

Guide de physique

Première évaluation en 2016



Guide de physique

Première évaluation en 2016

Programme du diplôme

Guide de physique

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

Publié en février 2014

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>.

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 physique	14
Objectifs globaux	20
Objectifs d'évaluation	21
Programme	22
Résumé du programme	22
Manières d'aborder l'enseignement et l'apprentissage de la physique	23
Contenu du programme	28
Évaluation	136
L'évaluation dans le Programme du diplôme	136
Résumé de l'évaluation – NM	139
Résumé de l'évaluation – NS	140
Évaluation externe	141
Évaluation interne	143
Le projet du groupe 4	157
Annexes	162
Glossaire des mots-consignes	162
Bibliographie	165

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 de sciences expérimentales, 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 causals. 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 mené. 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 spéculaire, 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 1er février 2013]. Disponible sur Internet : <<http://undsci.berkeley.edu/article/scienceflowchart>>.

Comment fonctionne la science

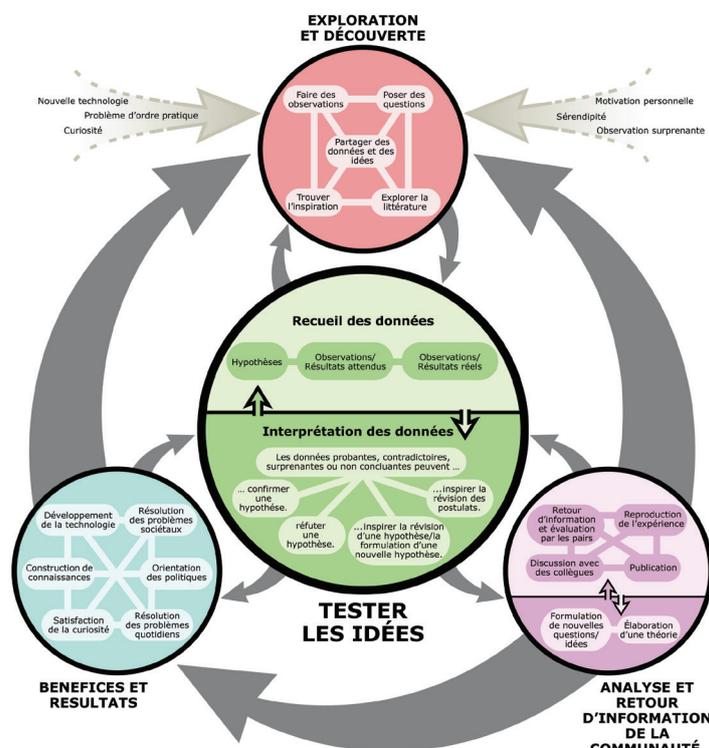


Figure 2

Processus menant à la découverte scientifique

Nature de la physique

« La physique est un ensemble torturé de qualités contraires : de scepticisme et de rationalité, de liberté et de révolution, de passion et d'esthétique, de vive imagination et de bon sens éclairé. »

Leon M. Lederman (prix Nobel de physique, 1988)

De toutes les sciences expérimentales, la physique est la plus fondamentale car elle cherche à expliquer l'univers, de ses plus petites particules (les quarks, qui sont probablement les éléments les plus fondamentaux) aux vastes distances entre les galaxies.

La physique classique, qui trouve son fondement dans la mécanique newtonienne, l'électromagnétisme et la thermodynamique, nous a beaucoup aidés à approfondir notre connaissance de l'univers. C'est de la mécanique newtonienne que vient l'idée de prédictibilité selon laquelle l'univers est déterministe et connaissable. Cette idée conduisit Laplace à déclarer que, en connaissant les conditions initiales (la position et la vitesse de chaque particule dans l'univers) l'on pourrait, en principe, prédire le futur avec une certitude absolue. Maxwell, quant à lui, développa une théorie de l'électromagnétisme qui expliquait le comportement d'une charge électrique et réunissait les concepts de lumière et d'électricité, alors que la thermodynamique établit la relation entre la chaleur et le travail et expliqua comment tous les processus naturels augmentent le désordre dans l'univers.

Toutefois, à la fin du XIX^e siècle, les découvertes faites dans le cadre de recherches expérimentales menèrent au déclin de cette vision classique d'un univers connaissable et prédictible. La mécanique newtonienne échoua lorsqu'elle fut appliquée à l'atome et fut remplacée par la mécanique quantique et la relativité générale. La théorie de Maxwell, ne pouvant expliquer l'interaction entre rayonnement et matière, fut remplacée par l'électrodynamique quantique (EDQ). Enfin, les récentes avancées en matière de théorie du chaos – théorie qui permet maintenant de réaliser que des changements mineurs apportés aux conditions initiales d'un système peuvent mener à des résultats complètement imprédictibles – ont conduit à une révision fondamentale de la thermodynamique.

Alors que la théorie du chaos montre que le postulat de Laplace est injustifié, la mécanique quantique et l'EDQ, quant à elles, nous montrent que les conditions initiales requises par Laplace sont impossibles à établir. Rien n'est certain et tout se décide par probabilité. Il nous reste encore beaucoup de choses à découvrir et, à mesure que notre compréhension s'améliorera, notre conception de l'univers subira indubitablement d'autres changements.

Malgré l'évolution passionnante et extraordinaire qui a eu lieu tout au long de l'histoire de la physique, certaines choses demeurent inchangées. L'observation reste essentielle en physique et requiert parfois un effort d'imagination pour décider de ce qu'il faut rechercher. Afin d'essayer de comprendre ces observations, des modèles scientifiques sont élaborés ; ces modèles deviendront à leur tour des théories qui essayeront d'expliquer les observations. Les théories ne sont pas directement déduites des observations, elles doivent être élaborées. Ces actes de création peuvent parfois être comparés à la création en art, en littérature et en musique. Toutefois, ils se différencient par un point propre aux sciences expérimentales : les prédictions contenues dans ces théories ou idées doivent être vérifiées minutieusement par l'expérience. Sans ces vérifications, une théorie n'est d'aucune utilité. Lorsqu'un énoncé général ou concis expliquant le comportement de la nature est testé par l'expérience sur un éventail de phénomènes naturels et se révèle être valable, il est appelé « loi », ou « principe ».

Les procédures scientifiques suivies par les plus éminents scientifiques dans le passé sont toujours utilisées aujourd'hui par les physiciens et, détail important, sont aussi accessibles aux élèves dans les écoles. Dès le début de l'histoire des sciences, les physiciens étaient à la fois théoriciens et expérimentateurs (des philosophes de la nature). Le corps des connaissances scientifiques est aujourd'hui si étendu et complexe, les outils et compétences des physiciens théoriciens ou des physiciens expérimentateurs 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 les liens fondamentaux entre ces deux domaines.

Au niveau scolaire, tous les élèves devront se consacrer à la théorie et à l'expérimentation. Ces deux domaines doivent se compléter naturellement comme c'est le cas dans le monde scientifique. Le cours de physique du Programme du diplôme permet aux élèves d'acquérir des techniques et compétences pratiques traditionnelles et d'utiliser avec une aisance croissante le langage mathématique, qui est le langage utilisé en physique. Il permet également aux élèves de développer leur sociabilité et de mieux maîtriser les nouvelles technologies de l'information et de la communication. Ces compétences sont essentielles dans le monde scientifique moderne et peuvent être utilisées dans la vie de tous les jours, contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité de la vie.

La physique a amélioré notre compréhension du monde naturel, mais ce qui est sans doute le plus évident et le plus pertinent aux yeux de la plupart de nos élèves c'est qu'elle nous a permis de changer le monde. Il s'agit là de l'aspect technologique de la physique, qui en appliquant les principes physiques, a construit et modifié le monde matériel afin de l'adapter à nos besoins. Ces principes physiques ont ainsi profondément influé sur notre quotidien. Cela soulève plusieurs questions parmi lesquelles on notera l'impact de la physique sur la société, les questions d'éthique et de morale ainsi que les implications sociales, économiques et environnementales du travail des physiciens. Au fur et à mesure que notre maîtrise de l'environnement s'améliore, ces questions deviennent de plus en plus importantes, surtout pour les jeunes qui pensent qu'il va de soi que les physiciens doivent assumer complètement les conséquences de leurs actes.

La physique est donc avant tout une activité humaine et les élèves doivent connaître l'environnement dans lequel les physiciens travaillent. En mettant en lumière son évolution historique, il est possible de replacer la physique dans un contexte de changements dynamiques qui contraste avec le contexte statique dans lequel elle a parfois été présentée. Ceci peut aider les élèves à mieux comprendre la dimension « humaine » de la physique : les individus ; leur personnalité, époque et milieu social ; et leurs défis, déceptions et triomphes.

Le cours de physique du Programme du diplôme englobe les principes fondamentaux de cette discipline mais il donne aussi aux enseignants une certaine souplesse, grâce au choix d'une option, leur permettant ainsi d'adapter le cours de façon à répondre aux besoins de leurs élèves. Le cours est disponible à la fois au NM et au NS et il est donc adapté aussi bien aux élèves qui souhaitent étudier la physique comme matière principale dans l'enseignement supérieur qu'à ceux qui ne le souhaitent pas.

Modes d'enseignement

La physique peut être enseignée de diverses manières. Par nature, la physique 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	Systèmes	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 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. Mesures et incertitudes	5	
2. Mécanique	22	
3. Physique thermique	11	
4. Ondes	15	
5. Électricité et magnétisme	15	
6. Mouvement circulaire et gravitation	5	
7. Physique atomique, physique nucléaire et physique des particules	14	
8. Production d'énergie	8	
Module complémentaire du niveau supérieur (MCNS)		60
9. Phénomènes ondulatoires		17
10. Champs		11
11. Induction électromagnétique		16
12. Physique quantique et nucléaire		16
Options	15	25
A. Relativité	15	25
B. Physique de l'ingénieur	15	25
C. Imagerie	15	25
D. Astrophysique	15	25
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 physique

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 8 – Production d'énergie » ou « Option D – Astrophysique »).

Sujets

Les sujets sont numérotés (par exemple, « 6.1 Mouvement circulaire »). 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 physique, 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>

Idee 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</p> <ul style="list-style-type: none"> Liens avec d'autres thèmes du <i>Guide de physique</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 physique 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 et des rapports ;
- d'effectuer des manipulations à l'aide de fonctions trigonométriques ;
- d'effectuer des manipulations à l'aide de fonctions logarithmiques et exponentielles (NS uniquement) ;
- 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 résoudre des équations simultanées linéaires ;
- de tracer des graphiques (avec des échelles et des axes appropriés) comprenant deux variables qui montrent des rapports 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 ;
- de dessiner des droites (ou des courbes) de meilleur ajustement sur un diagramme de dispersion ;
- sur un graphique linéaire de meilleur ajustement, de construire des droites avec des pentes maximum et minimum avec une précision relative (à l'œil) en tenant compte de toutes les barres d'incertitude ;
- d'interpréter des données présentées sous diverses formes (par exemple, graphiques en barres, histogrammes et graphiques circulaires) ;
- de représenter une moyenne arithmétique en utilisant la notation avec x surligné (par exemple, \bar{x}) ;
- d'exprimer des incertitudes à un ou deux chiffres significatifs près, avec justification.

Recueil de données

Le recueil de données doit être considéré comme faisant partie intégrante du programme de physique. 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 les évaluations externes du NM et du NS, un exemplaire non annoté du recueil de données doit être mis à la disposition de chaque candidat, et ce, pour chaque épreuve.

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 physique 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, projet du groupe 4
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	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 – Mesures et incertitudes	5
1.1 Mesures en physique	
1.2 Incertitudes et erreurs	
1.3 Vecteurs et scalaires	
Thème 2 – Mécanique	22
2.1 Mouvement	
2.2 Forces	
2.3 Travail, énergie et puissance	
2.4 Quantité de mouvement et impulsion	
Thème 3 – Physique thermique	11
3.1 Concepts de thermique	
3.2 Modélisation d'un gaz	
Thème 4 – Ondes	15
4.1 Oscillations	
4.2 Ondes progressives	
4.3 Caractéristiques des ondes	
4.4 Comportement des ondes	
4.5 Ondes stationnaires	
Thème 5 – Électricité et magnétisme	15
5.1 Champs électriques	
5.2 Effet thermique des courants électriques	
5.3 Piles électriques	
5.4 Effets magnétiques des courants électriques	

Thème 6 – Mouvement circulaire et gravitation	5
6.1 Mouvement circulaire	
6.2 Loi de gravitation de Newton	
Thème 7 – Physique atomique, physique nucléaire et physique des particules	14
7.1 Énergie discrète et radioactivité	
7.2 Réactions nucléaires	
7.3 Structure de la matière	
Thème 8 – Production d'énergie	8
8.1 Sources d'énergie	
8.2 Transfert d'énergie thermique	
Module complémentaire du niveau supérieur (MCNS)	60 heures
Thème 9 – Phénomènes ondulatoires	17
9.1 Mouvement harmonique simple	
9.2 Diffraction par une seule fente	
9.3 Interférence	
9.4 Résolution	
9.5 Effet Doppler	
Thème 10 – Champs	11
10.1 Description des champs	
10.2 Champs au travail	
Thème 11 – Induction électromagnétique	16
11.1 Induction électromagnétique	
11.2 Production et transport d'énergie	
11.3 Capacité	
Thème 12 – Physique quantique et nucléaire	16
12.1 Interaction de la matière avec le rayonnement	
12.2 Physique nucléaire	
Options	15 heures (NM) / 25 heures (NS)
A. Relativité	
Thèmes du tronc commun	
A.1 Le début de la relativité	
A.2 Transformations de Lorentz	
A.3 Diagrammes d'espace-temps	

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

A.4 Mécanique relativiste

A.5 Relativité générale

B. Physique de l'ingénieur

Thèmes du tronc commun

B.1 Corps rigides et dynamique de rotation

B.2 Thermodynamique

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

B.3 Fluides et dynamique des fluides

B.4 Vibrations forcées et résonance

C. Imagerie

Thèmes du tronc commun

C.1 Introduction à l'imagerie

C.2 Instrumentation d'imagerie

C.3 Optique des fibres

Thème du module complémentaire du niveau supérieur

C.4 Imagerie médicale

D. Astrophysique

Thèmes du tronc commun

D.1 Grandeurs stellaires

D.2 Caractéristiques stellaires et évolution stellaire

D.3 Cosmologie

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

D.4 Processus stellaires

D.5 Cosmologie complémentaire

Thème 1 – Mesures et incertitudes

5 heures

Idée essentielle : depuis 1948, on utilise le Système International d'Unités (SI) dans le monde entier comme le langage préféré de la science et de la technologie. Le SI reflète la meilleure pratique de mesure actuelle.

1.1 Mesures en physique

Nature de la science

Terminologie commune : depuis le XVIII^e siècle, les scientifiques se sont efforcés d'établir des systèmes de mesures communs afin de faciliter la collaboration internationale dans toutes les disciplines scientifiques et d'assurer la répétition et la comparabilité des résultats expérimentaux. (1.6)

Amélioration de l'instrumentation : une amélioration des appareils et de l'instrumentation, telle que l'utilisation de la transition d'atomes de césium 133 pour les horloges atomiques, a permis d'aboutir à des définitions plus complexes des unités standard. (1.8)

Certitude : bien que les scientifiques s'efforcent de trouver des réponses « exactes », l'incertitude inévitable existe toujours dans n'importe quelle mesure. (3.6)

Notions clés

- Unités fondamentales et dérivées du SI
- Notation scientifique et multiplicateurs métriques
- Chiffres significatifs
- Ordres de grandeur
- Estimation

Applications et compétences

- Présenter les unités du SI de manière correcte pour toutes les mesures requises, les réponses à la fin des calculs et la présentation de données brutes et traitées.
- Utiliser la notation scientifique et les multiplicateurs métriques.

Sensibilité internationale

- La collaboration scientifique peut être réellement mondiale sans les restrictions de frontières nationales ou de langue grâce aux normes convenues pour la représentation des données.

Théorie de la connaissance

- Qu'est-ce qui a influencé le langage commun utilisé en science ? Dans quelle mesure le fait d'avoir une approche standard commune pour les mesures facilite-t-il le partage des connaissances en physique ?

Utilisation

- Ce thème peut être intégré dans n'importe quel thème enseigné au début du cours et est important pour tous les thèmes.

1.1 Mesures en physique

- Mentionner et comparer des rapports, des valeurs et des approximations à l'ordre de grandeur le plus proche.
- Estimer des grandeurs à un nombre approprié de chiffres significatifs.

Directives et informations supplémentaires

- On trouvera des informations sur l'utilisation des unités du SI sur le site Web du Bureau international des poids et mesures.
- Les élèves n'ont pas besoin de connaître la définition des unités du SI sauf lorsque cela est énoncé explicitement dans les thèmes pertinents dans ce guide.
- La candela n'est pas une unité du SI requise pour ce cours.
- Des conseils sur l'utilisation d'unités hors SI telles que eV, MeV c^{-2} , ly et pc seront donnés dans les thèmes pertinents dans ce guide.
- On trouvera d'autres conseils sur la façon dont la notation scientifique et les chiffres significatifs sont utilisés dans le matériel de soutien pédagogique.

Référence au recueil de données

- On trouvera les multiplicateurs métriques du SI à la page 2 du recueil de données de physique.

- Les élèves étudiant plus d'une matière du groupe 4 seront capables d'utiliser ces compétences pour toutes les matières.
- *Guide d'études mathématiques NM*, sujets 1.2 – 1.4.

Objectifs globaux

- **Objectifs globaux 2 et 3** : il s'agit d'un domaine de connaissances essentiel qui permet aux scientifiques de collaborer dans le monde entier.
- **Objectifs globaux 4 et 5** : une approche commune dans l'expression des résultats d'analyse, de l'évaluation et de la synthèse d'informations scientifiques permet une plus grande collaboration et un meilleur partage.

Idee essentielle : les scientifiques s’efforcent de concevoir des expériences qui peuvent donner une « valeur vraie » à partir de leurs mesures ; cependant, étant donné la précision limitée des dispositifs de mesure, ils mentionnent souvent leurs résultats avec une certaine forme d’incertitude.

1.2 Incertitudes et erreurs

Nature de la science

Incertaines : « Toute la connaissance scientifique est incertaine [...] si vous avez déjà décidé quelle était la solution, il est possible que vous ne puissiez pas résoudre le problème. Lorsque le scientifique vous dit qu’il ne connaît pas la réponse, c’est un homme ignorant. Quand il vous dit qu’il a une idée de la façon dont les choses vont marcher, il en est incertain. Lorsqu’il est pratiquement sûr de la façon dont les choses vont marcher et qu’il vous dit : “Je parie que cela va marcher de cette façon,” il a encore des doutes. Et il est très important de reconnaître cette ignorance et ce doute pour nous permette de progresser parce que si nous avons des doutes, nous proposons alors de chercher dans de nouvelles directions pour trouver de nouvelles idées. » (3.4)

FEYNMAN, R.P. 1998. *The Meaning of It All: Thoughts of a Citizen-Scientist*. Reading (Massachusetts), États-Unis : Perseus. Page 13.

Notions clés

- Erreurs aléatoires et systématiques
- Incertitudes absolues, relatives et sous forme de pourcentage
- Barres d’erreurs
- Incertitude de la pente et des intersections

Applications et compétences

- Expliquer la façon dont on peut identifier et réduire les erreurs aléatoires et systématiques.
- Recueillir des données qui comprennent des incertitudes absolues et/ou relatives et les exprimer comme une plage d’incertitude (meilleure estimation \pm plage d’incertitude).

Théorie de la connaissance

- « L’un des objectifs des sciences physiques a été de donner une image exacte du monde matériel. L’un des accomplissements de la physique au vingtième siècle a été de prouver que cet objectif était impossible à atteindre. » Jacob Bronowski. Les scientifiques peuvent-ils être réellement certains de leurs découvertes ?

Utilisation

- Les élèves étudiant plus d’une matière du groupe 4 seront capables d’utiliser ces compétences dans toutes les matières.

1.2 Incertitudes et erreurs

- Propager les incertitudes à travers des calculs impliquant l'addition, la soustraction, la multiplication, la division et l'élevation à une puissance.
- Déterminer les incertitudes dans les pentes et les intersections.

Directives et informations supplémentaires

- L'analyse d'incertitudes pour les fonctions trigonométriques ou logarithmiques n'est pas nécessaire pour les examens.
- On trouvera d'autres conseils sur la façon dont on utilise les incertitudes, les barres d'erreur et les droites de meilleur ajustement dans le matériel de soutien pédagogique.

Référence au recueil de données

- Si $y = a \pm b$
alors $\Delta y = \Delta a + \Delta b$
- Si $y = \frac{ab}{c}$
alors $\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c}$
- Si $y = a^n$
alors $\frac{\Delta y}{y} = \left| n \frac{\Delta a}{a} \right|$

Objectifs globaux

- **Objectif global 4** : il est important que les élèves considèrent les erreurs et les incertitudes scientifiques non seulement comme la gamme de réponses possibles mais aussi comme faisant partie intégrante des procédures scientifiques.
- **Objectif global 9** : on peut comparer le processus d'utilisation des incertitudes dans la physique classique à la façon dont les incertitudes sont considérées dans la physique moderne (et quantique en particulier).

Idee essentielle : certaines grandeurs ont une direction et une amplitude, d'autres ont seulement une amplitude, et cette compréhension est primordiale pour la manipulation correcte des grandeurs. Ce sujet aura de vastes applications dans de multiples domaines au sein de la physique et d'autres sciences.

1.3 Vecteurs et scalaires

Nature de la science

Modèles : les scalaires et les vecteurs, mentionnés explicitement pour la première fois en 1846, reflétaient le travail de scientifiques et de mathématiciens dans le monde entier depuis plus de 300 ans sur la représentation des mesures dans un espace tridimensionnel. (1.10)

Notions clés

- Grandeurs vectorielles et scalaires
- Combinaison et résolution de vecteurs

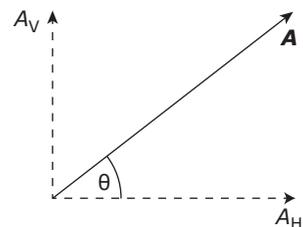
Applications et compétences

- Résoudre graphiquement et algébriquement des problèmes de vecteurs.

Directives et informations supplémentaires

- La projection des vecteurs sur des axes sera limitée à deux directions perpendiculaires.
- Les problèmes seront limités à l'addition et à la soustraction de vecteurs et à la multiplication de vecteurs par des scalaires.

Référence au recueil de données



- $A_H = A \cos \theta$
- $A_V = A \sin \theta$

Sensibilité internationale

- La notation vectorielle forme la base de la cartographie dans le monde entier.

Théorie de la connaissance

- Quelle est la nature de la certitude et de la preuve en mathématiques ?

