudaines alors que les supraconducteurs de type 2 ont des transitions plus progressives.
- La diffraction des rayons X peut être utilisée pour analyser les structures de composés métalliques et ioniques.
- Les réseaux cristallins contiennent de simples cellules unitaires répétitives.
- Les atomes sur les faces et les bords des cellules unitaires sont partagés.
- Le nombre de voisins les plus proches d'un atome/ion est son nombre de coordination.

Sensibilité internationale

- Les techniques analytiques ont des applications en médecine légale, dans la recherche de minerais, en médecine et dans d'autres domaines. En quoi l'accès inégal à la technologie de pointe affecte-t-il les économies mondiales ?

Théorie de la connaissance

- La diffraction des rayons X nous a permis de sonder le monde au-delà des limites biologiques de nos sens. Dans quelle mesure notre connaissance du monde microscopique est-elle fiable, au regard de ce que nous connaissons au niveau macroscopique ?

Utilisation

Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :

Thème 2.2 – Le principe d'exclusion de Pauli

Thème 3.2 – Le rayon atomique et la périodicité

Thème 21.1 – La cristallographie aux rayons X

Physique, thème 4.2 – Ondes progressives

Objectifs globaux

- **Objectif global 7** : des animations et des simulations seraient très utiles pour expliquer la supraconductivité et la cristallographie aux rayons X.

A.8 Les métaux supraconducteurs et la cristallographie aux rayons X	
<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Analyse de la résistance par rapport aux données de température pour les supraconducteurs de type 1 et de type 2. Explication de la supraconductivité en termes de paires de Cooper se déplaçant au travers d'un réseau d'ions positifs. Déduction ou construction de structures cellulaires unitaires à partir d'informations relatives à la structure de cristaux. Application de l'équation de Bragg, $n\lambda = 2d\sin\theta$, dans les structures métalliques. Détermination de la densité d'un métal pur à partir de ses rayons atomiques et de la structure des empilements cristallins. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Seule une explication simple de la théorie de BCS avec les paires de Cooper est requise. Aux basses températures, les ions positifs du réseau sont légèrement déformés par un électron en passage. Un second électron est attiré vers cette légère déformation positive et il se produit alors un couplage de ces deux électrons. Les principes fonctionnels de la cristallographie aux rayons X ne sont pas requis. Seuls les métaux purs avec des mailles cubiques simples, des mailles cubiques centrées (CC) et des mailles cubiques à face centrée (CFC) doivent être étudiés. Les structures cristallines des pérovskites de nombreux supraconducteurs peuvent être analysées par cristallographie aux rayons X, mais celles-ci ne seront pas évaluées. L'équation de Bragg ne sera appliquée qu'à des structures cubiques simples. 	

Idée essentielle : les polymères de condensation se forment par perte de petites molécules lorsque des groupements fonctionnels provenant de monomères se lient.

A.9 Les polymères de condensation	
Nature de la science	
La spéculation : nous avons connu l'âge de la pierre, l'âge du fer et l'âge du bronze. Est-il possible que l'ère moderne soit l'âge des polymères, alors que la science continue à manipuler la matière aux fins désirées ? (1.5)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les polymères de condensation nécessitent deux groupements fonctionnels sur chaque monomère. • NH_3, HCl et H_2O sont les produits possibles des réactions de condensation. • Kevlar® est un polyamide dont la structure est robuste et ordonnée. Les liaisons hydrogène entre O et N peuvent être brisées en utilisant de l'acide sulfurique concentré. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Distinguer les polymères d'addition des polymères de condensation. • Compléter et décrire des équations pour montrer comment les polycondensats sont formés. • Déduire les structures des polyamides et des polyester d'après leurs monomères respectifs. • Expliquer la force du Kevlar® et sa solubilité dans l'acide sulfurique concentré. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • La science, l'économie ou la politique jouent-elles le rôle le plus crucial dans la recherche, par exemple dans le développement de nouveaux polymères ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 10.2 – Les réactions d'addition et de condensation Thème 20.2 – Les techniques de synthèse Option A.5 – Les polymères</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : la synthèse du nylon pourrait être réalisée.

<p>A.9 Les polymères de condensation</p>	<p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none">• Considérer les polymères issus de la chimie verte.
--	---

Idée essentielle : la toxicité et les propriétés cancérigènes des métaux lourds résultent de leur aptitude à former des composés de coordination, à présenter divers états d'oxydation et à agir comme catalyseurs dans l'organisme humain.

A.10 L'impact environnemental : les métaux lourds	
Nature de la science	
Les risques et les problèmes : la recherche scientifique s'exerce souvent en ayant à l'esprit les avantages, mais les risques et les implications doivent également être pris en compte. (4.8)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Des doses toxiques de métaux de transition peuvent perturber l'équilibre oxydation/réduction normal dans les cellules par l'intermédiaire de divers mécanismes. Certaines méthodes d'élimination des métaux lourds sont la précipitation, l'adsorption et la chélation. Les ligands polydentates forment des complexes plus stables que les ligands monodentates similaires en raison de l'effet de chélation, qui peut s'expliquer en considérant les variations d'entropie. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Explication de la manière dont les substances chélatrices peuvent être utilisées pour éliminer les métaux lourds. Déduction du nombre de liaisons de coordination que peut former un ligand avec un ion métallique central. Calculs impliquant K_{ps} en tant qu'application d'élimination des métaux en solution. Comparaison et mise en contraste avec le mécanisme réactionnel de Fenton et Haber-Weiss. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Dans quelle mesure les scientifiques peuvent-ils être tenus pour responsables de l'impact de leurs activités sur la planète ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 9.1 – Les réactions redox Thème 13.2 – Les complexes de métaux de transition Biologie, option C.3 – L'impact de l'être humain sur les écosystèmes</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectifs globaux 1 et 8 : l'étude du traitement des eaux usées. Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure des mesures de la valeur K_{ps}.

<p>A.10 L'impact environnemental : les métaux lourds</p>	<p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none">• L'éthane-1,2-diamine agit comme un ligand bidentate et l'EDTA⁴⁻ comme un ligand hexadentate.• La réaction d'Haber-Weiss produit naturellement des radicaux libres dans les processus biologiques. Les métaux de transition peuvent catalyser la réaction, et la réaction catalysée par le fer (Fenton) est le mécanisme qui produit des radicaux hydroxyles réactifs.• Les valeurs K_{PS} figurent à la section 32 du recueil de données.
--	--

Thèmes du tronc commun

Idée essentielle : les réactions métaboliques impliquent une interaction mutuelle complexe entre de nombreux composants différents dans des milieux étroitement contrôlés.

B.1 Introduction à la biochimie	
Nature de la science	
L'utilisation de données : les systèmes biochimiques impliquent un grand nombre de réactions différentes qui se produisent au même endroit et au même moment. Au fur et à mesure du développement des technologies, on a pu recueillir de plus grandes quantités de données, ce qui a conduit à la découverte de patterns de réactions métaboliques. (3.1)	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> • Les diverses fonctions des molécules biologiques dépendent de leurs structures et de leurs formes. • Les réactions métaboliques se déroulent dans des milieux aqueux étroitement contrôlés. • Les réactions de dégradation s'appellent catabolisme, alors que les réactions de synthèse s'appellent anabolisme. • Les biopolymères sont formés lors de réactions de condensation et ils sont dégradés par des réactions d'hydrolyse. • La photosynthèse est la synthèse de molécules riches en énergie, à partir du dioxyde de carbone et de l'eau, par le biais de l'énergie lumineuse. • La respiration est un ensemble complexe de processus métaboliques apportant de l'énergie aux cellules. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dans l'organisme humain, les réactions métaboliques dépendent de l'apport de nutriments par un régime alimentaire équilibré et régulier. De par le monde, il existe de grandes différences au niveau de l'accès à la nourriture, ce qui a un impact important sur la santé humaine.
Applications et compétences	Utilisation
<ul style="list-style-type: none"> • Explication de la différence entre les réactions de condensation et d'hydrolyse. • Utilisation d'équations abrégées de la photosynthèse et de la respiration pour expliquer l'équilibre potentiel en oxygène et en dioxyde de carbone dans l'atmosphère. 	<ul style="list-style-type: none"> • La biochimie est à la base de l'étude de nombreuses autres matières, notamment la génétique, l'immunologie, la pharmacologie, la nutrition et l'agriculture. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 10.2 – Les réactions S_N (condensation et hydrolyse) Thème 13.2 et Option B.9 – Les complexes métalliques et l'absorption de la lumière Option C.8 – La conjugaison électronique et l'absorption de la lumière</p>

<p>B.1 Introduction à la biochimie</p>	<p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none">• Les produits intermédiaires de la respiration aérobie et de la photosynthèse ne sont pas requis.
---	---

Idée essentielle : les protéines sont les biopolymères les plus diversifiés, responsables du métabolisme et de l'intégrité structurale des organismes vivants.

B.2 Les protéines et les enzymes	
Nature de la science	
La collaboration et l'évaluation par les pairs : plusieurs expériences différentes réalisées sur plusieurs continents ont permis de conclure que c'est l'ADN, et non la protéine comme on l'avait pensé à l'origine, qui transporte les informations héréditaires. (4.4)	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> Les protéines sont des polymères de 2-aminoacides, unis par des liens amide (également connus sous le nom de liaisons peptidiques). Les acides aminés sont amphotères et peuvent exister sous la forme de zwitterions, de cations et d'anions. Les structures protéiques sont variées et elles sont décrites aux niveaux primaire, secondaire, tertiaire et quaternaire. La forme tridimensionnelle d'une protéine détermine son rôle dans les composants structuraux ou dans les processus métaboliques. La plupart des enzymes sont des protéines qui agissent comme catalyseurs en se fixant spécifiquement à un substrat au niveau du site actif. Comme l'activité enzymatique dépend de la conformation, elle est sensible aux variations de température et de pH, ainsi qu'à la présence d'ions de métaux lourds. La séparation par chromatographie repose sur différents principes physiques et chimiques. 	<ul style="list-style-type: none"> « The Universal Protein Resource (UniProt) » est un consortium d'instituts de bioinformatique. Sa mission consiste à agir en tant que ressource pour la communauté scientifique en fournissant des données détaillées de haute qualité, en libre accès, à propos de la séquence protéique et des informations fonctionnelles. <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> De nombreux matériaux synthétiques sont des polyamides. Des exemples en sont le nylon et le Kevlar®. L'électrophorèse est utilisée dans certains tests médicaux diagnostiques pour identifier un taux inhabituel de protéines dans le sérum sanguin ou dans les urines. L'insuline a été la première protéine à avoir été séquencée par Frederick Sanger en 1951, dans le cadre d'une recherche qui a pris plus de dix ans. De nos jours, le séquençage protéique est un processus de routine très efficace ; il constitue la plus grande partie de l'étude connue sous le nom de protéomique. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 8.3 et 18.2 – Le pH et les valeurs pK_a et pK_b Thème 20.3 – La stéréoisométrie Option A.9 – Les polymères de condensation Option B.9 – La chromatographie Biologie, thèmes 2.4, 2.5 et 8.1 – Les protéines et les enzymes</p>
Applications et compétences	
<ul style="list-style-type: none"> Déduction des formules structurales des réactifs et des produits dans les réactions de condensation des acides aminés, et dans les réactions d'hydrolyse des peptides. 	

B.2 Les protéines et les enzymes	
<ul style="list-style-type: none"> Explication des solubilités et des points de fusion des acides aminés en termes de zwitterions. Application des relations entre la charge, le pH et le point isoélectrique pour les acides aminés et les protéines. Description des quatre niveaux de la structure des protéines, y compris l'origine et les types de liaison et d'interaction impliqués. Déduction et interprétation de graphiques de l'activité enzymatique, impliquant des variations de la concentration du substrat, du pH et de la température. Explication des processus de chromatographie sur papier et d'électrophorèse sur gel dans la séparation et l'identification des acides aminés et des protéines. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Les noms et les formules structurales des acides aminés figurent à la section 33 du recueil de données. Il est nécessaire de faire référence à l'hélice α et aux feuillets plissés β, ainsi qu'aux protéines fibreuses et globulaires, en citant des exemples dans chaque cas. En ce qui concerne la chromatographie sur papier, l'utilisation des valeurs R_f et d'agents de repérage doit être étudiée. En cinétique enzymatique, K_m et V_{max} ne sont pas requis. 	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : les expériences pourraient impliquer l'hydrolyse d'une protéine, la séparation et l'identification de mélanges d'acides aminés par chromatographie sur papier, ou l'électrophorèse sur gel de protéines et d'ADN. Objectif global 7 : effectuer des expériences avec acquisition de données impliquant des études sur l'absorption / la concentration en protéines, en utilisant le réactif de Biuret. Objectif 7 : des simulations peuvent être utilisées pour l'électrophorèse sur gel.

Idee essentielle : les lipides forment un grand groupe de biomolécules généralement apolaires et, de ce fait, insolubles dans l'eau.

B.3 Les lipides	
Nature de la science	
L'importance d'expliquer les sciences au public : les études à long terme nous ont permis d'acquérir des connaissances sur les effets négatifs des régimes alimentaires riches en graisses saturées, en cholestérol et en graisses <i>trans</i> . Cela a conduit à de nouveaux produits alimentaires. (5.2)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les graisses sont plus réduites que les glucides et elles dégagent donc plus d'énergie lorsqu'elles sont oxydées. Les triglycérides sont produits par condensation du glycérol avec trois acides gras et ils contiennent des liens ester. Les acides gras peuvent être saturés, monoinsaturés ou polyinsaturés. Les phospholipides sont des dérivés des triglycérides. L'hydrolyse des triglycérides et des phospholipides peut se produire sous l'effet d'enzymes ou bien dans des conditions alcalines ou acides. Les stéroïdes ont une structure en cycles accolés, que l'on appelle structure stéroïdique. Les lipides jouent le rôle de composants structuraux des membranes cellulaires, de réserves d'énergie, d'isolant thermique et électrique, de transporteurs de vitamines solubles dans les lipides et d'hormones. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Déduction des formules structurales des réactifs et des produits dans les réactions de condensation et d'hydrolyse entre le glycérol et les acides gras et/ou le phosphate. Prédiction des points de fusion relatifs des graisses et des huiles d'après leurs structures. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Au niveau mondial, il existe d'importantes différences culturelles au niveau des sources alimentaires de lipides et des méthodes utilisées pour prévenir le rancissement <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Différents pays ont des normes variables en matière d'étiquetage des aliments. L'accès aux informations est-il un droit humain ? Quelles connaissances devraient être universellement disponibles ? Quelles sont les diverses responsabilités du gouvernement, de l'industrie, de la profession médicale et de l'individu en ce qui concerne le choix d'un régime alimentaire sain ? Les organismes publics peuvent protéger les individus mais ils limitent également leur liberté. Comment pouvons-nous savoir ce qui est le mieux pour la société et pour l'individu ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> L'hydrolyse alcaline des graisses, appelée saponification, est utilisée dans le processus de fabrication du savon. L'abus de stéroïdes, surtout dans le monde du sport, et les méthodes de détection. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 10.1 et 10.2 – Les groupements fonctionnels, l'hydrogénation des alcènes Thème 10.2 – Les mécanismes des radicaux libres Thème 20.3 – L'isomérisation configurationnelle Biologie, thème 2.3 – Les lipides</p>

<p>B.3 Les lipides</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comparaison des processus de rancissement hydrolytique et oxydatif dans les graisses, au niveau du site de réactivité dans les molécules et les conditions qui favorisent la réaction. • Application du concept d'indice d'iode pour déterminer l'insaturation d'une graisse. • Comparaison des glucides et des lipides en tant que molécules de réserve d'énergie en ce qui concerne leur solubilité et leur densité énergétique. • Discussion de l'impact des lipides sur la santé, y compris les rôles du cholestérol HDL et LDL alimentaire, des graisses saturées, insaturées et <i>trans</i>, et l'utilisation et l'abus de stéroïdes. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les structures de certains acides gras figurent à la section 34 du recueil de données. • Des exemples spécifiques de graisses et d'huiles ne doivent pas être connus. • Les différences structurales entre les acides gras <i>cis</i>- et les acides gras <i>trans</i> ne sont pas requises.
<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure le calcul de l'indice d'iode en vue de mesurer le degré d'insaturation, des expériences calorimétriques portant sur diverses graisses et huiles, ou la séparation de lipides provenant de sources alimentaires courantes en utilisant des solvants différents et une ampoule à décanter. 	

Idée essentielle : les glucides sont des biomolécules riches en oxygène, qui jouent un rôle central dans les réactions métaboliques de transfert d'énergie.

B.4 Les glucides	
Nature de la science	
<p>La construction de modèles et de représentations : il est crucial de comprendre la stéréochimie des glucides pour comprendre leurs rôles structuraux dans les cellules. Les projections d'Haworth aident à se concentrer sur la nature et la position des groupements fixés en rendant le carbone et l'hydrogène implicites. (1.10)</p> <p>L'obtention de preuves pour les théories scientifiques : la considération du rôle structural des glucides. (1.8)</p>	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> • La formule générale des glucides est $(C_x(H_2O)_y)$ • Les projections d'Haworth représentent les structures cycliques des monosaccharides. • Les monosaccharides contiennent soit un groupe aldéhyde (aldose), soit un groupe cétone (cétose) et plusieurs groupes $-OH$. • En solution, les sucres à chaîne linéaire forment un cycle contenant une liaison éther. • Des liaisons glycosidiques se forment entre les monosaccharides et donnent ainsi des disaccharides et des polysaccharides. • Les glucides servent à la fois de sources et de réserves d'énergie. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Déduction des formules structurales de disaccharides et de polysaccharides à partir de monosaccharides donnés. • Relation entre les propriétés et les fonctions des monosaccharides et des polysaccharides et leurs structures chimiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le sucre est une importante denrée internationale qui est produite dans quelque 130 pays différents. Les trois-quarts approximativement de la production proviennent de la canne à sucre dans les régions tropicales et subtropicales, et le reste, de la betterave sucrière, qui se cultive sous des climats tempérés. • Le diabète est une maladie chronique qui se produit quand l'organisme ne peut pas contrôler la glycémie efficacement, en raison d'une production insuffisante d'insuline ou de son mauvais fonctionnement. L'Organisation mondiale de la santé estime que le nombre de décès dus au diabète doublera entre 2005 et 2030. • L'intolérance au lactose est un trouble dans lequel l'individu ne peut pas digérer le lactose, le sucre présent dans le lait et les produits laitiers. Elle découle du fait que l'organisme ne peut pas produire un taux suffisant de lactase, l'enzyme qui hydrolyse le lactose en glucose et galactose. Globalement, l'intolérance au lactose est la norme, ce qui illustre la prépondérance de la pensée occidentale en science.

<p>B.4 Les glucides</p>	<p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les formes à chaîne linéaire et à cycle α du glucose et du fructose figurent à la section 34 du recueil de données. • Les constituants monosaccharidiques de disaccharides spécifiques et les détails ayant trait aux liaisons présentes dans les polysaccharides ne sont pas requis. • La distinction entre les formes α et β et la structure de la cellulose ne sont pas requises. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'utilisation d'aspartame comme édulcorant est depuis de nombreuses années un sujet de controverse, car ses effets secondaires n'ont pas encore été entièrement élucidés. Les scientifiques devraient-ils être considérés comme moralement responsables, des conséquences négatives de leurs travaux ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les glucides sont utilisés dans l'industrie pharmaceutique pour lier des préparations et en faire des comprimés. • L'éthanol est produit en tant que biocombustible à partir de la fermentation des glucides dans des cultures, telles que le blé ou la canne à sucre. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 10.1 et 10.2 – Les groupements fonctionnels organiques Thème 20.1 – Les réactions organiques Thème 20.3 – la stéréoisométrie Option C.4 – Les biocombustibles Biologie, thème 2.3 – Les glucides</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure l'utilisation de tests avec la solution de Benedict ou la liqueur de Fehling pour faire la distinction entre les sucres réducteurs et les sucres non réducteurs, ou l'utilisation d'une solution iodée pour détecter la présence éventuelle d'amidon. • Objectif global 8 : la production de biocombustibles à partir de cultures soulève de nombreuses questions en raison des problèmes qui y sont associés, tels que la déforestation, l'érosion des sols et la durabilité. Le débat sur le thème « des aliments ou des combustibles » se réfère aux controverses découlant de développements qui remplacent les cultures agricoles par la production de biocombustibles.
--------------------------------	--	---

Idée essentielle : les vitamines sont des micronutriments organiques ayant des fonctions variées et qui doivent être obtenus du régime alimentaire.

