

PHYSIQUE

SPH4U

12^e année

Écoles secondaires publiques de langue française de l'Ontario

Direction du projet : Claire Trépanier
Coordination : Carole Morrissette
Recherche documentaire : Céline Pilon
Équipe de rédaction : Serge Longin, premier rédacteur
Sebastiano Buono
Louis Roberge
Consultation : Lauria Raymond
Première relecture : Centre franco-ontarien de ressources pédagogiques

Le ministère de l'Éducation de l'Ontario a fourni une aide financière pour la réalisation de ce projet mené à terme par le CFORP au nom des douze conseils scolaires de langue française de l'Ontario. Cette publication n'engage que l'opinion de ses auteures et auteurs.

Permission accordée au personnel enseignant des écoles de l'Ontario de reproduire ce document.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction

.....	5
Cadre d'élaboration des esquisses de cours	7
.....	7
Aperçu global du cours	9
.....	9
Aperçu global de l'unité 1 : Dynamique	15
.....	15
Activité 1.1 : Diagramme de forces et plan incliné	18
.....	18
Activité 1.2 : Mouvement d'un projectile	22
.....	22
Activité 1.3 : Mouvement circulaire uniforme	26
.....	26
Activité 1.4 : Référentiel inertiel et non inertiel	31
.....	31
Activité 1.5 : Gravitation universelle	34
.....	34
Aperçu global de l'unité 2 : Énergie et quantité de mouvement	43
.....	43
Activité 2.1 : Énergie et conservation de l'énergie	46
.....	46
Activité 2.2 : Loi de Hooke	51
.....	51
Activité 2.3 : Conservation de la quantité de mouvement	55
.....	55
Activité 2.4 : Collisions	60
.....	60
Activité 2.5 : Énergie potentielle gravitationnelle	64
.....	64
Activité 2.6 : Tâche d'évaluation sommative - Mécanique	68
.....	68
Aperçu global de l'unité 3 : Champs gravitationnel, électrique et magnétique	75
.....	75
Activité 3.1 : Loi de Coulomb	78
.....	78
Activité 3.2 : Caractéristiques des champs	82
.....	82
Activité 3.3 : Énergie potentielle électrique	88
.....	88
Activité 3.4 : Charge et conducteur dans un champ	92
.....	92
Activité 3.5 : Applications des champs	97
.....	97
Aperçu global de l'unité 4 : La nature ondulatoire de la lumière	105
.....	105

Activité 4.1 : Évolution du modèle ondulatoire	108
Activité 4.2 : Ondes électromagnétiques	111
Activité 4.3 : Interférence	115
Activité 4.4 : Diffraction	120
Activité 4.5 : Polarisation	123
Aperçu global de l'unité 5 : Matière et énergie	129
Activité 5.1 : Relativité, masse et énergie	133
Activité 5.2 : Effet photoélectrique	138
Activité 5.3 : Nature de l'atome	143
Activité 5.4 : Radioactivité	148
Activité 5.5 : Modèle standard	153
Tableau des attentes et des contenus d'apprentissage	161

INTRODUCTION

Le ministère de l'Éducation (MÉO) dévoilait au début de 1999 les nouveaux programmes-cadres de 9^e et de 10^e année et en juin 2000 ceux de 11^e et de 12^e année. En vue de faciliter la mise en oeuvre de ce tout nouveau curriculum du secondaire, des équipes d'enseignantes et d'enseignants, provenant de toutes les régions de l'Ontario, ont été chargées de rédiger, de valider et d'évaluer des esquisses directement liées aux programmes-cadres du secondaire pour chacun des cours qui serviraient de guide et d'outils de travail à leurs homologues. Les esquisses de cours, dont l'utilisation est facultative, sont avant tout des suggestions d'activités pédagogiques, et les enseignantes et enseignants sont fortement invités à les modifier, à les personnaliser ou à les adapter au gré de leurs propres besoins.

Les esquisses de cours répondent aux attentes des systèmes scolaires public et catholique. Certaines esquisses de cours se présentent en une seule version commune aux deux systèmes scolaires (p. ex., *Mathématiques et Affaires et commerce*), tandis que d'autres existent en version différenciée. Dans certains cas, on a ajouté un préambule à l'esquisse de cours explicitant la vision catholique de l'enseignement du cours en question (p. ex., *Éducation technologique*) alors que, dans d'autres cas, on a en plus élaboré des activités propres aux écoles catholiques (p. ex., *Éducation artistique*). L'Office provincial de l'éducation catholique de l'Ontario (OPÉCO) a participé à l'élaboration des esquisses destinées aux écoles catholiques.

Chacune des esquisses de cours reprend en tableau les attentes et les contenus d'apprentissage du programme-cadre avec un système de codes qui lui est propre. Ce tableau est suivi d'un Cadre d'élaboration des esquisses de cours qui présente la structure des esquisses. Toutes les esquisses de cours ont un Aperçu global du cours qui présente les grandes lignes du cours et qui comprend, à plus ou moins cinq reprises, un Aperçu global de l'unité. Ces unités englobent diverses activités qui mettent l'accent sur des sujets variés et des tâches suggérées aux enseignantes ou enseignants ainsi qu'aux élèves dans le but de faciliter l'apprentissage et l'évaluation.