Utilisation

- Navigation et guidage par satellite (voir *Guide de géographie*, programme NM/NS : « Compétences géographiques »).
- Force et intensité de champ (voir *Guide de Physique*, sujets 2.2, 5.1, 6.1 et 10.1).
- Vecteurs (voir *Guide de mathématiques NS*, sujet 4.1 ; *Guide de mathématiques NM*, sujet 4.1).

Objectifs globaux

- **Objectifs globaux 2 et 3 :** il s'agit d'un aspect fondamental du langage scientifique qui permet la représentation spatiale et la manipulation de concepts abstraits.

Thème 2 – Mécanique

22 heures

Idée essentielle : on peut décrire et analyser le mouvement en utilisant des graphiques et des équations.

2.1 Mouvement

Nature de la science

Observations : les idées de mouvement sont fondamentales pour de nombreux domaines de la physique car elles fournissent un lien avec la considération des forces et leur rôle. Les équations cinématiques pour l'accélération uniforme ont été développées au moyen d'observations méticuleuses du monde naturel. (1.8)

Notions clés

- Distance et déplacement
- Vitesse
- Accélération
- Graphiques décrivant le mouvement
- Équations de mouvement pour l'accélération uniforme
- Mouvement de projectile
- Résistance des fluides et vitesse limite

Applications et compétences

- Déterminer les valeurs instantanées et moyennes pour la vitesse et l'accélération.
- Résoudre des problèmes en utilisant des équations de mouvement pour l'accélération uniforme.
- Esquisser et interpréter des graphiques de mouvement.
- Déterminer expérimentalement l'accélération en chute libre.
- Analyser le mouvement d'un projectile, à partir des composantes verticale et horizontale de l'accélération, de la vitesse et du déplacement.
- Décrire qualitativement l'effet de la résistance des fluides sur les projectiles ou les objets qui tombent, y compris lorsqu'ils atteignent la vitesse limite.

Sensibilité internationale

- Une coopération internationale est nécessaire pour suivre l'activité maritime, le transport à terre, les aéronefs et les objets dans l'espace.

Théorie de la connaissance

- L'indépendance du mouvement horizontal et vertical dans le mouvement d'un projectile semble être contre-intuitive. Comment les scientifiques travaillent-ils en tenant compte de leurs intuitions ? Comment les scientifiques utilisent-ils leurs intuitions ?

Utilisation

- Plongée, parachutisme et activités similaires dans lesquelles la résistance des fluides affecte le mouvement.
- L'utilisation précise de la balistique nécessite une analyse méticuleuse.
- Biomécanique (voir *Guide de science du sport, de l'exercice et de la santé*, NM, sujet 4.3).
- Fonctions quadratiques (voir *Guide de mathématiques NS*, sujet 2.6 ; *Guide de mathématiques NM*, sujet 2.4 ; *Guide de mathématiques NS*, sujet 6.3).
- Les équations cinématiques sont traitées sous forme de calcul infinitésimal dans le *Guide de mathématiques NS*, sujet 6.6 et le *Guide de mathématiques NM*, sujet 6.6.

2.1 Mouvement

Directives et informations supplémentaires

- Les calculs seront limités à ceux négligeant la résistance de l'air.
- Le mouvement d'un projectile n'impliquera que des problèmes utilisant une valeur constante de g près de la surface de la Terre.
- L'équation de la trajectoire d'un projectile ne sera pas demandée.

Référence au recueil de données

- $v = u + at$
- $s = ut + \frac{1}{2}at^2$
- $v^2 = u^2 + 2as$
- $s = \frac{(v+u)t}{2}$

Objectifs globaux

- **Objectif global 2** : une grande partie du développement de la physique classique a été bâtie sur les progrès effectués en cinématique.
- **Objectif global 6** : les expériences, y compris l'utilisation de l'enregistrement des données, peuvent comprendre (entre autres) : la détermination de g , l'estimation de la vitesse en utilisant des horaires de voyage, l'analyse du mouvement d'un projectile et la recherche du mouvement à travers un fluide.
- **Objectif global 7** : la technologie a permis des mesures plus exactes et plus précises du mouvement, y compris l'analyse vidéo de projectiles réels et la modélisation/simulation de la vitesse limite.

Idee essentielle : la physique classique a besoin d'une force pour changer un état de mouvement, comme l'a suggéré Newton dans ses lois du mouvement.

2.2 Forces

Nature de la science

Utilisation des mathématiques : Isaac Newton a fourni la base pour une grande partie de notre compréhension des forces et du mouvement en formalisant les travaux antérieurs de scientifiques grâce à l'application des mathématiques, en inventant le calcul infinitésimal pour l'aider dans cette tâche. (2.4)

Intuition : l'histoire de la pomme qui tombe décrit simplement une des nombreuses intuitions qui ont contribué à la publication de *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* en 1687. (1.5)

Notions clés

- Les objets comme particules ponctuelles
- Diagrammes des forces
- Équilibre de translation
- Lois de mouvement de Newton
- Frottement solide

Applications et compétences

- Représenter les forces comme vecteurs.
- Esquisser et interpréter les diagrammes des forces.
- Décrire les conséquences de la première loi de Newton pour l'équilibre de translation.
- Utiliser la deuxième loi de Newton quantitativement et qualitativement.
- Identifier des paires de forces dans le contexte de la troisième loi de Newton.
- Résoudre des problèmes impliquant des forces et déterminer la force résultante.
- Décrire le frottement solide (statique et dynamique) par des coefficients de frottement.

Théorie de la connaissance

- La physique classique croyait que la totalité du futur de l'univers pouvait être prédite à partir des connaissances de l'état présent. Dans quelle mesure les connaissances du présent peuvent-elles nous donner des connaissances du futur ?

Utilisation

- Mouvement des particules chargées dans les champs (voir *Guide de physique*, sujets 5.4, 6.1, 11.1, 12.2).
- Application du frottement dans le mouvement circulaire (voir *Guide de physique*, sujet 6.1).
- Construction (considération des approches anciennes et modernes relatives à la sécurité, la longévité et considération des conditions météorologiques locales et des influences géologiques).
- Biomécanique (voir *Guide de science du sport, de l'exercice et de la santé*, NM, sujet 4.3).

2.2 Forces

Directives et informations supplémentaires

- Les élèves devraient légender les forces en utilisant des noms ou des symboles acceptés communément (par exemple : *poids* ou *force de gravité* ou mg).
- Les diagrammes des forces devraient montrer des longueurs de vecteurs à l'échelle agissant depuis le point d'application.
- Les exemples et les questions seront limités à la masse constante.
- mg devrait être identifié comme un poids.
- Les calculs portant sur la détermination de forces résultantes seront limités à des situations unidimensionnelles et bidimensionnelles.

Référence au recueil de données

- $F = ma$
- $F_f \leq \mu_s R$
- $F_f = \mu_d R$

Objectifs globaux

- **Objectifs globaux 2 et 3 :** le travail de Newton est souvent décrit par la citation provenant d'une lettre écrite à son rival, Robert Hooke, 11 ans avant la publication de *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, à savoir : « Ce que Descartes a fait était un bon pas en avant. Vous en avez fait d'autres, particulièrement en prenant en considération philosophique les couleurs des plaques minces. Si j'ai vu un peu plus loin, c'est que je me suis hissé sur les épaules de géants. » Il convient de rappeler que cette citation est aussi inspirée, cette fois-ci, par des écrivains qui ont utilisé des versions similaires, et ce, au moins 500 ans avant l'époque de Newton.
- **Objectif global 6 :** les expériences peuvent comprendre (entre autres) : la vérification de la deuxième loi de Newton ; la recherche des forces en équilibre ; la détermination des effets du frottement.

Idée essentielle : le concept fondamental de l'énergie constitue la base sur laquelle repose une grande partie de la science.

2.3 Travail, énergie et puissance

Nature de la science

Théories : on peut comprendre fondamentalement de nombreux phénomènes en appliquant la théorie de la conservation de l'énergie. Au fil du temps, les scientifiques ont utilisé cette théorie à la fois pour expliquer des phénomènes naturels et, plus important, pour prédire le résultat d'interactions antérieurement inconnues. Le concept de l'énergie a évolué grâce à la reconnaissance du rapport entre la masse et l'énergie. (2.2)

Notions clés

- Énergie cinétique
- Énergie potentielle gravitationnelle
- Énergie potentielle élastique
- Travail effectué comme transfert d'énergie
- Puissance comme taux de transfert d'énergie
- Principe de la conservation de l'énergie
- Rendement

Applications et compétences

- Discuter de la conservation de l'énergie totale dans les transformations d'énergie.
- Esquisser et interpréter des graphiques force-distance.
- Déterminer le travail effectué, y compris dans des cas où une force résistive agit.
- Résoudre des problèmes impliquant la puissance.
- Décrire quantitativement le rendement dans les transferts d'énergie.

Théorie de la connaissance

- Dans quelle mesure la connaissance scientifique est-elle fondée sur des concepts fondamentaux tels que l'énergie ? Que se passe-t-il pour la connaissance scientifique lorsque notre compréhension de ces concepts fondamentaux change ou évolue ?

Utilisation

- L'énergie est aussi abordée dans les matières du groupe 4 (par exemple : *Guide de biologie*, thèmes 2, 4 et 8 ; *Guide de chimie*, thèmes 5, 15 et C ; *Guide de science du sport, de l'exercice et de la santé*, thèmes 3, A.2, C.3 et D.3 ; *Guide de systèmes de l'environnement et sociétés*, thèmes 1, 2 et 3).
- Les conversions d'énergie sont essentielles pour la production d'énergie électrique (voir *Guide de physique*, thème 5 et sujet 8.1).
- Changements d'énergie se produisant dans le mouvement harmonique simple (voir *Guide de physique*, sujets 4.1 et 9.1).

2.3 Travail, énergie et puissance

Directives et informations supplémentaires

- Il faudrait considérer des cas où la ligne d'action de la force et le déplacement ne sont pas parallèles.
- Les exemples devaient comprendre des graphiques force-distance pour des forces variables.

Référence au recueil de données

- $W = Fs \cos \theta$
- $E_k = \frac{1}{2}mv^2$
- $E_p = \frac{1}{2}k \Delta x^2$
- $\Delta E_p = mg\Delta h$
- puissance = Fv
- Rendement = $\frac{\text{travail utile à la sortie}}{\text{travail total à l'entrée}} = \frac{\text{puissance utile à la sortie}}{\text{puissance totale à l'entrée}}$

Objectifs globaux

- **Objectif global 6** : les expériences peuvent comprendre (entre autres) : le rapport entre l'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle pour une masse qui tombe ; la puissance et le rendement d'objets mécaniques ; la comparaison de différentes situations impliquant une énergie potentielle élastique.
- **Objectif global 8** : en reliant ce sujet au thème 8, les élèves devraient être conscients de l'importance du rendement et de son impact sur la conservation du combustible pour la production d'énergie.

Idée essentielle : la conservation de la quantité de mouvement est un exemple d'une loi qui n'est jamais violée.

2.4 Quantité de mouvement et impulsion

Nature de la science

On peut utiliser le concept de la quantité de mouvement et le principe de la conservation de la quantité de mouvement pour analyser et prédire le résultat d'une vaste gamme d'interactions physiques, du mouvement macroscopique aux collisions microscopiques. (1.9)

Notions clés

- Deuxième loi de Newton exprimée en termes de vitesse de changement de quantité de mouvement
- Impulsion et graphiques force-temps
- Conservation de la quantité de mouvement
- Collisions élastiques, collisions inélastiques et explosions

Applications et compétences

- Appliquer la conservation de la quantité de mouvement dans des systèmes isolés simples comprenant (entre autres) des collisions, des explosions ou des jets d'eau.
- Utiliser la deuxième loi de Newton quantitativement et qualitativement dans des cas où la masse n'est pas constante.
- Esquisser et interpréter des graphiques force-temps.
- Déterminer l'impulsion dans divers contextes comprenant (entre autres) la sécurité des voitures et les sports.
- Comparer qualitativement et quantitativement des situations impliquant des collisions élastiques, des collisions inélastiques et des explosions.

Sensibilité internationale

- Des normes de sécurité passive ont été adoptées dans le monde entier pour les automobiles en se fondant sur des recherches effectuées dans de nombreux pays.

Théorie de la connaissance

- Est-ce que les lois de conservation limitent ou permettent un développement ultérieur en physique ?

Utilisation

- Moteurs à réaction et fusées
- Arts martiaux
- Théorie des particules et collisions (voir *Guide de physique*, sujet 3.1).

Objectifs globaux

- **Objectif global 3 :** les lois de conservation dans les disciplines scientifiques ont joué un rôle très important dans la définition des limites dans lesquelles les théories scientifiques sont développées.
- **Objectif global 6 :** les expériences pourraient comprendre (entre autres) : l'analyse des collisions relatives au transfert d'énergie ; des recherches sur l'impulsion pour déterminer le vecteur vitesse, la force, le temps ou la masse ; la détermination de la quantité d'énergie transformée dans les collisions inélastiques.

2.4 Quantité de mouvement et impulsion

Directives et informations supplémentaires

- Les élèves devraient savoir que $F = ma$ n'est équivalent à $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ que lorsque la masse est constante.
- Il ne sera pas demandé de résoudre des équations simultanées impliquant la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie dans les collisions.
- Les calculs portant sur les collisions et les explosions seront limités à des situations unidimensionnelles.
- Une comparaison devrait être faite entre l'énergie impliquée dans les collisions inélastiques (dans lesquelles l'énergie cinétique n'est pas conservée) et la conservation de l'énergie (totale).

Référence au recueil de données

- $p = mv$
- $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$
- $E_k = \frac{p^2}{2m}$
- Impulsion = $F\Delta t = \Delta p$

- **Objectif global 7** : la technologie a permis des mesures plus exactes et plus précises de la force et de la quantité de mouvement, y compris l'analyse vidéo de collisions réelles et la modélisation/simulation de collisions moléculaires.

Thème 3 – Physique thermique

11 heures

Idée essentielle : la thermique démontre clairement les liens entre les mesures macroscopiques essentielles pour de nombreux modèles scientifiques et les propriétés microscopiques sous-jacentes à ces modèles.

3.1 Concepts de thermique

Nature de la science

Preuves par expérimentation : les scientifiques des XVII^e et XVIII^e siècles travaillaient sans la connaissance de la structure atomique et ils ont parfois développé des théories qui se sont avérées incorrectes par la suite, telles que le phlogistique et les capacités de mouvement perpétuel. Notre compréhension actuelle est fondée sur la mécanique statistique qui fournit la base scientifique nécessaire à notre utilisation et notre compréhension du transfert d'énergie. (1.8)

Notions clés

- Théorie moléculaire des solides, des liquides et des gaz
- Température et température absolue
- Énergie interne
- Capacité calorifique massique
- Changement de phase
- Chaleur latente

Applications et compétences

- Décrire le changement de température en termes d'énergie interne.
- Utiliser les échelles de température Kelvin et Celsius et convertir l'une à l'autre.
- Appliquer expérimentalement les techniques calorimétriques de la chaleur massique et de la chaleur latente.
- Décrire le changement de phase en termes de comportement moléculaire.

Sensibilité internationale

- Le thème de la physique thermique est un bon exemple de l'utilisation de systèmes de mesure internationaux qui permettent aux scientifiques de collaborer efficacement.

Théorie de la connaissance

- L'observation au moyen de la perception par les sens joue un rôle primordial dans la prise de mesures. La perception par les sens joue-t-elle des rôles différents dans différents domaines de la connaissance ?

Utilisation

- Les jauges de pression, les baromètres et les manomètres sont une bonne façon de présenter des aspects de ce sujet.
- On peut montrer aux élèves du niveau supérieur, particulièrement à ceux étudiant l'option B, les liens avec la thermodynamique (voir *Guide de physique*, thème 9 et sujet d'option B.4).

3.1 Concepts de thermique

- Esquisser et interpréter des diagrammes de changement de phase.
- Calculer des changements d'énergie impliquant la chaleur massique et la chaleur latente de fusion et de vaporisation.

Directives et informations supplémentaires

- On suppose que l'énergie interne est l'énergie potentielle intermoléculaire totale + l'énergie cinétique aléatoire totale des molécules.
- Les graphiques de changement de phase peuvent avoir des axes de température en fonction du temps ou de température en fonction de l'énergie.
- Les effets du refroidissement devraient être compris qualitativement mais les calculs de correction du refroidissement ne sont pas nécessaires.

Référence au recueil de données

- $Q = mc\Delta T$
- $Q = mL$

- Nature particulière de la matière (voir *Guide de chimie*, sujet 1.3) et mesure des changements d'énergie (voir *Guide de chimie*, sujet 5.1).
- L'eau (voir *Guide de biologie*, sujet 2.2).

Objectifs globaux

- **Objectif global 3** : la compréhension des concepts de thermique est un aspect fondamental de nombreux domaines de la science.
- **Objectif global 6** : les expériences peuvent comprendre (entre autres) : le transfert d'énergie dû à la différence de température ; des recherches calorimétriques ; l'énergie impliquée dans les changements de phases.

Idée essentielle : les propriétés des gaz parfaits permettent aux scientifiques de faire des prédictions sur le comportement des gaz réels.

3.2 Modélisation d'un gaz

Nature de la science

Collaboration : les scientifiques du XIX^e siècle ont fait des progrès conséquents dans les théories modernes qui forment la base de la thermodynamique, établissant des liens importants avec d'autres sciences, particulièrement la chimie. Dans un certain nombre de cas, le même principe physique était énoncé de façon différente mais équivalente par différents scientifiques. Le raisonnement empirique et théorique ont tous deux leur place dans la science et cela est évident dans la comparaison entre le gaz parfait impossible à obtenir et les gaz réels. (4.1)

Notions clés

- Pression
- Équation d'état pour un gaz parfait
- Modèle cinétique d'un gaz parfait
- Mole, masse molaire et la constante d'Avogadro
- Différences entre les gaz réels et les gaz parfaits

Applications et compétences

- Résoudre des problèmes en utilisant l'équation d'état pour un gaz parfait et les lois sur les gaz.
- Esquisser et interpréter les changements d'état d'un gaz parfait sur des diagrammes pression-volume, pression-température et volume-température.
- Rechercher expérimentalement au moins une loi sur les gaz.

Directives et informations supplémentaires

- Les élèves devraient être conscients des hypothèses sous-jacentes à la théorie cinétique moléculaire des gaz parfaits.
- Les lois sur les gaz sont limitées à un volume constant, une température constante, une pression constante et à la loi sur les gaz parfaits.

Théorie de la connaissance

- Quand la modélisation de situations « parfaites » devient-elle « suffisamment bonne » pour compter comme connaissance ?

Utilisation

- Le transport des gaz sous forme liquide ou à de hautes pressions/densités est une pratique courante dans le monde entier. Le comportement des gaz réels dans des conditions extrêmes a besoin d'être soigneusement pris en compte dans ces situations.
- La considération des transformations thermodynamiques est essentielle pour de nombreux domaines de chimie (voir *Guide de chimie*, sujet 1.3).
- Processus de respiration (voir *Guide de biologie*, sujet D.6).

Objectifs globaux

- **Objectif global 3 :** il s'agit là d'un bon thème pour établir des comparaisons entre le raisonnement empirique et le raisonnement théorique en science.

3.2 Modélisation d'un gaz

- Les élèves devraient comprendre qu'un gaz réel se rapproche d'un gaz parfait dans des conditions de basse pression, de température modérée et de faible densité.

Référence au recueil de données

- $p = \frac{F}{A}$
- $n = \frac{N}{N_A}$
- $pV = nRT$
- $\bar{E}_k = \frac{3}{2} k_B T = \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} T$

- **Objectif global 6** : les expériences pourraient comprendre (entre autres) : la vérification des lois sur les gaz ; le calcul de la constante d'Avogadro ; la recherche virtuelle des paramètres des lois sur les gaz n'est pas possible dans le cadre d'un laboratoire scolaire.

Thème 4 – Ondes

15 heures

Idée essentielle : l'étude des oscillations sert de base à de nombreux domaines de physique avec le mouvement harmonique simple (mhs), qui est une oscillation fondamentale apparaissant dans divers phénomènes naturels.

4.1 Oscillations

Nature de la science

Modèles : les oscillations jouent un grand rôle dans notre vie, depuis les marées jusqu'au mouvement d'oscillation du pendule qui régissait autrefois notre perception du temps. Des principes généraux régissent ce domaine de la physique, depuis les vagues d'eau sur les océans jusqu'aux oscillations de la suspension d'une voiture. Cette introduction à ce thème nous rappelle que les oscillations ne sont pas toutes isochrones. Cependant, l'oscillateur harmonique simple a une grande importance pour les physiciens parce qu'il est possible de décrire toutes les oscillations périodiques au moyen des mathématiques du mouvement harmonique simple. (1.10)

Notions clés

- Oscillations harmoniques simples
- Période, fréquence, amplitude, déplacement et différence de phase
- Conditions pour le mouvement harmonique simple

Applications et compétences

- Décrire qualitativement les changements d'énergie se produisant pendant le cycle d'une oscillation.
- Esquisser et interpréter des graphiques d'exemples de mouvement harmonique simple.

Sensibilité internationale

- On utilise les oscillations pour définir les systèmes de temps sur lesquels les nations se mettent d'accord de façon à ce que le monde puisse être maintenu en synchronisation. Ce thème affecte la plupart des aspects de notre vie, y compris la fourniture d'électricité, les voyages, les dispositifs de détermination de position et toute la microélectronique.

Théorie de la connaissance

- L'oscillateur harmonique est un paradigme pour la modélisation où l'on utilise une simple équation pour décrire un phénomène complexe. Comment les scientifiques savent-ils quand un modèle simple n'est pas assez détaillé pour leurs besoins ?

4.1 Oscillations

Directives et informations supplémentaires

- Les graphiques décrivant le mouvement harmonique simple devraient comprendre déplacement-temps, vitesse-temps, accélération-temps et accélération-déplacement.
- On attend des élèves qu'ils comprennent la signification du signe négatif dans le rapport : $a \propto -x$

Référence au recueil de données

- $$T = \frac{1}{f}$$

Utilisation

- On peut utiliser des oscillations isochrones pour mesurer le temps.
- De nombreux systèmes peuvent se rapprocher du mouvement harmonique simple : masse sur un ressort, fluide dans un tube en U, modèles d'icebergs oscillant verticalement dans l'océan, et mouvement d'une sphère roulant dans un miroir concave.
- On rencontre fréquemment le mouvement harmonique simple dans le contexte de la mécanique (voir *Guide de physique*, thème 2).

Objectifs globaux

- **Objectif global 6 :** les expériences peuvent comprendre (entre autres) : une masse sur un ressort ; le pendule simple ; le mouvement sur un rail à coussin d'air courbe.
- **Objectif global 7 :** on peut utiliser des compétences informatiques pour modéliser l'équation définissant le mouvement harmonique simple ; cela donne une perception utile de la signification de l'équation elle-même.

Idée essentielle : il existe beaucoup de formes d'ondes accessibles à l'étude. Une caractéristique commune de toutes les ondes progressives est qu'elles transportent de l'énergie, mais, en général, le milieu à travers lequel elles se propagent ne sera pas perturbé de façon permanente.