B.5 Les vitamines	
Nature de la science	
La formulation d'observations et l'évaluation d'assertions : la découverte des vitamines (<i>amines vitales</i>) constitue un exemple dans lequel les scientifiques cherchent une cause à des observations spécifiques. Elle a permis d'expliquer des maladies de carence (par exemple, le scorbut et le béri-béri). (1.8)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les vitamines sont des micronutriments organiques qui (pour la plupart) ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme et qui doivent donc être apportés par des sources alimentaires adéquates. La solubilité (dans l'eau ou les lipides) d'une vitamine peut être prédite à partir de sa structure. La plupart des vitamines sont sensibles à la chaleur. Les carences en vitamines dans le régime alimentaire causent des maladies particulières qui affectent des millions d'individus dans le monde entier. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Comparaison des structures des vitamines A, C et D. Discussion des causes et des effets des carences en vitamines dans divers pays et suggestion de solutions. <p>Lignes directrices</p> <ul style="list-style-type: none"> Les structures des vitamines A, C et D figurent à la section 35 du recueil de données. Des sources alimentaires de vitamines spécifiques ou les noms de maladies de carence n'ont pas besoin d'être appris. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> L'industrie des compléments alimentaires, en particulier la vente de comprimés de vitamines, est devenue très lucrative dans de nombreux pays. La carence en vitamine D est en hausse, en partie parce que la peau est de plus en plus protégée contre la lumière du soleil. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Quelles sont les considérations éthiques en rapport avec l'addition de compléments dans les aliments couramment consommés, telle l'addition de fluor dans l'eau ou d'iode dans le sel ? Les organismes publics peuvent protéger les individus, mais ils limitent également leur liberté. Comment pouvons-nous savoir ce qui convient le mieux à la société et à l'individu ? Linus Pauling est le seul homme ayant obtenu deux Prix Nobel à titre individuel. Sa revendication selon laquelle des suppléments de vitamine C pouvaient empêcher des maladies comme le rhume a conduit à leur utilisation à grande échelle. Quel est le rôle des autorités au niveau de la communication au public de connaissances scientifiques ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 4.1, 4.2 et 4.3 – La structure et les propriétés physiques Thème 10.1 – Les groupements fonctionnels organiques Thème 20.3 – L'isomérisation configurationnelle Biologie, option D.2 – La nutrition et la santé humaine</p>

B.5 Les vitamines	<p data-bbox="277 913 304 1115">Objectifs globaux</p> <ul data-bbox="325 264 408 1115" style="list-style-type: none"><li data-bbox="325 264 408 1115">• Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure la détermination de la teneur en vitamine C des aliments en utilisant du dichlorophénolindophénol (DCPIP).
-------------------	---

Idée essentielle : l'essor de nos connaissances en biochimie a créé plusieurs problèmes écologiques, tout en aidant à en résoudre d'autres.

B.6 La biochimie et l'environnement	
Nature de la science	
L'évaluation des risques, la collaboration, les considérations éthiques : les scientifiques doivent tenir compte de l'impact négatif que les produits de leur recherche et leurs découvertes peuvent avoir sur l'environnement, et trouver des moyens d'y remédier. Par exemple, l'utilisation d'enzymes dans les détergents biologiques pour lutter contre les déversements accidentels de pétrole, et en chimie verte en général. (4.8)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Par « xénobiotiques », on entend des produits chimiques que l'on trouve dans un organisme où ils ne sont pas normalement présents. Les matières plastiques biodégradables/compostables peuvent être consommées ou dégradées par des bactéries ou par d'autres organismes vivants. La chimie hôte-invité implique la création de molécules hôtes synthétiques qui imitent certaines des actions effectuées par les enzymes dans les cellules, en se liant sélectivement à des espèces invitées spécifiques, telles que des matières toxiques de l'environnement. Les enzymes ont été développées pour lutter contre le déversement accidentel de pétrole et contre d'autres déchets industriels. Les enzymes présents dans les détergents biologiques peuvent améliorer le rendement énergétique en permettant un nettoyage efficace à des températures plus basses. La biomagnification est l'augmentation de la concentration d'une substance dans une chaîne alimentaire. La chimie verte, également appelée chimie durable, est une approche de la recherche chimique et de l'ingénierie qui cherche à minimiser la production de substances dangereuses et leur rejet dans l'environnement. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Le terme chimie verte a été inventé en 1991 et l'acceptation de sa philosophie a conduit à des développements en matière d'éducation et de législation dans de nombreux pays. L'utilisation du pesticide DDT est interdite dans presque tous les pays, en raison de ses effets toxiques et de la biomagnification. On continue toutefois à l'utiliser dans les pays où le paludisme reste un problème important de santé publique. <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 4.4 – Les forces intermoléculaires Thème 10.1 – Les composés organiques naturels et synthétiques Options A.5 et A.7 – L'impact des matières plastiques sur l'environnement Option D.2 – Les antibiotiques</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure la comparaison de la dégradation des matières plastiques biodégradables et non biodégradables dans l'environnement. Objectif global 6 : l'évaluation des risques, y compris les risques pour l'environnement, est une partie essentielle de tous les travaux expérimentaux.

<p>B.6 La biochimie et l'environnement</p>	<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Discussion du problème croissant des xénobiotiques tels que les antibiotiques dans les stations d'épuration des eaux usées. • Description du rôle de l'amidon dans les matières plastiques biodégradables. • Application de la chimie hôte-invité à l'élimination d'un polluant spécifique dans l'environnement. • Description d'un exemple de biomagnification, en citant la source chimique de la substance. Les exemples pourraient inclure les métaux lourds ou les pesticides. • Discussion des problèmes et des critères pour évaluer « le caractère vert » d'une substance utilisée en recherche biochimique, y compris l'économie d'atomes. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • On ne s'attend pas à ce que les noms spécifiques des « produits chimiques verts », tels que les solvants, soient cités. • Les explications sur la chimie hôte-invité doivent porter sur les liaisons non covalentes dans la supramolécule.
	<ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : le développement de la chimie verte a sensibilisé les individus en matière d'implications écologiques et éthiques de l'utilisation des sciences et des technologies.

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

Idee essentielle : les analyses de l'activité et de la concentration des protéines sont des domaines-clés en recherche biochimique.

B.7 Les protéines et les enzymes	
<p>Nature de la science</p> <p>Les théories peuvent être remplacées : l'hypothèse de la « clé et de la serrure » dans le modèle de « l'ajustement induit » pour les enzymes. (1.9)</p> <p>La collaboration et les considérations éthiques : les scientifiques collaborent pour synthétiser de nouvelles enzymes et pour contrôler les réactions d'intérêt (par exemple, le contrôle des déchets). (4.5)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les inhibiteurs jouent un rôle important au niveau de la régulation des activités des enzymes. Les acides aminés et les protéines peuvent jouer le rôle de tampons en solution. Les dosages protéiques utilisent couramment la spectroscopie dans le visible et l'ultraviolet (UV-Vis) et une courbe d'étalonnage reposant sur des étalons connus. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Les technologies reposant sur l'activité des enzymes remontent aux temps anciens dans de nombreuses régions du monde. Les activités brassicoles et la fabrication du fromage sont souvent associées à des noms de lieux particuliers. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Le terme « clé et serrure » est une métaphore efficace, mais le modèle « d'ajustement induit » est un meilleur modèle. Comment les métaphores et les modèles sont-ils utilisés dans la construction des connaissances ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Les enzymes sont largement utilisées dans des applications industrielles et domestiques. Citons, comme exemples, les détergents biologiques, les textiles, les aliments et les boissons, et les matières plastiques biodégradables. Les progrès réalisés en ingénierie protéique ont conduit à la synthèse des enzymes qui sont efficaces dans un large éventail de conditions. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 6.1 – La cinétique chimique Thèmes 8.1, 8.3 et 8.4 – L'échelle de pH et les acides et les bases conjugués Thèmes 18.2 et 18.3 – Les calculs acide-base et les courbes de pH</p>
<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Détermination de la réaction maximum V_{max} et de la valeur de la constante de Michaelis K_m pour une enzyme par le biais de moyens graphiques, et explication de sa signification. Comparaison de l'inhibition compétitive et non compétitive des enzymes en ce qui concerne la structure protéique, le site actif et le site allostérique. Explication du concept d'inhibition par le produit (rétroinhibition) dans les voies métaboliques. Calcul du pH des solutions tampons, telles que celles utilisées dans l'analyse des protéines et dans les réactions impliquant des acides aminés en solution. Détermination de la concentration d'une protéine en solution à partir d'une courbe d'étalonnage et en appliquant la loi de Beer-Lambert. 	

B.7 Les protéines et les enzymes	
<p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les effets des inhibiteurs compétitifs et non compétitifs sur les valeurs K_m et V_{max} doivent être étudiés. • L'équation d'Henderson-Hasselbalch figure à la section 1 du recueil de données. • En ce qui concerne la spectroscopie UV-vis, il n'est pas nécessaire de connaître des réactifs et des longueurs d'onde particuliers. 	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : les expériences peuvent inclure la mesure de l'activité enzymatique en faisant varier la température, le pH et la concentration en ions de métaux lourds. • Objectif global 7 : expériences pour enregistrement de données à l'aide de sondes de température et de pH, pour analyser l'activité enzymatique dans diverses conditions ; modélisation informatique d'interactions enzyme-substrat. • Objectif global 8 : de nombreuses techniques enzymatiques aident à réduire les effets des produits chimiques sur l'environnement, par exemple dans le cas des industries du cuir, du papier et du pétrole.

Idée essentielle : l'ADN est le matériau génétique qui s'exprime en contrôlant la synthèse des protéines par la cellule.

<p>B.8 Les acides nucléiques</p> <p>Nature de la science</p> <p>La méthode scientifique : la découverte de la structure de l'ADN est un bon exemple d'approche multidisciplinaire dans la résolution d'un même problème. Les scientifiques ont utilisé des modèles et des expériences faisant appel à la diffraction des rayons X pour développer la structure de l'ADN. (1.3)</p> <p>Les développements en recherche scientifique succèdent aux améliorations des instruments. La double hélice découlant de la diffraction des rayons X fournit une explication des fonctions connues de l'ADN. (3.7)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les nucléotides sont les produits de condensation d'un sucre pentose, de l'acide phosphorique et d'une base azotée : l'adénine (A), la guanine (G), la cytosine (C), la thymine (T) ou l'uracile (U). • Les polynucléotides sont formés lors de réactions de condensation. • L'ADN est une double hélice à deux brins de polynucléotides fixés entre eux par des liaisons hydrogène. • L'ARN est généralement sous la forme d'une simple chaîne de polynucléotides dans laquelle la base uracile est remplacée par la thymine, et le sucre ribose par le désoxyribose. • Dans l'ADN, la séquence des bases détermine la structure primaire des protéines synthétisées par la cellule, à partir d'un code basé sur des triplets, connu sous le nom de code génétique, un code universel. • Les organismes génétiquement modifiés contiennent du matériel génétique qui a été modifié par des techniques de génie génétique, qui impliquent le transfert d'ADN entre espèces. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le projet du génome humain était un programme de recherche international qui avait pour but de compléter la carte et le séquençage de tous les gènes du génome humain. • Les politiques d'étiquetage des aliments génétiquement modifiés (GM) varient énormément d'un pays à l'autre. • Presque tous les organismes génétiquement modifiés sont protégés par des brevets internationaux. Quel effet cela a-t-il sur l'économie mondiale et la communauté scientifique ? <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'ADN mémorise des informations mais non des connaissances. • Quelles sont les différences entre informations et connaissances ? • Le Prix Nobel de Physiologie ou de Médecine a été attribué en 1962 à Crick, Watson et Wilkins « pour leurs découvertes concernant la structure moléculaire des acides nucléiques et sa signification en matière de transfert d'informations dans la matière vivante ». Quel est le rôle de la collaboration en matière d'approfondissement des connaissances ?

B.8 Les acides nucléiques	
<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'explication de la stabilité de l'ADN, en termes d'interactions entre les composants hydrophiles et hydrophobes. • L'explication de l'origine de la charge négative sur l'ADN et son association avec les protéines basiques (histones) dans les chromosomes. • La déduction de la séquence des nucléotides dans un brin complémentaire d'ADN ou dans une molécule d'ARN, à partir d'une séquence de polynucléotides. • L'explication du fait que l'appariement complémentaire entre bases permet à l'ADN de se répliquer exactement. • La discussion des avantages de la consommation d'aliments génétiquement modifiés et des inquiétudes qu'elle soulève. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les structures des bases azotées et des sucres ribose et désoxyribose figurent à la section 34 du recueil de données. • Il n'est pas nécessaire de connaître les différentes formes d'ARN. • Il n'est pas nécessaire de connaître en détail le processus de réplication de l'ADN. • Limiter l'expression de l'ADN au concept d'un code à quatre bases azotées qui détermine une séquence de vingt acides aminés. Les détails de la transcription et de la translation ne sont pas requis. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'existence de bases de données concernant l'ADN soulève des questions au sujet de la protection de la vie privée et du droit du gouvernement d'accéder à des informations personnelles. Qui a le droit d'accéder aux informations sur l'ADN d'un individu ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • La connaissance du séquençage de l'ADN a transformé plusieurs aspects juridiques, notamment en médecine légale et dans les cas d'exclusion de paternité. Elle est également largement utilisée dans des études généalogiques et sur la migration humaine. • Le séquençage de l'ADN est un aspect important de l'étude de l'évolution biochimique. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 4.4 – La liaison hydrogène, les interactions intermoléculaires Thème 8.1 – Les interactions acide-base Biologie, thèmes 2.6 et 7.1 – La structure de l'ADN et de l'ARN</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 5 : l'histoire de la rivalité entre les diverses équipes impliquées dans l'élucidation de la structure de l'ADN durant les années 1950 est un exemple d'échec de collaboration et de communication efficaces dans les activités scientifiques. • Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure l'extraction d'ADN de cellules et l'examen de ses propriétés physiques, et des exercices de modélisation de la structure de l'ADN, entre autres les appariements de bases spécifiques entre une purine et une pyrimidine. • Objectif global 7 : il existe des bases de données de séquences génétiques relatives à divers organismes. • Objectif global 8 : notre connaissance du génome humain a soulevé de nombreuses questions éthiques, notamment sur le clonage, le génie génétique, la thérapie génique, etc.

Idée essentielle : les pigments biologiques incluent une variété de structures chimiques ayant diverses fonctions et qui absorbent des longueurs d'ondes spécifiques de la lumière.

B.9 Les pigments biologiques	
Nature de la science	
L'utilisation de données : les mesures quantitatives de l'absorbance sont un moyen fiable de communiquer des données reposant sur la couleur, qui étaient auparavant subjectives et difficiles à reproduire. (3.1)	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> • Les pigments biologiques sont des composés colorés produits par métabolisme. • La couleur des pigments est due à des systèmes hautement conjugués d'électrons délocalisés, qui ont des bandes d'absorption intenses dans la région visible. • Les composés porphyriniques, tels que l'hémoglobine, la myoglobine, la chlorophylle et de nombreux cytochromes sont des chélates de métaux avec de volumineux ligands macrocycliques contenant de l'azote. • L'hémoglobine et la myoglobine contiennent des groupements appelés hème, le groupement porphyrine étant lié à un ion fer(II). • Les cytochromes contiennent des groupements hème dans lesquels il se produit une interconversion entre le fer(II) et le fer(III) au cours de réactions redox. • Les anthocyanines sont des pigments aromatiques hydrosolubles largement distribués dans les végétaux. Leur couleur spécifique dépend de la nature des ions métalliques et du pH. • Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles, et ils interviennent au niveau de l'absorption de lumière dans la photosynthèse. Ils sont sensibles à l'oxydation, catalysée par la lumière. 	<ul style="list-style-type: none"> • Des colorants artificiels sont souvent ajoutés durant la préparation et le traitement des aliments destinés au commerce. La liste des colorants alimentaires approuvés varie énormément d'un pays à l'autre, ce qui pose problème pour le commerce international. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les expériences montrent que notre appréciation des aliments repose sur une interaction entre nos sens. Comment nos sens interagissent-ils pour nous apporter des connaissances empiriques au sujet du monde ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les différentes couleurs de la peau, des yeux et des cheveux sont dues à des différences de concentration du pigment mélanine. • Les individus dont les ancêtres vivent depuis plusieurs générations à haute altitude ont développé une hémoglobine à plus forte affinité pour l'oxygène. • La couleur rouge violacé de la viande est largement causée par la présence de myoglobine. La couleur vire au marron à la cuisson lorsque l'ion fer est oxydé en Fe³⁺.

B.9 Les pigments biologiques	
<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explication de la forme sigmoïdale de la courbe de dissociation de l'oxygène de l'hémoglobine en termes de liaison entre l'hémoglobine et l'oxygène. • Discussion des facteurs qui influencent la saturation en oxygène de l'hémoglobine, entre autres la température, le pH et le dioxyde de carbone. • Description de la plus grande affinité de l'oxygène pour l'hémoglobine fœtale. • Explication de l'action du monoxyde de carbone comme inhibiteur compétitif de la liaison à l'oxygène. • Description sommaire des facteurs qui affectent la stabilité des anthocyanines, des caroténoïdes et de la chlorophylle au niveau de leurs structures. • Explication de l'aptitude qu'ont les anthocyanines à agir en tant qu'indicateurs, selon leur sensibilité au pH. • Description de la fonction des pigments photosynthétiques au niveau de la capture de l'énergie lumineuse durant la photosynthèse. • Examen de pigments par le biais de la chromatographie sur papier et sur couche mince. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les structures de la chlorophylle, de l'hème B et des exemples spécifiques d'anthocyanines et de caroténoïdes figurent à la section 35 du recueil de données ; les détails des noms et des structures d'autres pigments ne sont pas requis. • L'explication de la liaison entre l'hémoglobine et l'oxygène doit se limiter aux changements conformationnels se produisant dans un polypeptide quand il se lie à l'oxygène. • Il n'est pas nécessaire de connaître les virages de couleur spécifiques lorsque les conditions sont modifiées. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les anthocyanines et les caroténoïdes fournissent des signaux visibles aux végétaux pour qu'ils attirent les insectes et les oiseaux en vue de la pollinisation et de la dispersion des graines. Ils protègent également les végétaux contre les dégâts causés par la lumière UV. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 8.2 – Les indicateurs Thème 13.2 – Les ions complexes Option C.8 – La conjugaison électronique et les cellules solaires sensibilisées par teinture.</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure l'extraction et la séparation de pigments à partir de sources végétales par des solvants, à l'aide d'une ampoule à décanter, ou l'utilisation d'anthocyanines à titre d'indicateurs de pH. • Objectif global 7 : l'utilisation d'enregistreurs de données pour recueillir des données sur l'absorption.

Idée essentielle : la majorité des processus biochimiques sont stéréospécifiques et n'impliquent que des molécules ayant une certaine configuration des atomes de carbone chiraux.

B.10 La stéréochimie dans les biomolécules	
Nature de la science	
<p>Les théories utilisées pour expliquer les phénomènes naturels et évaluer des assertions : la biochimie implique de nombreuses molécules chirales dont l'activité biologique est spécifique d'un énantiomère. Dans un milieu chiral, les réactions chimiques permettent d'opérer la distinction entre la matière vivante et la matière inerte. (2.2)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • À une exception près, les acides aminés sont chiraux et seule la configuration L est représentée dans les protéines. • Les graisses insaturées d'origine naturelle se présentent principalement sous la forme <i>cis</i> mais le traitement des aliments peut convertir cette forme en forme <i>trans</i>. • Les stéréoisomères des sucres D et L font référence à la configuration de l'atome de carbone chiral le plus éloigné du groupement aldéhyde ou cétone, et les formes D se trouvent plus fréquemment dans la nature. • Les formes cycliques de sucres ont des isomères, connus comme α et β, selon que le groupement hydroxyle au niveau du carbone 1 (glucose) ou du carbone 2 (fructose) se situe en-dessous (α) ou au-dessus du plan de l'anneau (β). • La chimie de la vision implique l'interconversion photo-activée des isomères <i>cis</i> et <i>trans</i> du rétinol. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Description de l'hydrogénation et de l'hydrogénation partielle des graisses insaturées, notamment la production de graisses <i>trans</i>, et une discussion des avantages et des inconvénients de ces processus. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les normes d'étiquetage des aliments varient fortement d'un pays à l'autre en ce qui concerne l'indication de la teneur en produits chimiques et du type de graisses qu'ils contiennent. <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Thème 10.1 – Les groupements fonctionnels organiques Thème 20.1 – Les réactions organiques Thème 20.3 – La stéréoisométrie Option A.4 – Les forces intermoléculaires / de London</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : l'utilisation de graisses <i>trans</i>, en particulier dans l'industrie de la restauration rapide, soulève des questions d'ordre éthique.

B.10 La stéréochimie dans les biomolécules

- Explication de la structure et des propriétés de la cellulose, et comparaison avec l'amidon.
 - Discussion de l'importance de la cellulose en tant que matière structurale et dans le régime alimentaire.
 - Description sommaire du rôle de la vitamine A dans la vision, y compris les rôles de l'opsine, de la rhodopsine et des isomères *cis*- et *trans*- du rétinol.
- Directives et informations supplémentaires**
- Les noms des enzymes intervenant dans le processus de la vision ne sont pas requis.
 - Les points de fusion relatifs des graisses saturées et *cis*- /-*trans* insaturées doivent être étudiés.

Thèmes du tronc commun

Idee essentielle : les sociétés dépendent entièrement des ressources énergétiques. La quantité d'énergie est conservée dans toute conversion, mais la qualité est dégradée.