Toutes les esquisses de cours comprennent une liste partielle de ressources disponibles (p. ex., personnes-ressources, médias électroniques) qui a été incluse à titre de suggestion et que les enseignantes et enseignants sont invités à enrichir et à mettre à jour.

Étant donné l'évolution des projets du ministère de l'Éducation concernant l'évaluation du rendement des élèves et compte tenu que le dossier d'évaluation fait l'objet d'un processus continu de mise à jour, chaque esquisse de cours suggère quelques grilles d'évaluation du rendement ainsi qu'une tâche d'évaluation complexe et authentique à laquelle s'ajoute une grille de rendement.

CADRE D'ÉLABORATION DES ESQUISSES DE COURS

APERÇU GLOBAL DU COURS	APERÇU GLOBAL DE L'UNITÉ	ACTIVITÉ
Espace réservé à l'école <i>(à remplir)</i>	Description et durée	Description et durée
Description/fondement	Domaines, attentes et contenus d'apprentissage	Domaines, attentes et contenus d'apprentissage
Titres, descriptions et durée des unités	Titres et durée des activités	Notes de planification
Stratégies d'enseignement et d'apprentissage	Liens	Déroulement de l'activité
Évaluation du rendement de l'élève	Mesures d'adaptation pour répondre aux besoins des élèves	Annexes
Ressources	Évaluation du rendement de l'élève	
Application des politiques énoncées dans <i>ÉSO</i> - 1999	Sécurité	
Évaluation du cours	Ressources	
	Annexes	

APERÇU GLOBAL DU COURS (SPH4U)

Espace réservé à l'école (*à remplir*)

École :	Conseil scolaire de district :
Section :	Chef de section :
Personne(s) élaborant le cours :	Date :
Titre du cours : Physique	Année d'études : 12 ^e
Type de cours : Préuniversitaire	Code de cours de l'école :
Programme-cadre : Sciences	Date de publication : 2000
Code de cours du Ministère : SPH4U	Valeur en crédit : 1

Cours préalable : Physique, 11^e année, cours préuniversitaire

Description/fondement

Ce cours permet à l'élève de mieux comprendre les concepts et les théories de base de la physique. L'élève approfondit ses connaissances sur les lois de la dynamique et de la transformation de l'énergie, et étudie les champs gravitationnel, électrique et magnétique, le rayonnement électromagnétique, ainsi que le rapport entre l'énergie et la matière. En outre, elle ou il améliore ses compétences en recherche, en apprenant par exemple que l'interprétation des données empiriques peut fournir des preuves à l'appui de l'élaboration d'un modèle scientifique. L'élève se penche également sur l'incidence des applications technologiques de la physique sur la société et l'environnement.

Titres, descriptions et durée des unités

Unité 1 : Dynamique

Durée : 24 heures

Cette unité porte sur la dynamique et les applications des lois de Newton. L'élève étudie, en laboratoire ou au moyen de simulation, le mouvement d'objets sur un plan incliné, les projectiles et le mouvement circulaire uniforme. Elle ou il distingue les référentiels inertiels et non inertiels, analyse le mouvement des planètes et des satellites, et enquête sur l'impact de la loi de la gravitation universelle sur la société.

Unité 2 : Énergie et quantité de mouvement

Durée : 24 heures

Cette unité porte sur l'impulsion, la quantité de mouvement ainsi que sur les lois de la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie pour des objets se déplaçant en une et en deux dimensions. L'élève vérifie empiriquement les lois de la conservation et des

collisions et effectue des simulations pour déterminer la vitesse de libération de fusées au voisinage de la Terre ou d'autres planètes. De plus, elle ou il analyse des dispositifs courants appliquant ces concepts.

Unité 3 : Champs gravitationnel, électrique et magnétique **Durée : 22 heures**

Cette unité porte sur la comparaison des champs gravitationnel, électrique et magnétique. L'élève expérimente, effectue des simulations à l'ordinateur et résout des problèmes sur les champs, les lignes de force, l'énergie potentielle électrique, les lignes équipotentielles et la force magnétique. De plus, elle ou il évalue les répercussions sociales d'applications technologiques qui découlent de leur application.

Unité 4 : La nature ondulatoire de la lumière **Durée : 20 heures**

Cette unité porte sur la nature ondulatoire du rayonnement électromagnétique. L'élève étudie des comportements ondulatoires tels que l'interférence, la diffraction et la polarisation. Elle ou il reproduit les expériences appuyant le modèle ondulatoire et montre expérimentalement que la lumière possède des propriétés semblables à celles des ondes mécaniques. De plus, elle ou il explique des phénomènes naturels et le fonctionnement de dispositifs technologiques à l'aide des propriétés ondulatoires de la lumière.