4.2 Ondes progressives

Nature de la science

Modèles, tendances et divergences : les scientifiques ont découvert des caractéristiques communes du mouvement de l'onde au moyen d'observations méticuleuses du monde naturel, en cherchant des patterns, des tendances et des divergences et en posant d'autres questions basées sur ces découvertes. (3.1)

Notions clés

- Ondes progressives
- Longueur d'onde, fréquence, période et vitesse de propagation
- Ondes transversales et longitudinales
- Nature des ondes électromagnétiques
- Nature des ondes sonores

Applications et compétences

- Expliquer le mouvement des particules d'un milieu lorsqu'une onde le traverse, à la fois pour les cas d'ondes transversales et d'ondes longitudinales.
- Esquisser et interpréter des graphiques déplacement-distance et des graphiques déplacement-distance pour des ondes transversales et longitudinales.
- Résoudre des problèmes impliquant la vitesse de propagation, la fréquence et la longueur d'onde.
- Rechercher expérimentalement la vitesse du son.

Sensibilité internationale

- Les ondes électromagnétiques sont beaucoup utilisées pour les communications nationales et internationales.

Théorie de la connaissance

- Les scientifiques transfèrent souvent leur perception de concepts tangibles et visibles pour expliquer des concepts similaires non visibles, comme dans la théorie ondulatoire. Comment les scientifiques expliquent-ils des concepts qui n'ont aucune qualité tangible ni visible ?

Utilisation

- La communication en utilisant à la fois le son (localement) et les ondes électromagnétiques (près et loin) implique la théorie ondulatoire.
- Les spectres d'émission sont analysés par comparaison avec le spectre des ondes électromagnétiques (voir *Guide de chimie*, thème 2 et *Guide de physique*, sujet 12.1).
- La vue (voir *Guide de biologie*, sujet A.2).

4.2 Ondes progressives

Directives et informations supplémentaires

- On attend des élèves qu'ils déduisent $c = f\lambda$.
- Les élèves devraient connaître l'ordre de grandeur des longueurs d'onde des ondes radioélectriques, des micro-ondes, des rayons infrarouges, des rayons visibles, des rayons ultraviolets, des rayons X et des rayons gamma.

Référence au recueil de données

- $c = f\lambda$

Objectifs globaux

- **Objectif global 2** : il y a un corps commun de connaissances et de techniques impliquées dans la théorie ondulatoire qui est applicable à de nombreux domaines de la physique.
- **Objectif global 4** : l'analyse des données peut parvenir à certains des modèles dans cette section à partir de premiers principes.
- **Objectif global 6** : les expériences peuvent comprendre (entre autres) : la vitesse de propagation des ondes dans différents milieux ; la détection d'ondes électromagnétiques provenant de sources diverses ; l'utilisation de méthodes par écho (ou similaires) pour déterminer la vitesse de propagation, la longueur d'onde, la distance, ou l'élasticité et/ou la densité du milieu.

Idée essentielle : toutes les ondes peuvent être décrites par les mêmes ensembles d'idées mathématiques. Des connaissances détaillées dans un domaine permettent de faire des prédictions dans un autre domaine.

4.3 Caractéristiques des ondes

Nature de la science

Imagination : on a spéculé que les Vikings avaient utilisé la polarisation pour la navigation avec le spath d'Islande il y a plus de 1 300 ans (avant l'introduction du compas magnétique). Du XVII^e au XIX^e siècle, des scientifiques dans toute l'Europe continuèrent à contribuer à la théorie ondulatoire en s'appuyant sur les théories et les modèles proposés à mesure que notre compréhension se développait. (1.4)

Notions clés

- Fronts d'onde et rayons
- Amplitude et intensité
- Superposition
- Polarisation

Applications et compétences

- Esquisser et interpréter des diagrammes impliquant des fronts d'onde et des rayons.
- Résoudre des problèmes impliquant l'amplitude, l'intensité et la loi de l'inverse des carrés.
- Esquisser et interpréter la superposition des impulsions et des ondes.
- Décrire des méthodes de polarisation.
- Esquisser et interpréter des diagrammes illustrant des faisceaux polarisés, réfléchis et transmis.
- Résoudre des problèmes impliquant la loi de Malus.

Théorie de la connaissance

- Les fronts d'onde et les rayons sont des visualisations caractéristiques de la modélisation dans les sciences physiques qui nous aident à comprendre la réalité. Comment la méthodologie utilisée dans les sciences naturelles diffère-t-elle de la méthodologie utilisée dans les sciences humaines ?
- Jusqu'à quel point un modèle doit-il être détaillé pour représenter la réalité avec précision ?

Utilisation

- Un certain nombre de technologies modernes, telles que les affichages à cristaux liquides, dépendent de la polarisation pour leur fonctionnement.

4.3 Caractéristiques des ondes

Directives et informations supplémentaires

- On attend des élèves qu'ils puissent calculer la résultante de deux ondes ou impulsions à la fois graphiquement et algébriquement.
- Les méthodes de polarisation seront limitées à l'utilisation de filtres de polarisation et à la réflexion à partir d'une surface plane non métallique.

Référence au recueil de données

- $I \propto A^2$
- $I \propto x^{-2}$
- $I = I_0 \cos^2 \theta$

Objectifs globaux

- **Objectif global 3** : ces comportements universels des ondes sont appliqués dans des sections ultérieures du cours dans des thèmes plus avancés, permettant aux ainsi élèves de généraliser les divers types d'ondes.
- **Objectif global 6** : les expériences peuvent comprendre (entre autres) : l'observation de la polarisation dans différentes conditions, comprenant l'utilisation de micro-ondes ; la superposition des ondes ; la représentation des types d'ondes en utilisant des modèles physiques (par exemple, démonstrations avec le « ressort magique »).
- **Objectif global 7** : l'utilisation de la modélisation informatique permet aux élèves d'observer le mouvement ondulatoire dans trois dimensions tout en étant capable de régler avec une plus grande précision les caractéristiques ondulatoires dans les démonstrations de superposition.

Idee essentielle : les ondes interagissent avec les milieux et les unes avec les autres de plusieurs façons, qui peuvent être inattendues et utiles.

4.4 Comportement des ondes

Nature de la science

Théories antagonistes : les travaux divergents de Huygens et de Newton sur leurs théories de la lumière et le débat connexe entre Fresnel, Arago et Poisson sont des démonstrations de deux théories qui étaient valides et pourtant erronées et incomplètes. Il s'agit là d'un exemple historique du progrès de la science qui a conduit à l'acceptation de la dualité de la nature de la lumière. (1.9)

Notions clés

- Réflexion et réfraction
- Loi de Snell, angle critique et réflexion interne totale
- Diffraction à travers une seule fente et autour d'objets
- Phénomènes d'interférence
- Interférence avec deux fentes
- Différence de chemin

Applications et compétences

- Esquisser et interpréter les ondes incidentes, réfléchies et transmises aux interfaces de milieux.
- Résoudre des problèmes impliquant une réflexion sur une interface plane.
- Résoudre des problèmes impliquant la loi de Snell, l'angle critique et la réflexion interne totale.
- Déterminer expérimentalement l'indice de réfraction.
- Décrire qualitativement les franges de diffraction formées lorsque des ondes planes sont incidentes normalement sur une seule fente.

Sensibilité internationale

- Le comportement caractéristique des ondes a été utilisé dans de nombreuses cultures dans toute l'histoire humaine ; il est souvent étroitement lié aux mythes et aux légendes qui ont formé la base des premières études scientifiques.

Théorie de la connaissance

- Huygens et Newton ont proposé deux théories antagonistes du comportement de la lumière. Comment la communauté scientifique choisit-elle entre des théories antagonistes ?

Utilisation

- L'empreinte de faisceau d'un satellite sur la terre est régie par la diffraction due à l'antenne parabolique du satellite.
- Les applications de la réfraction et de la réflexion de la lumière vont du simple miroir plan à l'endoscope médical et au-delà. Beaucoup de ces applications nous ont permis d'améliorer et d'étendre notre sens de la vision.
- L'idée simple de l'annulation de deux rayons de lumière cohérente se réfléchissant depuis deux surfaces a conduit au stockage des données dans les disques compacts et leurs successeurs.

4.4 Comportement des ondes

- Décrire quantitativement des franges d'intensité d'interférence à deux fentes.

Directives et informations supplémentaires

- Les descriptions quantitatives de l'indice de réfraction sont limitées aux rayons de lumière passant entre deux milieux transparents ou plus. S'il y a plus de deux milieux, seules des interfaces parallèles seront considérées.
- On n'attend pas des élèves qu'ils déduisent l'équation pour deux fentes.
- Les élèves devraient avoir l'occasion d'observer les franges de diffraction et les phénomènes d'interférence résultant de plus d'un type d'onde.

Référence au recueil de données

- $\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$
- $s = \frac{\lambda D}{d}$
- Interférence constructive : différence de chemin = $n\lambda$
- Interférence destructive : différence de chemin = $(n + \frac{1}{2})\lambda$

- L'explication physique de l'arc-en-ciel implique la réfraction et la réflexion interne totale. On ne peut expliquer les bandes brillantes et sombres à l'intérieur de l'arc-en-ciel, les arcs surnuméraires, que par la nature ondulatoire de la lumière et par la diffraction.

Objectifs globaux

- **Objectif global 1** : les aspects historiques de ce thème sont encore pertinents et fournissent une perception utile du travail des scientifiques du passé.
- **Objectif global 6** : les expériences peuvent comprendre (entre autres) : la détermination de l'indice de réfraction et l'application de la loi de Snell ; la détermination des conditions dans lesquelles peut se produire la réflexion interne totale ; l'examen de franges de diffraction à travers des ouvertures et autour d'obstacles ; une recherche sur l'expérience avec deux fentes.
- **Objectif global 8** : l'utilisation accrue des données numériques et leur densité de stockage ont des implications sur la vie privée des individus à cause de la permanence d'une trace numérique.

Idée essentielle : lorsque des ondes progressives se rencontrent, elles peuvent se superposer pour former des ondes stationnaires dans lesquelles l'énergie ne peut pas être transférée.

4.5 Ondes stationnaires

Nature de la science

Processus de raisonnement commun : depuis l'époque de Pythagore jusqu'à aujourd'hui, les liens entre la formation d'ondes stationnaires sur les cordes et dans les tuyaux ont été modélisés mathématiquement et ils ont été reliés aux observations des systèmes oscillants. Dans le cas du son dans l'air et de la lumière, on peut visualiser le système afin de reconnaître les processus sous-jacents se produisant dans les ondes stationnaires. (1.6)

Notions clés

- Nature des ondes stationnaires
- Conditions aux limites
- Nœuds et ventres

Applications et compétences

- Décrire la nature et la formation des ondes stationnaires en termes de superposition.
- Distinguer entre ondes stationnaires et ondes progressives.
- Observer, esquisser et interpréter les patterns des ondes stationnaires dans les cordes et les tuyaux.
- Résoudre des problèmes impliquant la fréquence d'un harmonique, la longueur de l'onde stationnaire et la vitesse de propagation de l'onde.

Directives et informations supplémentaires

- On attend des élèves qu'ils examinent la formation des ondes stationnaires à partir de la superposition de deux ondes au maximum.
- Les conditions aux limites pour les cordes sont : deux extrémités fixes ; une extrémité fixe et une libre ; deux extrémités libres.
- Les conditions aux limites pour les tuyaux sont : deux extrémités fermées ; une extrémité fermée et une ouverte ; deux extrémités ouvertes.
- Pour les ondes stationnaires dans l'air, il ne sera pas demandé de donner des explications en termes de nœuds de pression et de ventres de pression.

Sensibilité internationale

- L'art de la musique, qui a sa base scientifique dans ces idées, est universel à toutes les cultures, passées et présentes. Un grand nombre d'instruments de musique s'appuient fortement sur la production et la manipulation d'ondes stationnaires.

Théorie de la connaissance

- Il existe des liens étroits entre les ondes stationnaires dans les cordes et la théorie de Schrödinger sur l'amplitude de probabilité de présence d'électrons dans l'atome. L'application de la théorie des supercordes nécessite des patterns d'ondes stationnaires dans 11 dimensions. Quel rôle jouent la raison et l'imagination dans l'aptitude des scientifiques à visualiser des scénarios qui vont au-delà de nos capacités physiques ?

Utilisation

- Il faudrait encourager les élèves étudiant la musique à utiliser leurs propres expériences de cette forme d'art dans la classe de physique.

Objectifs globaux

- **Objectif global 3 :** les élèves sont capables à la fois d'observer physiquement et de mesurer qualitativement les emplacements des nœuds et des ventres, en suivant les techniques de recherche utilisées par les premiers scientifiques et musiciens.

4.5 Ondes stationnaires

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Le mode de fréquence la plus basse d'une onde stationnaire est connu comme le premier harmonique. • Les termes « fondamental » et « partiel » ne seront pas utilisés dans les questions d'examen. | <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : les expériences peuvent comprendre (entre autres) : l'observation de motifs d'ondes stationnaires dans les objets physiques (par exemple, ressorts Ondomania) ; la prédiction des emplacements des harmoniques dans un tube d'air dans de l'eau ; la détermination de la fréquence de diapasons ; l'observation et la mesure des cordes vibrantes de violon/guitare. • Objectif global 8 : la dimension internationale de l'application des ondes stationnaires est importante en musique. |
|--|---|

Thème 5 – Électricité et magnétisme

15 heures

Idée essentielle : lorsque des charges bougent, un courant électrique est créé.

5.1 Champs électriques

Nature de la science

Modélisation : la théorie électrique démontre le raisonnement scientifique impliqué dans le développement d'un modèle microscopique (comportement des porteurs de charge) à partir d'une observation macroscopique. Le développement historique et l'affinement de ces idées scientifiques lorsque les propriétés microscopiques étaient inconnues et non observables témoignent du raisonnement profond dont ont fait preuve les scientifiques de l'époque. (1.10)

Notions clés

- Charge
- Champ électrique
- Loi de Coulomb
- Courant électrique
- Courant continu (c.c.)
- Différence de potentiel

Applications et compétences

- Identifier deux formes de charge et la direction des forces entre elles.
- Résoudre des problèmes impliquant des champs électriques et la loi de Coulomb.
- Calculer le travail effectué dans un champ électrique à la fois en joules et en électronvolts.
- Identifier le signe et la nature des porteurs de charge dans un métal.

Sensibilité internationale

- L'électricité et ses avantages ont un pouvoir inégalé de transformation de la société.

Théorie de la connaissance

- Les premiers scientifiques ont identifié les charges positives comme les porteurs de charge dans les métaux ; cependant, la découverte de l'électron a conduit à l'introduction du sens du courant « conventionnel ». Était-ce là une solution appropriée à un changement majeur dans le raisonnement ? Quel rôle les changements de paradigmes jouent-ils dans le développement de la connaissance scientifique ?

Utilisation

- Transfert d'énergie d'un endroit à un autre (voir *Guide de chimie*, option C et *Guide de physique*, thème 11).
- Impact de la production d'électricité sur l'environnement (voir *Guide de physique*, thème 8 et *Guide de chimie*, sujet C2).

5.1 Champs électriques

- Identifier la vitesse de déplacement d'ensemble des porteurs de charge.
- Résoudre des problèmes en utilisant l'équation de la vitesse de déplacement d'ensemble.
- Résoudre des problèmes impliquant le courant, la différence de potentiel et la charge.

Directives et informations supplémentaires

- On attend des élèves qu'ils appliquent la loi de Coulomb pour une gamme de valeurs de permittivité.

Référence au recueil de données

- $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$
- $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$
- $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$
- $V = \frac{W}{q}$
- $E = \frac{F}{q}$
- $I = nAvq$

- Comparaison entre le traitement des champs électriques et des champs gravitationnels (voir *Guide de physique*, thème 10).

Objectifs globaux

- **Objectif global 2** : la théorie électrique occupe une place primordiale dans une grande partie de la science et de l'ingénierie modernes.
- **Objectif global 3** : les progrès dans la théorie électrique ont apporté d'immenses changements à toutes les sociétés.
- **Objectif global 6** : les expériences peuvent comprendre (entre autres) : des démonstrations montrant l'effet d'un champ électrique (par exemple, en utilisant de la semoule) ; des simulations impliquant la mise en place d'une ou de plusieurs charges ponctuelles et la détermination du champ en résultant.
- **Objectif global 7** : l'utilisation de simulations par ordinateur permettrait aux élèves de mesurer des interactions microscopiques qui sont généralement très difficiles à reproduire dans le cadre d'un laboratoire scolaire.

Idee essentielle : l'une des toutes premières utilisations de l'électricité visait la production de lumière et de chaleur. Cette technologie continue d'avoir un impact majeur sur la vie des peuples dans le monde entier.

5.2 Effet thermique des courants électriques

Nature de la science

Évaluation par les pairs : bien que Barlow et Ohm aient publié à peu près en même temps leurs découvertes sur la nature du courant électrique, on accorda peu de crédibilité à Ohm. Initialement, la loi incorrecte de Barlow ne fut pas critiquée et ne fit pas l'objet de recherches plus approfondies. Cela reflète la nature du milieu académique de l'époque, la physique étant essentiellement non mathématique en Allemagne et Barlow étant très respecté en Angleterre. Cela indique combien il est important que les résultats des recherches soient publiés et fassent l'objet d'une évaluation par les pairs dans des revues scientifiques reconnues. (4.4)

Notions clés

- Schémas de circuits
- Lois de Kirchhoff sur les circuits
- Effet thermique du courant et ses conséquences
- Résistance exprimée sous la forme $R = \frac{V}{I}$
- Loi d'Ohm
- Résistivité
- Dissipation d'énergie

Applications et compétences

- Dessiner et interpréter des schémas de circuits.
- Identifier des conducteurs ohmiques et non ohmiques au moyen de la caractéristique V/I .
- Résoudre des problèmes impliquant la différence de potentiel, le courant, la charge, les lois de Kirchhoff sur les circuits, la puissance, la résistance et la résistivité.
- Étudier des combinaisons de résistances dans des circuits en parallèle et en série.
- Décrire des ampèremètres et des voltmètres idéaux et non idéaux.
- Décrire des utilisations pratiques des circuits diviseurs de tension, y compris les avantages d'un diviseur de tension par rapport à une résistance en série pour commander un circuit simple.

Sensibilité internationale

- Un ensemble de symboles universels est nécessaire pour permettre aux physiciens de différentes cultures de communiquer facilement leurs idées en science et en ingénierie.

Théorie de la connaissance

- La perception sensorielle dans les premières recherches en électricité était primordiale pour classer les effets de diverses sources d'énergie ; cependant, cela peut avoir des conséquences irréversibles pour les scientifiques impliqués. Peut-on encore utiliser la perception sensorielle dans la recherche scientifique de manière éthique et sûre ?

Utilisation

- Bien que les façons dont nous utilisons les circuits électriques soient presque illimitées, le chauffage et l'éclairage sont deux des applications les plus courantes.
- Les dispositifs sensibles peuvent utiliser des détecteurs capables de mesurer de petites variations dans la différence de potentiel et/ou le courant, ce qui requiert des circuits soigneusement agencés et des composants de haute précision.

5.2 Effet thermique des courants électriques

- Vérifier expérimentalement un ou plusieurs des facteurs qui affectent la résistance.

Directives et informations supplémentaires

- Il faudrait décrire la lampe à incandescence comme un dispositif non ohmique ; un fil métallique à une température constante est un dispositif ohmique.
- L'utilisation de voltmètres non idéaux est limitée à des voltmètres avec une résistance constante mais finie.
- L'utilisation d'ampèremètres non idéaux est limitée à des ampèremètres avec une résistance constante mais pas nulle.
- L'application des lois de Kirchhoff sur les circuits sera limitée à des circuits avec un nombre maximum de deux mailles incluant des sources.

Référence au recueil de données

- Lois de Kirchhoff sur les circuits:

$$\Sigma V = 0 \text{ (boucle)}$$

$$\Sigma I = 0 \text{ (jonction)}$$

- $R = \frac{V}{I}$

- $P = VI = I^2 R = \frac{V^2}{R}$

- $R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + \dots$

- $\frac{1}{R_{\text{total}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$

- $\rho = \frac{RA}{L}$

- Se référer aux symboles électriques à la page 4 du recueil de données.

Objectifs globaux

- **Objectif global 2 :** la théorie électrique et son approche vis-à-vis des effets macroscopiques et microscopiques caractérisent une grande partie de l'approche physique adoptée dans l'analyse de l'univers.
- **Objectif global 3 :** les techniques électriques, aussi bien pratiques que théoriques, fournissent aux élèves une occasion relativement simple de développer une sensibilité aux arguments de la physique.
- **Objectif global 6 :** les expériences peuvent comprendre (entre autres) : l'utilisation d'un ampèremètre thermique comme dispositif historiquement important ; la comparaison de la résistivité de divers conducteurs tel qu'un fil à une température constante, une lampe à incandescence ou un crayon à mine de graphite ; des recherches sur les caractéristiques des conducteurs ohmiques et non ohmiques ; l'utilisation d'un fil résistif enroulé et fixé par un ruban autour du réservoir d'un thermomètre pour relier la résistance du fil au courant dans le fil et à la température du fil.
- **Objectif global 7 :** il existe de nombreux logiciels et de nombreuses ressources en ligne expliquant comment construire rapidement des circuits simples et complexes afin de rechercher l'effet de l'utilisation de différents composants à l'intérieur d'un circuit.

Idée essentielle : les piles électriques nous permettent de stocker l'énergie sous forme chimique.

5.3 Piles électriques

Nature de la science

Risques à long terme : les scientifiques doivent contrebalancer la recherche sur des piles électriques capables de stocker l'énergie avec une plus grande densité d'énergie afin de donner une plus longue durée de vie à ces appareils, avec les risques à long terme associés à l'élimination des produits chimiques impliqués lors de la mise au rebut des batteries. (4.8)

Notions clés

- Piles
- Résistance interne
- Piles secondaires
- Différence de potentiel aux bornes
- F.é.m.

Applications et compétences

- Faire des recherches sur des piles électriques usuelles (rechargeables ou non).
- Décrire la décharge caractéristique d'une pile simple (variation de la différence de potentiel aux bornes avec le temps).
- Identifier le sens d'écoulement du courant requis pour recharger une batterie.
- Déterminer expérimentalement la résistance interne.
- Résoudre des problèmes impliquant la f.é.m., la résistance interne et d'autres grandeurs électriques.

Sensibilité internationale

- Le stockage dans les batteries est important pour la société, pour des applications telles que les dispositifs portatifs, certains modes de transport, et les alimentations de secours pour les installations médicales.

Théorie de la connaissance

- Le stockage dans les batteries est considéré comme utile pour la société malgré les retombées écologiques potentielles relatives à leur mise au rebut. Les scientifiques devraient-ils être tenus comme moralement responsables des conséquences à long terme de leurs inventions et de leurs découvertes ?