C.1 Les sources d'énergie	
<p>Nature de la science</p> <p>L'utilisation de théories pour expliquer les phénomènes naturels : les changements énergétiques dans le monde qui nous entoure résultent de variations d'énergie potentielle et l'énergie cinétique au niveau moléculaire.</p> <p>On peut parler à la fois de la quantité d'énergie et de la qualité de l'énergie. (2.2)</p>	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> L'Agence internationale de l'énergie (AIE) est une organisation autonome opérant à Paris dont la tâche consiste à assurer une énergie fiable, abordable et propre pour ses 28 pays membres ainsi que pour d'autres pays. L'Agence internationale des énergies renouvelables (l'acronyme anglais IRENA a été conservé en français) (opérant à Abou Dhabi, Émirats arabes unis, a été fondée en 2009 pour promouvoir l'adoption et l'utilisation de sources d'énergie renouvelables (bioénergie, énergie géothermique, énergie hydroélectrique, énergie marine, énergie solaire et énergie éolienne). <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> « Je suis persuadé que nous parviendrons à dompter l'énergie solaire. Si les rayons solaires étaient des armes de guerre, cela fait des siècles et des siècles que nous aurions de l'énergie solaire. » (Lord George Porter). En quoi les facteurs sociaux, politiques, culturels et religieux pourraient-ils affecter les types de recherche qui sont financés et entrepris, ou bien rejetés ? La production d'énergie et ses contributions conséquentes à la pollution et aux changements climatiques soulèvent de nombreuses questions d'ordre éthique. Quelle influence la pression politique a-t-elle sur les différents domaines de la connaissance ?
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Une source d'énergie utile libère de l'énergie à un taux raisonnable, tout en produisant le moins de pollution possible. La qualité de l'énergie se dégrade au fur et à mesure que de la chaleur est transférée dans le milieu environnant. L'énergie et les matières passent d'une forme concentrée à une forme dispersée. La quantité d'énergie disponible pour effectuer un travail diminue. Les sources d'énergie renouvelables sont naturellement réapprovisionnées. Les sources énergétiques non renouvelables existent en quantités finies. Densité d'énergie = $\frac{\text{énergie produite par un combustible}}{\text{volume de combustible consommé}}$. Énergie spécifique = $\frac{\text{énergie produite par un combustible}}{\text{volume de combustible consommé}}$. L'efficacité d'un transfert d'énergie = $\frac{\text{énergie de sortie utile}}{\text{énergie d'entrée totale}} \times 100 \%$. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Discussion de l'utilisation de différentes sources d'énergie renouvelable et non renouvelable. 	

C.1 Les sources d'énergie	
<ul style="list-style-type: none"> • Détermination de l'énergie volumique et de l'énergie spécifique d'un combustible à partir des enthalpies de combustion, des densités et de la masse molaire du combustible. • Discussion sur la manière dont le choix d'un combustible est influencée par son énergie volumique ou son énergie spécifique. • Détermination de l'efficacité d'un processus de transfert d'énergie à partir de données appropriées. • Discussion des avantages et des inconvénients de différentes sources d'énergie dans C.2 à C.8. 	<p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 5.1 – Les enthalpies de combustion Thème 10.2 – La combustion des hydrocarbures Systèmes de l'environnement et sociétés, thèmes 3.2, 3.3, 3.5 et 3.6 Physique, thème 8.1 – L'énergie volumique</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 1 : des discussions des sources d'énergie possibles fournissent des opportunités pour l'étude scientifique et la créativité dans un contexte mondial. • Objectif global 6 : l'énergie volumique de divers combustibles pourrait être étudiée expérimentalement. • Objectif global 7 : des bases de données de statistiques énergétiques à l'échelle mondiale et nationale peuvent être explorées ici. • Objectif global 8 : la production d'énergie a des dimensions économiques et écologiques mondiales. Les choix faits dans ce domaine ont des implications d'ordre moral et éthique.

Idée essentielle : l'énergie des combustibles fossiles a pour origine l'énergie solaire qui a été stockée au fil du temps par des processus chimiques. Ces ressources abondantes sont non renouvelables mais elles apportent de l'énergie en grandes quantités en raison de la nature des liaisons chimiques présentes dans les hydrocarbures.

C.2 Les combustibles fossiles	
Nature de la science	
La communauté scientifique et la collaboration : l'utilisation des combustibles fossiles a joué un rôle-clé dans le développement des sciences et des technologies. (4.1)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les combustibles fossiles ont été formés par la réduction de composés biologiques qui contiennent du carbone, de l'hydrogène, de l'azote, du soufre et de l'oxygène. • Le pétrole est un mélange complexe d'hydrocarbures qui peuvent être séparés par distillation fractionnée en diverses parties constituantes appelées fractions. • Le pétrole brut doit être raffiné avant d'être utilisé. Les différentes fractions sont séparées par le procédé physique de distillation fractionnée. • La tendance à l'auto-ignition d'un combustible, qui provoque un « cliquetis » dans le moteur d'une voiture, est liée à la structure moléculaire ; elle est mesurée par l'indice d'octane. • La performance des hydrocarbures en qualité de combustibles est améliorée par le craquage et le reformage catalytique. • La gazéification et la liquéfaction du charbon sont des procédés chimiques qui convertissent le charbon en hydrocarbures gazeux et liquides. • L'empreinte carbone est la quantité totale de gaz à effet de serre produite au cours des activités humaines. Elle s'exprime, en général, en tonnes équivalentes de dioxyde de carbone. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le choix du combustible fossile utilisé dans différents pays dépend de sa disponibilité ainsi que de facteurs économiques, sociaux, écologiques et technologiques. • Des systèmes différents de mesure de l'indice d'octane (RON, MON ou PON) sont utilisés, selon les pays. • Le forage en mer, les oléoducs et les déversements accidentels de pétrole sont des circonstances qui exigent la coopération et l'approbation à l'échelle internationale. <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 5.1 et 5.3 – Les variations d'enthalpie de combustion Thèmes 10.1 et 20.3 – Les hydrocarbures et l'isomérisme Thème 10.2 et option C.5 – Le réchauffement de la planète Option C.8 – Les piles solaires Biologie, thème 4.3 – Le cycle du carbone</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : les expériences possibles incluent la distillation fractionnée et les réactions de craquage catalytique.

C.2 Les combustibles fossiles	
<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Discussion de l'effet de la longueur de la chaîne et des ramifications de chaîne sur l'indice d'octane. • Discussion sur les réactions de reformage et de craquage des hydrocarbures ; et explication de la manière dont ces procédés améliorent l'indice d'octane. • Déduction des équations correspondant aux réactions de craquage et de reformage, à la gazéification et à la liquéfaction du charbon. • Discussion des avantages et des inconvénients des divers combustibles fossiles. • Identification des diverses fractions du pétrole, de leur volatilité relative et de leurs utilisations. • Calculs du dioxyde de carbone ajouté à l'atmosphère lors de la combustion de divers combustibles, et détermination des empreintes carbone pour différentes activités. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le coût de la production et de la disponibilité (réserves) de combustibles fossiles, et leur impact sur l'environnement, doivent être envisagés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 7 : des bases de données de statistiques énergétiques à l'échelle mondiale et nationale peuvent être explorées ici. • Objectif global 7 : de nombreuses calculatrices en ligne sont disponibles pour calculer les empreintes carbone. • Objectif global 8 : la prise en considération des avantages et des inconvénients des combustibles fossiles illustre les implications économiques et écologiques de l'utilisation des sciences et des technologies.

Idée essentielle : la fusion des noyaux d'hydrogène dans le soleil est la source de la majeure partie de l'énergie requise pour permettre la vie sur la Terre. Il existe de nombreux défis technologiques pour tenter de reproduire ce processus sur la Terre, ce qui constituerait une riche source d'énergie. La fusion implique la division d'un gros noyau instable en de plus petits noyaux stables.

C.3 La fusion et la fission nucléaires	
Nature de la science	
L'évaluation de l'éthique de la recherche scientifique – l'utilisation à grande échelle de la fission nucléaire pour produire de l'énergie entraînerait une réduction des émissions de gaz à effet de serre. La fission nucléaire est le processus qui se déroule dans la bombe atomique et la fusion nucléaire est celui qui se produit dans la bombe à hydrogène. (4.5)	
Notions clés	Sensibilité internationale
<p>La fission nucléaire</p> <ul style="list-style-type: none"> Les noyaux légers peuvent subir des réactions de fusion, car cela augmente l'énergie de liaison par nucléon. Les réactions de fusion constituent une source d'énergie prometteuse car le combustible est peu onéreux et abondant, et aucun déchet radioactif n'est produit. Les spectres d'absorption servent à analyser la composition des étoiles. <p>La fission nucléaire</p> <ul style="list-style-type: none"> Les noyaux lourds peuvent subir des réactions de fission, car cela augmente l'énergie de liaison par nucléon. ^{235}U subit une réaction en chaîne de fission : $^{235}_{92}\text{U} + 1,0\text{ n} \rightarrow ^{236}_{92}\text{U} \rightarrow \text{X} + \text{Y} + \text{neutrons.}$ La masse critique est la masse de combustible requise pour que la réaction soit auto-suffisante. ^{239}Pu, utilisé en tant que combustible dans les « réacteurs surgénérateurs » est produit par capture de neutrons à partir de ^{238}U. 	<ul style="list-style-type: none"> L'utilisation de l'énergie nucléaire est contrôlée à l'échelle internationale par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). La recherche en physique des particules de haute énergie implique une collaboration à l'échelle internationale. CERN, DESY, SLAC, Fermi lab et Brookhaven disposent d'installations pour accélérateurs. Les résultats sont diffusés et partagés par les scientifiques de nombreux pays. L'ITER est un projet en collaboration internationale qui a pour but de démontrer que la fusion est une source d'énergie d'avenir. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> L'utilisation d'énergie nucléaire implique des risques tout autant que des avantages. Qui devrait, en fin de compte, assumer la responsabilité de leur évaluation ? Comment savons-nous ce qui vaut mieux pour la société et l'individu ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 2.1 – Les isotopes Thème 2.2. – Le spectre d'émission de l'hydrogène Physique, thème 7.2 – La fusion nucléaire</p>

C.3 La fusion et la fission nucléaires	
<ul style="list-style-type: none"> • Les déchets radioactifs peuvent contenir des isotopes à demi-vies longues et courtes. • La demi-vie est le temps que prend la moitié du nombre d'atomes pour se désintégrer. <p>Applications et compétences</p> <p><i>Fusion nucléaire</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Formulation d'équations nucléaires pour les réactions de fusion. • Explication des réactions de fusion en termes d'énergie de liaison par nucléon. • Explication des spectres d'absorption atomique de l'hydrogène et de l'hélium, ainsi que des relations entre les raies et les transitions électroniques. <p><i>Fission nucléaire</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Dédution d'équations nucléaires pour les réactions de fission. • Explication des réactions de fission en termes d'énergie de liaison par nucléon. • Discussion sur le stockage et l'élimination des déchets nucléaires. • Résolution de problèmes de désintégration radioactive impliquant des valeurs entières des demi-vies. 	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 7 : des animations et simulations par ordinateur de la désintégration radioactive et des réactions de fusion et de fission nucléaires peuvent être utilisées. • Objectif global 8 : considération de l'impact de l'énergie nucléaire sur l'environnement, en illustrant les implications de l'utilisation des sciences et des technologies.

C.3 La fusion et la fission nucléaires	
Directives et informations supplémentaires	

- Les élèves ne doivent pas mémoriser des réactions de fission spécifiques.
- Il n'est pas nécessaire de connaître le mode de fonctionnement d'une centrale nucléaire.
- Les problèmes ayant trait à la sécurité et aux risques incluent : la santé, les problèmes des déchets nucléaires et de la fusion du cœur et la possibilité que les combustibles nucléaires soient utilisés dans des armes nucléaires.
- Les équations, $N = N_0 e^{-\lambda t}$ et $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ figurent à la section 1 du recueil de données.

Idée essentielle : la lumière visible peut être absorbée par des molécules qui ont une structure conjuguée avec un système élargi de liaisons simples et multiples en alternance. L'énergie solaire peut être convertie en énergie chimique dans la photosynthèse.

C.4 L'énergie solaire	
Nature de la science	
La compréhension par le public : dompter l'énergie solaire est un domaine de recherche actuel mais il reste encore beaucoup de défis à relever. Toutefois, on encourage les consommateurs et les sociétés d'énergie à utiliser l'énergie solaire comme source d'énergie alternative. (5.2)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La lumière peut être absorbée par la chlorophylle et par d'autres pigments ayant une structure électronique conjuguée. • La photosynthèse convertit l'énergie lumineuse en énergie chimique. • $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ • La fermentation du glucose produit de l'éthanol qui peut être utilisé comme biocombustible ou biocarburant : $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2$ • L'énergie thermique des huiles végétales est analogue à celle du carburant diesel mais elles ne sont pas utilisées dans des moteurs à combustion interne, parce qu'elles sont trop visqueuses. • La transestérification entre un ester et un alcool avec un acide fort ou un catalyseur basique produit un ester différent : $\text{RCOOR}^1 + \text{R}^2\text{OH} \rightarrow \text{RCOOR}^2 + \text{R}^1\text{OH}$ • Dans le processus de transestérification, qui implique une réaction avec un alcool en présence d'un acide ou d'une base fort(e), les huiles végétales ou triglycérides, sont converties en un mélange, principalement constitué d'alkylesters et de glycérol, contenant aussi quelques acides gras. • La transestérification avec l'éthanol ou le méthanol produit des huiles qui sont moins visqueuses et qui sont utilisées dans des moteurs diesel. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les annonces de la découverte de la « fusion froide » ont été démenties, car les résultats ne sont pas reproductibles. Est-ce toujours possible d'obtenir des résultats reproductibles en sciences naturelles ? Des résultats reproductibles sont-ils possibles dans d'autres domaines de la connaissance ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 5.3 – Les enthalpies de liaison Thème 20.1 – Le mécanisme des réactions de substitution nucléaire Biologie, thème 2.9 – La photosynthèse</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 2 : la conversion de l'énergie solaire est importante dans un certain nombre de technologies. • Objectif global 6 : les expériences peuvent inclure celles impliquant la photosynthèse, la fermentation et la transestérification. • Objectif global 8 : les réactions de transestérification, avec des huiles de cuisine usées, pourraient réduire les déchets et produire d'excellents biocombustibles/biocarburants.

C.4 L'énergie solaire	<p data-bbox="272 219 304 2031">Applications et compétences</p> <ul data-bbox="320 219 576 2031" style="list-style-type: none"><li data-bbox="320 219 384 2031">• Identification des caractéristiques des molécules qui leur permettent d'absorber la lumière visible.<li data-bbox="400 219 464 2031">• Explication de la viscosité réduite des esters produits avec le méthanol et l'éthanol.<li data-bbox="480 219 544 2031">• Évaluation des avantages et des inconvénients de l'utilisation des biocarburantibles ou biocarburants.<li data-bbox="560 219 576 2031">• Dédution des équations correspondant aux réactions de transestérification. <p data-bbox="592 219 624 2031">Directives et informations supplémentaires</p> <ul data-bbox="639 219 705 2031" style="list-style-type: none"><li data-bbox="639 219 705 2031">• Seul un système conjugué avec liaisons doubles en alternance doit être étudié.
------------------------------	--

Idée essentielle : les gaz produits par les activités humaines et libérés dans l'atmosphère perturbent le climat en dérégulant l'équilibre entre les rayonnements qui pénètrent dans l'atmosphère et ceux qui en sortent.

C.5 L'impact environnemental : le réchauffement de la planète	
Nature de la science	<p>Transdisciplinaire : l'étude du réchauffement de la planète englobe un large éventail de concepts et d'idées et a un caractère transdisciplinaire. (4.1)</p> <p>La collaboration et l'importance d'expliquer la science au public : les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (5.2)</p> <p>La corrélation et la cause et la compréhension de la science : les taux de CO₂ et la température moyenne sur la Terre mettent clairement en évidence une corrélation entre eux, mais de grandes variations de la température de surface de la Terre se sont fréquemment produites dans le passé. (2.8)</p>
Notions clés	<ul style="list-style-type: none"> Les gaz responsables de l'effet de serre permettent le passage des rayons solaires incidents de courte longueur d'onde, mais ils absorbent les rayonnements de grande longueur d'onde émis par la Terre. Certaines radiations absorbées sont renvoyées vers la Terre. Il existe un équilibre hétérogène entre la concentration en dioxyde de carbone atmosphérique et en dioxyde de carbone dissous dans les océans. Les gaz responsables de l'effet de serre absorbent les rayons IR, car il se produit un changement au niveau du moment dipolaire dû à l'étirement et à la courbure des liaisons dans la molécule. Les particules de fumée et de poussière, par exemple, causent un assombrissement de la planète car elles réfléchissent la lumière du soleil, comme le font les nuages. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Explication des mécanismes moléculaires par lesquels les gaz à effet de serre absorbent les rayons infrarouges.
Sensibilité internationale	<ul style="list-style-type: none"> Ce problème implique la coopération de la communauté internationale pour la recherche de la réduction des effets du réchauffement de la planète. De telles tentatives incluent le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et le Protocole de Kyoto, qui a été étendu jusqu'au Qatar. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Certaines personnes mettent en doute la réalité du changement climatique et s'interrogent sur les motifs qui ont poussé les scientifiques à « exagérer » le problème. Comment évaluons-nous les preuves recueillies et les modèles utilisés pour prédire l'impact des activités humaines ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Thèmes 7.1 et 17.1 – Les systèmes à l'équilibre</p> <p>Thème 8.2 – Les équilibres acide-base</p> <p>Thème 11.3 – Les spectres infrarouges</p> <p>Thème 13.2 – Les complexes de métaux de transition</p> <p>Biologie, thème 4.4 – Le changement climatique</p> <p>Physique, thème 8.1 – Le transfert d'énergie thermique</p>

C.5 L'impact environnemental : le réchauffement de la planète	
<ul style="list-style-type: none"> • Discussion à propos des preuves d'une relation entre l'augmentation de la concentration des gaz et le réchauffement de la planète. • Discussion des sources, de l'abondance relative et des effets des divers gaz à effet de serre. • Discussion sur les diverses approches au contrôle des émissions de dioxyde de carbone. • Discussion des variations du pH dans l'océan en raison de la concentration accrue de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les gaz à effet de serre à prendre en considération sont : CH₄, H₂O et CO₂. 	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : l'équilibre entre le dioxyde de carbone dissous et le dioxyde de carbone gazeux pourrait être étudié expérimentalement. • Objectif global 7 : la modélisation informatique est un outil puissant grâce auquel on peut acquérir des connaissances sur l'effet de serre. • Objectif global 8 : les discussions sur le changement climatique et la chimie verte sensibilisent en matière d'implications éthiques, économiques et écologiques de l'utilisation des sciences et des technologies.

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

Idee essentielle : l'énergie chimique provenant des réactions redox peut servir de source portative d'énergie électrique.

C.6 L'électrochimie, les piles rechargeables et les piles à combustible	
Nature de la science	
Les problèmes écologiques : les réactions redox peuvent servir de source d'électricité, mais l'élimination des piles a des conséquences sur l'environnement. (4.8)	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> • Une cellule électrochimique a une résistance interne en raison du temps fini que prennent les ions pour diffuser. Le courant maximum d'une cellule est limité par sa résistance interne. • La tension d'une pile dépend principalement de la nature des matériaux utilisés, alors que le travail total que l'on peut en obtenir dépend de leur quantité. • Dans une pile primaire, la réaction électrochimique n'est pas réversible. Les piles rechargeables impliquent des réactions redox qui peuvent être inversées en utilisant de l'électricité. • Une pile à combustible peut être utilisée pour convertir directement l'énergie chimique d'un combustible qui est converti en énergie électrique. • Les piles à combustible microbiennes (PCM) constituent une source d'énergie renouvelable possible en utilisant divers glucides ou des substrats présents dans des eaux usées en tant que combustible. • L'équation de Nernst, $E = E^{\circ} - \left(\frac{RT}{nF}\right) \ln Q$, peut être utilisée pour calculer le potentiel d'une demi-pile dans une cellule électrochimique dans des conditions non standard. • Les électrodes dans une pile de concentration sont les mêmes mais les concentrations des solutions d'électrolytes à la cathode et à l'anode sont différentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les programmes de recyclage des piles sont-ils équivalents dans diverses régions du globe ? <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le langage et le vocabulaire scientifiques ont-ils une fonction principalement descriptive ou interprétative ? Les termes « courant électrique » et « résistance interne » sont-ils des descriptions précises de la réalité ou des métaphores ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 9.1 – Les réactions redox Thème 19.1 – Les cellules électrochimiques Biologie, thème 6.5 – Les cellules musculaires et nerveuses dont on parle en biologie sont des piles de concentration Physique, thème 5.3 – Le rapport entre la puissance électrique, la tension, la résistance et le courant</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 2 : la conversion de l'énergie chimique en électricité est importante dans un certain nombre de technologies différentes. • Objectif global 6 : les facteurs qui affectent la tension d'une pile et la pile plomb-acide peuvent être étudiés expérimentalement.
Applications et compétences	
<ul style="list-style-type: none"> • Distinction entre les piles à combustible et les piles primaires. 	