Utilisation

- Chimie des piles électriques (voir *Guide de chimie*, sujets 9.2 et C.6).

Objectifs globaux

- **Objectif global 6 :** les expériences peuvent comprendre (entre autres) : des recherches sur des piles électrolytiques simples utilisant divers matériaux pour la cathode, l'anode et l'électrolyte ; des recherches avec logiciel sur la conception des piles électriques ; la comparaison de l'espérance de vie de diverses batteries.

5.3 Piles électriques

Directives et informations supplémentaires

- Les élèves devraient reconnaître que la différence de potentiel aux bornes d'une pile électrique usuelle typique perd rapidement sa valeur initiale, a une valeur stable et constante pendant la majorité de sa durée de vie, suivie d'une diminution rapide jusqu'à zéro alors que la pile se décharge complètement.

Référence au recueil de données

- $\varepsilon = I(R + r)$

- **Objectif global 8 :** bien que la technologie des piles puisse fournir de l'électricité sans contribution directe par les réseaux nationaux de distribution d'énergie (et les questions d'émission de dioxyde de carbone inhérentes à celle-ci), la mise au rebut sûre des batteries et des produits chimiques qu'elles utilisent peuvent entraîner des problèmes de pollution des sols et de l'eau.
- **Objectif global 10 :** les améliorations apportées à la technologie des piles résultent d'une collaboration avec des chimistes.

Idee essentielle : l'effet que les scientifiques appellent magnétisme se produit lorsqu'une charge se déplace à proximité d'une autre charge en mouvement.

5.4 Effets magnétiques des courants électriques

Nature de la science

Modèles et visualisation : les lignes de champ magnétique fournissent une visualisation puissante d'un champ magnétique. Historiquement, les lignes de champ aidèrent les scientifiques et les ingénieurs à comprendre un lien qui a commencé avec l'influence d'une charge en mouvement sur une autre et qui a mené à la relativité. (1.10)

Notions clés

- Champs magnétiques
- Force magnétique

Applications et compétences

- Déterminer la direction de la force sur une charge se déplaçant dans un champ magnétique.
- Déterminer la direction de la force sur un conducteur parcouru par un courant dans un champ magnétique.
- Esquisser et interpréter des lignes de champ d'un champ magnétique.
- Déterminer la direction du champ magnétique en se basant sur la direction et le sens du courant.
- Résoudre des problèmes impliquant des forces magnétiques, des champs, un courant et des charges.

Directives et informations supplémentaires

- Les lignes de champ de champs magnétiques seront limitées à de longs conducteurs rectilignes, à des solénoïdes et à des aimants droits.

Sensibilité internationale

- Les recherches sur le magnétisme sont une des études les plus anciennes faites par l'homme ; elles ont été beaucoup utilisées par les voyageurs en Méditerranée et ailleurs il y a des milliers d'années.

Théorie de la connaissance

- Les lignes de champ fournissent une visualisation d'un phénomène complexe, essentielle à la compréhension de ce thème. Pourquoi pourrait-il être utile de considérer la connaissance de manière similaire, en utilisant la métaphore d'une carte pour symboliser la connaissance, c'est-à-dire une représentation simplifiée de la réalité ?

Utilisation

- Nous avons été tributaires du compas magnétique pendant des centaines d'années, et ce n'est que relativement récemment qu'il a été remplacé par différentes technologies.
- Les scanners médicaux modernes s'appuient fortement sur les champs magnétiques uniformes intenses produits par des appareils qui utilisent des supraconducteurs.
- Les accélérateurs de particules tels que le grand collisionneur de hadrons du CERN utilisent une diversité d'aimants précis pour aligner les faisceaux de particules.

5.4 Effets magnétiques des courants électriques

Référence au recueil de données

- $F = qvB \sin \theta$
- $F = BIL \sin \theta$

Objectifs globaux

- **Objectifs globaux 2 et 9** : des visualisations nous fournissent fréquemment une perception de l'action des champs magnétiques ; cependant, ces visualisations ont elles-mêmes leurs propres limites.
- **Objectif global 7** : des simulations par ordinateur permettent la visualisation de champs électromagnétiques dans un espace tridimensionnel.

Thème 6 – Mouvement circulaire et gravitation

5 heures

Idée essentielle : une force appliquée perpendiculairement à son déplacement peut résulter en un mouvement circulaire.

6.1 Mouvement circulaire

Nature de la science

Univers observable : des observations et des déductions ultérieures ont conduit à la prise de conscience que la force devait agir radialement vers l'intérieur dans tous les cas de mouvement circulaire. (1.1)

Notions clés

- Période, fréquence, écart angulaire et vecteur vitesse angulaire
- Force centripète
- Accélération centripète

Applications et compétences

- Identifier les forces susceptibles d'être centripètes telles que la tension, le frottement, la force gravitationnelle, électrique ou magnétique.
- Résoudre des problèmes impliquant la force centripète, l'accélération centripète, la période, la fréquence, l'écart angulaire, la vitesse linéaire et la vitesse angulaire.
- Décrire qualitativement et quantitativement des exemples de mouvement circulaire, y compris des cas de mouvement circulaire vertical et horizontal.

Directives et informations supplémentaires

- L'inclinaison latérale ne sera considérée que qualitativement.

Sensibilité internationale

- Une collaboration internationale est nécessaire pour établir des aires de lancement de fusées efficaces pour en faire bénéficier les programmes spatiaux.

Théorie de la connaissance

- Le pendule de Foucault donne une preuve observable simple de la rotation de la Terre, qui est essentiellement non observable. Comment peut-on avoir une connaissance de choses qui ne sont pas observables ?

Utilisation

- Mouvement des particules chargées dans les champs magnétiques (voir *Guide de physique*, sujet 5.4).
- Spectrométrie de masse (voir *Guide de chimie*, sujets 2.1 et 11.3).
- Les manèges pour terrains de jeu et parcs d'attraction utilisent souvent les principes du mouvement circulaire dans leur conception.

6.1 Mouvement circulaire

Référence au recueil de données

- $v = \omega r$
- $a = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$
- $F = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$

Objectifs globaux

- **Objectif global 6** : les expériences peuvent comprendre (entre autres) : une masse sur une corde ; l'observation et la quantification d'expériences de mouvement le long d'une boucle fermée ; le frottement d'une masse sur une plaque tournante.
- **Objectif global 7** : la technologie a permis des mesures plus exactes et plus précises du mouvement circulaire, avec entre autres les enregistreurs de données pour les mesures de forces et l'analyse vidéo d'objets se déplaçant dans un mouvement circulaire.

Idee essentielle : l'idée newtonienne de la force gravitationnelle agissant entre deux corps sphériques et les lois de la mécanique créent un modèle qui peut être utilisé pour calculer le mouvement des planètes.

6.2 Loi de gravitation de Newton

Nature de la science

Lois : la loi de gravitation de Newton et les lois de la mécanique constituent les fondations pour la physique classique déterministe. On peut les utiliser pour faire des prédictions mais elles n'expliquent pas pourquoi les phénomènes observés existent. (2.4)

Notions clés

- Loi de gravitation de Newton
- Intensité du champ gravitationnel

Applications et compétences

- Décrire le rapport entre la force gravitationnelle et la force centripète.
- Appliquer la loi de gravitation de Newton au mouvement d'un objet en orbite circulaire autour d'une masse ponctuelle.
- Résoudre des problèmes impliquant la force gravitationnelle, l'intensité du champ gravitationnel, la vitesse orbitale et la période orbitale.
- Déterminer l'intensité du champ gravitationnel résultant dû à deux corps.

Directives et informations supplémentaires

- La loi de gravitation de Newton devrait être étendue aux masses sphériques de densité uniforme en supposant que leur masse est concentrée en leur centre.
- L'intensité du champ gravitationnel en un point est la force par unité de masse ressentie par une petite masse ponctuelle en ce point.
- Les calculs de l'intensité du champ gravitationnel résultant dû à deux corps seront limités à des points le long de la ligne droite joignant ces corps.

Théorie de la connaissance

- La loi de la mécanique crée, avec la loi de la gravitation, la nature déterministe de la physique classique. La physique classique et la physique moderne sont-elles compatibles ? Est-ce que d'autres domaines de connaissances présentent une division similaire entre classique et moderne dans leur évolution historique ?

Utilisation

- La loi de gravitation est essentielle pour décrire le mouvement des satellites, des planètes, des lunes et des galaxies entières.
- Comparaison avec la loi de Coulomb (voir *Guide de physique*, sujet 5.1).

Objectifs globaux

- **Objectif global 4 :** lorsqu'elle est combinée et synthétisée avec le reste des lois de la mécanique, la théorie de la gravitation permet des prédictions détaillées sur la position et le mouvement futurs des planètes.

6.2 Loi de gravitation de Newton**Référence au recueil de données**

- $F = G \frac{Mm}{r^2}$
- $g = \frac{F}{m}$
- $g = G \frac{M}{r^2}$

Thème 7 – Physique atomique, physique nucléaire et physique des particules

14 heures

Idée essentielle : dans le monde microscopique, l'énergie est discrète.

7.1 Energie discrète et radioactivité

Nature de la science

Découverte accidentelle : la radioactivité a été découverte par accident lorsque Becquerel développa une pellicule photographique qui avait été exposée accidentellement au rayonnement provenant de roches radioactives. Les marques vues par Becquerel sur cette pellicule photographique n'auraient probablement abouti à rien d'autre pour la plupart des gens. Becquerel établit une corrélation entre la présence de ces marques et la présence des roches radioactives et examina cette situation plus en profondeur. (1.4)

Notions clés

- Énergie discrète et niveaux d'énergie discrète
- Transitions entre les niveaux d'énergie
- Désintégration radioactive
- Forces fondamentales et leurs propriétés
- Particules alpha, particules bêta et rayons gamma
- Demi-vie
- Caractéristiques d'absorption des particules de désintégration
- Isotopes
- Rayonnement de fond

Applications et compétences

- Décrire le spectre d'émission et d'absorption des gaz courants.
- Résoudre des problèmes impliquant des spectres atomiques, comprenant le calcul de la longueur d'onde des photons émis pendant des transitions atomiques.

Sensibilité internationale

- La géopolitique des 60 dernières années ou plus a été fortement influencée par l'existence des armes nucléaires.

Théorie de la connaissance

- Le rôle du hasard / de la sérendipité dans la découverte scientifique couronnée de succès est presque inévitablement lié à un esprit scientifiquement curieux qui poursuivra le résultat de l'événement « fortuit ». Dans quelle mesure pourrait-on mieux décrire les découvertes scientifiques décrites comme étant le résultat du hasard, comme étant le résultat de la raison ou de l'intuition ?

Utilisation

- Les connaissances de la radioactivité, des substances radioactives et de la loi de désintégration radioactive ont une importance cruciale dans la médecine nucléaire moderne.

7.1 Energie discrète et radioactivité

- Compléter des équations de désintégration pour la désintégration alpha et bêta.
- Déterminer la demi-vie d'un nucléide à partir d'une courbe de décroissance.
- Faire des recherches expérimentales (ou par simulation) sur la demi-vie.

Directives et informations supplémentaires

- Les élèves devront résoudre des problèmes sur la désintégration radioactive impliquant uniquement des nombres entiers de demi-vies.
- Les élèves devront inclure le neutrino et l'antineutrino dans les équations de désintégration bêta.

Référence au recueil de données

- $E = hf$
- $\lambda = \frac{hc}{E}$

- La façon de traiter la radioactivité produite par la désintégration nucléaire est importante dans le débat sur les centrales nucléaires (voir *Guide de physique*, sujet 8.1).
- On utilise la datation au radiocarbone pour fournir des preuves de l'évolution (voir *Guide de biologie*, sujet 5.1).
- Fonctions exponentielles (voir *Guide d'études mathématiques NS*, sujet 6.4 ; *Guide de mathématiques NS*, sujet 2.4).

Objectifs globaux

- **Objectif global 8** : l'utilisation de matières radioactives présente des dangers écologiques auxquels il faut s'attaquer à tous les stades de la recherche.
- **Objectif global 9** : l'utilisation de matières radioactives nécessite le développement de pratiques et de méthodes expérimentales sûres pour manipuler les matières radioactives.

Idée essentielle : de l'énergie peut être libérée dans les désintégrations et les réactions nucléaires par suite du rapport entre la masse et l'énergie.

7.2 Réactions nucléaires

Nature de la science

Patterns, tendances et divergences : les graphiques de l'énergie de liaison par nucléon et du nombre de neutrons par rapport au nombre de protons révèlent des patterns manifestes. Cela permet aux scientifiques de faire des prédictions sur les caractéristiques des isotopes en se basant sur ces graphiques. (3.1)

Notions clés

- L'unité de masse atomique unifiée
- Défaut de masse et énergie de liaison nucléaire
- Fission nucléaire et fusion nucléaire

Applications et compétences

- Résoudre des problèmes impliquant le défaut de masse et l'énergie de liaison.
- Résoudre des problèmes impliquant l'énergie libérée dans la désintégration radioactive, la fission nucléaire et la fusion nucléaire.
- Esquisser et interpréter la forme générale de la courbe de l'énergie de liaison moyenne par nucléon en fonction du nombre de nucléons.

Directives et informations supplémentaires

- Les élèves doivent être capables de calculer les changements en termes de masse et d'énergie de liaison.
- On peut définir l'énergie de liaison en termes d'énergie nécessaire pour séparer complètement les nucléons ou en termes d'énergie libérée quand on forme un noyau à partir de ses nucléons.

Référence au recueil de données

- $\Delta E = \Delta m c^2$

Théorie de la connaissance

- L'acceptation que la masse et l'énergie étaient équivalentes a été un changement de paradigme majeur en physique. Comment d'autres changements de paradigmes ont-ils modifié la direction de la science ? Y a-t-il eu des changements de paradigmes similaires dans d'autres domaines de la connaissance ?

Utilisation

- Notre compréhension de l'énergétique du noyau a conduit à des façons de produire de l'électricité à partir de noyaux mais aussi au développement d'armes très destructrices.
- La chimie des réactions nucléaires (voir *Guide de chimie*, sujets C.3 et C.7).

Objectifs globaux

- **Objectif global 5 :** certaines des questions soulevées par l'utilisation de l'énergie nucléaire dépassent les frontières nationales et exigent la collaboration de scientifiques de nombreuses nations différentes.
- **Objectif global 8 :** le développement de l'énergie nucléaire et des armes nucléaires soulève des questions morales et éthiques très graves : à qui devrait-on permettre de posséder une énergie nucléaire et des armes nucléaires et qui devrait prendre ces décisions ? Les déchets nucléaires des centrales nucléaires soulèvent aussi de graves questions environnementales.

Idée essentielle : on pense que toute la matière qui nous entoure est constituée de particules fondamentales appelées quarks et leptons. On sait que la matière a une structure hiérarchique avec les quarks constituant les nucléons, les nucléons constituant les noyaux, les noyaux et les électrons constituant les atomes et les atomes constituant les molécules. Dans cette structure hiérarchique, on considère la plus petite échelle comme étant celle pour les quarks et les leptons (10^{-18}m).

7.3 Structure de la matière

Nature de la science

Prédictions : notre compréhension actuelle de la matière est appelée le modèle standard, consistant en six quarks et en six leptons. Les quarks ont été estimés sur une base complètement mathématique afin d'expliquer les patterns dans les propriétés des particules. (1.9)

Collaboration : c'est beaucoup plus tard qu'une expérimentation collaborative à grande échelle a conduit à la découverte des particules fondamentales prédites. (4.3)

Notions clés

- Quarks, leptons et leurs antiparticules
- Hadrons, baryons et mésons
- Les lois de conservation de la charge, du nombre baryonique, du nombre leptonique et de l'étrangeté
- La nature et la portée de la force nucléaire forte, de la force nucléaire faible et de la force électromagnétique
- Particules d'échange
- Diagrammes de Feynman
- Confinement
- Le boson de Higgs

Applications et compétences

- Décrire l'expérience de Rutherford-Geiger-Marsden qui a conduit à la découverte du noyau.
- Appliquer les lois de conservation dans les réactions de particules.
- Décrire les protons et les neutrons en termes de quarks.

Sensibilité internationale

- La recherche dans la physique des particules nécessite un financement de plus en plus important, ce qui entraîne des débats dans les gouvernements et les organismes de recherche internationaux quant à la juste attribution des ressources financières précieuses.

Théorie de la connaissance

- La croyance en l'existence de particules fondamentales signifie-t-elle qu'il est justifiable de considérer la physique comme étant plus importante que d'autres domaines de la connaissance ?

Utilisation

- Une compréhension de la physique des particules est nécessaire pour déterminer le destin final de l'univers (voir *Guide de physique*, sujets D.3 et D.4).

Objectifs globaux

- **Objectif global 1 :** la recherche qui traite de la structure fondamentale de la matière est de nature internationale et c'est une aventure stimulante et passionnante pour ceux qui y participent.

7.3 Structure de la matière

- Comparer les forces d'interaction des forces fondamentales, y compris la gravité.
- Décrire la transmission des forces fondamentales au moyen de particules d'échange.
- Esquisser et interpréter des diagrammes de Feynman simples.
- Décrire pourquoi les quarks libres ne sont pas observés.

Directives et informations supplémentaires

- Une description qualitative du modèle standard est demandée.

Référence au recueil de données

Charge	Quarks			Nombre baryonique
$\frac{2}{3}e$	u	c	t	$\frac{1}{3}$
$-\frac{1}{3}e$	d	s	b	$\frac{1}{3}$

Tous les quarks ont un nombre d'étrangeté de 0 à part le quark étrange qui a un nombre d'étrangeté de -1 .

- **Objectif global 4 :** la physique des particules implique l'analyse et l'évaluation de très grandes quantités de données.
- **Objectif global 6 :** les élèves peuvent faire des recherches sur l'angle de diffusion des particules alpha en fonction de la distance de visée, ou sur la distance d'approche minimum en fonction de l'énergie cinétique initiale de la particule alpha.
- **Objectif global 8 :** on questionne les organismes scientifiques et gouvernementaux quant au bien-fondé du financement pour les recherches sur la physique des particules plutôt que pour d'autres recherches ou pour répondre à des besoins sociaux.

7.3 Structure de la matière

Charge	Leptons		
-1	e	μ	τ
0	ν_e	ν_μ	ν_τ

Tous les leptons ont un nombre leptonique de 1 et les antileptons ont un nombre leptonique de -1.

	Gravitationnelle	Faible	Électromagnétique	Forte
Particules qui subissent l'interaction	Toutes	Quarks, leptons	Chargées	Quarks, gluons
Particules qui transmettent l'interaction	Graviton	W^+ , W^- , Z^0	γ	Gluons

Thème 8 – Production d'énergie

8 heures

Idee essentielle : le besoin constant de nouvelles sources d'énergie implique des décisions qui peuvent avoir un fort impact sur l'environnement. La quantité finie des combustibles fossiles et leur implication dans le réchauffement climatique ont conduit au développement de sources d'énergie de substitution. Cela continue d'être un domaine d'innovations technologiques qui évoluent rapidement.

8.1 Sources d'énergie

Nature de la science

Risques et résolution de problèmes : depuis le début de l'humanité, les hommes ont compris le rôle essentiel de l'exploitation de l'énergie et la production d'électricité à grande échelle a eu un impact sur tous les niveaux de la société. Les processus de transformation de l'énergie nécessitent des approches holistiques qui impliquent de nombreux domaines de la connaissance. La recherche et le développement de sources d'énergie de substitution ont manqué de soutien dans quelques pays pour des raisons économiques et politiques. Cependant, les scientifiques ont continué de collaborer et de partager de nouvelles technologies qui peuvent réduire notre dépendance aux sources d'énergie non renouvelables. (4.8)

Notions clés

- Densité d'énergie massique et densité d'énergie volumétrique des sources de combustible
- Diagrammes de Sankey
- Sources d'énergie primaire
- L'électricité comme forme d'énergie secondaire et polyvalente
- Sources d'énergie renouvelables et non renouvelables

Applications et compétences

- Résoudre des problèmes de densité d'énergie massique et de densité d'énergie volumétrique.
- Esquisser et interpréter des diagrammes de Sankey.
- Décrire les caractéristiques de base des centrales à combustible fossile, des centrales nucléaires, des éoliennes, des centrales hydroélectriques à réserve

Sensibilité internationale

- La production d'énergie à partir de combustibles fossiles a un impact évident sur le monde dans lequel nous vivons et implique donc un raisonnement mondial. Les concentrations géographiques de combustibles fossiles ont conduit à des conflits politiques et à des inégalités économiques. La production d'énergie au moyen de ressources d'énergie de substitution exige de nouveaux niveaux de collaboration internationale.

Théorie de la connaissance

- L'utilisation de l'énergie nucléaire soulève toute une gamme de réponses affectives de la part des scientifiques et de la société. Comment peut-on entreprendre une évaluation scientifique précise des risques dans des domaines chargés d'émotion ?

8.1 Sources d'énergie

pompée et des cellules solaires.

- Résoudre des problèmes relatifs aux transformations d'énergie dans le contexte de ces systèmes de production d'énergie.
- Discuter les questions de sécurité et les risques associés à la production d'énergie nucléaire.
- Décrire les différences entre les cellules photovoltaïques et les panneaux solaires destinés au chauffage.

Directives et informations supplémentaires

- La densité d'énergie massique s'exprime en J kg^{-1} ; la densité d'énergie volumétrique s'exprime en J m^{-3} .
- La description des caractéristiques de base des centrales nucléaires doit comprendre l'utilisation des barres de commande, des modérateurs et des échangeurs de chaleur.
- La déduction de l'équation des éoliennes n'est pas demandée mais une connaissance des suppositions et des limitations pertinentes est nécessaire.
- On attend des élèves qu'ils soient conscients des nouvelles technologies et de celles en voie de développement qui pourraient devenir importantes pendant la durée de vie de ce guide.

Référence au recueil de données

- Puissance = $\frac{\text{énergie}}{\text{temps}}$
- Puissance = $\frac{1}{2} A \rho v^3$

Utilisation

- Les génératrices pour la production d'électricité et les moteurs pour le mouvement ont révolutionné le monde (voir *Guide de physique*, sujets 5.4 et 11.2).
- L'ingénierie derrière les sources d'énergie de substitution est influencée par différents domaines de physique (voir *Guide de physique*, sujets 3.2, 5.4 et B.2).
- Densité d'énergie (voir *Guide de chimie*, sujet C.1).
- Recyclage du carbone (voir *Guide de biologie*, sujet 4.3).

Objectifs globaux

- **Objectif global 4** : la production d'énergie implique de nombreuses disciplines scientifiques différentes et nécessite l'évaluation et la synthèse d'informations scientifiques.
- **Objectif global 8** : la production d'énergie a de vastes dimensions économiques, environnementales, morales et éthiques.

Idée essentielle : pour des besoins de modélisation simplifiée, la Terre peut être traitée comme un corps noir et l'atmosphère comme un corps gris.

8.2 Transfert d'énergie thermique

Nature de la science

Modélisation simple et complexe : la théorie cinétique des gaz est un modèle mathématique simple qui donne une bonne approximation du comportement des gaz réels. Les scientifiques essaient aussi de modéliser le climat de la terre, qui est un système beaucoup plus complexe. Les progrès accomplis dans la disponibilité des données et la capacité d'inclure plus de transformations dans les modèles ainsi que les contrôles continus et le débat scientifique sur les divers modèles amélioreront la capacité de prédire le changement climatique avec plus de précision. (1.12)

Notions clés

- Conduction, convection and rayonnement thermique
- Rayonnement du corps noir
- Albédo et émissivité
- La constante solaire
- L'effet de serre
- Bilan énergétique dans le système surface-atmosphère de la Terre

Applications et compétences

- Esquisser et interpréter des graphiques montrant la variation de l'intensité avec la longueur d'onde pour des corps émettant un rayonnement thermique à différentes températures.
- Résoudre des problèmes impliquant la loi de Stefan-Boltzmann et la loi du déplacement de Wien.
- Décrire les effets de l'atmosphère de la Terre sur la température moyenne en surface.
- Résoudre des problèmes impliquant l'albédo, l'émissivité, la constante solaire et la température moyenne de la Terre.

Sensibilité internationale

- Les préoccupations sur l'impact possible du changement climatique ont entraîné une couverture abondante par la presse internationale, de nombreuses discussions politiques au sein des nations et entre elles, et la prise en compte des personnes, des entreprises et de l'environnement lors de la prise de décisions sur les plans futurs pour notre planète. Les diplômés de l'IB devraient être conscients de la science derrière un grand nombre de ces scénarios.

Théorie de la connaissance

- Le débat sur le réchauffement climatique illustre les difficultés soulevées lorsque les scientifiques ne peuvent pas toujours se mettre d'accord sur l'interprétation des données, particulièrement alors que la solution impliquerait une action à grande échelle au moyen d'une coopération internationale des gouvernements. Lorsque les scientifiques ne sont pas d'accord, comment décidons-nous entre des théories antagonistes ?

Utilisation

- Modèles climatiques et leur variation dans le détail selon les processus qu'ils incluent.
- Chimie environnementale (voir *Guide de chimie*, option C).

8.2 Transfert d'énergie thermique

Directives et informations supplémentaires

- La discussion de la conduction et de la convection ne sera que qualitative.
- La discussion de la conduction est limitée aux collisions intermoléculaires et entre électrons.
- La discussion de la convection est limitée au transfert gazeux ou liquide simple au moyen de différences de densité.
- Il faudrait décrire l'absorption de rayonnement infrarouge par les gaz à effet de serre en termes de niveaux d'énergie moléculaire et de l'émission ultérieure de rayonnement dans toutes les directions.
- Les gaz à effet de serre à considérer sont CH₄, H₂O, CO₂ et N₂O. Il suffit que les élèves sachent que chaque gaz a à la fois des origines naturelles et anthropiques.
- L'albédo de la Terre varie quotidiennement et il dépend de la saison (formations de nuages) et de la latitude. L'albédo moyen annuel mondial sera supposé être 0,3 (30 %) pour la Terre.

Référence au recueil de données

- $P = e\sigma AT^4$
- $\lambda_{\text{max.}} (\text{mètres}) = \frac{2,90 \times 10^{-3}}{T (\text{kelvin})}$
- $I = \frac{\text{puissance}}{A}$
- $\text{albédo} = \frac{\text{puissance diffusée totale}}{\text{puissance incidente totale}}$

- Changement climatique (voir *Guide de biologie*, sujet 4.4 et *Guide de systèmes de l'environnement et sociétés*, thèmes 5 et 6).
- La courbe de distribution normale est explorée dans le *Guide d'études mathématiques NM*, sujet 4.1.

Objectifs globaux

- **Objectif global 4 :** ce thème donne aux élèves l'occasion de comprendre la vaste gamme d'analyses scientifiques derrière les questions de changement climatique.
- **Objectif global 6 :** simulations d'échange d'énergie dans le système surface-atmosphère de la Terre.
- **Objectif global 8 :** bien que la science ait la capacité d'analyser et éventuellement de contribuer à résoudre les questions de changement climatique, les élèves devraient être conscients de l'impact de la science sur la création de conditions qui ont permis au changement climatique de se produire à cause des interventions de l'homme. Les élèves devraient aussi être conscients de la façon dont on peut utiliser la science pour promouvoir les intérêts de certaines parties prenantes du débat sur le changement climatique (ou, inversement, pour entraver ce débat).

Thème 9 – Phénomènes ondulatoires

17 heures

Idee essentielle : la solution de l'oscillateur harmonique peut être formulée autour de la variation de l'énergie cinétique et potentielle dans le système.

9.1 Mouvement harmonique simple

Nature de la science

Aperçus : l'équation pour le mouvement harmonique simple (MHS) peut être résolue analytiquement et numériquement. Les physiciens utilisent ces solutions qui les aident à visualiser le comportement de l'oscillateur. L'utilisation de ces équations est très puissante car on peut décrire n'importe quelle oscillation en termes d'une combinaison d'oscillateurs harmoniques. La modélisation numérique des oscillateurs est importante dans la conception des circuits électriques. (1.11)

Notions clés

- L'équation de définition du MHS
- Changements d'énergie

Applications et compétences

- Résoudre des problèmes impliquant l'accélération, la vitesse et le déplacement pendant le mouvement harmonique simple, à la fois graphiquement et algébriquement.
- Décrire l'échange entre l'énergie cinétique et l'énergie potentielle pendant le mouvement harmonique simple.
- Résoudre des problèmes impliquant le transfert d'énergie pendant le mouvement harmonique simple, à la fois graphiquement et algébriquement.

Directives et informations supplémentaires

- Les contextes pour ce sujet comprennent le pendule simple et un système masse-ressort.

Utilisation

- L'analyse de Fourier nous permet de décrire toutes les oscillations périodiques en termes d'oscillateurs harmoniques simples. Les mathématiques du mouvement harmonique simple sont cruciales dans tous les domaines de la science et de la technologie où des oscillations se produisent.
- Les échanges d'énergie au cours des oscillations est important dans les phénomènes électriques.
- Fonctions quadratiques (voir *Guide de mathématiques NS*, sujets 2.6 et 6.3 ; *Guide de mathématiques NM*, sujet 2.4).
- Fonctions trigonométriques (voir *Guide de mathématiques NM*, sujet 3.4).

Objectifs globaux

- **Objectif global 4 :** les élèves peuvent utiliser ce thème pour développer leur capacité de synthèse d'informations scientifiques complexes et diverses.

9.1 Mouvement harmonique simple

Référence au recueil de données

- $\omega = \frac{2\pi}{T}$
- $a = -\omega^2 x$
- $x = x_0 \sin \omega t$; $x = x_0 \cos \omega t$
- $v = \omega x_0 \cos \omega t$; $v = -\omega x_0 \sin \omega t$
- $v = \pm \omega \sqrt{(x_0^2 - x^2)}$
- $E_k = \frac{1}{2} m \omega^2 (x_0^2 - x^2)$
- $E_T = \frac{1}{2} m \omega^2 x_0^2$
- Pendule : $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$
- Masse – ressort : $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

- **Objectif global 6** : les expériences peuvent comprendre (entre autres) : des recherches sur des pendules simples ou des pendules de torsion ; la mesure des vibrations d'un diapason ; un approfondissement des expériences exécutées pour le sujet 4.1. En utilisant la loi sur les forces, un élève peut déterminer, avec itération, le comportement d'un objet soumis à un mouvement harmonique simple. L'approche itérative (solution numérique), avec des conditions initiales données, applique les équations d'accélération uniforme de base au cours de petits incréments de temps successifs. À chaque incrément, les valeurs finales deviennent les conditions initiales suivantes.
- **Objectif global 7** : on peut suivre facilement l'observation du mouvement harmonique simple et des variables affectées dans des simulations par ordinateur.

Idée essentielle : la diffraction par une seule fente se produit lorsqu'une onde est incidente sur une fente ayant à peu près la même taille que la longueur d'onde.

9.2 Diffraction par une seule fente

Nature de la science

Développement de théories : lorsqu'une lumière passe à travers une ouverture, la sommation de toutes les parties de l'onde entraîne la formation de franges d'intensité qui sont bien éloignées de la forme géométrique prédite par la simple théorie. (1.9)

Notions clés

- La nature de la diffraction par une seule fente

Applications et compétences

- Décrire l'effet de la largeur de la fente sur les franges de diffraction.
- Déterminer la position du premier nœud d'interférence.
- Décrire qualitativement les franges de diffraction par une seule fente produites à partir d'une lumière blanche et d'une gamme de fréquences de lumière monochromatique.

Directives et informations supplémentaires

- Seules des fentes rectangulaires ont besoin d'être considérées.
- La diffraction autour d'un objet (plutôt qu'à travers une fente) n'a pas besoin d'être considérée dans ce sujet (voir *Guide de physique*, sujet 4.4).
- On attend des élèves qu'ils connaissent les rapports approximatifs des maxima d'intensité successifs pour les franges d'interférence avec une seule fente.
- Les calculs seront limités à une détermination de la position du premier nœud pour les franges d'interférence avec une seule fente en utilisant l'équation d'approximation.

Référence au recueil de données

- $\theta = \frac{\lambda}{b}$

Théorie de la connaissance

- Les explications en science sont-elles différentes des explications dans d'autres domaines de la connaissance tels que l'histoire ?

Utilisation

- La diffraction des rayons X est un outil important du cristallographe et du scientifique des matériaux.

Objectifs globaux

- **Objectif global 2 :** ce thème fournit un ensemble de connaissances qui caractérisent la façon dont la science évolue avec le temps.
- **Objectif global 6 :** les expériences peuvent être combinées avec celles des sujets 4.4 et 9.3.

Idée essentielle : les phénomènes d'interférence à partir de fentes multiples et de lames minces produisent des motifs pouvant être répétés avec précision.

9.3 Interférence

Nature de la science

Curiosité : les motifs iridescents observés chez les animaux, tels que le chatoiement des plumes du paon, ont conduit les scientifiques à développer la théorie de l'interférence avec lames minces. (1.5)

Sérendipité : la première production de lames minces en laboratoire a été accidentelle. (1.5)

Notions clés

- Expérience de Young avec deux fentes
- Modulation des franges d'interférence avec deux fentes par un effet de diffraction par une seule fente
- Franges d'interférence avec fentes multiples et réseau de diffraction
- Interférence avec lames minces

Applications et compétences

- Décrire qualitativement les franges d'interférence avec deux fentes, y compris la modulation par l'effet de diffraction par une seule fente.
- Étudier expérimentalement les franges produites avec les deux fentes de Young.
- Esquisser et interpréter des graphiques d'intensité de franges d'interférence avec deux fentes.
- Résoudre des problèmes impliquant l'équation du réseau de diffraction.
- Décrire les conditions nécessaires pour une interférence constructive et une interférence destructive avec des lames minces, y compris le changement de phase à l'interface et l'effet de l'indice de réfraction.
- Résoudre des problèmes impliquant une interférence avec des lames minces.

Théorie de la connaissance

- On peut décrire la plupart du temps l'interférence avec deux fentes sans mentionner l'effet de modulation par une seule fente. Jusqu'à quel point les scientifiques peuvent-ils ignorer des parties d'un modèle pour des besoins de simplicité et de clarté ?

Utilisation

- Les disques compacts sont un exemple commercial de l'utilisation des réseaux de diffraction.
- On utilise des lames minces pour produire des couches antireflets.

Objectifs globaux

- **Objectif global 4 :** deux concepts scientifiques (la diffraction et l'interférence) sont combinés dans ce sujet, permettant aux élèves d'analyser et de synthétiser une gamme plus étendue d'informations scientifiques.
- **Objectif global 6 :** les expériences peuvent comprendre (entre autres) : l'observation de l'utilisation des réseaux de diffraction dans les spectroscopes ; l'analyse de lames minces de savon ; l'analyse des phénomènes d'interférence avec les ondes sonores et les micro-ondes.

9.3 Interférence

Directives et informations supplémentaires

- Il faudrait présenter aux élèves des phénomènes d'interférence produits à partir de diverses sources cohérentes telles que les ondes électromagnétiques, le son et des démonstrations simulées.
- Les franges avec réseaux de diffraction sont limitées à celles formées à une incidence normale.
- Le traitement de l'interférence avec lames minces est limité aux lames à côtés parallèles à une incidence normale.
- Les formules d'interférence constructive et d'interférence destructive indiquées ci-dessous et dans le recueil de données s'appliquent à des cas spécifiques de changements de phase à des interfaces et elles ne sont pas vraies en règle générale.

Référence au recueil de données

- $n\lambda = d \sin \theta$
- Interférence constructive : $2dn = (m + \frac{1}{2})\lambda$
- Interférence destructive : $2dn = m\lambda$

- **Objectif global 9** : la façon d'aborder la description de l'interférence avec lames minces au moyen de rayons n'est qu'une approximation. Les élèves devraient reconnaître les limitations d'une telle visualisation.

Idee essentielle : la résolution impose une limite absolue sur la mesure dans laquelle un système optique ou autre peut séparer des images d'objets.

9.4 Résolution

Nature de la science

Technologie améliorée : le critère de Rayleigh est la limite de résolution. Les progrès continus de la technologie tels que les antennes paraboliques ou les lentilles de grand diamètre ou l'utilisation de lasers à longueur d'onde plus petite repoussent les limites de ce que nous sommes capables de résoudre. (1.8)

Notions clés

- La taille d'une ouverture diffractante
- La résolution de systèmes simples à deux sources monochromatiques

Applications et compétences

- Résoudre des problèmes impliquant le critère de Rayleigh pour une lumière émise par deux sources diffractées à une seule fente.
- Pouvoir de résolution des réseaux de diffraction.

Directives et informations supplémentaires

- La preuve de l'équation du pouvoir de résolution des réseaux de diffraction n'est pas demandée.

Référence au recueil de données

- $\theta = 1,22 \frac{\lambda}{b}$
- $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN$

Objectifs globaux

- **Objectif global 3 :** ce sujet aide à combler l'écart entre la théorie ondulatoire et les applications pratiques.
- **Objectif global 8 :** le besoin de communication par satellite entre les communautés nationales soulève la prise de conscience des implications sociales et économiques de la technologie.

Sensibilité internationale

- L'utilisation d'un satellite pour des besoins commerciaux et politiques est dictée par les capacités de résolution de ce satellite.

Théorie de la connaissance

- Les limites de résolution définies par Dawes et Rayleigh peuvent être dépassées par la modification et le développement de télescopes et de microscopes. Sommes-nous capables de dépasser d'autres limites de la connaissance scientifique avec notre technologie innovante ?

Utilisation

- Un système optique ou un autre système de réception doit être capable de résoudre les images prévues. Cela a des implications pour les transmissions par satellite, la radioastronomie et beaucoup d'autres applications en physique et dans la technologie (voir *Guide de physique*, option C).
- Les supports de stockage tels que les disques compacts (et leurs variantes) et les capteurs CCD s'appuient sur les limites de résolution pour stocker et reproduire les média avec précision.

Idee essentielle : l'effet Doppler décrit le phénomène de changement de la longueur d'onde / de fréquence lorsqu'un mouvement relatif se produit.

9.5 Effet Doppler

Nature de la science

Technologie : bien que l'effet Doppler se fonde à l'origine sur des observations physiques de la hauteur tonale de sources sonores se déplaçant rapidement, il joue un rôle important dans de nombreux domaines différents tels que la preuve de l'expansion de l'univers et la production d'images utilisées dans les bulletins météorologiques et en médecine. (5.5)

Notions clés

- L'effet Doppler pour les ondes sonores et les ondes lumineuses

Applications et compétences

- Esquisser et interpréter l'effet Doppler lorsqu'il y a un mouvement relatif entre la source et l'observateur.
- Décrire des situations dans lesquelles l'effet Doppler peut être utilisé.
- Résoudre des problèmes impliquant le changement de fréquence ou de longueur d'onde observé dû à l'effet Doppler afin de déterminer la vitesse de la source ou de l'observateur.

Directives et informations supplémentaires

- Pour les ondes électromagnétiques, il faudrait utiliser l'équation approximative pour tous les calculs.
- Les situations faisant l'objet d'une discussion devraient inclure l'utilisation de l'effet Doppler dans les radars et dans la physique médicale, et son importance pour le décalage vers le rouge dans les spectres de lumière des galaxies s'éloignant.

Sensibilité internationale

- L'utilisation des radars est affectée par l'effet Doppler et il faut le prendre en compte dans les applications utilisant cette technologie.

Théorie de la connaissance

- Quelle est l'importance de la perception sensorielle dans l'explication d'idées scientifiques telles que l'effet Doppler ?

Utilisation

- L'astronomie s'appuie sur l'analyse de l'effet Doppler lorsqu'elle traite d'objets se déplaçant rapidement (voir *Guide de physique*, option D).

Objectifs globaux

- **Objectif global 2 :** il faut considérer l'effet Doppler dans diverses applications de la technologie qui utilisent la théorie ondulatoire.
- **Objectif global 6 :** des données spectrales et des images de galaxies en récession sont disponibles auprès d'observatoires astronomiques professionnels pour être analysées.

9.5 Effet Doppler

Référence au recueil de données

- Source en mouvement : $f' = f \left(\frac{v}{v \pm u_s} \right)$
 - Observateur en mouvement : $f' = f \left(\frac{v \pm u_o}{v} \right)$
 - $\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \approx \frac{v}{c}$
- **Objectif global 7** : les simulations par ordinateur de l'effet Doppler permettent aux élèves de visualiser des situations complexes et, pour la plupart, inobservables.

Thème 10 – Champs

11 heures

Idee essentielle : les charges électriques et les masses influencent chacune l'espace autour d'elles et on peut représenter cette influence au moyen du concept de champ.

10.1 Description des champs

Nature de la science

Changement de paradigme : le passage de l'idée que des actions directes observables sont responsables de l'influence sur un objet à l'acceptation de l'« effet à distance » d'un champ a nécessité un changement de paradigme dans le monde de la science. (2.3)

Notions clés

- Champs gravitationnels
- Champs électrostatiques
- Potentiel électrique et potentiel gravitationnel
- Lignes de champ
- Surfaces équipotentielles

Applications et compétences

- Représenter des sources de masse et de charge, des lignes de force électrique et de force gravitationnelle, et des lignes de champ en utilisant les symboles appropriés.
- Représenter des champs à partir d'un ensemble de surfaces équipotentielles.
- Décrire le lien entre les surfaces équipotentielles et les lignes de champ.

Directives et informations supplémentaires

- Les champs électrostatiques sont limités aux champs radiaux autour de charges ponctuelles ou sphériques, au champ entre deux charges ponctuelles et aux champs uniformes entre des plaques parallèles chargées.

Théorie de la connaissance

- Bien que les forces gravitationnelles et électrostatiques diminuent avec le carré de la distance et ne deviennent nulles qu'à une séparation infinie, d'un point de vue pratique, elles deviennent négligeables à des distances beaucoup plus petites. Comment les scientifiques décident-ils quand un effet est tellement petit qu'on peut l'ignorer ?

Utilisation

- Une connaissance de l'analyse vectorielle est utile pour ce sujet (voir *Guide de physique*, sujet 1.3).

Objectifs globaux

- **Objectif global 9 :** les modèles développés pour les champs électriques et gravitationnels en utilisant des lignes de forces permettent de faire des prédictions mais ils présentent des limitations en termes de largeur finie d'une ligne.

10.1 Description des champs

- Les champs gravitationnels sont limités aux champs radiaux autour de masses ponctuelles ou sphériques et au champ (supposé) uniforme près de la surface de corps célestes et de corps planétaires massifs.
 - Les élèves devraient reconnaître qu'aucun travail n'est effectué en déplaçant une charge ou une masse sur une surface équipotentielle.

Référence au recueil de données

- $W = q\Delta V_e$
- $W = m\Delta V_g$

Idée essentielle : on peut adopter des approches similaires pour analyser les problèmes de potentiel électrique et de potentiel gravitationnel.

10.2 Champs au travail

Nature de la science

Communication d'explications scientifiques : afin d'appliquer la théorie des champs aux phénomènes inobservables (charges) et aux phénomènes à grande à échelle (mouvement des satellites), les scientifiques ont dû développer de nouvelles façons de faire des recherches ainsi que d'analyser et de signaler les résultats de leurs recherches à un grand public habitué à des découvertes scientifiques basées sur des preuves tangibles et perceptibles. (5.1)

Notions clés

- Potentiel et énergie potentielle
- Gradient de potentiel
- Différence de potentiel
- Vitesse de libération
- Mouvement orbital, vitesse orbitale et énergie orbitale
- Forces et comportement de la loi des carrés

Applications et compétences

- Déterminer l'énergie potentielle d'une masse ponctuelle et l'énergie potentielle d'une charge ponctuelle.
- Résoudre des problèmes impliquant l'énergie potentielle.
- Déterminer le potentiel à l'intérieur d'une sphère chargée.
- Résoudre des problèmes impliquant la vitesse nécessaire pour qu'un objet entre en orbite autour d'une planète et pour qu'un objet soit libéré du champ gravitationnel d'une planète.
- Résoudre des problèmes impliquant l'énergie orbitale de particules chargées en mouvement orbital circulaire et de masses en mouvement orbital circulaire.
- Résoudre des problèmes impliquant des forces sur des charges et des masses dans des champs radiaux et uniformes.

Utilisation

- Le système de localisation GPS dépend de la connaissance complète du mouvement des satellites.
- Satellites géostationnaires/polaires.
- L'accélération de particules chargées dans les accélérateurs de particules et dans de nombreux dispositifs d'imagerie médicale dépend de la présence de champs électriques (voir *Guide de physique*, sujet C.4).

Objectifs globaux

- **Objectif global 2 :** la loi de gravitation de Newton et la loi de Coulomb font partie de la structure connue comme la « physique classique ». Ce corps de connaissances a fourni les méthodes et les outils d'analyse jusqu'à l'arrivée de la théorie de la relativité et de la théorie des quanta.
- **Objectif global :** les théories de la gravitation et des interactions électrostatiques permettent une grande synthèse dans la description d'un grand nombre de phénomènes.

10.2 Champs au travail

Directives et informations supplémentaires

- Le mouvement orbital d'un satellite autour d'une planète est limité à la considération d'orbites circulaires (liens avec 6.1 et 6.2).
- Il faut considérer à la fois les champs uniformes et les champs radiaux.
- Les élèves doivent reconnaître que les lignes de force peuvent être des représentations bidimensionnelles de champs tridimensionnels.
- Les élèves doivent supposer que le champ électrique est partout uniforme entre des plaques parallèles avec des effets de bord se produisant au-delà des limites des plaques.