C.6 L'électrochimie, les piles rechargeables et les piles à combustible	
<ul style="list-style-type: none"> • Dédution des demi-équations pour les réactions se produisant au niveau des électrodes dans une pile à combustible. • Comparaison entre les piles à combustible et les piles rechargeables. • Discussion des avantages de divers types de piles au niveau de la taille, de la masse et de la tension. • Résolution de problèmes en utilisant l'équation de Nernst. • Calcul du rendement thermodynamique ($\Delta G/\Delta F$) d'une pile à combustible. • Explication du fonctionnement des piles rechargeables et des piles à combustible, en incluant des diagrammes et les demi-équations appropriées. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une pile doit être vue comme une source électrochimique portative composée d'une ou de plusieurs piles voltaïques (galvaniques) reliées en série. • L'équation de Nernst figure à la section 1 du recueil de données. • L'hydrogène et le méthanol doivent être considérés comme des combustibles pour les piles à combustible. Le fonctionnement des piles dans des conditions acides et alcalines doit être pris en considération. Les élèves doivent savoir ce que sont les piles à combustible à membrane d'échange de protons (MEP). • L'espèce de bactéries <i>Geobacter</i>, par exemple, peut être utilisée pour oxyder les ions éthanoate (CH_3COO^-) dans des conditions anaérobies. • L'accumulateur plomb-acide, la pile nickel-cadmium (NiCad) et la pile lithium-ion doivent être étudiés. • Les élèves doivent connaître les demi-équations des réactions qui se produisent à l'anode et à la cathode et les utilisations des différentes piles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : la prise en considération des avantages et des inconvénients des différentes sources d'énergie montre les implications économiques et écologiques de l'utilisation des sciences et des technologies. Une discussion pourrait porter sur les aspects écologiques des piles à combustible, en particulier en ce qui concerne le méthanol. • Objectif global 8 : l'élimination des piles primaires et les produits chimiques qu'elles utilisent peuvent créer des problèmes de pollution des eaux et des sols. Appréciation de l'impact de la pollution par le cadmium et le plomb sur l'environnement. • Objectif global 8 : les piles à combustibles microbiennes utilisent comme combustible des substrats présents dans les eaux usées. Elles peuvent donc servir à nettoyer l'environnement.

Idée essentielle : on peut obtenir de grandes quantités d'énergie à partir de petites quantités de matière.

C.7 La fusion nucléaire et la fission nucléaire	
Nature de la science	
Les tendances et les divergences : notre compréhension des processus nucléaires a résulté des progrès réalisés sur les plans théorique et expérimental. Les forces intermoléculaires dans l'UF ₆ sont anormales et elles ne suivent pas les tendances attendues. (3.1)	
<p>Notions clés</p> <p><i>La fusion nucléaire</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Le défaut de masse (Δm) est la différence entre la masse du noyau et la somme des masses de ses nucléons. L'énergie de liaison nucléaire (ΔE) est l'énergie requise pour scinder un noyau en protons et en neutrons. <p><i>La fission nucléaire</i></p> <ul style="list-style-type: none"> L'énergie produite dans une réaction de fission peut être calculée à partir de la différence de masse entre les produits et les réactifs, en utilisant la relation d'Einstein d'équivalence entre la masse et l'énergie, $E = mc^2$. Les différents isotopes de l'uranium, dans l'hexafluorure d'uranium, peuvent être séparés par diffusion ou centrifugation, entraînant un enrichissement en combustible. La vitesse d'effusion d'un gaz est inversement proportionnelle à la racine carrée de sa masse molaire (Loi de Graham). La désintégration radioactive est, du point de vue cinétique, un processus de premier ordre et la demi-vie est associée à la constante de désintégration par l'équation $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Seul un tout petit nombre de pays ont développé des armes nucléaires et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) fait de son mieux pour limiter la propagation de cette technologie. Des polémiques sont apparues quand il s'est agi de savoir si certains pays développent l'énergie nucléaire à des fins pacifiques ou à des fins militaires. Les incidents nucléaires ont un effet planétaire ; les accidents survenus à Three Mile Island et à Tchernobyl, les problèmes causés par un raz-de-marée à Fukushima peuvent faire l'objet d'une discussion pour illustrer les dangers éventuels. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> « Il est peu probable que les humains parviennent un jour à dompter l'atome ». (Robert Millikan, lauréat du Prix Nobel de physique en 1923, citation datant de 1928). Comment peut-on prédire l'impact qu'auront les nouvelles technologies ? Dans quelle mesure ces prédictions sont-elles fiables ? Quel est le degré d'importance de l'opinion des experts sur le plan de la recherche de la connaissance ? L'énergie libérée durant les réactions de fission peut être utilisée en temps de paix pour produire de l'énergie, mais elle peut également mener à la destruction en temps de guerre. Les scientifiques devraient-ils être tenus pour responsables des applications de leurs découvertes ? Existe-t-il un domaine de la connaissance scientifique dont la poursuite est moralement inacceptable ?

C.7 La fusion nucléaire et la fission nucléaire	
<ul style="list-style-type: none"> • Les dangers de l'énergie nucléaire découlent de la nature ionisante des rayonnements qu'elle produit et qui conduisent à la production de radicaux libres oxygénés tels que le superoxyde (O_2^- et l'hydroxyle (HO^\cdot)). Ces radicaux libres peuvent déclencher des réactions en chaîne susceptibles d'endommager l'ADN et les enzymes dans les cellules vivantes. <p>Applications et compétences</p> <p><i>Fusion nucléaire</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Calcul du défaut de masse et de l'énergie de liaison d'un noyau. • Application de la relation de l'équivalence entre l'énergie et la masse d'Einstein, $E = mc^2$, pour déterminer l'énergie produite dans une réaction de fusion. <p><i>Fission nucléaire</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Application de la relation de l'équivalence entre l'énergie et la masse d'Einstein pour déterminer l'énergie produite dans une réaction de fission. • Discussion des différentes propriétés de l'UO_2 et de l'UF_6 en termes de liaison et de structure. • Résolution de problèmes impliquant la demi-vie radioactive. • Explication de la relation entre la loi d'effusion de Graham et la théorie cinétique. • Résolution de problèmes sur la vitesse d'effusion relative, en appliquant la loi de Graham. 	<p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 4.1 et 4.3 – La structure et la liaison Thème 16.1 – Les réactions de premier ordre Physique, thème 7.2 – La fusion nucléaire Géographie – Les différentes politiques et les attitudes envers l'énergie nucléaire sont discutées dans les sections sur les ressources du guide.</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 7 : des animations et des simulations informatiques de la désintégration radioactive et des réactions de fusion et de fission nucléaires peuvent être utilisées. • Objectif global 8 : la prise en considération des avantages et des inconvénients de la fusion nucléaire illustre les implications économiques et environnementales de l'utilisation des sciences et des technologies. L'utilisation des réactions de fusion dans les bombes à hydrogène peut aussi faire l'objet d'une discussion.

C.7 La fusion nucléaire et la fission nucléaire

Directives et informations supplémentaires

- Les élèves ne doivent pas mémoriser des réactions de fission spécifiques.
- Il n'est pas nécessaire de connaître le mode de fonctionnement d'une centrale nucléaire.
- Les problèmes de sécurité et les risques incluent : ceux pour la santé, ceux associés aux déchets nucléaires et le risque que les combustibles nucléaires soient utilisés dans des armes nucléaires.
- La loi d'effusion de Graham figure à la section 1 du recueil de données.
- Les relations de désintégration figurent à la section 1 du recueil de données.
- Une courbe d'énergie de liaison figure à la section 36 du recueil de données.

Idée essentielle : quand l'énergie solaire est convertie en énergie électrique, la lumière doit être absorbée et les charges doivent être séparées. Dans une pile photovoltaïque, ces deux processus se déroulent dans le semi-conducteur au silicium, alors que dans une cellule solaire sensibilisée par colorant, ils se déroulent à des endroits différents.

C.8 Les cellules photovoltaïques et les cellules solaires sensibilisées par colorant (CSSC)	
Nature de la science	
<p>Transdisciplinaire : une cellule solaire sensibilisée par colorant, dont le fonctionnement imite la photosynthèse et qui utilise des nanoparticules TiO_2, illustre la nature transdisciplinaire de la science et le lien entre la chimie et la biologie. (4.1)</p> <p>Le financement : l'ampleur et la source du financement sont cruciaux lors de la prise de décisions à propos du type de recherche à mener. Les premières cellules photovoltaïques ont été produites par la NASA pour des sondes spatiales, puis elles ont ensuite été utilisées sur la Terre. (4.7)</p>	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> • Les molécules comprenant de plus longs systèmes conjugués absorbent la lumière d'une longueur d'onde plus grande. • La conductivité électrique d'un semi-conducteur augmente au fur et à mesure que la température s'élève, alors que la conductivité des métaux diminue. • La conductivité du silicium peut être augmentée par dopage, afin de produire des semi-conducteurs de type n et de type p. • L'énergie solaire peut être convertie en électricité dans une cellule photovoltaïque. • Les CSSC imitent la manière dont les végétaux captent l'énergie solaire. Les électrons sont « injectés », à partir d'une molécule excitée, directement dans le semi-conducteur TiO_2. • L'utilisation de nanoparticules enduites de colorant photo-absorbant augmente la surface efficace et permet d'absorber une plus grande quantité de lumière sur une plus large gamme du spectre visible. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'exploitation de l'énergie solaire pourrait changer la situation économique des pays qui bénéficient d'un bon ensoleillement et qui disposent de territoires inexploités. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il existe des similitudes entre un système conjugué et une corde de violon. Dans quelle mesure cette métaphore est-elle utile ? Quelles sont les raisons sous-jacentes de ces similitudes ? Quel rôle jouent les modèles et les métaphores au niveau de l'acquisition de connaissances ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 3.2 – Les patterns dans l'énergie d'ionisation Thème 9.1 – Les réactions redox Biologie, thème 2.9 – La photosynthèse</p>

C.8 Les cellules photovoltaïques et les cellules solaires sensibilisées par colorant (CSSC)	
<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • La relation entre le degré de conjugaison dans la structure moléculaire et la longueur d'onde de la lumière absorbée. • Explication du fonctionnement de la cellule photovoltaïque et de la cellule solaire sensibilisée par colorant. • Explication de la manière dont les nanoparticules augmentent le rendement des CSSC. • Discussion des avantages de la CSSC comparés à ceux de la cellule photovoltaïque au silicium. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • La conductivité relative des métaux et des semi-conducteurs doit être associée aux énergies d'ionisation. • Seul un simple traitement du fonctionnement des cellules est requis. Dans les semi-conducteurs de type p, des zones déficitaires en électrons, qualifiées de « trous », sont créées dans le cristal en introduisant un faible pourcentage d'un élément du groupe 3. Dans les semi-conducteurs de type n, l'inclusion d'un élément du groupe 5 apporte un excès d'électrons. • Dans une cellule photovoltaïque, la lumière est absorbée et les charges sont séparées dans le semi-conducteur au silicium. Les processus d'absorption et de séparation des charges sont séparés dans une cellule solaire sensibilisée par colorant. • Les réactions redox spécifiques et celles qui se produisent à l'électrode dans la CSSC de Grätzel, la plus récente, doivent être étudiées. La réduction des ions I_2/I_3^- en est un exemple. 	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : les élèves pourraient construire à moindre coût cellule solaire sensibilisée par colorant et étudier ses propriétés photovoltaïques. • Objectif global 7 : il vaut mieux étudier les propriétés des CSSC en utilisant des enregistreurs de données.

Thèmes du tronc commun

Idée essentielle : les médicaments et les drogues ont une variété d'effets sur le fonctionnement de l'organisme.

D.1 L'action des produits pharmaceutiques et des drogues	
Nature de la science	
Les risques et les avantages : les médicaments et les drogues subissent tout un éventail de tests, afin de déterminer leur efficacité et leur innocuité avant d'être mis sur le marché. Les produits pharmaceutiques sont classés en fonction de leur utilisation et des abus potentiels auxquels ils peuvent donner lieu. (4.8)	
Notions clés	Sensibilité internationale
<ul style="list-style-type: none"> • Dans les études animales, l'indice thérapeutique est la dose d'un médicament qui s'avère létale pour 50 % de la population (<i>DL50</i>) divisée par la dose minimale prouvée efficace chez 50 % de la population (<i>DE50</i>). • Chez les humains, l'indice thérapeutique est la dose d'un médicament qui s'avère toxique pour 50 % de la population (<i>DT50</i>) divisée par la dose minimale prouvée efficace chez 50 % de la population (<i>DE50</i>). • La fenêtre thérapeutique est la gamme de posologies entre les quantités minimales de médicament qui produisent l'effet désiré et un effet indésirable inacceptable sur le plan médical. • La posologie, la tolérance, l'addiction et les effets secondaires sont pris en considération lors de l'administration d'un médicament. • La biodisponibilité est la fraction de la posologie administrée qui atteint la partie cible de l'organisme humain. • Les principales étapes du développement de médicaments synthétiques incluent l'identification du besoin et de la structure, la synthèse, le rendement et l'extraction. • Les interactions médicament-récepteur reposent sur la structure du médicament et sur le site d'activité. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dans certains pays, il y a des médicaments disponibles uniquement sur ordonnance, alors que dans d'autres pays, les mêmes médicaments sont en vente libre. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le même médicament peut être identifié par des noms différents. Les noms sont-ils simplement des étiquettes ou est-ce qu'ils influencent notre manière de savoir ? • Les essais cliniques effectuent des tests en double aveugle. Quand est-ce acceptable sur le plan éthique de tromper les gens ? • Tous les médicaments impliquent des risques ainsi que des avantages. Qui doit en fin de compte être responsable de leur évaluation ? Les organismes publics peuvent protéger l'individu mais ils limitent également leur liberté. Comment pouvons-nous savoir ce qui est le mieux pour la société et l'individu ? <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 9 : de nombreux progrès ont été réalisés en matière de produits pharmaceutiques, mais leur impact et leur disponibilité sont très limités. • Objectif global 10 : le développement de nouveaux médicaments est souvent réalisé en collaboration avec des biologistes et des physiciens.

<p>D.1 L'action des produits pharmaceutiques et des drogues</p>	<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none">• Discussion des bases expérimentales pour la détermination de l'indice thérapeutique et de la fenêtre thérapeutique au moyen d'études animales et humaines.• Discussion des différents modes d'administration des médicaments.• Comparaison de la manière dont les groupements fonctionnels, la polarité et le mode d'administration des médicaments peuvent affecter la biodisponibilité. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none">• Pour des raisons éthiques et économiques, le nombre de tests des médicaments sur les animaux et les humains (pour la DL_{50}/DE_{50} et la DT_{50}/DE_{50} respectivement) doit être aussi réduit que possible.
---	--

Idée essentielle : les produits naturels ayant des propriétés médicinales utiles peuvent être modifiés chimiquement pour produire des médicaments plus puissants ou moins dangereux.

D.2 L'aspirine et la pénicilline	
Nature de la science	
<p>La sérendipité et les découvertes scientifiques : la découverte de la pénicilline par Sir Alexander Fleming. (1.4)</p> <p>La formulation d'observations et la réplification des données : de nombreux médicaments doivent être isolés, identifiés et modifiés à partir de sources naturelles. Par exemple, l'acide salicylique, extrait de l'écorce de saule, est utilisé pour soulager la douleur et faire tomber la fièvre. (1.8)</p>	
<p>Notions clés</p> <p><i>L'aspirine</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Les analgésiques légers agissent en interceptant les stimuli douloureux à la source, souvent en interférant avec la production des substances responsables de la douleur, des tuméfactions ou de la fièvre. • L'aspirine est préparée à partir de l'acide salicylique. • L'aspirine peut être utilisée comme anticoagulant, pour prévenir la récurrence des crises cardiaques et des accidents vasculaires cérébraux et à titre d'agent prophylactique. <p><i>La pénicilline</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Les pénicillines sont des antibiotiques produits par des champignons. • Un cycle bêta-lactame est une partie de la structure centrale des pénicillines. • Certains antibiotiques agissent en empêchant la réticulation des parois des cellules bactériennes. • La modification de la chaîne latérale des pénicillines les rend plus résistantes à l'enzyme pénicillinase. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'aspirine est utilisée de différentes manières dans le monde. • Le premier antibactérien a changé la manière de traiter la maladie dans le monde entier. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des analgésiques différents agissent différemment: Comment percevons-nous la douleur, et comment nos perceptions sont-elles influencées par les autres modes d'acquisition de connaissances ? • « La chance ne sourit qu'aux esprits bien préparés ». (Louis Pasteur). La découverte de la pénicilline par Fleming est souvent décrite comme due à son don de faire des trouvailles mais l'importance de ses observations aurait échappé à des profanes. Quelle influence une attitude d'ouverture d'esprit a-t-elle sur nos perceptions ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 1.3 – Le rendement d'une réaction Thème 10.2 – Les groupements fonctionnels Biologie, thème 6.3 – La défense contre les maladies infectieuses</p>

D.2 L'aspirine et la pénicilline	
<p>Applications et compétences</p> <p><i>Aspirine</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Description de l'utilisation de l'acide salicylique et de ses dérivés comme analgésiques légers. • Explication de la synthèse de l'aspirine à partir de l'acide salicylique, y compris le rendement, la pureté par recristallisation et la caractérisation en utilisant les IR et le point de fusion. • Discussion des effets synergiques de l'aspirine avec l'alcool. • Discussion sur la manière dont on peut modifier l'aspirine chimiquement et la transformer en sel en vue d'augmenter sa solubilité dans l'eau, et sur la raison pour laquelle cela facilite sa biodisponibilité. <p><i>Pénicilline</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Discussion des effets de la modification chimique de la chaîne latérale des pénicillines. • Discussion de l'importance de l'observation des traitements par les patients et des effets de la prescription excessive de la pénicilline. • Explication de l'importance du cycle bêta-lactame sur l'action de la pénicilline. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les élèves doivent savoir que les groupements acides (carboxyliques) et basiques (amines) sont aptes à former des sels ioniques, tels que l'aspirine soluble. • Les structures de l'aspirine et de la pénicilline figurent à la section 37 du recueil de données. 	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure la synthèse de l'aspirine. • Objectif global 8 : discussion sur l'utilisation et l'utilisation excessive des antibiotiques pour les animaux.

Ideé essentielle : les drogues médicales puissantes préparées en modifiant des produits naturels chimiquement peuvent être conduire à une addiction et devenir des substances d'abus.

D.3 Les opiacés	
Nature de la science	
Les données et leurs rapports ultérieurs : l'opium et ses nombreux dérivés sont utilisés depuis des milliers d'années, à titre d'analgésiques, sous diverses formes. L'un de ces dérivés est la diamorphine ou héroïne. (3.1)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'aptitude d'un médicament à traverser la barrière hémato-encéphalique dépend de sa structure chimique et de son degré de solubilité dans l'eau et dans les lipides. • Les opiacés sont des analgésiques narcotiques naturels, dérivés du pavot à opium. • La morphine et la codéine sont utilisées à titre d'analgésiques puissants. Ces derniers agissent en se fixant de manière temporaire sur les récepteurs cérébraux, empêchant ainsi la transmission de l'influx douloureux, sans déprimer le système nerveux central. • L'utilisation médicale et les propriétés addictives des composés opiacés sont associées à la présence de récepteurs des opiacés dans le cerveau. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explication de la synthèse de la codéine et de la diamorphine (héroïne) à partir de la morphine. • Description et explication de l'utilisation des analgésiques puissants. • Comparaison des structures de la morphine, de la codéine et de la diamorphine (héroïne). • Discussion des avantages et des inconvénients de l'utilisation de la morphine et de ses dérivés comme analgésiques puissants. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • De nombreuses drogues illicites sont cultivées ou produites dans un petit nombre de pays, puis vendues et distribuées dans le monde entier. Les points de vue culturels et économiques en matière de production et de vente des opiacés varient dans le monde. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il y a souvent des divergences de point de vue et d'appréciation entre les cultures. Existe-t-il des connaissances qui soient indépendantes de la culture ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 10.2 – Les groupements fonctionnels</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 7 : utiliser des animations informatiques pour visualiser les structures tridimensionnelles des médicaments et des sites des récepteurs.

D.3 Les opiacés	<ul style="list-style-type: none">• Discussion des effets secondaires et de l'addiction aux opiacés.• Explication de la puissance supérieure de la diamorphine (héroïne) par rapport à la morphine, en fonction de leur structure chimique et de leur solubilité respectives. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none">• Les structures de la morphine, de la codéine et de la diamorphine (héroïne) figurent à la section 37 du recueil de données.
------------------------	---

Idée essentielle : l'hyperacidité gastrique est un problème courant qui peut être soulagé par des composés qui augmentent le pH gastrique en neutralisant ou en réduisant la sécrétion d'acide.

D.4 La régulation du pH gastrique	
Nature de la science	
Le recueil de données en prélevant des échantillons et en effectuant des essais : l'un des symptômes de la dyspepsie est la surproduction d'acide gastrique. Le traitement médical de cette affection comporte souvent la prescription d'antiacides pour neutraliser l'acide instantanément, ou bien d'antagonistes des récepteurs-H ₂ ou d'inhibiteurs de la pompe à protons, qui empêchent la production d'acide gastrique. (2.8)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les réactions qui interviennent lors de l'utilisation d'antiacides, neutralisent l'excès d'acide produit par l'estomac. Les métabolites actifs sont les formes actives d'un médicament après qu'il ait été traité par l'organisme. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Explication de la manière dont on peut réduire l'excès d'acidité gastrique en utilisant des bases différentes. Formulation et pondération d'équations correspondant à des réactions de neutralisation et application stœchiométrique de ces équations. Résolution de problèmes ayant trait à des tampons, en utilisant l'équation d'Henderson-Hasselbalch. Explication de la manière dont des composés comme la ranitidine (Azantac) peuvent être utilisés pour inhiber la production d'acide gastrique. Explication de la manière dont des composés comme l'oméprazole (Prilosec) et l'ésoméprazole (Nexium) peuvent être utilisés pour inhiber la sécrétion d'acide dans l'estomac. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Des cultures différentes (par exemple régime alimentaire, style de vie, etc.) et la génétique peuvent affecter la nécessité de réguler le pH gastrique. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Parfois, nous adoptons des approches différentes pour résoudre le même problème. Comment décidons-nous entre des preuves provenant de sources différentes et des approches concurrentes ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Thème 1.3 – Les calculs impliquant des solutions Thèmes 8.2 et 8.4 – La neutralisation Thème 10.2 – Les groupements fonctionnels Thème 20.3 – Les énantiomères Option B.7 – L'effet tampon des acides aminés Biologie, option D.2 – La digestion</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : les expériences pourraient inclure des titrages pour tester l'efficacité de divers antiacides.

D.4 La régulation du pH gastrique	
Directives et informations supplémentaires <ul style="list-style-type: none">• Les composés antiacides doivent inclure l'hydroxyde de calcium, l'hydroxyde de magnésium, l'hydroxyde d'aluminium, le carbonate de sodium et le bicarbonate de sodium.• Les structures de la ranitidine et de l'oméprazole figurent à la section 37 du recueil de données.	

Idée essentielle : les agents antiviraux ont récemment été développés contre certaines infections virales. La recherche se poursuit pour lutter contre d'autres maladies virales.

D.5 Les agents antiviraux	
Nature de la science	
La collaboration scientifique : la recherche récente par la communauté scientifique nous a permis de mieux comprendre comment les virus envahissent nos systèmes. (4.1)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les virus n'ont pas une structure cellulaire et il est donc plus difficile de les cibler avec des médicaments contrairement aux bactéries. • Les agents antiviraux peuvent agir en modifiant le matériel génétique de la cellule de manière telle que le virus ne puisse plus l'utiliser pour se multiplier. Alternativement, ils peuvent empêcher la multiplication des virus par blocage de l'activité enzymatique dans la cellule hôte. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explication des différentes manières d'agir des agents antiviraux. • Description de ce qui différencie les virus des bactéries. • Explication de la manière dont agissent l'oseltamivir (Tamiflu) et le zanamivir (Relenza) comme agents de prévention contre les virus de la grippe. • Comparaison des structures de l'oseltamivir et du zanamivir. • Discussion sur des difficultés associées à la résolution du problème du SIDA. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les structures de l'oseltamivir et du zanamivir figurent à la section 37 du recueil de données. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comment l'épidémie de SIDA a-t-elle évolué depuis sa découverte au début des années 1980 ? Que doit-on faire pour arrêter la propagation de la maladie ? Quel l'impact cette maladie a-t-elle eu dans le monde entier ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Options B.2 et B.7 – Les protéines et les enzymes Biologie, thème 11.1 – La vaccination</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : le contrôle et le traitement de l'infection par le VIH sont rendus plus difficiles par le prix élevé des antirétroviraux et par les enjeux socioculturels.

Idée essentielle : la synthèse, l'isolement et l'administration des médicaments peuvent avoir un effet sur l'environnement.

D.6 L'impact de certains médicaments sur l'environnement	
Nature de la science	
Les implications, les risques et les problèmes éthiques : la communauté scientifique doit prendre en compte les effets secondaires des médicaments chez le patient, ainsi que les effets collatéraux du développement, de la production et de l'utilisation des médicaments sur l'environnement (c'est-à-dire l'élimination des déchets nucléaires, des solvants et des résidus d'antibiotiques). (4.8)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les déchets de haut niveau (<i>High-level waste</i>, HLW) sont des déchets qui émettent de grandes quantités de rayonnements ionisants sur une longue période. Les déchets de bas niveau (<i>Low-level waste</i>, LLW) sont des déchets qui émettent de petites quantités de rayonnements ionisants sur une courte période. Une résistance aux antibiotiques se développe quand les microorganismes deviennent résistants aux agents antibactériens. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Description de l'impact sur l'environnement de l'élimination des déchets nucléaires médicaux. Discussion des problèmes environnementaux associés aux résidus de solvants. Explication des dangers des déchets antibiotiques, découlant de l'élimination inappropriée des médicaments et des déchets animaux, et du développement de la résistance aux antibiotiques. Discussion sur les éléments fondamentaux des procédés de la chimie verte (chimie durable). 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Considérer la manière dont les laboratoires pharmaceutiques déterminent la façon de dépenser les fonds consacrés à la recherche pour développer de nouveaux médicaments. Les laboratoires pharmaceutiques ont-ils intérêt à mener des recherches sur des maladies rares qui ne leur apporteront pas un profit financier important ? En général, la production d'un médicament implique un certain nombre de réactions organiques différentes. Quelle est l'éthique gouvernant la conception (synthèse) des médicaments ? Les normes et les pratiques varient-elles d'un pays à l'autre et d'une région à l'autre ? <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Comment faisons-nous la balance des principes éthiques contradictoires lorsque nous tentons de trouver une solution à un problème ? <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 8 : comment éliminons-nous les déchets nucléaires médicaux en toute sécurité ? Objectif global 8 : l'if du Pacifique, qui est la source du médicament chimiothérapeutique Taxol, est en voie de disparition. Objectif global 8 : l'élimination des solvants est un problème environnemental de plus en plus important.

D.6 L'impact de certains médicaments sur l'environnement	<ul style="list-style-type: none">• Explication de la manière dont on a utilisé la chimie verte pour développer le précurseur du Tamiflu (oseltamivir). <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none">• La structure de l'oseltamivir figure à la section 37 du recueil de données.
---	--

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

Idée essentielle : les auxiliaires chiraux permettent de produire des énantiomères spécifiques de molécules chirales.

D.7 Le Taxol : une étude de cas concernant un auxiliaire chiral

Nature de la science

Les progrès réalisés en technologie : il est maintenant possible de produire un grand nombre de ces substances naturelles en laboratoire, en quantités suffisamment importantes pour satisfaire la demande. (3.7)

Les risques et les problèmes : la demande pour certains médicaments a maintenant dépassé l'offre en substances naturelles nécessaires pour synthétiser ces médicaments. (4.8)

Notions clés

- Le Taxol est un médicament couramment utilisé pour traiter plusieurs formes de cancer.
- Le Taxol est un produit d'origine naturelle présent dans les ifs, mais il est maintenant couramment obtenu par voie synthétique.
- Un auxiliaire chiral est une substance optiquement active qui est temporairement incorporée dans une synthèse organique, afin de pouvoir être réalisée de manière asymétrique avec la formation sélective d'un seul énantiomère.

Applications et compétences

- Explication du mode d'obtention du Taxol (paclitaxel) et de son utilisation en tant qu'agent chimiothérapeutique.
- Description de l'utilisation des auxiliaires chiraux pour former l'énantiomère désiré.
- Explication de l'utilisation d'un polarimètre pour identifier les énantiomères.

Directives et informations supplémentaires

- La structure du Taxol figure à la section 37 du recueil de données.

Sensibilité internationale

- La disponibilité et la distribution de certaines drogues et de certains médicaments sont inégalement réparties dans le monde.

Utilisation

Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :

Thème 20.2 – Les voies synthétiques

Thème 20.3 – La stéréoisométrie

Objectifs globaux

- **Objectif global 8** : prendre en considération les implications éthiques de l'utilisation de médicaments de synthèse, plutôt que des médicaments provenant de sources naturelles.

Idee essentielle : bien que dangereux en raison de son aptitude à endommager les cellules et à provoquer des mutations, le rayonnement nucléaire peut également être utilisé pour diagnostiquer et guérir des maladies.

D.8 La médecine nucléaire	
Nature de la science	
Les risques et les avantages : il est important d'essayer d'évaluer le risque qu'implique l'exposition aux rayonnements et le bénéfice qu'apporte la technique. (4.8)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les émissions de particules alpha, bêta, gamma, de protons, de neutrons et de positrons sont toutes utilisées comme traitement médical. L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une application de la technique de la résonance magnétique nucléaire (RMN). La radiothérapie peut être interne et/ou externe. La Thérapie Alpha Cible (<i>Targeted Alpha Therapy</i>, TAT) et la Thérapie par capture de neutrons par le bore (<i>Boron Neutron Capture Therapy</i>, BNCT) sont deux méthodes utilisées pour traiter le cancer. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Discussion sur les effets secondaires fréquents de la radiothérapie. Explication de la raison pour laquelle le technétium-99m est le radioisotope le plus couramment utilisé en médecine nucléaire, sur la base de sa demi-vie, du type d'émission et de ses propriétés chimiques. Explication de la raison pour laquelle le lutétium-177 et l'yttrium-90 sont des isotopes fréquemment utilisés en radiothérapie sur la base du type de rayonnement émis. Pondération d'équations nucléaires impliquant des particules alpha et bêta. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> L'ampleur de l'utilisation de la technologie nucléaire à des fins médicales varie dans le monde entier. La culture, le coût, la disponibilité et les croyances sont certains des facteurs qui peuvent influencer son utilisation. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> On ne fait souvent aucune référence au terme « nucléaire » en IRM. Les noms sont-ils simplement des étiquettes ou influencent-ils les autres modes d'acquisition de connaissances dont nous disposons ? En quoi la perception de la part du public influence-t-elle le progrès et la mise en application scientifiques ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thèmes 11.3 et 21.1 – La RMN Options C.3 et C.7 – Les réactions nucléaires et la demi-vie Physique, option C.4 – Imagerie médicale</p>

D.8 La médecine nucléaire	
	<ul style="list-style-type: none"> • Calcul du pourcentage et de la quantité de matière radioactive dégradée et résiduelle après une certaine période, en utilisant l'équation de demi-vie nucléaire. • Explication de la TAT et de la façon dont on pourrait l'utiliser pour traiter des maladies qui ont envahi tout l'organisme. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • La discussion sur les effets secondaires doit porter sur l'alopécie, les nausées, la fatigue et la stérilité. La discussion doit également porter sur les lésions subies par l'ADN et sur la croissance ou la régénérescence des tissus. • Les isotopes utilisés en médecine nucléaire doivent inclure : Tc-99m, Lu-177, Y-90, I-131 et Pb-212.

Idée essentielle : diverses techniques analytiques sont utilisées pour la détection, l'identification, la séparation et l'analyse des médicaments et des drogues.

D.9 La détection et l'analyse des drogues	
Nature de la science	
Les progrès en instrumentation : les progrès technologiques (IR, SM et RMN) ont aidé à détecter, à isoler et à purifier les drogues. (3.7)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les structures organiques peuvent être analysées et identifiées en utilisant la spectroscopie dans l'infrarouge, la spectroscopie de masse et la RMN. La présence d'alcool dans un échantillon respiratoire peut être détectée soit par une réaction redox, soit par un alcootest du type pile à combustible. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Interprétation d'une variété de spectres analytiques pour déterminer une structure organique, notamment la spectroscopie dans l'infrarouge, la spectroscopie de masse et la RMN à protons. Description du processus d'extraction et de purification d'un produit organique. Considération de l'utilisation de la distillation fractionnée de la loi de Raoult, des propriétés sur lesquelles les extractions reposent, et explication des rapports entre la structure organique et la solubilité. Description du processus de détection de stéroïdes dans les sports en utilisant la chromatographie et la spectroscopie de masse. Explication de la technique permettant de détecter la présence d'alcool au moyen d'un alcootest. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> La consommation inappropriée de drogues constitue un problème international. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Les développements technologiques ont augmenté les chances de détecter des substances illicites chez les personnes qui les ont utilisées. Quels changements technologiques influencent nos choix en matière d'éthique ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Thème 10.2 – Les groupements fonctionnels</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 4 : on peut utiliser diverses techniques spectroscopiques pour identifier des molécules nouvellement développées. Objectif global 7 : des bases de données informatiques contenant des données spectroscopiques peuvent être utilisées pour confirmer l'identité de molécules nouvellement synthétisées. Objectif global 8 : les développements technologiques ont augmenté les chances de détecter des substances illicites chez les personnes qui les ont utilisées. Quels changements technologiques influencent nos choix en matière d'éthique ?

D.9 La détection et l'analyse des drogues	Directives et informations supplémentaires <ul style="list-style-type: none">• Les élèves doivent pouvoir identifier les groupements fonctionnels organiques courants dans un composé donné, en reconnaissant les données relatives aux structures des drogues courantes et en utilisant l'IR (section 26 du recueil de données), la RMN ^1H (section 27 du recueil de données) et l'identification des fragments du spectre de masse (section 28 du recueil de données).• La structure d'un stéroïde courant figure à la section 34 du recueil de données
--	--

L'évaluation dans le Programme du diplôme

Généralités

L'évaluation fait partie intégrante de l'enseignement et de l'apprentissage. Dans le Programme du diplôme, elle a avant tout pour but de soutenir les objectifs pédagogiques fixés et de favoriser chez les élèves un bon apprentissage. L'évaluation externe et l'évaluation interne sont toutes deux utilisées dans le Programme du diplôme. Les examinateurs de l'IB notent ainsi les travaux dans le cadre de l'évaluation externe, tandis que les travaux destinés à l'évaluation interne sont notés par les enseignants, avant de faire l'objet d'une révision de notation externe par l'IB.

Deux types d'évaluation sont réalisés par l'IB.

- L'évaluation formative oriente l'enseignement et l'apprentissage. Elle fournit aux élèves et aux enseignants des commentaires utiles et précis, d'une part, sur le type d'apprentissage mis en œuvre et, d'autre part, sur la nature des points forts et des points faibles des élèves, afin de développer la compréhension et les compétences de ces derniers. L'évaluation formative peut également contribuer à améliorer la qualité de l'enseignement car elle peut fournir des informations permettant de mesurer les progrès réalisés pour atteindre les objectifs du cours.
- L'évaluation sommative donne une vue d'ensemble des connaissances acquises avant le cours et permet d'évaluer les progrès des élèves.

Dans le Programme du diplôme, l'évaluation est essentiellement de nature sommative et est utilisée, afin de mesurer les progrès des élèves à la fin ou vers la fin du cours. Toutefois, de nombreux outils d'évaluation du cours peuvent également être utilisés de manière formative pendant la période d'enseignement et d'apprentissage ; cette pratique est même vivement recommandée. Un plan d'évaluation complet doit faire partie intégrante de l'apprentissage, de l'enseignement et de l'organisation du cours. De plus amples renseignements sont fournis dans le document de l'IB intitulé *Normes de mise en œuvre des programmes et applications concrètes* (2010).

Le mode d'évaluation utilisé par l'IB est critérié et non pas normatif. Ce mode d'évaluation juge donc le travail des élèves par rapport à des critères d'évaluation définis et non par rapport au travail des autres élèves. L'ouvrage *Principes et pratiques d'évaluation au Programme du diplôme* (2009) contient de plus amples renseignements sur l'évaluation dans le cadre du Programme du diplôme.

Afin d'aider les enseignants dans la planification, l'enseignement et l'évaluation des matières du Programme du diplôme, des ressources variées sont mises à leur disposition sur le CPEL ou en vente sur le site du magasin de l'IB (<http://store.ibo.org>). Des ressources supplémentaires telles que des spécimens d'épreuves d'examen, des barèmes de notation, du matériel de soutien pédagogique, des rapports pédagogiques et des descripteurs de notes finales se trouvent également sur le CPEL. Par ailleurs, des épreuves de sessions précédentes ainsi que des barèmes de notation sont en vente sur le site du magasin de l'IB.

Méthodes d'évaluation

L'IB utilise différentes méthodes pour évaluer les travaux des élèves.

Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation sont utilisés lorsque la tâche d'évaluation est dite « ouverte ». Chaque critère se concentre sur une compétence particulière que les élèves sont censés démontrer. Ainsi, si un objectif d'évaluation décrit ce que les élèves doivent être capables de faire, les critères d'évaluation décrivent de quelle manière et à quel niveau ils doivent le faire. L'utilisation des critères permet d'évaluer des réponses différentes et encourage leur variété. Chaque critère d'évaluation est composé d'un ensemble de descripteurs de niveaux classés par ordre hiérarchique. Chaque descripteur de niveaux équivaut à un ou plusieurs points. Chaque critère est utilisé indépendamment en suivant un modèle qui consiste à trouver le descripteur qui résume le mieux le niveau atteint (approche dite de meilleur ajustement). Le total des points attribuables peut varier d'un critère à l'autre selon leur importance. Les points ainsi attribués pour chaque critère sont ensuite additionnés pour arriver à la note totale du travail évalué.

Bandes de notation

Les bandes de notation expliquent en détail les niveaux d'accomplissements attendus par rapport auxquels les travaux sont évalués. Ce sont des descripteurs de niveaux qui, ensemble, forment un critère global. À chaque descripteur de niveaux correspond une gamme de notes, ce qui permet de différencier les accomplissements des élèves. L'approche dite de meilleur ajustement est utilisée afin de déterminer quelle note en particulier doit être choisie parmi la gamme de notes proposées pour chaque descripteur de niveaux.

Barèmes de notation analytiques

Les barèmes de notation analytiques sont conçus pour les questions d'examen pour lesquelles un certain type de réponse ou une réponse spécifique sont attendus des élèves. Ces barèmes donnent aux examinateurs des instructions détaillées sur la manière de décomposer le total des points correspondant à chaque question pour noter différentes parties de la réponse.

Remarques à propos de la notation

Des remarques concernant la notation sont fournies pour certaines composantes d'évaluation notées selon des critères d'évaluation. Elles donnent des orientations sur la manière dont les critères d'évaluation s'appliquent aux exigences particulières d'une question.

Aménagements de la procédure d'évaluation à des fins d'inclusion

Des aménagements de la procédure d'évaluation peuvent être faits à des fins d'inclusion pour les candidats qui en ont besoin. Ces aménagements permettent à ces candidats d'avoir accès aux examens et de démontrer leur connaissance et leur compréhension des concepts évalués.

Le document de l'IB intitulé *Candidats ayant des besoins en matière d'aménagement de la procédure d'évaluation* fournit des informations détaillées sur les aménagements de la procédure d'évaluation qui peuvent être faits à des fins d'inclusion pour les candidats ayant des besoins en matière de soutien à l'apprentissage. Le document de l'IB intitulé *La diversité d'apprentissage et les besoins éducationnels spéciaux dans les programmes du Baccalauréat International* présente la position de l'IB en ce qui concerne les

candidats ayant des besoins d'apprentissage divers au sein des programmes de l'IB. Le *Manuel de procédures pour le Programme du diplôme* et le document de l'IB intitulé *Règlement général du Programme du diplôme* (2011) contiennent des informations détaillées sur les aménagements pour les candidats affectés par des circonstances défavorables.

Responsabilités de l'établissement

Les établissements doivent s'assurer que les candidats ayant des besoins en matière de soutien à l'apprentissage bénéficient d'aménagements raisonnables leur garantissant l'égalité de l'accès aux programmes de l'IB, conformément aux documents de l'IB intitulés *Candidats ayant des besoins en matière d'aménagement de la procédure d'évaluation* et *La diversité d'apprentissage et les besoins éducationnels spéciaux dans les programmes du Baccalauréat International*.

Résumé de l'évaluation – NM

Première évaluation en 2016

Composante	Pondération totale (%)	Pondération approximative des objectifs d'évaluation (%)		Durée
		1 + 2	3	
Épreuve 1	20	10	10	45 minutes
Épreuve 2	40	20	20	1h15
Épreuve 3	20	10	10	1h
Évaluation interne	20	Tient compte des objectifs d'évaluation 1, 2, 3 et 4		10h

Résumé de l'évaluation – NS

Première évaluation en 2016

Composante	Pondération totale (%)	Pondération approximative des objectifs d'évaluation (%)		Durée
		1 + 2	3	
Épreuve 1	20	10	10	1h
Épreuve 2	36	18	18	2h15
Épreuve 3	24	12	12	1h15
Évaluation interne	20	Tient compte des objectifs d'évaluation 1, 2, 3 et 4		10h

Évaluation externe

L'évaluation des tâches réalisées par les élèves est effectuée à l'aide de barèmes de notation détaillés spécifiques à chaque épreuve d'examen.