Référence au recueil de données

$V_g = -\frac{GM}{r}$	$V_e = \frac{kq}{r}$
$g = -\frac{\Delta V_g}{\Delta r}$	$E = -\frac{\Delta V_e}{\Delta r}$
$E_p = mV_g = -\frac{GMm}{r}$	$E_p = qV_e = \frac{kq_1q_2}{r}$
$F_G = G\frac{m_1m_2}{r^2}$	$F_E = k\frac{q_1q_2}{r^2}$

- $v_{\text{lib}} = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$
- $v_{\text{orbit}} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$

Thème 11 – Induction électromagnétique

16 heures

Idée essentielle : la majorité de l'électricité produite dans le monde entier est fabriquée par des machines qui ont été conçues pour fonctionner en utilisant les principes de l'induction électromagnétique.

11.1 Induction électromagnétique

Nature de la science

Expérimentation : en 1831, en utilisant un matériel primitif, Michael Faraday observa une minuscule impulsion de courant dans une bobine de fil seulement lorsque le courant dans une deuxième bobine de fil était branché ou débranché mais il n'observa rien lorsqu'un courant constant était établi. L'observation par Faraday de ces petits courants transitoires l'encouragea à faire des expériences qui conduisirent à sa loi sur l'induction électromagnétique. (1.8)

Notions clés

- F.é.m.
- Flux magnétique et couplage magnétique
- Loi d'induction de Faraday
- Loi de Lenz

Applications et compétences

- Décrire la production d'une f.é.m. induite par un flux magnétique changeant et à l'intérieur d'un champ magnétique uniforme.
- Résoudre des problèmes impliquant le flux magnétique, le couplage magnétique et la loi de Faraday.
- Expliquer la loi de Lenz au moyen de la conservation de l'énergie.

Théorie de la connaissance

- La terminologie utilisée dans la théorie des champs électromagnétiques est très diverse et peut porter à confusion pour ceux qui ne sont pas directement impliqués. Quel effet un manque de clarté dans la terminologie utilisée peut-il avoir sur la communication de concepts scientifiques au grand public ?

Utilisation

- On peut trouver des applications de l'induction électromagnétique dans de nombreux secteurs, y compris les transformateurs, le freinage électromagnétique, les géophones utilisés en sismologie, et les détecteurs de métal.

Objectifs globaux

- **Objectif global 2 :** les principes simples de l'induction électromagnétique sont un aspect puissant de l'arsenal dont disposent le physicien ou le technologue pour la conception de systèmes qui transfèrent de l'énergie d'une forme à une autre.

11.1 Induction électromagnétique

Directives et informations supplémentaires

- On attendra des élèves des traitements quantitatifs pour des conducteurs se déplaçant perpendiculairement à des champs magnétiques et pour des bobines rectangulaires entrant dans des champs et en sortant et tournant dans des champs.
- Seuls des traitements qualitatifs seront demandés pour des bobines fixes dans un champ magnétique changeant et pour les alternateurs.

Référence au recueil de données

- $\Phi = BA \cos \theta$
- $\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$
- $\mathcal{E} = Bv\ell$
- $\mathcal{E} = Bv\ell N$

Idée essentielle : la production et le transport du courant alternatif (c.a.) ont transformé le monde.

11.2 Production et transport d'énergie

Nature de la science

Partialité : à la fin du XIX^e siècle, Edison proposait le transport de l'énergie électrique à courant continu tandis que Westinghouse et Tesla préféraient le transport à courant alternatif. Ce qu'on appelait la « guerre des courants » a eu un impact important sur la société d'aujourd'hui. (3.5)

Notions clés

- Alternateurs
- Puissance moyenne et valeurs efficaces (moyenne quadratique) du courant et de la tension
- Transformateurs
- Ponts de diodes
- Redressement à simple alternance et à double alternance

Applications et compétences

- Expliquer le fonctionnement d'un alternateur de base, y compris l'effet du changement de la fréquence de cet alternateur.
- Résoudre des problèmes impliquant la puissance moyenne dans un circuit à c.a.
- Résoudre des problèmes impliquant des transformateurs élévateurs et abaisseurs.
- Décrire l'utilisation de transformateurs dans la distribution d'énergie électrique à c.a.
- Étudier expérimentalement un circuit de redressement à pont de diodes.
- Décrire qualitativement l'effet de l'addition d'un condensateur à un circuit de redressement à pont de diodes.

Sensibilité internationale

- Depuis le début de l'utilisation répandue de l'électricité, tous les gouvernements se sont efforcés de maintenir un réseau de distribution d'énergie fiable.

Théorie de la connaissance

- L'effet des ondes électromagnétiques sur la santé des êtres humains, en particulier des enfants, fait l'objet d'un débat continu. Est-il justifiable d'utiliser des progrès scientifiques même si l'on ne connaît pas les conséquences à long terme qu'ils pourraient avoir ?

Objectifs globaux

- **Objectif global 6 :** les expériences peuvent comprendre (entre autres) : la construction d'un alternateur de base ; des recherches sur un changement des bobines d'entrée et de sortie sur un transformateur ; l'observation des montages en pont de Wheatstone et de Wien.
- **Objectif global 7 :** la meilleure façon de réaliser la construction et l'observation des réglages effectués dans de très grands réseaux de distribution d'électricité est d'utiliser des sites Web et des logiciels de modélisation informatique.
- **Objectif global 9 :** on modélise le transport d'énergie en utilisant des réseaux parfaitement efficaces, mais de tels réseaux n'existent pas vraiment. Bien que le modèle soit imparfait, il fournit le transport d'énergie maximum. L'une des fonctions principales des scientifiques professionnels est de reconnaître les différences entre le réseau « parfait » et le réseau pratique et d'en tenir compte.

11.2 Production et transport d'énergie

Directives et informations supplémentaires

- Les calculs seront limités aux transformateurs parfaits mais les élèves devraient connaître quelques-unes des raisons pour lesquelles les transformateurs réels ne sont pas parfaits (par exemple : fuites de flux, chauffage par effet Joule, chauffage par induction, hystérésis magnétique).
- On ne demandera pas de preuve du rapport entre les valeurs de crête et les valeurs efficaces.

Référence au recueil de données

- $I_{\text{rms}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$
- $V_{\text{rms}} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$
- $R = \frac{V_0}{I_0} = \frac{V_{\text{rms}}}{I_{\text{rms}}}$
- $P_{\text{max}} = I_0 V_0$
- $\bar{P} = \frac{1}{2} I_0 V_0$
- $\frac{\mathcal{E}_p}{\mathcal{E}_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$

Idée essentielle : les condensateurs peuvent être utilisés pour stocker de l'énergie électrique pour plus tard.

11.3 Capacité

Nature de la science

Rapports : des exemples de croissance et de décroissance exponentielles sont répandus dans toute la science. C'est là un exemple clair de la façon dont les scientifiques utilisent les mathématiques pour modéliser la réalité. On peut utiliser ce thème pour créer des liens entre des thèmes de physique mais aussi avec des utilisations en chimie, en biologie, en médecine et en économie. (3.1)

Notions clés

- Capacité
- Matériaux diélectriques
- Condensateurs en série et en parallèle
- Circuits résistance-capacité (RC) en série
- Constante de temps

Applications et compétences

- Décrire l'effet de différents matériaux diélectriques sur la capacité.
- Résoudre des problèmes impliquant des condensateurs plans.
- Étudier des combinaisons de condensateurs dans des circuits en série ou en parallèle.
- Déterminer l'énergie stockée dans un condensateur chargé.
- Décrire la nature de la décharge exponentielle d'un condensateur.
- Résoudre des problèmes impliquant la décharge d'un condensateur à travers une résistance fixe.
- Résoudre des problèmes impliquant la constante de temps d'un circuit RC pour la charge, la tension et le courant.

Sensibilité internationale

- La foudre est un phénomène qui a fasciné les physiciens de Pline l'ancien à Franklin, en passant par Newton. Les nuages chargés forment une première plaque d'un condensateur, d'autres nuages ou la Terre formant la deuxième plaque. La fréquence des coups de foudre varie de par le monde, et ils sont particulièrement courants dans les régions équatoriales. L'impact des coups de foudre est important, tuant chaque année un grand nombre d'êtres humains et d'animaux et entraînant des coûts financiers énormes pour l'industrie, liés aux dommages subis par les bâtiments, les réseaux de communication et de transport d'énergie.

Utilisation

- La charge et la décharge des condensateurs obéissent à des règles qui ont des parallèles dans d'autres branches de la physique, y compris la radioactivité (voir *Guide de physique*, sujet 7.1).

11.3 Capacité

Directives et informations supplémentaires

- On se limite à l'étude des condensateurs plans fournissant un champ électrique uniforme, en série avec une charge (on négligera l'effet de bord).
- Il faut traiter à la fois graphiquement et algébriquement les problèmes impliquant la décharge de condensateurs à travers des résistances fixes.
- Les problèmes impliquant la charge d'un condensateur ne seront traités que graphiquement.
- La déduction des équations de charge, de tension et de courant en fonction du temps ne sera pas demandée.

Référence au recueil de données

- $C = \frac{q}{V}$
- $C_{\text{parallèle}} = C_1 + C_2 + \dots$
- $\frac{1}{C_{\text{série}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$
- $C = \epsilon \frac{A}{d}$
- $E = \frac{1}{2} CV^2$
- $\tau = RC$
- $q = q_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$
- $I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$
- $V = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$

Objectifs globaux

- **Objectif global 3** : le traitement de la croissance et de la décroissance exponentielles par des méthodes graphiques et algébriques offre l'approche à la fois visuelle et rigoureuse si souvent caractéristique de la science et de la technologie.
- **Objectif global 6** : les expériences peuvent comprendre (entre autres) : des recherches sur les circuits RC de base ; l'utilisation d'un condensateur dans un montage en pont ; l'examen d'autres types de condensateurs ; la vérification de la constante de temps.

Thème 12 – Physique quantique et nucléaire

16 heures

Idee essentielle : le monde quantique microscopique offre une gamme de phénomènes dont l'interprétation et l'explication nécessitent de nouvelles idées et de nouveaux concepts qu'on ne trouve pas dans le monde classique.

12.1 Interaction de la matière avec le rayonnement

Nature de la science

Observations : une grande partie du travail qui a conduit à la théorie quantique des atomes a été guidée par le besoin d'expliquer les raies observées dans les spectres atomiques. Le premier modèle quantique de la matière est le modèle de Bohr pour l'hydrogène. (1.8)

Changement de paradigme : l'acceptation du paradoxe de la dualité onde-particule pour la lumière et les particules a entraîné des scientifiques dans de nombreux domaines à envisager la recherche à partir de nouvelles perspectives. (2.3)

Notions clés

- Photons
- L'effet photoélectrique
- Ondes de matière
- Production de paires et annihilation de paires
- Quantification du mouvement angulaire dans le modèle de Bohr pour l'hydrogène
- La fonction d'onde
- Le principe d'incertitude pour les relations énergie-temps et position-quantité de mouvement
- Effet tunnel, barrière de potentiel et facteurs affectant la probabilité de l'effet tunnel

Applications et compétences

- Discuter l'expérience de l'effet photoélectrique et expliquer les aspects de cette expérience qu'on ne peut pas expliquer par la théorie ondulatoire classique de la lumière.

Théorie de la connaissance

- La dualité de la matière et l'effet tunnel sont des cas où les lois de la physique classique sont violées. Dans quelle mesure les progrès dans la technologie ont-ils permis des changements de paradigmes en science ?

Utilisation

- Le microscope électronique et le microscope électronique à effet tunnel s'appuient sur les résultats d'études en physique quantique.
- La probabilité est traitée dans un sens mathématique dans le *Guide d'études mathématiques NM*, sujets 3.6 – 3.7.

Objectifs globaux

- **Objectif global 1 :** l'étude des phénomènes quantiques introduit les élèves à un nouveau monde passionnant qu'on ne peut pas découvrir au niveau macroscopique. L'étude de l'effet tunnel est un phénomène nouveau qui n'est pas observé dans la physique macroscopique.

12.1 Interaction de la matière avec le rayonnement

- Résoudre des problèmes photoélectriques graphiquement et algébriquement.
- Discuter les preuves expérimentales pour les ondes de matière, y compris une expérience dans laquelle la nature ondulatoire des électrons est évidente.
- Exprimer des estimations d'ordre de grandeur à partir du principe d'incertitude.

Directives et informations supplémentaires

- Les estimations d'ordre de grandeur à partir du principe d'incertitude peuvent comprendre (entre autres) des estimations de l'énergie de l'état fondamental d'un atome, l'impossibilité de l'existence d'un électron à l'intérieur d'un noyau, et la durée de vie d'un électron dans un état d'énergie excité.
- Il faut traiter l'effet tunnel qualitativement en utilisant l'idée de continuité des fonctions d'onde.

Référence au recueil de données

- $E = hf$
- $E_{\max} = hf - \Phi$
- $E = -\frac{13,6}{n^2} eV$
- $mvr = \frac{nh}{2\pi}$
- $P(r) = |\Psi|^2 \Delta V$
- $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$
- $\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$

- **Objectif global 6** : on peut faire des recherches sur l'effet photoélectrique en utilisant des DEL.
- **Objectif global 9** : le modèle de Bohr est très approprié à l'hydrogène mais il est fort peu utile pour d'autres éléments.

Idee essentielle : l'idée de grandeurs discrètes que nous avons rencontrée dans le monde atomique continue aussi d'exister dans le monde nucléaire.

12.2 Physique nucléaire

Nature de la science

Progrès théoriques et inspiration : l'évolution de la physique atomique, de la physique nucléaire et de la physique des particules a souvent résulté de progrès théoriques et de moments d'inspiration.

Progrès dans l'instrumentation : de nouvelles façons de détecter les particules subatomiques grâce aux progrès dans la technologie électronique ont été tout aussi cruciales.

Puissance de calcul moderne : enfin, il serait impossible d'analyser les données recueillies dans les détecteurs de particules modernes au cours des expériences avec accélérateur de particules sans la puissance de calcul moderne. (1.8)

Notions clés

- Diffusion de Rutherford et rayon du noyau
- Niveaux d'énergie nucléaire
- Le neutrino
- La loi de la désintégration radioactive et la constante de désintégration

Applications et compétences

- Décrire une expérience de diffusion, y compris l'emplacement d'intensité minimum pour les particules diffractées en se basant sur leur longueur d'onde de Louis de Broglie.
- Expliquer les écarts par rapport à la diffusion de Rutherford dans les expériences à haute énergie.
- Décrire des preuves expérimentales pour les niveaux d'énergie nucléaire.
- Résoudre des problèmes impliquant la loi de la désintégration radioactive pour des intervalles de temps arbitraires.
- Expliquer les méthodes pour mesurer les demi-vies courtes et longues.

Théorie de la connaissance

- Une grande partie des connaissances sur les particules subatomiques est basée sur les modèles qu'on utilise pour interpréter les données obtenues au moyen d'expériences. Comment pouvons-nous être sûrs de découvrir une « vérité indépendante » qui n'est pas influencée par nos modèles? Existe-t-il vraiment une seule vérité ?

Utilisation

- Les connaissances sur la radioactivité, les substances radioactives et la loi de la désintégration radioactive sont cruciales dans la médecine nucléaire moderne (voir *Guide de physique*, sujet C.4).

Objectifs globaux

- **Objectif global 2 :** la détection du neutrino démontre la croissance continue du corps de connaissances accumulées par les scientifiques dans ce domaine.

12.2 Physique nucléaire

Directives et informations supplémentaires

- Les élèves devraient savoir que les densités nucléaires sont à peu près les mêmes pour tous les noyaux et que les seuls objets macroscopiques avec la même densité que les noyaux sont les étoiles à neutrons.
- Il n'est généralement pas approprié d'utiliser l'approximation des petits angles pour déterminer l'emplacement de l'intensité minimum.

Référence au recueil de données

- $R = R_0 A^{1/3}$
- $N = N_0 e^{-\lambda t}$
- $A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$
- $\sin \theta \approx \frac{\lambda}{D}$

Thèmes du tronc commun

15 heures

Idée essentielle : l'étude de l'électromagnétisme par Einstein a révélé des incohérences entre la théorie de Maxwell et la mécanique de Newton. Il reconnut que ces deux théories ne pouvaient pas être réconciliées et, choisissant ainsi de se fier à la théorie de l'électromagnétisme de Maxwell, il fut forcé de changer des idées adoptées depuis longtemps sur l'espace et le temps en mécanique.

A.1 Le début de la relativité

Nature de la science

Changement de paradigme : le fait fondamental que la vitesse de la lumière est constante pour tous les observateurs inertiels a des conséquences profondes sur notre compréhension de l'espace et du temps. Les idées sur l'espace et le temps qui sont restées incontestées pendant plus de deux mille ans se sont avérées fausses. L'extension du principe de la relativité à des systèmes de référence accélérés conduit à l'idée révolutionnaire de la relativité générale selon laquelle la masse et l'énergie contenues par l'espace-temps déterminent la géométrie de l'espace-temps. (2.3)

Notions clés

- Systèmes de référence
- Relativité de Galilée et postulats de Newton concernant le temps et l'espace
- Maxwell et la constance de la vitesse de la lumière
- Forces sur une charge ou un courant

Applications et compétences

- Utiliser les équations de transformation de Galilée.
- Déterminer si une force sur une charge ou un courant est électrique ou magnétique dans un système de référence donné.
- Déterminer la nature des champs observés par différents observateurs.

Théorie de la connaissance

- Lorsque les scientifiques revendiquent qu'une nouvelle façon de penser exige un changement de paradigme dans la façon dont nous observons l'univers, comment pouvons-nous nous assurer de la validité de leurs revendications ?

Objectifs globaux

- **Objectif global 3 :** ce sujet est la pierre angulaire des développements ultérieurs dans la relativité et la physique moderne.

A.1 Le début de la relativité

Directives et informations supplémentaires

- Il n'est pas nécessaire de décrire les équations de Maxwell.
- Traitement qualitatif de champs électriques et magnétiques tels que mesurés par des observateurs en mouvement relatif. Les exemples comprendront une charge se déplaçant dans un champ magnétique ou deux particules chargées se déplaçant avec des vecteurs vitesses parallèles. On demandera aux élèves d'analyser ces mouvements du point de vue d'observateurs au repos par rapport aux particules et d'observateurs au repos par rapport au champ magnétique.

Référence au recueil de données

- $x' = x - vt$
- $u' = u - v$

Idee essentielle : les observateurs en mouvement uniforme relatif ne sont pas d'accord sur les valeurs numériques des coordonnées d'espace et de temps pour des événements, mais ils sont d'accord sur la valeur numérique de la vitesse de la lumière dans un vide. Les équations de transformation de Lorentz établissent un rapport entre les valeurs dans un système de référence et celles d'un autre. Ces équations remplacent les équations de transformation de Galilée qui échouent pour les vitesses proches de celle de la lumière.

A.2 Transformations de Lorentz

Nature de la science

Science pure : Einstein a basé sa théorie de la relativité sur deux postulats et a déduit le reste par analyse mathématique. Le premier postulat incorpore toutes les lois de la physique, y compris les lois de l'électromagnétisme, et non seulement les lois de la mécanique de Newton. (1.2)

Notions clés

- Les deux postulats de la relativité restreinte
- Synchronisation des horloges
- Les transformations de Lorentz
- Addition des vitesses
- Grandeurs invariantes (intervalle d'espace-temps, temps propre, longueur propre et masse au repos)
- Dilatation du temps
- Contraction des longueurs
- L'expérience de désintégration des muons.

Applications et compétences

- Utiliser les transformations de Lorentz pour décrire la façon dont différentes mesures d'espace et de temps par deux observateurs peuvent être converties en mesures observées dans l'un ou l'autre système de référence.
- Utiliser les équations de transformation de Lorentz pour déterminer les coordonnées de position et de temps de divers événements.
- Utiliser les équations de transformation de Lorentz pour montrer que, si deux événements sont simultanés pour un observateur mais se produisent à des endroits différents dans l'espace, ces événements ne sont alors pas simultanés pour un observateur dans un système de référence différent.

Utilisation

- Afin de produire des systèmes de localisation GPS précis, on a besoin d'utiliser les idées de la relativité sur l'espace et le temps, qui ont été par le passé une partie très ésotérique de la physique.

Objectifs globaux

- **Objectif global 2 :** les formules de transformation de Lorentz fournissent un ensemble cohérent de connaissances qu'il est possible d'utiliser pour comparer la description d'un mouvement par un observateur avec la description d'un autre observateur en mouvement relatif par rapport au premier observateur.
- **Objectif global 3 :** il est possible d'appliquer ces formules à un ensemble varié de conditions et de situations.
- **Objectif global 9 :** l'introduction de la relativité repoussa les limites des pensées galiléennes sur l'espace et le mouvement.

A.2 Transformations de Lorentz

- Résoudre des problèmes impliquant l'addition de vitesses.
- Dédire les équations de dilatation du temps et de contraction des longueurs en utilisant les équations de Lorentz.
- Résoudre des problèmes impliquant la dilatation du temps et la contraction des longueurs.
- Résoudre des problèmes impliquant l'expérience de désintégration des muons.

Directives et informations supplémentaires

- Les problèmes seront limités à une seule dimension.
- Il ne sera pas demandé de déduire les équations de transformation de Lorentz.
- Des expériences de désintégration des muons peuvent être utilisées comme preuve de la dilatation du temps et de la contraction des longueurs.

Référence au recueil de données

- $$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$
- $$x' = \gamma(x - vt); \Delta x' = \gamma(\Delta x - v\Delta t)$$
- $$t' = \gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right); \Delta t' = \gamma\left(t - \frac{v\Delta x}{c^2}\right)$$
- $$u' = \frac{u - v}{1 - \frac{uv}{c^2}}$$
- $$\Delta t = \gamma\Delta t_0$$
- $$L = \frac{L_0}{\gamma}$$
- $$(ct')^2 - (x')^2 = (ct)^2 - (x)^2$$

Idee essentielle : les diagrammes d'espace-temps sont une façon très claire et très illustrative de montrer graphiquement comment différents observateurs en mouvement relatif l'un par rapport à l'autre ont des mesures qui diffèrent l'une de l'autre.

A.3 Diagrammes d'espace-temps

Nature de la science

Visualisation de modèles : la visualisation de la description d'événements en termes de diagrammes d'espace-temps est un progrès énorme dans la compréhension du concept d'espace-temps. (1.10)

Notions clés

- Diagrammes d'espace-temps
- Lignes d'univers
- Le paradoxe des jumeaux

Applications et compétences

- Représenter des événements comme des points sur un diagramme d'espace-temps.
- Représenter les positions d'une particule en mouvement sur un diagramme d'espace-temps par une courbe (la ligne d'univers).
- Représenter plus d'un système de référence inertiel sur le même diagramme d'espace-temps.
- Déterminer l'angle entre une ligne d'univers pour une vitesse spécifique et l'axe des temps sur un diagramme d'espace-temps.
- Résoudre des problèmes sur la simultanéité et la cinématique en utilisant des diagrammes d'espace-temps.
- Représenter la dilatation du temps et la contraction des longueurs sur des diagrammes d'espace-temps.
- Décrire le paradoxe des jumeaux.
- Résoudre le paradoxe des jumeaux au moyen de diagrammes d'espace-temps.

Directives et informations supplémentaires

- Des questions d'examen se rapporteront à des diagrammes d'espace-temps ; ceux-ci sont aussi appelés diagrammes de Minkowski.

Théorie de la connaissance

- Peut-on résoudre les paradoxes uniquement par la raison ou bien faut-il utiliser d'autres modes de la connaissance ?

Objectifs globaux

- **Objectif global 4 :** les diagrammes d'espace-temps permettent d'analyser de manière plus fiable les problèmes dans la relativité.

A.3 Diagrammes d'espace-temps

- Les questions quantitatives impliquant des diagrammes d'espace-temps seront limitées à une vitesse constante.
- Les diagrammes d'espace-temps peuvent avoir t ou ct sur l'axe vertical.
- Les questions d'examen peuvent utiliser des unités dans lesquelles $c = 1$.

Référence au recueil de données

- $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v}{c}\right)$

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

10 heures

Idée essentielle : la relativité de l'espace et du temps nécessite de nouvelles définitions pour l'énergie et la quantité de mouvement afin d'en préserver les lois de conservation.

A.4 Mécanique relativiste

Nature de la science

Changement de paradigme : Einstein réalisa qu'on ne pouvait plus maintenir la loi de la conservation de la quantité de mouvement comme étant une loi de physique. Il déduisit donc que, pour que la quantité de mouvement soit conservée dans toutes les conditions, il fallait changer la définition de la quantité de mouvement ainsi que les définitions d'autres grandeurs de la mécanique telles que l'énergie cinétique et l'énergie totale d'une particule. Ce fut là un changement de paradigme majeur. (2.3)

Notions clés

- Énergie totale et énergie au repos
- Quantité de mouvement relativiste
- Accélération des particules
- Charge électrique comme grandeur invariante
- Photons
- $\text{MeV } c^{-2}$ comme l'unité de masse et $\text{MeV } c^{-1}$ comme l'unité de quantité de mouvement

Applications et compétences

- Décrire les lois de la conservation de la quantité de mouvement et de la conservation de l'énergie au sein de la relativité restreinte.
- Déterminer la différence de potentiel nécessaire pour accélérer une particule jusqu'à une vitesse ou une énergie donnée.

Théorie de la connaissance

- De quelles façons les lois dans les sciences naturelles diffèrent-elles des lois en économie ?

Utilisation

- On utilise couramment les lois de la mécanique relativiste de façon à gérer l'exploitation des centrales nucléaires, des accélérateurs de particules et des détecteurs de particules.

Objectifs globaux

- **Objectif global 4 :** la mécanique relativiste synthétise les connaissances sur le comportement de la matière à des vitesses proches de la vitesse de la lumière.
- **Objectif global 9 :** la théorie de la relativité impose une limitation très stricte : rien ne peut dépasser la vitesse de la lumière.

A.4 Mécanique relativiste

- Résoudre des problèmes impliquant la conservation relativiste de l'énergie et de la quantité de mouvement dans les collisions et les désintégrations de particules.

Directives et informations supplémentaires

- Les applications impliqueront des désintégrations relativistes telles que le calcul des longueurs d'onde de photons dans la désintégration d'un pion en mouvement [$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$].
- Le symbole m_0 se rapporte à la « masse au repos invariante » d'une particule.
- On n'utilisera pas le concept de masse relativiste qui varie avec la vitesse.
- Les problèmes seront limités à une seule dimension.

Référence au recueil de données

- $E = \gamma m_0 c^2$
- $E_0 = m_0 c^2$
- $E_k = (\gamma - 1)m_0 c^2$
- $p = \gamma m_0 v$
- $E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$
- $qV = \Delta E_k$

Idee essentielle : on applique la relativité générale pour rassembler les concepts fondamentaux de masse, d'espace et de temps afin de décrire le destin de l'univers.

A.5 Relativité générale

Nature de la science

Raisonnement créatif et critique : la théorie générale de la relativité d'Einstein, son plus grand accomplissement, est basée sur l'intuition, le raisonnement créatif et l'imagination, pour relier la géométrie de l'espace-temps (au moyen de sa courbure) au contenu masse/énergie de l'espace-temps. Pendant des années, on a pensé que rien ne pouvait s'échapper d'un trou noir et cela est vrai, mais seulement en ce qui concerne les trous noirs classiques. Quand on prend en compte la théorie quantique, un trou noir rayonne comme un corps noir. Ce résultat inattendu a révélé d'autres liens aussi inattendus entre les trous noirs et la thermodynamique. (1.4)

Notions clés

- Le principe d'équivalence
- La courbure de la lumière
- Le décalage gravitationnel vers le rouge et l'expérience de Pound-Rebka-Snyder
- Trous noirs de Schwarzschild
- Horizons des événements
- Dilatation du temps près d'un trou noir
- Applications de la relativité générale à l'univers dans son ensemble

Applications et compétences

- Utiliser le principe d'équivalence pour déduire et expliquer la courbure de la lumière près d'objets massifs.
- Utiliser le principe d'équivalence pour déduire et expliquer la dilatation gravitationnelle du temps.
- Calculer des décalages gravitationnels de la fréquence.
- Décrire une expérience dans laquelle le décalage gravitationnel vers le rouge est observé et mesuré.

Théorie de la connaissance

- Alors qu'Einstein avait décrit lui-même la constante cosmologique comme la « plus grande bêtise de sa vie », le prix Nobel de 2011 fut attribué à des scientifiques qui prouvèrent la validité de ce paramètre grâce à leurs études sur l'énergie sombre. Quels autres exemples y a-t-il d'affirmations dont on a douté initialement et qui se sont avérées correctes par la suite ?

Utilisation

- Pour que le système de localisation GPS soit si précis, il faut tenir compte de la relativité générale lorsqu'on calcule les détails de l'orbite du satellite.
- On a utilisé le développement de la théorie générale de la relativité pour expliquer le comportement à très grande échelle de l'univers dans son ensemble avec des implications de grande portée sur l'évolution future et le destin de l'univers.

A.5 Relativité générale

- Calculer le rayon de Schwarzschild d'un trou noir.
- Appliquer la formule pour la dilatation gravitationnelle du temps près de l'horizon des événements d'un trou noir.

Directives et informations supplémentaires

- Les élèves devraient reconnaître le principe d'équivalence en termes de systèmes de référence en accélération et de systèmes en chute libre.

Référence au recueil de données

- $\frac{\Delta f}{f} = \frac{g\Delta h}{c^2}$
- $R_s = \frac{2GM}{c^2}$
- $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{R_s}{r}}}$

Objectifs globaux

- **Objet global 2 :** la théorie générale de la relativité est une grande synthèse d'idées qui sont nécessaires pour décrire la structure à grande échelle de l'univers.
- **Objectif global 9 :** il faut savoir que la magnifique structure newtonienne présentait de très fortes limitations pour ce qui est de la description d'aspects très détaillés du mouvement des planètes.

Thèmes du tronc commun

15 heures

Idée essentielle : les lois fondamentales de la mécanique sont étendues au cas de la rotation par application de principes équivalents. Les objets réels ont une dimension et il faut étendre le modèle des particules ponctuelles pour considérer un objet dont les différents points ont des états de mouvement différents et/ou des vitesses différentes.

B.1 Corps rigides et dynamique de rotation

Nature de la science

Modélisation : l'utilisation de modèles a différentes fonctions et a permis aux scientifiques d'identifier, de simplifier et d'analyser un problème dans le cadre d'un contexte donné pour parvenir à le résoudre. L'extension du modèle de particules ponctuelles pour considérer réellement les dimensions d'un objet a conduit à de nombreux développements innovateurs en ingénierie. (1.2)

Notions clés

- Moment d'une force
- Moment d'inertie
- Équilibre de rotation et de translation
- Accélération angulaire
- Équations du mouvement de rotation pour une accélération angulaire uniforme
- Deuxième loi de Newton appliquée au mouvement de rotation
- Conservation du moment cinétique

Applications et compétences

- Calculer le moment de forces simples et de couples.
- Résoudre des problèmes impliquant le moment d'inertie, le moment des forces et l'accélération angulaire.

Théorie de la connaissance

- Les modèles sont toujours valides au sein d'un contexte et ils sont modifiés, développés ou remplacés lorsque ce contexte est modifié ou considéré différemment. Y a-t-il des exemples de modèles qui ne changent pas en sciences naturelles ou dans n'importe quel autre domaine de la connaissance ?

Utilisation

- La conception de structures et le génie civil s'appuient sur la connaissance de la façon dont les objets peuvent bouger dans toutes les situations.

Objectifs globaux

- **Objectif global 7 :** la technologie a permis de faire des simulations par ordinateur qui modélisent avec précision le résultat compliqué des actions sur les corps.

B.1 Corps rigides et dynamique de rotation

- Résoudre des problèmes dans lesquels des objets sont à la fois dans un équilibre de rotation et de translation.
- Résoudre des problèmes en utilisant des grandeurs de rotation analogues à des grandeurs linéaires.
- Esquisser et interpréter des graphiques de mouvement de rotation.
- Résoudre des problèmes impliquant un roulement sans glissement.

Directives et informations supplémentaires

- L'analyse sera limitée à des formes géométriques de base.
- On fournira au besoin l'équation pour le moment d'inertie d'une forme spécifique.
- Les graphiques seront limités aux graphiques écart angulaire-temps, vitesse angulaire-temps et moment-temps.

Référence au recueil de données

- $\Gamma = Fr \sin \theta$
- $I = \Sigma mr^2$
- $\Gamma = I\alpha$
- $\omega = 2\pi f$
- $\omega_f = \omega_i + \alpha t$
- $\omega_f^2 = \omega_i^2 + 2\alpha\theta$
- $\theta = \omega_i t + \frac{1}{2}\alpha t^2$
- $L = I\omega$
- $E_{K_{\text{rot}}} = \frac{1}{2}I\omega^2$

Idée essentielle : le premier principe de la thermodynamique relie le changement de l'énergie interne d'un système à l'énergie transférée et au travail effectué. L'entropie de l'univers tend vers un maximum.

B.2 Thermodynamique

Nature de la science

Diversité de perspectives : avec trois énoncés optionnels et équivalents du deuxième principe de la thermodynamique, ce domaine de la physique démontre la collaboration et les vérifications impliquées dans la confirmation de notions abstraites telles que celles de la thermodynamique. (4.1)

Notions clés

- Le premier principe de la thermodynamique
- Le deuxième principe de la thermodynamique
- Entropie
- Transformations cycliques et diagrammes pV
- Transformations isovolumétriques, isobares, isothermes et adiabatiques
- Cycle de Carnot
- Rendement thermique

Applications et compétences

- Décrire le premier principe de la thermodynamique comme un énoncé de la conservation de l'énergie.
- Expliquer la convention de signe utilisée quand on énonce le premier principe de la thermodynamique comme $Q = \Delta U + W$.
- Résoudre des problèmes impliquant le premier principe de la thermodynamique.
- Décrire le deuxième principe de la thermodynamique dans la formulation de Clausius, la formulation de Kelvin et comme une conséquence de l'entropie.
- Décrire des exemples de transformations en termes de changement d'entropie.

Sensibilité internationale

- Le développement de ce thème a fait l'objet de débats animés entre les scientifiques de nombreux pays au XIX^e siècle.

Utilisation

- Ce travail conduit directement au concept des moteurs thermiques qui jouent un rôle si important dans la société moderne.
- La possibilité de la mort thermique de l'univers est basée sur une entropie toujours croissante.
- Chimie de l'entropie (voir *Guide de chimie*, sujet 15.2).

Objectifs globaux

- **Objectif global 5 :** le développement du deuxième principe démontre la collaboration impliquée dans les recherches scientifiques.
- **Objectif global 10 :** les rapports et les similarités entre les disciplines scientifiques sont particulièrement évidents dans ce domaine.

B.2 Thermodynamique

- Résoudre des problèmes impliquant des changements d'entropie.
- Esquisser et interpréter des transformations cycliques.
- Résoudre des problèmes pour des transformations adiabatiques pour des gaz monoatomiques en utilisant $pV^{\frac{5}{3}} = \text{constant}$.
- Résoudre des problèmes impliquant le rendement thermique.

Directives et informations supplémentaires

- Si on utilise quantitativement des cycles autres que le cycle de Carnot, on fournira des détails complets.
- Seule une analyse graphique sera nécessaire pour déterminer le travail effectué sur un diagramme pV lorsque la pression n'est pas constante.

Référence au recueil de données

- $Q = \Delta U + W$
- $U = \frac{3}{2}nRT$
- $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$
- $pV^{\frac{5}{3}} = \text{constant}$ (pour gaz monoatomiques)
- $W = p\Delta V$
- $\eta = \frac{\text{travail utile effectué}}{\text{énergie à l'entrée}}$
- $\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_{\text{froid}}}{T_{\text{chaud}}}$

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

10 heures

Idee essentielle : les fluides ne peuvent pas être modélisés comme des particules ponctuelles. Leur réponse à la compression très distincte de celle des solides crée un ensemble de caractéristiques qui nécessitent une étude approfondie.

B.3 Fluides et dynamique des fluides

Nature de la science

Connaissances humaines : la compréhension et la modélisation de l'écoulement de fluides ont été importantes dans de nombreux développements technologiques tels que les conceptions de turbines, l'aérodynamique des voitures et des avions et la mesure du flux sanguin. (1.1)

Notions clés

- Densité et pression
- Flottabilité et principe d'Archimède
- Principe de Pascal
- Équilibre hydrostatique
- Le fluide parfait
- Lignes de courant
- L'équation de continuité
- L'équation de Bernoulli et l'effet de Bernoulli
- Loi de Stokes et viscosité
- Écoulement laminaire et turbulent et le nombre de Reynolds

Applications et compétences

- Déterminer les forces de flottabilité en utilisant le principe d'Archimède.
- Résoudre des problèmes impliquant la pression, la densité et le principe de Pascal.

Sensibilité internationale

- Les sources pour les barrages et l'irrigation s'appuient sur la connaissance de l'écoulement des fluides. Ces ressources peuvent traverser les frontières nationales, menant au partage de l'eau ou aux différends sur leur droit de propriété et leur utilisation.

Théorie de la connaissance

- La mythologie derrière l'anecdote du moment de découverte « Eureka ! » d'Archimède démontre l'une des nombreuses façons dont la connaissance scientifique a été transmise au cours des siècles. Quel rôle la mythologie et les anecdotes peuvent-elles jouer dans la transmission de la connaissance scientifique ? Quel rôle pourraient-elles jouer dans la transmission de la connaissance scientifique au sein de systèmes de connaissance indigènes ?

Utilisation

- Centrales hydroélectriques
- Conception aérodynamique des avions et des véhicules
- La mécanique des fluides est essentielle pour comprendre le flux sanguin dans les artères.

B.3 Fluides et dynamique des fluides

- Résoudre des problèmes en utilisant l'équation de Bernoulli et l'équation de continuité.
- Expliquer des situations impliquant l'effet de Bernoulli.
- Décrire la résistance de frottement exercée sur de petits objets sphériques dans un écoulement laminaire.
- Résoudre des problèmes impliquant la loi de Stokes.
- Déterminer le nombre de Reynolds dans des situations simples.

Directives et informations supplémentaires

- Les fluides parfaits seront supposés être des fluides qui sont incompressibles et non visqueux et qui sont en écoulement permanent.
- Les applications de l'équation de Bernoulli impliqueront (entre autres) l'écoulement hors d'un récipient, la détermination de la vitesse d'un avion (tubes de Pitot), et les tubes de Venturi.
- Aucune preuve de l'équation de Bernoulli ne sera demandée pour l'examen.
- Les écoulements laminaire et turbulent ne seront considérés que dans des situations simples.
- On prendra les valeurs de $R < 10^3$ comme représentant les conditions pour l'écoulement laminaire.

Référence au recueil de données

- $B = \rho_f V_f g$
- $P = P_0 + \rho_f g d$
- $Av = \text{constant}$
- $\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g z + p = \text{constant}$
- $F_D = 6\pi\eta r v$
- $R = \frac{vr\rho}{\eta}$

- Biomécanique (voir *Guide de science du sport, de l'exercice et de la santé NM*, sujet 4.3).

Objectifs globaux

- **Objectif global 2 :** la dynamique des fluides constitue une partie essentielle de tout cours universitaire de physique ou d'ingénierie.
- **Objectif global 7 :** la complexité de la dynamique des fluides en fait un thème idéal à visualiser au moyen de logiciels informatiques.

Idée essentielle : dans le monde réel, un amortissement se produit dans les oscillateurs, ce qui a des implications qu'il faut considérer.

B.4 Vibrations forcées et résonance

Nature de la science

Évaluation des risques : les idées de résonance et d'oscillation forcée ont une application dans de nombreux domaines d'ingénierie allant de l'oscillation électrique à la construction sûre de structures de génie civil. Dans les structures de génie civil à grande échelle, la modélisation de tous les effets possibles est essentielle avant la construction. (4.8)

Notions clés

- Fréquence naturelle de vibration
- Facteur de qualité Q et amortissement
- Stimulus périodique et la fréquence d'excitation
- Résonance

Applications et compétences

- Décrire qualitativement et quantitativement des exemples d'oscillations pour un amortissement inférieur, égal ou supérieur à l'amortissement critique.
- Décrire graphiquement la variation de l'amplitude de vibration en fonction de la fréquence d'excitation d'un objet près de sa fréquence naturelle de vibration.
- Décrire la relation de phase entre la fréquence d'excitation et les oscillations forcées.
- Résoudre des problèmes impliquant le facteur de qualité Q.
- Décrire les effets utiles et destructeurs de la résonance.

Directives et informations supplémentaires

- Seule la résonance d'amplitude est demandée.

Référence au recueil de données

- $Q = 2\pi \frac{\text{énergie stockée}}{\text{énergie dissipée par cycle}}$
- $Q = 2\pi \times \text{fréquence de résonance} \times \frac{\text{énergie stockée}}{\text{perte de puissance}}$

Sensibilité internationale

- La communication au moyen de signaux radio et de signaux de télévision est basée sur la résonance des signaux diffusés.

Utilisation

- La science et la technologie se rejoignent quand on modélise le comportement réel de systèmes oscillants amortis.
- Résonance des gaz à effet de serre (voir *Guide de physique*, sujet 8.2).

Objectifs globaux

- **Objectif global 6 :** les expériences peuvent comprendre (entre autres) : l'observation du sable sur une surface vibrant à des fréquences changeantes ; l'étude de l'effet d'un amortissement croissant sur un système oscillant, tel le diapason ; l'observation de l'utilisation d'une fréquence d'excitation sur des oscillations forcées.
- **Objectif global 7 :** la meilleure façon d'examiner l'utilisation de la résonance dans les circuits électriques, les atomes/molécules, ou avec les communications par radio/télévision est d'étudier des exemples de modélisation par logiciel.

Idée essentielle : la progression d'une onde peut être modélisée au moyen du rayon ou du front d'onde. Le changement dans la vitesse de propagation de l'onde lorsqu'elle passe d'un milieu à un autre change la forme de l'onde.

C.1 Introduction à l'imagerie

Nature de la science

Logique déductive : l'utilisation d'images virtuelles est essentielle pour notre analyse des lentilles et des miroirs. (1.6)

Notions clés

- Lentilles minces
- Lentilles convergentes et divergentes
- Miroirs convergents et divergents
- Diagrammes de rayons
- Images réelles et virtuelles
- Grossissement linéaire et angulaire
- Aberrations sphériques et chromatiques

Applications et compétences

- Décrire comment une interface courbe transparente modifie la forme d'un front d'onde incident.
- Identifier l'axe principal, le foyer et la distance focale d'une lentille convergente ou divergente simple sur un diagramme à l'échelle.
- Résoudre des problèmes n'impliquant pas plus de deux lentilles en construisant des diagrammes de rayons à l'échelle.
- Résoudre des problèmes n'impliquant pas plus de deux miroirs courbes en construisant des diagrammes de rayons à l'échelle.

Sensibilité internationale

- L'optique est une discipline ancienne couvrant les développements accomplis au début de l'époque gréco-romaine et à l'époque islamique médiévale.

Théorie de la connaissance

- La convention de signes utilisant les symboles de positif et de négatif pourrait-elle influencer émotionnellement les scientifiques ?

Utilisation

- Microscopes et télescopes
- Lunettes et verres de contact

Objectifs globaux

- **Objectif global 3 :** les théories de l'optique, qui tirent leur origine de la curiosité humaine sur nos propres sens, continuent de jouer un rôle important dans le développement de technologies nouvelles et utiles.
- **Objectif global 6 :** les expériences peuvent comprendre (entre autres) : la détermination du grossissement en utilisant un banc optique ; l'examen d'images réelles et virtuelles formées par des lentilles ; l'observation d'aberrations.



C.1 Introduction à l'imagerie

- Résoudre des problèmes impliquant l'équation des lentilles minces, le grossissement linéaire et le grossissement angulaire.
- Expliquer les aberrations sphériques et chromatiques et décrire des façons de réduire leurs effets sur les images.

Directives et informations supplémentaires

- Les élèves devraient traiter le passage de la lumière à travers des lentilles du point de vue des rayons et des fronts d'onde.
- Les miroirs courbes sont limités à des miroirs convergents sphériques et paraboliques et à des miroirs divergents sphériques.
- Il ne faut considérer que les lentilles simples dans ce thème.
- La formule du fabricant de lentilles n'est pas demandée.
- La convention de signe utilisée dans les examens sera basée sur l'attribution du signe plus à la position de l'image réelle ou de l'objet réel (la convention « réel est positif »).

Référence au recueil de données

- $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$

- $P = \frac{1}{f}$

- $m = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{v}{u}$

- $M = \frac{\theta_i}{\theta_o}$

- $M_{\text{punctum proximum}} = \frac{D}{f} + 1 ; M_{\text{infini}} = \frac{D}{f}$

Idee essentielle : les microscopes et les télescopes optiques utilisent les propriétés physiques similaires des lentilles et des miroirs. L'analyse de l'univers est effectuée à la fois optiquement et en utilisant des radiotélescopes pour examiner différentes régions du spectre électromagnétique.