Description détaillée de l'évaluation externe – NM

Épreuve 1

Durée : 45 minutes

Pondération : 20 %

Nombre de points : 30

- L'épreuve 1 comporte 30 questions à choix multiple portant sur le tronc commun, parmi lesquelles 15 questions environ sont également utilisées au NS.
- Les questions de l'épreuve 1 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.
- Les calculatrices sont interdites.
- Un tableau de la classification périodique des éléments est fourni aux élèves.
- Aucun point n'est soustrait pour les réponses incorrectes.

Épreuve 2

Durée : 1 heure 15

Pondération : 40 %

Nombre de points : 50

- L'épreuve 2 comporte des questions à réponse brève et des questions à réponse développée portant sur le tronc commun.
- Les questions de l'épreuve 2 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.
- Les calculatrices sont autorisées (voir la page consacrée aux calculatrices sur le CPEL).
- Un recueil de données de chimie est fourni par l'établissement.

Épreuve 3

Durée : 1 heure

Pondération : 20 %

Nombre de points : 35

- L'épreuve 3 comporte des questions sur le tronc commun et l'option du NM.
- Section A : une question basée sur des données et plusieurs questions à réponse brève sur le travail expérimental.
- Section B : questions à réponse brève et questions à réponse développée sur l'option.
- Les questions de l'épreuve 3 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.
- Les calculatrices sont autorisées (voir la page consacrée aux calculatrices sur le CPEL).
- Un recueil de données de chimie est fourni par l'établissement.

Description détaillée de l'évaluation externe – NS

Épreuve 1

Durée : 1 heure

Pondération : 20 %

Nombre de points : 40

- L'épreuve 1 comporte 40 questions à choix multiple portant sur le tronc commun et le MCNS, parmi lesquelles 15 questions environ sont également utilisées au NM.
- Les questions de l'épreuve 1 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.
- Les calculatrices sont interdites.
- Un tableau de la classification périodique des éléments est fourni aux élèves.
- Aucun point n'est soustrait pour les réponses incorrectes.

Épreuve 2

Durée : 2 heures 15

Pondération : 36 %

Nombre de points : 95

- L'épreuve 2 comporte des questions à réponse brève et des questions à réponse développée portant sur le tronc commun et le MCNS.
- Les questions de l'épreuve 2 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.
- Les calculatrices sont autorisées (voir la page consacrée aux calculatrices sur le CPEL).
- Un recueil de données de chimie est fourni par l'établissement.

Épreuve 3

Durée : 1 heure 15

Pondération : 24 %

Nombre de points : 45

- L'épreuve 3 comporte des questions sur le tronc commun, le MCNS et l'option.
- Section A : une question basée sur des données et plusieurs questions à réponse brève sur le travail expérimental.
- Section B : questions à réponse brève et questions à réponse développée sur l'option.
- Les questions de l'épreuve 3 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.
- Les calculatrices sont autorisées (voir la page consacrée aux calculatrices sur le CPEL).
- Un recueil de données de chimie est fourni par l'établissement.

Évaluation interne

But de l'évaluation interne

L'évaluation interne fait partie intégrante du cours et elle est obligatoire pour les élèves du NM et du NS. Elle leur permet de montrer leurs compétences et leurs connaissances, et d'approfondir des sujets qui les intéressent, sans les contraintes de temps et les restrictions associées aux épreuves écrites. L'évaluation interne doit, dans la mesure du possible, faire partie de l'enseignement en classe et ne doit pas être une activité séparée menée à la fin du programme d'études.

Les exigences de l'évaluation interne au NM et au NS sont identiques. Cette section du guide doit être lue en parallèle avec la section consacrée à l'évaluation interne dans le matériel de soutien pédagogique.

Direction des travaux et authenticité

Tout travail soumis à l'évaluation interne doit être le fruit du travail personnel de l'élève. Cela ne signifie pas pour autant que les élèves doivent décider d'un titre ou d'un sujet, puis être livrés à eux-mêmes, sans soutien de la part de l'enseignant pour effectuer leur travail. L'enseignant doit jouer un rôle important, tant durant l'étape de planification du travail que durant l'exécution du travail soumis à l'évaluation interne. Il lui incombe de s'assurer que les élèves connaissent :

- les exigences concernant le type de travail qui sera soumis à l'évaluation interne ;
- la politique de l'IB en matière d'expérimentation animale ;
- les critères d'évaluation. Les élèves doivent comprendre que le travail qu'ils remettront doit bien tenir compte de ces critères.

Les enseignants et les élèves doivent discuter ensemble des travaux évalués en interne. Les élèves doivent être incités à entamer des discussions avec l'enseignant pour obtenir des conseils et des informations, et ils ne doivent pas être pénalisés pour cela. Dans le cadre du processus d'apprentissage, les enseignants doivent donner des conseils aux élèves sur un brouillon du travail qu'ils auront lu au préalable. Ces conseils prodigués oralement ou par écrit doivent guider les élèves sur la façon dont ils peuvent améliorer leur travail. Toutefois, les enseignants ne doivent pas modifier le brouillon. La version rendue par la suite aux enseignants devra être la version finale soumise à l'évaluation.

Les enseignants sont chargés de s'assurer que tous leurs élèves comprennent la signification et l'importance fondamentales des concepts liés à l'intégrité en milieu scolaire, et plus particulièrement des concepts d'authenticité et de propriété intellectuelle. Ils doivent vérifier que tous les travaux que les élèves remettent pour l'évaluation ont été effectués conformément aux exigences et doivent expliquer clairement aux élèves que ces travaux doivent être entièrement les leurs. Dans les cas où la collaboration entre élèves est autorisée, il est impératif que tous les élèves comprennent bien la différence entre collaboration et collusion.

Les enseignants doivent authentifier tout travail à l'IB pour révision de notation ou évaluation. Ils ne doivent pas envoyer de travaux qui, à leur connaissance, constituent des cas de mauvaise conduite présumée ou confirmée. Chaque élève doit confirmer que son travail est authentique et qu'il s'agit de la version finale. Une fois qu'un élève a remis la version finale de son travail de manière officielle, il ne peut plus faire marche arrière. L'exigence selon laquelle l'authenticité des travaux doit être confirmée s'applique aux travaux de

tous les élèves, et non pas uniquement aux échantillons de travaux soumis à l'IB pour la révision de notation. Pour obtenir de plus amples informations, veuillez consulter les publications de l'IB intitulées *Intégrité en milieu scolaire* (2011), *Le Programme du diplôme : des principes à la pratique* (2009), ainsi que les articles pertinents du document *Règlement général du Programme du diplôme* (2011).

L'authenticité du travail peut être vérifiée en discutant avec l'élève du contenu de son travail et en examinant en détail un ou plusieurs des éléments suivants :

- le projet initial de l'élève ;
- le premier brouillon du travail écrit ;
- les références bibliographiques ;
- le style d'écriture, en comparaison avec d'autres travaux de l'élève ;
- une analyse du travail réalisée par le biais d'un service en ligne spécialisé dans la détection du plagiat, tel que <http://turnitin.com/fr/home>.

Un même travail ne peut être remis pour satisfaire aux exigences de l'évaluation interne et du mémoire.

Travail en groupe

Chaque recherche doit être un travail individuel fondé sur différentes données ou mesures. Idéalement, les élèves doivent travailler seuls lorsqu'ils recueillent les données. Dans certains cas, les données recueillies ou les mesures prises peuvent provenir d'une expérience réalisée en groupe, à condition que chaque élève ait recueilli ses propres données ou pris ses propres mesures. En chimie, il arrive parfois que les données ou mesures provenant d'un travail en groupe soient combinées afin que les élèves puissent disposer de données en quantité suffisante pour effectuer leur analyse individuelle. Même dans ce cas, chaque élève doit avoir recueilli et consigné ses propres données, et il doit clairement indiquer les données qui sont les siennes.

Il doit être clairement indiqué aux élèves que tout travail en rapport avec leur recherche doit être le fruit de leur travail personnel. Il est donc utile que les enseignants encouragent les élèves à se comporter en apprenants responsables, afin qu'ils s'approprient leur travail et puissent en être fiers.

Volume horaire

L'évaluation interne fait partie intégrante du cours de chimie ; elle correspond à 20 % de l'évaluation finale au NM et au NS. Cette pondération doit se refléter dans le temps alloué à l'enseignement des connaissances, des compétences et de la compréhension requises pour cette composante, de même que dans le temps total alloué pour effectuer le travail requis.

Il est recommandé d'attribuer à cette composante un total d'environ 10 heures au NM et au NS. Ce volume horaire doit comprendre :

- le temps nécessaire à l'enseignant pour expliquer aux élèves les exigences en matière d'évaluation interne ;
- les heures de cours nécessaires pour permettre aux élèves de travailler sur la composante de l'évaluation interne et poser des questions ;
- le temps nécessaire à chaque élève pour consulter son enseignant ;
- le temps nécessaire pour mesurer les progrès effectués et vérifier l'authenticité du travail.

Exigences et recommandations en matière de sécurité

Si les enseignants sont tenus de respecter des directives locales ou nationales pouvant varier d'un pays à l'autre, ils doivent également prêter attention aux recommandations qui ont été élaborées pour la Fédération internationale des associations de professeurs de sciences par le Laboratory Safety Institute (LSI). Une traduction libre de ces recommandations est fournie ci-après.

Toutes les parties prenantes ont la responsabilité fondamentale de faire de la sécurité et de la santé un souci permanent. Les conseils prodigués devront tenir compte du besoin de respecter le contexte local, les diverses traditions éducationnelles et culturelles, les contraintes financières et les systèmes juridiques des différents pays.

The Laboratory Safety Institute

Directives de sécurité au laboratoire

40 recommandations pour un laboratoire plus sûr

Mesures demandant des dépenses minimales

1. Avoir un document écrit présentant la politique en matière de santé, de sécurité et d'environnement.
2. Former un comité départemental composé d'employés, de membres de la direction, de membres du corps enseignant, de membres du personnel et d'élèves, qui se réunira régulièrement pour discuter de questions liées à la santé, à la sécurité et à l'environnement.
3. Élaborer un programme de formation axé sur la santé, la sécurité et l'environnement pour tous les nouveaux employés et élèves.
4. Encourager les employés et les élèves à se préoccuper de leur santé et de leur sécurité et de celles des autres.
5. Impliquer chaque employé et élève dans certains aspects du programme de sécurité et donner à chacun des responsabilités spécifiques.
6. Récompenser les employés et les élèves pour leur performance dans le domaine de la sécurité.
7. Exiger de tous les employés qu'ils lisent le manuel de sécurité approprié. Exiger des élèves qu'ils lisent les règles de sécurité du laboratoire de l'établissement. Faire signer aux deux groupes une déclaration attestant qu'ils en ont bien pris connaissance, qu'ils les ont comprises, et qu'ils acceptent de suivre les procédures et de respecter ces pratiques. Conserver ces déclarations dans un dossier dans le bureau du département.
8. Faire des inspections périodiques et inopinées du laboratoire pour déceler les conditions et les pratiques dangereuses et y remédier. Faire participer les élèves et les employés à des inspections semblables à celles de l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA, un organisme gouvernemental américain chargé de la sécurité et de la santé au travail).
9. Faire de l'apprentissage de la sécurité une partie intégrante du cours de science, du travail et de la vie.
10. Organiser régulièrement des réunions départementales de sécurité pour tous les élèves et les employés afin qu'ils puissent discuter des résultats des inspections et de certains aspects de la sécurité au laboratoire.
11. Lorsque des expériences dangereuses ou potentiellement dangereuses sont réalisées, se poser les questions suivantes :
 - Quels sont les risques ?
 - Quelle est la pire chose qui pourrait arriver ?

- Comment réagir face à ces dangers ?
 - Quelles sont les mesures de prudence à adopter et quel est l'équipement de protection nécessaire pour minimiser l'exposition aux risques ?
12. Exiger que tous les accidents (incidents) soient signalés, évalués par le comité départemental de sécurité et abordés lors des réunions départementales de sécurité.
 13. Exiger que chaque discussion précédant un travail en laboratoire ou une expérience prenne en considération les aspects liés à la santé et à la sécurité.
 14. Ne jamais laisser une expérience en cours sans surveillance, à moins qu'elle ne présente aucun danger.
 15. Interdire de travailler seul dans un laboratoire ou d'y travailler sans avoir au préalable informé un membre du personnel.
 16. Étendre le programme de sécurité du laboratoire à l'automobile et à la maison.
 17. Ne permettre le stockage que de petites quantités de liquides inflammables dans chaque laboratoire.
 18. Interdire de fumer, de manger et de boire dans le laboratoire.
 19. Interdire de conserver de la nourriture dans les réfrigérateurs où sont stockés des produits chimiques.
 20. Élaborer des plans et des exercices d'entraînement pour faire face aux urgences telles que les incendies, les explosions, les empoisonnements, les déversements de produits chimiques ou les émissions de vapeurs, les électrocutions, les hémorragies et les contaminations individuelles.
 21. Exiger de bonnes pratiques de nettoyage et d'entretien dans tous les espaces de travail.
 22. Afficher les numéros de téléphone du service de lutte contre les incendies, des services de police et des services d'ambulances locaux sur ou à proximité de chaque téléphone.
 23. Stocker les acides et les bases séparément. Stocker les combustibles et les oxydants séparément.
 24. Faire un inventaire des produits chimiques, afin d'éviter les achats de quantités superflues.
 25. Utiliser des panneaux d'avertissement pour signaler les risques.
 26. Élaborer des pratiques de travail spécifiques pour toutes les expériences, telles que celles qui doivent être faites uniquement sous hotte aspirante ou qui nécessitent d'utiliser des produits particulièrement dangereux. Dans la mesure du possible, les expériences les plus dangereuses doivent être faites sous hotte.

Mesures demandant des dépenses modérées

27. Allouer une partie du budget du département à la sécurité.
28. Exiger l'utilisation de lunettes de protection appropriées en tout temps, et ce, dans les laboratoires et les zones où sont transportés des produits chimiques.
29. Fournir un équipement de protection individuel adéquat (lunettes à branches, lunettes-masques, écrans faciaux, gants, blouses blanches et écrans de protection pour paillasse).
30. Pourvoir chaque laboratoire d'extincteurs, de douches de sécurité, de douches oculaires, de trousse de premiers secours, de couvertures anti-feu et de hottes aspirantes, et tester ou vérifier cet équipement chaque mois.
31. Installer des protections sur toutes les pompes à vide et attacher solidement toutes les bouteilles de gaz.
32. Fournir du matériel de premier secours en quantité suffisante et des instructions pour son utilisation correcte.
33. Fournir des armoires ignifuges pour le stockage des produits chimiques inflammables.

34. Au centre du département, constituer une bibliothèque contenant les manuels de sécurité suivants.
- *Safety in School Science Labs*, Clair Wood, 1994, Kaufman & Associates, 101 Oak Street, Wellesley, MA 02482
 - *The Laboratory Safety Pocket Guide*, 1996, Genium Publisher, One Genium Plaza, Schenectady, NY
 - *Safety in Academic Chemistry Laboratories*, ACS, 1155 Sixteenth Street NW, Washington, DC 20036
 - *Manual of Safety and Health Hazards in The School Science Laboratory, Safety in the School Science Laboratory, School Science Laboratories: A guide to Some Hazardous Substances*, Council of State Science Supervisors (maintenant disponibles en anglais auprès du LSI)
 - *Handbook of Laboratory Safety*, 4^e édition, CRC Press, 2000 Corporate Boulevard NW, Boca Raton, FL 33431
 - *Fire Protection Guide on Hazardous Materials*, National Fire Protection Association, Batterymarch Park, Quincy, MA 02269
 - *Prudent Practices in the Laboratory: Handling and Disposal of Hazardous Chemicals*, 2^e édition, 1995
 - *Biosafety in the Laboratory*, National Academy Press, 2101 Constitution Avenue, NW, Washington, DC 20418
 - *Learning By Accident*, Volumes 1 – 3, 1997–2000, The Laboratory Safety Institute, Natick, MA 01760
- (Tous ces manuels sont disponibles en anglais auprès du **LSI**.)
35. Retirer toutes les connexions électriques à l'intérieur des réfrigérateurs réservés aux produits chimiques et exiger des fermetures magnétiques.
36. Exiger des prises de terre sur tous les appareils électriques et installer des disjoncteurs différentiels si nécessaire.
37. Étiqueter tous les produits chimiques en indiquant le nom du produit, la nature et le degré du risque, les précautions à prendre et le nom de la personne responsable du contenant.
38. Élaborer un programme pour la datation des produits chimiques stockés et leur nouvelle certification ou leur destruction après la période de stockage maximale déterminée.
39. Élaborer un système d'élimination des déchets chimiques qui soit légal, sûr et écologique.
40. Stocker les produits chimiques dans des endroits sûrs, suffisamment espacés et bien ventilés.



Utilisation des critères d'évaluation interne

L'évaluation interne se base sur un certain nombre de critères. Chaque critère d'évaluation comprend des descripteurs définissant des niveaux d'accomplissements spécifiques auxquels correspond une gamme de notes. Bien que les descripteurs de niveaux portent sur les aspects positifs du travail, la notion d'échec peut être incluse dans la description.

Les enseignants doivent évaluer les travaux remis pour l'évaluation interne au NS et au NM à l'aide des critères d'évaluation, en utilisant les descripteurs de niveaux.

- Les critères d'évaluation sont identiques pour le NM et le NS.
- Le but consiste à trouver, pour chaque critère, le descripteur qui correspond le mieux au niveau du travail à l'aide du modèle de meilleur ajustement. Ce modèle consiste à effectuer un ajustement, lorsqu'un travail présente des aspects du critère à des niveaux différents. La note attribuée doit refléter le plus possible l'accomplissement dans son ensemble par rapport au critère. Il n'est pas nécessaire que tous les aspects du descripteur de niveaux soient présents pour que la ou les notes correspondantes soient attribuées.
- Lorsqu'ils évaluent le travail d'un élève, les enseignants doivent, pour chaque critère, lire les descripteurs de niveaux jusqu'à ce qu'ils atteignent celui qui décrit le mieux le travail évalué. Si un travail semble se situer entre deux descripteurs, l'enseignant doit les relire et choisir celui qui est le plus approprié au travail de l'élève.
- Lorsqu'un niveau contient une gamme de notes, l'enseignant doit donner les notes les plus élevées si le travail de l'élève démontre les qualités décrites dans une large mesure ; la qualité du travail est alors très proche du niveau supérieur. L'enseignant doit donner les notes les plus basses si le travail de l'élève démontre les qualités décrites dans une moindre mesure ; la qualité du travail est alors très proche du niveau inférieur.
- Seuls les nombres entiers seront retenus. Les notes partielles, c'est-à-dire les fractions et les décimales, ne sont pas acceptées.
- Les enseignants ne doivent pas penser en termes de réussite ou d'échec, mais plutôt chercher à déterminer le descripteur adéquat pour chaque critère d'évaluation.
- Les descripteurs les plus élevés ne correspondent pas nécessairement à un travail parfait et doivent être à la portée des élèves. Les enseignants ne doivent pas hésiter à choisir les extrêmes s'ils décrivent adéquatement le niveau du travail évalué.
- Un élève qui a atteint un niveau élevé pour un critère donné n'atteindra pas nécessairement un niveau élevé pour les autres critères. De même, l'atteinte d'un niveau bas pour un critère donné n'implique pas nécessairement que le travail atteindra un niveau bas pour les autres critères. Les enseignants ne doivent pas s'attendre à voir l'évaluation de l'ensemble des élèves suivre une distribution particulière des notes.
- Il est recommandé de mettre les critères d'évaluation à la disposition des élèves.

Travaux pratiques et évaluation interne

Introduction générale

Les exigences de l'évaluation interne sont les mêmes pour la biologie, la chimie et la physique. L'évaluation interne compte pour 20 % de l'évaluation finale et consiste en une recherche individuelle. Cette recherche scientifique doit porter sur un thème adapté au niveau du programme.

Les recherches des élèves sont évaluées en interne par leur enseignant puis soumises à une révision de notation externe effectuée par l'IB. Au NM et au NS, les recherches sont notées à l'aide de critères d'évaluation communs et chaque élève obtient une note totale sur 24 points.

Remarque : toute recherche utilisée pour l'évaluation des élèves doit être spécifiquement conçue pour correspondre aux critères d'évaluation.

La tâche d'évaluation interne est une recherche individuelle prenant environ 10 heures et le rapport de recherche doit comprendre entre 6 et 12 pages. Les élèves qui dépassent ce nombre limite de pages seront pénalisés dans le critère *communication* en raison de leur manque de concision.

De par sa nature pratique et l'utilisation de critères d'évaluation généraux, la recherche individuelle permet aux élèves de faire leur choix parmi un large éventail d'activités pratiques satisfaisant aux diverses exigences des cours de biologie, de chimie et de physique. Elle permet également aux élèves de faire preuve de plusieurs des qualités du profil de l'apprenant de l'IB (voir les autres liens dans la section « Manières d'aborder l'enseignement et l'apprentissage de la chimie »).

La recherche individuelle doit être une tâche complexe dont le niveau correspond à celui du cours. Les élèves doivent formuler une question de recherche réfléchie et fournir une justification scientifique. Le matériel de soutien pédagogique comprend des exemples de travaux d'élèves évalués qui montrent la rigueur de l'évaluation, dont le niveau n'a pas changé par rapport à l'ancien cours.