C.2 Instrumentation d'imagerie

Nature de la science

Meilleure instrumentation : on utilise le télescope optique depuis plus de 500 ans. Il a permis à l'humanité d'observer l'univers et d'émettre des hypothèses sur celui-ci. Plus récemment, on a mis au point des radiotélescopes pour examiner le rayonnement électromagnétique au-delà du domaine visible. On place maintenant des télescopes (visuels et radio) à distance de la surface de la Terre pour éviter la dégradation de l'image causée par l'atmosphère, et on utilise une optique de correction pour améliorer les images recueillies à la surface de la Terre. On a lancé de nombreux satellites pourvus de capteurs capables d'enregistrer de vastes quantités de données dans les gammes des rayons X, infrarouges et ultraviolets et dans d'autres gammes de spectres électromagnétiques. (1.8)

Notions clés

- Microscopes optiques composés
- Télescopes réfracteurs astronomiques simples
- Télescopes réflecteurs astronomiques optiques simples
- Radiotélescopes à un seul miroir parabolique
- Radiotélescopes interférométriques
- Télescopes satellisés

Applications et compétences

- Construire et interpréter des diagrammes de rayons de microscopes optiques composés au réglage normal.
- Résoudre des problèmes impliquant le grossissement angulaire et la résolution de microscopes optiques composés.
- Étudier expérimentalement le microscope optique composé.
- Construire ou compléter des diagrammes de rayons de télescopes réfracteurs astronomiques simples au réglage normal.
- Résoudre des problèmes impliquant le grossissement angulaire de télescopes astronomiques optiques simples.

Sensibilité internationale

- L'utilisation du radiotélescope interférométrique va au-delà des cultures grâce à la collaboration entre des scientifiques de nombreux pays pour produire des réseaux d'interféromètres qui s'étendent sur tous les continents.

Théorie de la connaissance

- Aussi avancée que soit la technologie, les microscopes et les télescopes impliquent toujours la perception sensorielle. Peut-on utiliser efficacement la technologie pour étendre la portée de nos sens ou pour les corriger ?

Utilisation

- Observation des cellules (voir *Guide de biologie*, sujet 1.2).
- Les informations recueillies par les télescopes astronomiques continuent d'améliorer notre compréhension de l'univers.
- La résolution est couverte pour d'autres sources dans le *Guide de physique*, sujet 9.4.

Objectifs globaux

- **Objectif global 3 :** les images fournies par des microscopes et des télescopes dans les laboratoires scolaires ou obtenues sur Internet permettent aux élèves d'appliquer leur connaissance de ces techniques.

C.2 Instrumentation d'imagerie

- Étudier expérimentalement la performance d'un télescope réfracteur astronomique simple.
- Décrire comparativement la performance des télescopes terrestres et celle des télescopes satellisés.

Directives et informations supplémentaires

- La conception des télescopes réflecteurs astronomiques optiques simples est limitée au montage de Newton et de Cassegrain.
- Il faudrait rapprocher les radiotélescopes interférométriques à un miroir parabolique de diamètre égal à la séparation maximum des antennes.
- Les radiotélescopes interférométriques se rapportent aux télescopes.

Référence au recueil de données

- $$M = \frac{f_o}{f_e}$$

- **Objectif global 5** : la recherche en astronomie et en astrophysique illustre la nécessité de collaboration entre des équipes de scientifiques de pays et de continents différents.
- **Objectif global 6** : les organisations astronomiques locales d'amateurs ou de professionnels peuvent s'avérer utiles pour organiser des démonstrations du ciel nocturne.

Idée essentielle : la réflexion totale interne permet à la lumière ou à un rayonnement infrarouge de se propager le long d'une fibre transparente. Cependant, la performance d'une fibre peut être dégradée par des effets de dispersion et d'atténuation.

C.3 Optique des fibres

Nature de la science

Science appliquée : les progrès accomplis dans les liaisons de communication au moyen des fibres optiques ont conduit à un réseau mondial de fibres optiques qui a transformé les communications mondiales vocales transportant la voix, l'image ou les données. (1.2)

Notions clés

- Structure des fibres optiques
- Fibres à saut d'indice et à gradient d'indice
- Réflexion totale interne et angle critique
- Dispersion de guidage et dispersion du matériau dans les fibres optiques
- Atténuation et échelle de décibels (dB)

Applications et compétences

- Résoudre des problèmes impliquant la réflexion totale interne et l'angle critique dans le contexte de l'optique de fibres.
- Décrire comment la dispersion de guidage et la dispersion du matériau peuvent entraîner une atténuation et comment on peut en tenir compte.
- Résoudre des problèmes impliquant l'atténuation.
- Décrire les avantages de l'optique de fibres par rapport aux câbles à paires torsadées et aux câbles coaxiaux.

Directives et informations supplémentaires

- On demandera des descriptions quantitatives de l'atténuation, y compris l'atténuation par unité de longueur.
- Le terme « dispersion de guidage » sera utilisé dans les examens. La dispersion de guidage est appelée parfois « dispersion modale ».

Référence au recueil de données

- $n = \frac{1}{\sin c}$
- atténuation = $10 \log \frac{I}{I_0}$

Sensibilité internationale

- Les fibres optiques sous-marines constituent une partie essentielle de la communication entre les continents.

Utilisation

- Atteindra-t-on une limite de communication étant donné que les informations ne peuvent pas être transmises plus vite que la vitesse de la lumière ?

Objectifs globaux

- **Objectif global 1 :** il s'agit d'une technologie mondiale qui permet et qui encourage une augmentation des vitesses de communication.
- **Objectif global 9 :** les effets de dispersion illustrent les limitations inhérentes à une technologie.

Thème du module complémentaire du niveau supérieur

10 heures

Idée essentielle : on peut imager le corps humain en utilisant un rayonnement généré de l'extérieur et de l'intérieur. L'imagerie a permis aux médecins praticiens d'améliorer le diagnostic avec moins d'actes invasifs.

C.4 Imagerie médicale

Nature de la science

Analyse des risques : le rôle du docteur est de minimiser les risques pour le patient dans le diagnostic et les actes médicaux en se basant sur une évaluation du bienfait global pour le patient. On utilise des arguments impliquant la probabilité lorsqu'on considère l'atténuation du rayonnement transmis à travers le corps. (4.8)

Notions clés

- Détection et enregistrement d'images radiologiques dans des contextes médicaux
- Génération et détection d'ultrasons dans des contextes médicaux
- Techniques d'imagerie médicale (imagerie par résonance magnétique) impliquant la résonance magnétique nucléaire (RMN)

Applications et compétences

- Expliquer les caractéristiques de l'imagerie radiologique y compris le coefficient d'atténuation, la couche de demi-atténuation, les coefficients d'absorption linéaire/massique et les techniques pour améliorer la netteté et le contraste.
- Résoudre des problèmes d'atténuation des rayons X.
- Résoudre des problèmes impliquant l'impédance acoustique dans le domaine des ultrasons, la vitesse des ultrasons à travers les tissus et l'air et les niveaux relatifs d'intensité.

Sensibilité internationale

- Il existe un dialogue constant entre les chercheurs cliniciens dans différents pays pour communiquer de nouvelles méthodes et de nouveaux traitements pour le bien des patients dans le monde entier.
- Des organisations telles que *Médecins Sans Frontières* fournissent des compétences médicales précieuses dans des parties du monde où une aide médicale est nécessaire.

Théorie de la connaissance

- « Ce n'est pas ce que vous regardez qui compte, c'est ce que vous voyez. » Henry David Thoreau. Dans quelle mesure êtes-vous d'accord avec ce commentaire sur l'impact de facteurs tels que les attentes lors de la perception ?

Utilisation

- Balayage du cerveau humain (voir *Guide de biologie*, sujet A.4)

C.4 Imagerie médicale

- Expliquer les caractéristiques des techniques médicales utilisant les ultrasons, y compris le choix de la fréquence, l'utilisation de gel et la différence entre les échogrammes de type A et de type B.
- Expliquer l'utilisation des champs de gradient dans la résonance magnétique nucléaire.
- Expliquer l'origine de la relaxation du spin du proton et l'émission de signal en résultant dans la RMN.
- Discuter les avantages et les inconvénients des ultrasons et des méthodes d'imagerie par résonance magnétique nucléaire, y compris une simple évaluation des risques dans ces actes médicaux.

Directives et informations supplémentaires

- On attendra des élèves qu'ils calculent l'intensité finale du faisceau après son passage à travers des couches multiples de tissu. On traitera seulement des interfaces planes parallèles.

Référence au recueil de données

- $L_I = 10 \log \frac{I_1}{I_0}$
- $I = I_0 e^{-\mu x}$
- $\mu x_{\frac{1}{2}} = \ln 2$
- $Z = \rho c$

Objectifs globaux

- **Objectif global 4 :** les élèves auront de nombreuses occasions d'analyser et d'évaluer des informations scientifiques.
- **Objectif global 8 :** on ne peut pas trop souligner l'impact social de ces techniques scientifiques pour le bénéfice de l'humanité.
- **Objectif global 10 :** la médecine et la physique se rencontrent dans le monde hautement technologique de l'imagerie et du traitement. Les docteurs modernes s'appuient sur la technologie résultant de développements dans les sciences physiques.

Thèmes du tronc commun

15 heures

Idée essentielle : l'un des problèmes les plus difficiles en astronomie est de parvenir à surmonter les vastes distances entre les étoiles et les galaxies et de concevoir des méthodes précises pour les mesurer.

D.1 Grandeurs stellaires

Nature de la science

Réalité : la mesure systématique de la distance et de la brillance des étoiles et des galaxies a conduit à une connaissance de l'univers à une échelle qu'il est difficile d'imaginer et de comprendre. (1.1)

Notions clés

- Objets dans l'univers
- La nature des étoiles
- Distances astronomiques
- Parallaxe stellaire et ses limitations
- Luminosité et brillance stellaire apparente

Applications et compétences

- Identifier des objets dans l'univers.
- Décrire qualitativement l'équilibre entre la pression et la gravitation dans les étoiles.
- Utiliser l'unité astronomique (UA), l'année-lumière (al) et le parsec (pc).
- Décrire la méthode pour déterminer la distance des étoiles au moyen de la parallaxe stellaire.
- Résoudre des problèmes impliquant la luminosité, la brillance stellaire apparente et la distance.

Théorie de la connaissance

- Les vastes distances entre les étoiles et les galaxies sont difficiles à comprendre ou à imaginer. Y a-t-il d'autres moyens plus utiles que l'imagination pour acquérir des connaissances en astronomie ?

Utilisation

- On peut utiliser des techniques de parallaxe similaires pour mesurer avec précision des distances ici sur la Terre.

Objectifs globaux

- **Objectif global 1 :** il faut faire usage de créativité pour analyser les objets qui se trouvent à des distances aussi éloignées de nous.
- **Objectif global 6 :** les organisations astronomiques locales d'amateurs ou de professionnels peuvent s'avérer utiles pour organiser des soirées d'observation.
- **Objectif global 9 :** à mesure que notre capacité d'observer l'univers augmente, nous atteignons les limites de notre technologie actuelle pour prendre des mesures précises.

D.1 Grandeurs stellaires

Directives et informations supplémentaires

- Pour ce cours, les objets dans l'univers incluent les planètes, les comètes, les étoiles (simples et binaires), les systèmes planétaires, les constellations, les amas stellaires (ouverts et globulaires), les nébuleuses, les galaxies, les amas de galaxies et les superamas de galaxies.
- On attend des élèves qu'ils aient conscience des vastes changements en échelle de distances depuis les systèmes planétaires, en passant par les superamas de galaxies, jusqu'à l'univers tout entier.

Référence au recueil de données

- $d \text{ (parsec)} = \frac{1}{p \text{ (seconde d'arc)}}$
- $L = \sigma AT^4$
- $b = \frac{L}{4\pi d^2}$

Idée essentielle : un diagramme simple représentant la luminosité en fonction de la température à la surface des étoiles révèle des patterns exceptionnellement détaillés qui aident à comprendre le comportement interne des étoiles. Les étoiles suivent des patterns bien définis depuis le moment où elles sont créées à partir de l'effondrement de gaz interstellaire, jusqu'à leur vie sur la séquence principale et leur mort finale.

D.2 Caractéristiques stellaires et évolution stellaire

Nature de la science

Preuves : on peut comparer les spectres lumineux simples d'un gaz sur la Terre aux spectres lumineux d'étoiles éloignées. Cela nous a permis de déterminer la vitesse, la composition et la structure des étoiles et a confirmé les hypothèses sur l'expansion de l'univers. (1.11)

Notions clés

- Spectres stellaires
- Diagramme de Hertzsprung-Russell (HR)
- Relation masse-luminosité pour les étoiles de la séquence principale
- Variables céphéides
- Évolution stellaire sur des diagrammes HR
- Géantes rouges, naines blanches, étoiles à neutrons et trous noirs
- Limites de Chandrasekhar et de Oppenheimer-Volkoff

Applications et compétences

- Expliquer comment on peut obtenir la température en surface à partir du spectre d'une étoile.
- Expliquer comment on peut déterminer la composition chimique d'une étoile à partir du spectre de cette étoile.
- Esquisser et interpréter des diagrammes HR.
- Identifier les régions principales du diagramme HR et décrire les propriétés principales des étoiles dans ces régions.
- Appliquer la relation masse-luminosité.
- Décrire la raison de la variation des variables céphéides.
- Déterminer la distance en utilisant des données sur des variables céphéides.

Théorie de la connaissance

- Il faut un esprit entraîné pour interpréter les informations révélées grâce aux spectres. Quel est le rôle de l'interprétation dans l'acquisition de connaissances dans les sciences naturelles ? Comment cela diffère-t-il du rôle de l'interprétation dans d'autres domaines de connaissance ?

Utilisation

- La compréhension de la façon dont des étoiles similaires à notre Soleil ont vieilli et évolué nous aide à prédire notre destin sur la Terre.

Objectifs globaux

- **Objectif global 4 :** l'analyse des spectres stellaires fournit de nombreuses occasions d'évaluation et de synthèse.
- **Objectif global 6 :** les élèves disposent d'une analyse avec logiciel pour leur permettre de participer à la recherche en astrophysique.

D.2 Caractéristiques stellaires et évolution stellaire

- Esquisser et interpréter le parcours évolutif des étoiles sur un diagramme HR.
- Décrire l'évolution des étoiles hors de la séquence principale.
- Décrire le rôle de la masse dans l'évolution stellaire.

Directives et informations supplémentaires

- Les régions du diagramme HR sont limitées à la séquence principale, aux naines blanches, aux géantes rouges, aux supergéantes et à la bande d'instabilité (étoiles variables), ainsi qu'aux lignes de rayon constant.
- On légendera les diagrammes avec la luminosité sur l'axe vertical et la température sur l'axe horizontal.
- On n'utilisera qu'un seul exposant spécifique (3,5) dans la relation masse-luminosité.
- Il faut faire des références aux pressions de dégénérescence des électrons et des neutrons.

Référence au recueil de données

- $\lambda_{max} T = 2,9 \times 10^{-3} \text{ m K}$
- $L \propto M^{3,5}$

Idée essentielle : le modèle du big-bang chaud est une théorie qui décrit l'origine et l'expansion de l'univers et qui est corroborée par de nombreuses preuves expérimentales.

D.3 Cosmologie

Nature de la science

Rasoir d'Occam : le modèle du big-bang était purement spéculatif jusqu'à être confirmé par la découverte du rayonnement cosmologique fossile. Bien qu'il décrive correctement de nombreux aspects de l'univers tel que nous l'observons aujourd'hui, ce modèle ne peut toujours pas expliquer ce qui s'est passé au temps zéro. (2.7)

Notions clés

- Le modèle du big-bang
- Rayonnement cosmique fossile
- Loi de Hubble
- L'univers accélérant et le décalage vers le rouge (z)
- Le facteur d'échelle cosmique (R)

Applications et compétences

- Décrire l'espace et le temps comme commençant avec le big-bang.
- Décrire les caractéristiques du rayonnement cosmique fossile.
- Expliquer comment le rayonnement cosmique fossile constitue une preuve d'un big-bang chaud.
- Résoudre des problèmes impliquant z , R et la loi de Hubble.
- Estimer l'âge de l'univers en supposant un taux d'expansion constant.

Directives et informations supplémentaires

- Le rayonnement cosmique fossile sera considéré comme étant isotrope avec $T \approx 2,73\text{K}$

Sensibilité internationale

- L'analyse du rayonnement cosmique fossile est possible grâce aux contributions de scientifiques de nombreux pays.

Utilisation

- Effet Doppler (voir *Guide de physique*, sujet 9.5).

Objectifs globaux

- **Objectif global 1 :** l'explication scientifique des trous noirs nécessite un niveau élevé de créativité.
- **Objectif global 9 :** notre compréhension est limitée par notre capacité d'observation de notre univers.

D.3 Cosmologie

- Pour le rayonnement cosmique fossile, il suffit de donner une simple explication en termes du refroidissement de l'univers ou de l'allongement des distances (et donc des longueurs d'onde).
- On demandera une description qualitative du rôle des supernovae de type Ia comme fournissant une preuve d'un univers en accélération.

Référence au recueil de données

- $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \approx \frac{v}{c}$
- $z = \frac{R}{R_0} - 1$
- $v = H_0 d$
- $T \approx \frac{1}{H_0}$

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

10 heures

Idee essentielle : les lois de la physique nucléaire appliquée aux processus de fusion nucléaire à l'intérieur des étoiles déterminent la production de tous les éléments jusqu'au fer.

D.4 Processus stellaires

Nature de la science

Observation et déduction : l'observation de spectres stellaires a montré l'existence de différents éléments dans les étoiles. Cela a pu être expliqué grâce à des déductions à partir de la théorie de la fusion nucléaire. (1.8)

Notions clés

- Le critère de Jeans
- Fusion nucléaire
- Nucléosynthèse hors de la séquence principale
- Supernovae de type Ia et II

Applications et compétences

- Appliquer le critère de Jeans à la formation des étoiles.
- Décrire différents types de réactions de fusion nucléaire ayant lieu hors de la séquence principale.
- Appliquer la relation masse-luminosité pour comparer les durées de vie sur la séquence principale par rapport à celle de notre Soleil.
- Décrire la formation dans les étoiles d'éléments qui sont plus lourds que le fer, y compris les augmentations de température nécessaires.
- Décrire qualitativement les processus s et r pour la capture de neutrons.
- Distinguer entre les supernovae de type Ia et de type II.

Objectifs globaux

- **Objectif global 10 :** l'analyse de la nucléosynthèse implique le travail de chimistes.

D.4 Processus stellaires

Directives et informations supplémentaires

- Seule une application élémentaire du critère de Jeans est demandée, c'est-à-dire que l'effondrement d'un nuage interstellaire peut commencer si $M > M_J$.
- Les élèves devraient être au courant de l'utilisation des supernovae de type Ia comme bougies standard.

Idée essentielle : le domaine moderne de la cosmologie utilise des techniques avancées d'expérimentation et d'observation pour recueillir des données avec un degré de précision sans précédent et on est parvenu en conséquence à des conclusions très surprenantes et très détaillées sur la structure de l'univers.

D.5 Cosmologie complémentaire

Nature de la science

Biais cognitif : selon les attentes de tous, le taux d'expansion de l'univers devrait diminuer à cause de la gravité. Les résultats détaillés des observations de 1998 (et d'observations ultérieures) sur les supernovae éloignées ont en fait démontré le contraire. L'expansion accélérée de l'univers, bien qu'elle ait été vérifiée expérimentalement, est encore un phénomène inexpliqué. (3.5)

Notions clés

- Le principe cosmologique
- Courbes de rotation et masse de galaxies
- Matière noire
- Fluctuations dans le rayonnement cosmique fossile
- L'origine cosmologique du décalage vers le rouge
- Densité critique
- Énergie sombre

Applications et compétences

- Décrire le principe cosmologique et son rôle dans les modèles de l'univers.
- Décrire les courbes de rotation comme preuve de la matière noire.
- Déduire la vitesse de rotation à partir de la gravitation newtonienne.
- Décrire et interpréter les anisotropies observées dans le rayonnement cosmétique fossile.
- Déduire la densité critique à partir de la gravitation newtonienne.
- Esquisser et interpréter des graphiques montrant la variation du facteur d'échelle cosmique en fonction du temps.
- Décrire qualitativement le facteur d'échelle cosmique dans des modèles avec ou sans énergie sombre.

Sensibilité internationale

- Il s'agit d'un domaine de recherche très collaboratif impliquant des scientifiques du monde entier.

Théorie de la connaissance

- Les faits expérimentaux montrent que l'expansion de l'univers accélère mais personne ne comprend pourquoi. Est-ce là un exemple de quelque chose que nous ne saurons jamais ?

Objectifs globaux

- **Objectif global 2 :** contrairement à la situation telle qu'elle était quelques décennies plus tôt, le domaine de la cosmologie s'est maintenant tellement développé que la cosmologie est devenue une science très exacte au même niveau que le reste de la physique.
- **Objectif global 10 :** il est vraiment extraordinaire que, pour régler la question du destin de l'univers, la physique de l'infiniment grand a fait appel à l'aide de la physique des particules, c'est-à-dire de la physique de l'infiniment petit.

D.5 Cosmologie complémentaire

Directives et informations supplémentaires

- On attend des élèves qu'ils soient capables de mentionner les courbes de rotation comme preuves de la matière noire et qu'ils soient conscients des types de candidats pour la matière noire.
- Les élèves doivent connaître les résultats principaux fournis par COBE, WMAP et l'observatoire spatial Planck.
- On attend des élèves qu'ils soient capables de démontrer que la température de l'univers varie en fonction du facteur d'échelle cosmique selon $T \propto \frac{1}{R}$.

Référence au recueil de données

- $$v = \sqrt{\frac{4\pi G\rho}{3}}r$$
- $$\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}$$

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, 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.
- Aucun point n'est soustrait pour les réponses incorrectes.
- Un recueil de données de physique est fourni par l'établissement.

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 physique 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 physique 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.
- Aucun point n'est soustrait pour les réponses incorrectes.
- Un recueil de données de physique est fourni par l'établissement.

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 physique 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 physique 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 physique, 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 intégrale du cours de physique ; 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 paillasses).
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 physique »).

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 ».

Dans quelle mesure l'élève a-t-il utilisé les conventions correctes pour la présentation des données quantitatives, y compris l'appréciation de la position de la virgule décimale, les chiffres significatifs et les incertitudes là où cela s'avère nécessaire ?

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 4/PSOW est requis 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 d'un côté et le NS de l'autre.

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 physique

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
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.
Écrire	Obtenir la ou les réponses, généralement en extrayant des informations. Le calcul nécessaire est minime ou nul. Il n'est pas nécessaire de montrer le raisonnement.
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 (sauf indication contraire).
Décrire	Exposer de façon détaillée.
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.
Tracer	Marquer la position de points sur un diagramme.

Objectif d'évaluation 3

Mot-consigne	Définition
Analyser	Décomposer de manière à exposer les éléments essentiels ou la structure.
À partir de là	Utiliser le travail précédent pour obtenir le résultat demandé.
À partir de là ou autrement	On suggère aux élèves d'utiliser le travail précédent, mais ils peuvent aussi utiliser d'autres méthodes.
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.
Expliquer	Donner un compte rendu détaillé incluant les raisons ou les causes.
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.
Montrer que	Obtenir le résultat demandé (en utilisant éventuellement les informations données) sans devoir fournir de preuve. On n'a pas besoin d'utiliser de calculatrice pour répondre aux questions commençant par « Montrer que ».
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 EDELBAUGH, 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/>>.