Quelques exemples de tâches possibles sont fournis ci-dessous.

- Recherche pratique en laboratoire
- Utilisation d'un tableur pour l'analyse et la modélisation
- Extraction de données d'une base de données et analyse graphique de ces données
- Utilisation d'un tableur ou d'une base de données associée à une recherche pratique traditionnelle
- Utilisation d'une simulation, à condition qu'elle soit interactive et ouverte

Certaines tâches peuvent comprendre des travaux qualitatifs pertinents et adéquats associés à des travaux quantitatifs.

Comme dans le cours précédent, la tâche d'évaluation interne peut prendre la forme d'une recherche pratique traditionnelle. La profondeur de traitement requise pour les recherches pratiques traditionnelles reste identique à celle qui était requise pour la composante d'évaluation interne de l'ancien cours et elle est expliquée en détail dans le matériel de soutien pédagogique. En outre, certains aspects spécifiques des travaux pratiques feront l'objet d'une évaluation dans le cadre des épreuves écrites, tel qu'indiqué dans les thèmes pertinents (voir la section « Contenu du programme »).

Les mêmes critères d'évaluation seront appliqués à la tâche au NM et au NS. Ces cinq critères sont : *investissement personnel, exploration, analyse, évaluation et communication*.

Description détaillée de l'évaluation interne

Composante d'évaluation interne

Durée : 10 heures

Pondération : 20 %

- Recherche individuelle
- Cette recherche tient compte des objectifs d'évaluation 1, 2, 3 et 4.

Critères d'évaluation interne

Le nouveau modèle d'évaluation comprend cinq critères pour l'évaluation du rapport de recherche produit dans le cadre de la recherche individuelle. Le nombre de points et la pondération pour chaque critère sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Investissement personnel	Exploration	Analyse	Évaluation	Communication	Total
2 (8 %)	6 (25 %)	6 (25 %)	6 (25 %)	4 (17 %)	24 (100 %)

Les niveaux d'accomplissement sont décrits à l'aide de plusieurs indicateurs dans chaque niveau. Dans bon nombre de cas, les indicateurs d'un niveau donné se présentent simultanément, mais cela n'est pas toujours le cas. De même, tous les indicateurs ne sont pas toujours présents. Cela signifie que la performance d'un candidat peut correspondre à différents niveaux. Afin de tenir compte de cette possibilité, les modèles d'évaluation de l'IB utilisent des descripteurs de niveaux et conseillent aux examinateurs et enseignants d'employer le **modèle de meilleur ajustement** lorsqu'ils décident de la note qu'il convient d'attribuer dans un critère.

Il est recommandé aux enseignants de lire les directives sur l'utilisation des critères d'évaluation fournis dans la section « Utilisation des critères d'évaluation interne » avant de commencer leur notation. Il est également essentiel qu'ils prennent bien connaissance des exemples de travaux évalués, présentés dans le matériel de soutien pédagogique, afin de se familiariser avec la notation. Des définitions précises des mots-consignes utilisés dans les critères d'évaluation sont fournies dans la section « Glossaire des mots-consignes » figurant à la fin du présent guide.

Investissement personnel

Ce critère sert à évaluer la mesure dans laquelle l'élève s'investit dans la recherche et se l'approprie. L'investissement personnel peut prendre la forme de différentes caractéristiques et compétences. Il peut s'agir d'une prise en considération des intérêts personnels ou de signes d'une réflexion indépendante, d'une créativité ou d'une initiative dans la conception, la mise en œuvre ou la présentation de la recherche.

Niveaux	Descripteurs
0	Le rapport de l'élève n'atteint pas l'un des niveaux décrits ci-dessous.
1	<p>Le rapport témoigne peu d'un investissement personnel dans la recherche et l'élève fait preuve d'une réflexion indépendante, d'une initiative ou d'une créativité limitée.</p> <p>La justification du choix de la question de recherche et/ou du thème de la recherche ne révèle pas leur importance pour l'élève, un intérêt personnel ou une curiosité.</p> <p>Le rapport témoigne peu d'une contribution et d'une initiative personnelles lors de la conception, la mise en œuvre ou la présentation de la recherche.</p>
2	<p>Le rapport témoigne clairement d'un investissement personnel dans la recherche et l'élève fait preuve d'une réflexion indépendante, d'une initiative ou d'une créativité considérable.</p> <p>La justification du choix de la question de recherche et/ou du thème de la recherche révèle leur importance pour l'élève, un intérêt personnel ou une curiosité.</p> <p>Le rapport témoigne d'une contribution et d'une initiative personnelles lors de la conception, la mise en œuvre ou la présentation de la recherche.</p>

Exploration

Ce critère sert à évaluer la mesure dans laquelle l'élève indique le contexte scientifique de sa recherche, formule une question de recherche claire et précise, et utilise des techniques et des concepts adaptés au niveau requis dans le Programme du diplôme. Le cas échéant, il sert également à évaluer la conscience des aspects liés à la sécurité, à l'environnement et à l'éthique.

Niveaux	Descripteurs
0	Le rapport de l'élève n'atteint pas l'un des niveaux décrits ci-dessous.
1 – 2	<p>Le thème de la recherche est mentionné et une question de recherche assez pertinente est indiquée, mais elle n'est pas précise.</p> <p>Les informations sur le contexte de la recherche sont superficielles ou peu pertinentes, et elles ne facilitent pas la compréhension du contexte de la recherche.</p> <p>La méthode de recherche convient dans une très faible mesure au traitement de la question de recherche car elle tient peu compte des facteurs importants pouvant influencer sur la pertinence, la fiabilité et la suffisance des données recueillies.</p> <p>Le rapport témoigne d'une conscience limitée des aspects importants liés à la sécurité, à l'environnement ou à l'éthique qui sont pertinents pour la méthode d'investigation*.</p>
3 – 4	<p>Le thème de la recherche est mentionné, et une question de recherche pertinente, mais pas tout à fait précise, est décrite.</p> <p>La plupart des informations sur le contexte de la recherche sont appropriées et pertinentes, et elles facilitent la compréhension du contexte de la recherche.</p> <p>La méthode de recherche convient généralement au traitement de la question de recherche, mais elle présente certaines insuffisances car elle ne tient compte que de quelques facteurs importants pouvant influencer sur la pertinence, la fiabilité et la suffisance des données recueillies.</p> <p>Le rapport témoigne d'une certaine conscience des aspects importants liés à la sécurité, à l'environnement ou à l'éthique qui sont pertinents pour la méthode d'investigation*.</p>
5 – 6	<p>Le thème de la recherche est mentionné, et une question de recherche pertinente et tout à fait précise est clairement décrite.</p> <p>Toutes les informations sur le contexte de la recherche sont appropriées et pertinentes, et elles améliorent la compréhension du contexte de la recherche.</p> <p>La méthode de recherche convient parfaitement au traitement de la question de recherche car elle tient compte de tous, ou presque tous, les facteurs importants pouvant influencer sur la pertinence, la fiabilité et la suffisance des données recueillies.</p> <p>Le rapport témoigne d'une parfaite conscience des aspects importants liés à la sécurité, à l'environnement ou à l'éthique qui sont pertinents pour la méthode d'investigation*.</p>

* Cet indicateur s'applique uniquement lorsqu'il convient à la recherche. Veuillez vous référer aux exemples de travaux évalués fournis dans le matériel de soutien pédagogique.

Analyse

Ce critère sert à évaluer la mesure dans laquelle le rapport de l'élève apporte la preuve que ce dernier a sélectionné, consigné, traité et **interprété** les données d'une façon adaptée à la question de recherche et de façon à pouvoir étayer une conclusion.

Niveaux	Descripteurs
0	Le rapport de l'élève n'atteint pas l'un des niveaux décrits ci-dessous.
1 – 2	<p>Le rapport comprend un nombre insuffisant de données brutes pertinentes pour étayer une conclusion valable sur la question de recherche.</p> <p>Un certain traitement élémentaire des données est réalisé, mais celui-ci est trop erroné ou trop insuffisant pour conduire à une conclusion valable.</p> <p>Le rapport témoigne d'une prise en considération limitée de l'impact de l'incertitude des mesures sur l'analyse.</p> <p>Les données traitées sont incorrectement ou insuffisamment interprétées, si bien que la conclusion n'est pas valable ou est très incomplète.</p>
3 – 4	<p>Le rapport comprend des données brutes quantitatives et qualitatives pertinentes, mais incomplètes, qui pourraient étayer une conclusion simple ou partiellement valable sur la question de recherche.</p> <p>Un traitement approprié et suffisant des données est réalisé, qui pourrait conduire à une conclusion globalement valable, mais celui-ci présente des inexactitudes et des incohérences importantes.</p> <p>Le rapport témoigne d'une certaine prise en considération de l'impact de l'incertitude des mesures sur l'analyse.</p> <p>Les données traitées sont interprétées, si bien que l'élève peut tirer une conclusion globalement valable mais incomplète ou une conclusion limitée sur la question de recherche.</p>
5 – 6	<p>Le rapport comprend suffisamment de données brutes quantitatives et qualitatives pertinentes, qui pourraient étayer une conclusion valable et détaillée sur la question de recherche.</p> <p>Un traitement approprié et suffisant des données est réalisé avec la précision nécessaire pour tirer une conclusion sur la question de recherche qui est totalement en accord avec les données expérimentales.</p> <p>Le rapport témoigne d'une prise en considération totale et appropriée de l'impact de l'incertitude des mesures sur l'analyse.</p> <p>Les données traitées sont correctement interprétées, si bien que l'élève peut tirer une conclusion totalement valable et détaillée sur la question de recherche.</p>

Évaluation

Ce critère sert à évaluer la mesure dans laquelle le rapport de l'élève apporte la preuve que ce dernier a évalué sa recherche et ses résultats en tenant compte de la question de recherche et du contexte scientifique reconnu.

Niveaux	Descripteurs
0	Le rapport de l'élève n'atteint pas l'un des niveaux décrits ci-dessous.
1 – 2	<p>L'élève décrit brièvement une conclusion qui n'est pas en rapport avec la question de recherche ou qui n'est pas étayée par les données présentées dans le rapport.</p> <p>La conclusion établit une comparaison superficielle avec le contexte scientifique reconnu.</p> <p>Les points forts et les points faibles de la recherche, tels que les insuffisances des données et les sources d'erreurs, sont décrits brièvement, mais ils se limitent à un compte rendu des problèmes pratiques ou de procédure rencontrés.</p> <p>L'élève présente brièvement un très petit nombre de suggestions d'améliorations et d'autres pistes de recherche réalistes et pertinentes pour sa recherche.</p>
3 – 4	<p>L'élève décrit une conclusion qui est en rapport avec la question de recherche et qui est étayée par les données présentées dans le rapport.</p> <p>Une conclusion est décrite, qui établit une comparaison pertinente avec le contexte scientifique reconnu.</p> <p>Les points forts et les points faibles de la recherche, tels que les insuffisances des données et les sources d'erreurs, sont décrits et témoignent d'une certaine conscience des problèmes méthodologiques* rencontrés lors de l'établissement de la conclusion.</p> <p>L'élève décrit quelques suggestions d'améliorations et d'autres pistes de recherche réalistes et pertinentes pour sa recherche.</p>
5 – 6	<p>L'élève décrit et justifie une conclusion détaillée qui est entièrement en rapport avec la question de recherche et qui est parfaitement étayée par les données présentées dans le rapport.</p> <p>Une conclusion est correctement décrite et justifiée, en établissant une comparaison pertinente avec le contexte scientifique reconnu.</p> <p>Les points forts et les points faibles de la recherche, tels que les insuffisances des données et les sources d'erreurs, sont examinés et témoignent d'une bonne compréhension des problèmes méthodologiques* rencontrés lors de l'établissement de la conclusion.</p> <p>L'élève examine des suggestions d'améliorations et d'autres pistes de recherche réalistes et pertinentes pour sa recherche.</p>

* Pour obtenir des précisions, veuillez vous référer aux exemples de travaux évalués fournis dans le matériel de soutien pédagogique.

Communication

Ce critère sert à évaluer si la présentation de la recherche et le rapport de recherche permettent de communiquer efficacement l'objectif, le processus et les résultats.

Niveaux	Descripteurs
0	Le rapport de l'élève n'atteint pas l'un des niveaux décrits ci-dessous.
1 – 2	<p>La présentation de la recherche manque de clarté, ce qui rend difficile la compréhension de l'objectif, du processus et des résultats.</p> <p>Le rapport est mal structuré et manque de clarté : les informations nécessaires sur l'objectif, le processus et les résultats font défaut ou sont présentées de façon incohérente ou désordonnée.</p> <p>La présence d'informations inappropriées ou non pertinentes gêne la compréhension de l'objectif, du processus et des résultats de la recherche.</p> <p>De nombreuses erreurs sont commises dans l'utilisation de la terminologie et des conventions propres à la matière*.</p>
3 – 4	<p>La présentation de la recherche est claire. Les erreurs éventuelles ne gênent pas la compréhension de l'objectif, du processus et des résultats.</p> <p>Le rapport est bien structuré et clair : les informations nécessaires sur l'objectif, le processus et les résultats sont incluses et sont présentées de façon cohérente.</p> <p>Le rapport est pertinent et concis, ce qui facilite la compréhension de l'objectif, du processus et des résultats de la recherche.</p> <p>L'utilisation de la terminologie et des conventions propres à la matière est appropriée et correcte. Les erreurs éventuelles ne gênent pas la compréhension.</p>

* Par exemple, les légendes des graphiques, tableaux et images peuvent être incorrectes ou manquantes et il peut y avoir des erreurs dans l'utilisation des unités ou du nombre de décimales. Pour les questions liées aux références et à la mention des sources, veuillez vous référer à la section « Intégrité en milieu scolaire ».

Fondement des travaux pratiques

Si les exigences de l'évaluation interne sont axées sur la recherche individuelle, les divers types de travaux pratiques entrepris par les élèves ont d'autres fins, y compris :

- illustrer, enseigner et renforcer la compréhension des concepts théoriques ;
- développer une meilleure compréhension de la nature essentiellement pratique de la majeure partie des travaux scientifiques ;
- développer une meilleure compréhension de la manière dont les scientifiques utilisent les données secondaires issues de bases de données ;
- développer une meilleure compréhension de l'utilisation de la modélisation par les scientifiques ;
- développer une meilleure compréhension des avantages et des limites des méthodes scientifiques.

Programme de travaux pratiques

Le programme de travaux pratiques (PTP) est la partie pratique du cours prévue par l'enseignant et il consiste en un résumé de toutes les activités de recherche effectuées par un élève. Les élèves du NM et du NS étudiant une même matière peuvent parfois effectuer les mêmes recherches.

Traitement du programme

La gamme de travaux pratiques doit refléter l'étendue et la profondeur du programme d'études de la matière et de chaque niveau, mais il n'est pas nécessaire d'effectuer un travail de recherche pour chaque thème du programme. Tous les élèves doivent cependant prendre part au projet du groupe 4 et réaliser une recherche individuelle pour l'évaluation interne.

Planification du programme de travaux pratiques

Les enseignants sont libres d'élaborer leur propre programme de travaux pratiques en choisissant les travaux pratiques selon les exigences présentées dans le présent guide. Leurs choix doivent être basés sur :

- les matières, niveaux et options enseignés ;
- les besoins de leurs élèves ;
- les ressources disponibles ;
- leur style d'enseignement.

Chaque programme de travaux pratiques doit comprendre quelques expériences complexes qui exigent une plus grande compréhension conceptuelle de la part des élèves. Un programme composé uniquement d'expériences simples, au cours desquelles les élèves doivent, par exemple, cocher des cases ou remplir des tableaux, ne propose pas une gamme adéquate de travaux pratiques aux élèves.

Les enseignants sont invités à se rendre sur la page du CPEL consacrée à leur matière où ils pourront échanger leurs idées de travaux pratiques en prenant part aux discussions sur les forums et en ajoutant des ressources pédagogiques.

Flexibilité

Le programme de travaux pratiques est suffisamment flexible pour permettre la réalisation d'une grande variété d'activités pratiques, telles que :

- des travaux pratiques de courte durée ou des projets s'étendant sur plusieurs semaines ;
- des simulations informatiques ;
- l'utilisation de bases de données pour les données secondaires ;
- l'élaboration et l'utilisation de modèles ;
- des exercices de recueil de données (par exemple, questionnaires, essais auprès des utilisateurs et sondages) ;
- des exercices d'analyse des données ;
- un travail sur le terrain.

Documentation relative aux travaux pratiques

Le contenu du programme de travaux pratiques doit être consigné sur le *Formulaire 4/PSOW* disponible dans le *Manuel de procédures pour le Programme du diplôme*. Une photocopie du *Formulaire 4/PSOW* rempli pour la classe doit être jointe à tout échantillon envoyé pour la révision de notation. Un seul formulaire doit être rempli pour une classe du NM ou du NS, mais pour une classe combinant le NM et le NS, des formulaires 4/PSOW distincts sont requis pour le NM et le NS.

Temps alloué aux travaux pratiques

Le nombre d'heures d'enseignement recommandé pour tous les cours du Programme du diplôme est de 150 au NM et de 240 au NS. Les élèves du NM doivent consacrer 40 heures aux travaux pratiques tandis que les élèves du NS doivent y consacrer 60 heures (non compris le temps passé à la rédaction). Ces durées comprennent les 10 heures allouées au projet du groupe 4 et les 10 heures allouées à la recherche individuelle, réalisée dans le cadre de l'évaluation interne. Seules 2 à 3 heures de travail de recherche peuvent être effectuées après la date limite pour l'envoi des travaux au réviseur de notation et encore être prises en compte dans le nombre total d'heures consacrées au programme de travaux pratiques.

Le projet du groupe 4

Le projet du groupe 4 est une activité interdisciplinaire à laquelle doivent prendre part tous les élèves suivant un cours de sciences du Programme du diplôme. Il a pour objectif de permettre aux élèves des différentes matières du groupe 4 d'analyser un thème ou un problème commun. Cet exercice doit être réalisé en collaboration et l'accent doit être mis sur les processus intervenant dans une telle activité plutôt que sur les produits de cette activité.

Dans la plupart des cas, tous les élèves de l'établissement effectuent leur recherche sur un même thème. Toutefois, lorsque les élèves sont très nombreux, il est possible de former plusieurs groupes plus réduits comprenant des élèves de chacune des matières scientifiques. Les groupes peuvent alors effectuer leur recherche sur un même thème ou sur des thèmes différents. En d'autres termes, il peut y avoir plusieurs projets du groupe 4 dans un même établissement.

Les élèves suivant le cours de systèmes de l'environnement et sociétés ne sont pas tenus de réaliser le projet du groupe 4.

Résumé du projet du groupe 4

Le projet du groupe 4 est une activité réalisée en collaboration, au cours de laquelle des élèves étudiant différentes matières de ce groupe travaillent ensemble sur un thème scientifique ou technologique. Il permet le partage de concepts et de perspectives issus de différentes disciplines, conformément à l'objectif global 10 qui est « de favoriser une compréhension des rapports existant entre les disciplines scientifiques et de leur influence sur d'autres domaines de la connaissance ». Le projet peut être fondé sur la pratique ou la théorie. La collaboration entre des établissements scolaires de différentes régions est encouragée.

Le projet du groupe 4 permet aux élèves de comprendre les implications environnementales, sociales et éthiques de la science et de la technologie. Il leur permet également de comprendre les limites de la recherche scientifique, telles que l'insuffisance de données pertinentes et le manque de ressources. L'accent est mis sur la coopération interdisciplinaire et sur les procédures suivies dans la recherche scientifique, plutôt que sur les résultats de la recherche.

Le choix du thème scientifique ou technologique est libre, mais le projet doit clairement tenir compte des objectifs globaux 7, 8 et 10 présentés dans les guides des matières du groupe 4.

Dans l'idéal, toutes les étapes du projet doivent impliquer une collaboration entre les élèves étudiant les matières du groupe 4. À cette fin, il n'est pas nécessaire que le thème choisi comporte des composantes bien distinctes par matière. Cependant, certains établissements peuvent préférer une étape « action » distincte par matière (voir la section « Étapes du projet » ci-après), et ce, pour des raisons logistiques.

Étapes du projet

Les dix heures consacrées au projet du groupe 4 font partie du temps d'enseignement réservé au programme de travaux pratiques. Elles doivent être réparties entre les trois étapes du projet : organisation, action et évaluation.

Organisation

Cette étape revêt une grande importance pour l'ensemble du projet et environ deux heures doivent lui être consacrées.

- L'étape « organisation » peut consister en une seule séance ou en deux ou trois séances plus courtes.
- Tous les élèves du groupe 4 doivent participer à cette étape. Au cours d'une séance de remue-méninges, ils discutent du thème principal et échangent des idées et des informations.
- Le thème peut être choisi par les élèves ou par les enseignants.
- Lorsque les élèves sont nombreux, il peut être souhaitable de les répartir en plusieurs groupes composés d'élèves étudiant différentes matières.

Après avoir choisi un thème ou un problème, les activités à effectuer doivent être clairement définies avant de passer de l'étape « organisation » aux étapes « action » et « évaluation ».

Il est possible de laisser les élèves décider eux-mêmes des activités qu'ils entreprendront, soit individuellement ou en tant que membres d'un groupe, et de les laisser effectuer des recherches sur divers aspects du thème. À ce stade, si le projet est de nature expérimentale, il convient de spécifier l'équipement nécessaire pour éviter tout retard dans la réalisation de l'étape « action ». Si l'établissement a opté pour un projet commun avec un autre établissement, il est important de se mettre en rapport avec ce dernier à ce stade.

Action

Environ six heures doivent être consacrées à cette étape. Elles peuvent être réparties sur une ou deux semaines et l'étape peut être réalisée pendant les heures de cours habituelles. Une autre solution consiste à lui consacrer une journée entière lorsque, par exemple, le projet requiert un travail sur le terrain.

- Les élèves doivent effectuer leurs recherches sur le thème choisi dans des groupes composés d'élèves étudiant une même matière ou d'élèves étudiant différentes matières du groupe 4.
- Les élèves doivent collaborer pendant cette étape. Les résultats de leurs recherches doivent être communiqués aux autres élèves au sein du groupe constitué pour le projet. Il est important de prêter attention aux questions de sécurité, d'éthique et de protection de l'environnement pendant les travaux pratiques effectués durant cette étape.

Remarque : les élèves qui étudient deux matières du groupe 4 ne sont pas tenus de réaliser deux étapes « action » distinctes.

Évaluation

Durant cette étape, qui nécessitera sans doute deux heures, l'accent doit être mis sur le partage avec d'autres élèves des résultats obtenus, qu'ils soient positifs ou négatifs. La façon de procéder peut être choisie par les enseignants, les élèves ou conjointement.

- Il est possible de consacrer une matinée, une après-midi ou une soirée à un symposium durant lequel tous les élèves font, individuellement ou en groupes, de courts exposés.
- La présentation des résultats peut aussi être plus informelle et prendre la forme d'une exposition scientifique durant laquelle les élèves circulent d'un stand à l'autre, chaque stand résumant les activités de chaque groupe d'élèves.

Les parents d'élèves, les membres du conseil d'administration et la presse peuvent également être conviés à assister au symposium ou à l'exposition scientifique ». Leur présence est particulièrement fondée lorsque le thème de la recherche a des résonances locales. Certains résultats pourraient influencer les relations entre l'établissement et son environnement ou sa communauté locale.

Prise en considération des objectifs globaux 7 et 8

Objectif global 7 : « acquérir et mettre en pratique les compétences en communication nécessaires au XXI^e siècle lors de l'étude des sciences »

Durant l'étape « organisation », une utilisation de la communication électronique au sein de l'établissement ou entre les établissements permet de prendre partiellement en considération l'objectif global 7. La technologie (par exemple, enregistreurs de données, tableurs, bases de données, etc.) sera probablement utilisée au cours de l'étape « action » et elle le sera certainement à l'étape « évaluation » ou lors de la présentation des résultats (par exemple, utilisation d'images numériques, de logiciels de présentation, de sites Web, de vidéos numériques, etc.).

Objectif global 8 : « développer un sens critique, en tant que citoyens du monde, des implications éthiques de l'utilisation des sciences et de la technologie »

Prise en considération de la dimension internationale

Le choix du thème offre également des possibilités d'illustrer la nature internationale de la recherche scientifique et la nécessité toujours croissante d'une coopération pour s'attaquer aux problèmes mondiaux concernant la science et la technologie. La collaboration avec un établissement d'une autre région constitue une autre façon d'apporter une dimension internationale au projet.

Types de projet

Tout en tenant compte des objectifs globaux 7, 8 et 10, le projet doit être fondé sur la science ou ses applications. À l'étape « action », il peut prendre un caractère pratique ou ne mettre en jeu que des aspects théoriques. Le projet peut être entrepris de diverses manières.

- Conception et réalisation d'une recherche en laboratoire ou d'un travail sur le terrain.
- Étude comparative (expérimentale ou autre) en collaboration avec un autre établissement.
- Recueil, manipulation et analyse de données provenant d'autres sources, telles que des revues scientifiques, des organismes voués à la protection de l'environnement, les secteurs de la science et de la technologie et des rapports gouvernementaux.
- Conception et utilisation d'un modèle ou d'une simulation.
- Contribution à un projet à long terme, organisé par l'établissement.

Stratégies logistiques

L'organisation logistique du projet du groupe 4 représente souvent un défi pour les établissements. Les modèles ci-après illustrent des façons possibles de réaliser le projet.

Les modèles A, B et C s'appliquent à un seul établissement alors que le modèle D concerne un projet faisant appel à une collaboration entre établissements.

Modèle A : groupes composés d'élèves étudiant différentes matières et travaillant sur un seul thème

Les établissements peuvent choisir de former des groupes composés d'élèves étudiant différentes matières du groupe 4 et choisir un thème commun. Le nombre de groupes dépendra du nombre d'élèves.

Modèle B : groupes composés d'élèves étudiant différentes matières et travaillant sur plusieurs thèmes

Les établissements ayant un grand nombre d'élèves peuvent choisir plus d'un thème.

Modèle C : groupes composés d'élèves étudiant une même matière

Certains établissements peuvent choisir de former des groupes composés d'élèves étudiant une même matière avec un ou plusieurs thèmes dans l'étape « action », et ce, pour des raisons logistiques. Ce modèle est moins recommandé car il ne se prête pas à la collaboration interdisciplinaire à laquelle prennent part de nombreux scientifiques.

Modèle D : collaboration avec un autre établissement

Ce modèle peut être utilisé par tous les établissements. Afin de faciliter la collaboration, l'IB a mis un forum électronique à la disposition des établissements sur le CPEL. Ils pourront y publier leurs idées de projets et rechercher la collaboration d'autres établissements. Cette collaboration pourra aussi bien prendre la forme d'un simple échange des résultats lors de la phase « évaluation » pour un thème commun que d'une collaboration totale à toutes les étapes du projet.

Dans les établissements ayant peu d'élèves du Programme du diplôme ou ceux ayant des élèves de cours du Programme du diplôme, les élèves ont la possibilité de travailler avec d'autres élèves qui ne sont pas inscrits au Programme du diplôme ou qui n'étudient pas une matière du groupe 4. Il est également possible d'entreprendre le projet tous les deux ans. Ces établissements sont toutefois encouragés à collaborer avec un autre établissement. Cette stratégie est également recommandée pour les élèves n'ayant pas pu participer au projet (par exemple, en raison d'une maladie ou parce qu'ils ont été transférés dans un nouvel établissement où le projet est déjà terminé).

Calendrier

Les dix heures que l'IB recommande de consacrer au projet peuvent être réparties sur plusieurs semaines. Il convient de tenir compte de la répartition de ces heures lors du choix du moment le plus opportun pour réaliser le projet. Il est toutefois possible qu'un groupe se consacre exclusivement au projet durant une certaine période, si toutes ou presque toutes les autres activités scolaires sont suspendues durant cette période.

1^{re} année

En 1^{re} année, l'expérience et les compétences des élèves sont limitées et il n'est pas conseillé de commencer le projet trop tôt dans le programme. Toutefois, la réalisation du projet au cours de la dernière partie de la 1^{re} année présente l'avantage de réduire la charge de travail des élèves plus tard. Cette stratégie laisse du temps pour la résolution de problèmes inattendus.

1^{re} année et 2^e année

À la fin de la 1^{re} année, l'étape « organisation » peut commencer, le thème peut être choisi et des discussions préliminaires peuvent avoir lieu dans chaque matière. Les élèves peuvent ensuite mettre à profit leurs vacances pour réfléchir à la façon dont ils aborderont le projet. Ils seront ainsi prêts à commencer à travailler sur le projet au début de la 2^e année.

2^e année

Reporter le début du projet à plus tard au cours de la 2^e année augmente le stress des élèves à bien des égards, surtout s'il commence très tard dans l'année. En effet, cette stratégie présente l'inconvénient d'avoir un échéancier plus serré que dans les autres stratégies ; des difficultés supplémentaires peuvent survenir si un élève tombe malade ou que des problèmes inattendus se produisent. Elle présente néanmoins plusieurs avantages : les élèves connaissent leurs pairs et leurs enseignants à ce stade, ils sont sans doute accoutumés au travail en équipe et ils ont plus d'expérience dans les domaines concernés qu'en 1^{re} année.

NM et NS combinés

Lorsque les circonstances exigent que le projet ne soit entrepris que tous les deux ans, il est possible de faire travailler conjointement les élèves du NM les plus expérimentés et les débutants du NS.

Choix du thème

Les élèves peuvent choisir le thème de la recherche ou proposer des thèmes possibles et leurs enseignants décident ensuite du projet le plus réalisable sur la base de la disponibilité des ressources, du personnel, etc. Les enseignants peuvent aussi choisir le thème de la recherche ou proposer plusieurs thèmes aux élèves, qui choisissent celui qu'ils préfèrent.

Choix du thème par les élèves

S'ils ont choisi eux-mêmes le thème de la recherche, les élèves feront sans doute preuve de plus d'enthousiasme et se l'approprient mieux. Une stratégie permettant aux élèves de choisir le thème du projet et incluant une partie de l'étape « organisation » est suggérée ci-dessous. À ce stade, les enseignants peuvent conseiller les élèves quant aux chances de succès des thèmes proposés.

- Trouver des thèmes possibles à l'aide d'un questionnaire ou d'un sondage auprès des élèves.
- Organiser une séance initiale de remue-méninges sur les thèmes ou problèmes possibles.
- Discuter brièvement de deux ou trois thèmes qui semblent intéressants.
- Choisir un thème par consensus.
- Demander aux élèves de dresser une liste des recherches qui peuvent être effectuées. Tous les élèves discutent ensuite de certains points, tels que les chevauchements possibles et les recherches effectuées en collaboration.

Dans le cadre de l'évaluation interne, chaque élève doit rédiger un bilan de sa participation au projet du groupe 4 sur la page de couverture de la recherche individuelle. Le *Manuel de procédures pour le Programme du diplôme* contient de plus amples renseignements à ce sujet.

Glossaire des mots-consignes

Mots-consignes pour le cours de chimie

Les mots-consignes, autrefois appelés « termes utilisés dans le cadre de l'évaluation » et présentés ci-après, sont des termes et formules clés utilisés dans les questions d'examen. Les élèves doivent les connaître et les comprendre dans le sens des définitions données. Bien que ces mots-consignes soient ceux qui reviennent le plus souvent dans les questions d'examen, il est possible que d'autres termes soient parfois utilisés pour amener les élèves à présenter leur argumentation d'une autre façon.

Ces mots-consignes indiquent la profondeur de traitement requise.

Objectif d'évaluation 1

Mot-consigne	Définition
Classer	Organiser ou ranger par classes ou catégories.
Définir	Donner la signification précise d'un mot, d'une expression, d'un concept ou d'une grandeur physique.
Dessiner	Représenter à l'aide d'un schéma ou d'une représentation graphique précise et légendée, en utilisant un crayon. Une règle (ou une latte graduée) doit être utilisée pour dessiner les droites. Les schémas doivent être dessinés à l'échelle. Les points des graphiques doivent être placés correctement (si nécessaire) et reliés par des droites ou des courbes.
Énumérer	Fournir une liste de réponses brèves sans explication.
Exprimer	Donner un nom spécifique, une valeur ou toute autre réponse brève sans explication ni calcul.
Légender	Ajouter des légendes à un schéma.
Mesurer	Obtenir une valeur pour une quantité.

Objectif d'évaluation 2

Mot-consigne	Définition
Annoter	Ajouter des notes brèves à un schéma ou à un graphique.
Appliquer	Utiliser une idée, une équation, un principe, une théorie ou une loi en relation avec un problème ou une question donnés.
Calculer	Obtenir une réponse numérique en montrant les étapes adéquates pour l'obtenir.
Décrire	Exposer de façon détaillée.

Mot-consigne	Définition
Distinguer	Clarifier les différences qui existent entre deux ou plusieurs concepts ou éléments.
Estimer	Donner une valeur approximative.
Formuler	Exprimer de façon précise et systématique le ou les concepts ou arguments pertinents.
Identifier	Fournir la bonne réponse à partir de plusieurs possibilités.
Résumer	Présenter brièvement ou donner une idée générale.

Objectif d'évaluation 3

Mot-consigne	Définition
Analyser	Décomposer de manière à exposer les éléments essentiels ou la structure.
Commenter	Formuler un jugement basé sur un énoncé ou un résultat d'un calcul donné.
Comparer	Exposer les similitudes qui existent entre deux ou plusieurs éléments ou situations et se référer constamment à ces deux ou à tous ces éléments.
Comparer et opposer	Exposer les similitudes et les différences qui existent entre deux ou plusieurs éléments ou situations, et se référer constamment à ces deux ou à tous ces éléments.
Construire	Présenter les informations de manière schématique ou logique.
Déduire	Parvenir à une conclusion à partir des informations fournies.
Démontrer	Établir de manière évidente, par un raisonnement ou des éléments de preuve, en illustrant à l'aide d'exemples ou d'applications.
Dériver	Manipuler une relation mathématique pour donner une nouvelle équation ou relation.
Déterminer	Trouver la seule réponse possible.
Discuter	Présenter une critique équilibrée et réfléchie s'appuyant sur différents arguments, facteurs ou hypothèses. Les opinions et conclusions doivent être présentées clairement et étayées de preuves adéquates.
Élaborer	Produire un plan, une simulation ou un modèle.
Évaluer	Émettre un jugement en pesant les points forts et les points faibles.
Examiner	Aborder un argument ou un concept de façon à faire la lumière sur ses postulats et ses corrélations.
Expliquer	Donner un compte rendu détaillé incluant les raisons ou les causes.
Explorer	Adopter une démarche systématique de découverte.
Interpréter	Utiliser ses connaissances et sa compréhension pour reconnaître les tendances et tirer des conclusions à partir des informations données.

Mot-consigne	Définition
Justifier	Donner des raisons ou des preuves valables pour étayer une réponse ou une conclusion.
Montrer	Donner les étapes d'un calcul, d'une démarche ou d'un raisonnement.
Prédire	Donner un résultat attendu.
Représenter	Représenter au moyen d'un schéma ou d'un graphique (légendé de manière appropriée). La représentation doit donner une idée générale de la forme ou de la relation demandée et doit inclure des éléments appropriés.
Résoudre	Obtenir des réponses à l'aide de méthodes algébrique, numérique et/ou graphique.
Suggérer	Proposer une solution, une hypothèse ou une autre réponse possible.

Bibliographie

Cette bibliographie recense les principaux ouvrages qui ont documenté la révision du programme. Elle ne constitue pas une liste exhaustive de tous les ouvrages existants dans ce domaine : une sélection judicieuse a été effectuée afin de fournir les meilleurs conseils aux enseignants. Cette bibliographie ne doit pas être perçue comme une liste de manuels recommandés.

RHOTON, J. 2010. *Science Education Leadership: Best Practices for the New Century*. Arlington (Virginie), États-Unis : National Science Teachers Association Press.

MASOOD, E. 2009. *Science & Islam: A History*. Londres, Royaume-Uni : Icon Books.

ROBERTS, B. 2009. *Educating for Global Citizenship: A Practical Guide for Schools*. Cardiff, Royaume-Uni : International Baccalaureate Organization.

MARTIN, J. 2006. *The Meaning of the 21st Century: A vital blueprint for ensuring our future*. Londres, Royaume-Uni : Eden Project Books.

GERZON, M. 2010. *Global Citizens: How our vision of the world is outdated, and what we can do about it*. Londres, Royaume-Uni : Rider Books.

HAYDON, G. 2006. *Education, Philosophy & the Ethical Environment*. Oxon / New York, États-Unis : Routledge.

ANDERSON, L. W. et al. 2001. *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York, États-Unis : Addison Wesley Longman, Inc.

HATTIE, J. 2009. *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Oxon / New York, États-Unis : Routledge.

PETTY, G. 2009. *Evidence-based Teaching: A practical approach* (2^e édition). Cheltenham, Royaume-Uni : Nelson Thornes Ltd.

ANDAIN, I. et MURPHY, G. 2008. *Creating Lifelong Learners: Challenges for Education in the 21st Century*. Cardiff, Royaume-Uni : International Baccalaureate Organization.

JEWKES, J., SAWERS, D. et STILLERMAN, R. 1969. *The Sources of Invention* (2^e édition). New York, États-Unis : W.W. Norton & Co.

LAWSON, B. 2005. *How Designers Think: The design process demystified* (4^e édition). Oxford, Royaume-Uni : Architectural Press.

DOUGLAS, H. 2009. *Science, Policy, and the Value-Free Ideal*. Pittsburgh, États-Unis : University of Pittsburgh Press.

AIKENHEAD, G. et MICHELL, H. 2011. *Bridging Cultures: Indigenous and Scientific Ways of Knowing Nature*. Toronto, Canada : Pearson Canada.

WINSTON, M. et EDELBACH, R. 2012. *Society, Ethics, and Technology* (4^e édition). Boston, États-Unis : Wadsworth CENGAGE Learning.

BRIAN ARTHUR, W. 2009. *The Nature of Technology*. Londres, Royaume-Uni : Penguin Books.

HEADRICK, D. 2009. *Technology: A World History*. Oxford, Royaume-Uni : Oxford University Press.

- POPPER, K. R. 1980. *The Logic of Scientific Discovery* (4^e édition révisée). Londres, Royaume-Uni : Hutchinson. [Une version française de l'ouvrage est disponible : *La logique de la découverte scientifique*]
- TREFIL, J. 2008. *Why Science?* New York / Arlington, États-Unis : NSTA Press & Teachers College Press.
- KUHN, T. S. 1996. *The Structure of Scientific Revolutions* (3^e édition). Chicago, États-Unis : The University of Chicago Press. [Une version française de l'ouvrage est disponible : *La structure des révolutions scientifiques*]
- KHINE, M. S. (éditeur). 2012. *Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies*. Bahreïn : Springer.
- SPIER, F. 2010. *Big History and the Future of Humanity*. Chichester, Royaume-Uni : Wiley-Blackwell.
- STOKES BROWN, C. 2007. *Big History: From the Big Bang to the Present*. New York, États-Unis : The New Press.
- SWAIN, H. (éditeur). 2002. *Big Questions in Sciences*. Londres, Royaume-Uni : Vintage.
- ROBERTS, R. M. 1989. *Serendipity: Accidental Discoveries in Science*. Chichester, Royaume-Uni : Wiley Science Editions.
- EHRlich, R. 2001. *Nine crazy ideas in science*. Princeton, États-Unis : Princeton University Press.
- LLOYD, C. 2012. *What on Earth Happened? The Complete Story of the Planet, Life and People from the Big Bang to the Present Day*. Londres, Royaume-Uni : Bloomsbury Publishing.
- TREFIL, J. et HAZEN, R. M. 2010. *Sciences: An integrated Approach* (6^e édition). Chichester, Royaume-Uni : Wiley.
- INTERNATIONAL COUNCIL OF ASSOCIATIONS FOR SCIENCE EDUCATION (ICASE). 2010. *Innovation in Science & Technology Education: Research, Policy, Practice*. Tartu, Estonie : ICASE / UNESCO / University of Tartu.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. *Science for all Americans online* [en ligne]. Washington D.C., États-Unis, 1990. Référence du 21 mars 2013. Disponible sur Internet : <<http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/sfaatoc.htm>>.
- MCLELLAND, C. V. *Nature of Science and the Scientific Method* [en ligne]. Boulder, États-Unis : The Geological Society of America, 2012. Référence du 21 mars 2013. Disponible sur Internet : <<http://www.geosociety.org/educate/naturescience.pdf>>.
- BIG HISTORY PROJECT. *Big History: An Introduction to Everything* [en ligne]. 2011. Référence du 21 mars 2013. Disponible sur Internet : <<http://www.bighistoryproject.com>>.
- NUFFIELD FOUNDATION. *How science works* [en ligne]. Londres, Royaume-Uni : Nuffield Foundation, 2012. Référence du 21 mars 2013. Disponible sur Internet : <<http://www.nuffieldfoundation.org/practical-physics/how-science-works>>.
- UNIVERSITY OF CALIFORNIA MUSEUM OF PALEONTOLOGY. *Understanding Science* [en ligne]. Berkeley, États-Unis. Référence du 1^{er} février 2013. Disponible sur Internet : <<http://www.understandingscience.org>>.
- COLLINS, S., OSBORNE, J., RATCLIFFE, M., MILLAR, R. et DUSCHL, R. 2012. *What 'ideas-about-science' should be taught in school science? A Delphi study of the 'expert' community*. Saint Louis, États-Unis : National Association for Research in Science Teaching (NARST).
- TIMSS (The Trends in International Mathematics and Science Study). Référence du 1^{er} février 2013. Disponible sur Internet : <<http://timssandpirls.bc.edu>>.
- PISA (Programme for International Student Assessment). Référence du 1^{er} février 2013. Disponible sur Internet : <<http://www.oecd.org/pisa>>.
- ROSE (The Relevance of Science Education). Référence du 1^{er} février 2013. Disponible sur Internet : <<http://roseproject.no/>>.