Unité 5 : Matière et énergie **Durée : 20 heures**

Cette unité porte sur l'évolution des modèles atomiques de la mécanique classique à la mécanique quantique et sur la théorie de la relativité restreinte d'Einstein. L'élève interprète les preuves des modèles atomiques de la matière et effectue des expériences abstraites pour explorer diverses idées scientifiques. De plus, elle ou il étudie l'influence de nouvelles théories et de nouveaux modèles conceptuels sur la pensée scientifique et le développement de nouvelles technologies.

Stratégies d'enseignement et d'apprentissage

Dans ce cours, l'enseignant ou l'enseignante privilégie diverses stratégies d'enseignement et d'apprentissage. Parmi les plus adaptées à ce cours, il convient de noter les suivantes :

- leçon magistrale
- devoirs
- remue-méninges
- démonstration scientifique
- manipulation
- expérience en laboratoire
- construction de graphique
- présentation multimédia
- recherche
- résolution de problèmes
- utilisation de logiciels propres à la physique
- discussion
- travail en équipe
- enseignement par les pairs
- analyse graphique et interpolation
- analyse de texte

Évaluation du rendement de l'élève

«Un système d'évaluation et de communication du rendement bien conçu s'appuie sur des attentes et des critères d'évaluation clairement définis.» (*Planification des programmes et évaluation - Le curriculum de l'Ontario de la 9^e à la 12^e année, 2000, p. 16-19*) L'évaluation sera basée sur les attentes du curriculum en se servant de la grille d'évaluation du programme-cadre.

Le personnel enseignant doit utiliser des stratégies d'évaluation qui :

- portent sur la matière enseignée et sur la qualité de l'apprentissage des élèves;
- tiennent compte de la grille d'évaluation du programme-cadre correspondant au cours, laquelle met en relation quatre grandes compétences et les descriptions des niveaux de rendement;
- sont diversifiées et échelonnées tout le long des étapes de l'évaluation pour donner aux élèves des possibilités suffisantes de montrer l'étendue de leur acquis;
- conviennent aux activités d'apprentissage, aux attentes et aux contenus d'apprentissage, de même qu'aux besoins et aux expériences des élèves;
- sont justes pour tous les élèves;
- tiennent compte des besoins des élèves en difficulté, conformément aux stratégies décrites dans leur plan d'enseignement individualisé;
- tiennent compte des besoins des élèves qui apprennent la langue d'enseignement;
- favorisent la capacité de l'élève à s'autoévaluer et à se fixer des objectifs précis;
- reposent sur des échantillons des travaux de l'élève qui illustrent bien son niveau de rendement;
- servent à communiquer à l'élève la direction à prendre pour améliorer son rendement;
- sont communiquées clairement aux élèves et aux parents au début du cours et à tout autre moment approprié pendant le cours.

La grille d'évaluation du rendement sert de point de départ et de cadre aux pratiques permettant d'évaluer le rendement des élèves. Cette grille porte sur quatre compétences, à savoir : connaissance et compréhension; réflexion et recherche; communication; et mise en application. Elle décrit les niveaux de rendement pour chacune des quatre compétences. La description des niveaux de rendement sert de guide pour recueillir des données et permet au personnel enseignant de juger de façon uniforme de la qualité du travail réalisé et de fournir aux élèves et à leurs parents une rétroaction claire et précise.

Le niveau 3 (70 %-79 %) constitue la norme provinciale. Les élèves qui n'atteignent pas le niveau 1 (moins de 50 %) à la fin du cours n'obtiennent pas le crédit de ce cours. Une note finale est inscrite à la fin de chaque cours et le crédit correspondant est accordé si l'élève a obtenu une note de 50 % ou plus. Pour chaque cours de la 9^e à la 12^e année, la note finale sera déterminée comme suit :

- Soixante-dix pour cent de la note est le pourcentage venant des évaluations effectuées tout le long du cours. Cette proportion de la note devrait traduire le niveau de rendement le plus fréquent pendant la durée du cours, bien qu'il faille accorder une attention particulière aux plus récents résultats de rendement.
- Trente pour cent de la note est le pourcentage venant de l'évaluation finale qui prendra la forme d'un examen, d'une activité, d'une dissertation ou de tout autre mode d'évaluation approprié et administré à la fin du cours.

Dans tous leurs cours, les élèves doivent avoir des occasions multiples et diverses de montrer à quel point elles ou ils ont satisfait aux attentes du cours, et ce, pour les quatre compétences. Pour évaluer de façon appropriée le rendement de l'élève, l'enseignant ou l'enseignante utilise une variété de stratégies se rapportant aux types d'évaluation suivants :

évaluation diagnostique

- courtes activités au début de l'unité pour vérifier les acquis préalables (p. ex., remue-méninges, questionnaire, observation, discussion)

évaluation formative

- activités continues, individuelles ou en équipe (p. ex., exercice, devoirs, rapport d'expérience, présentation orale, mise en commun d'idées)
- objectivation : processus d'autoévaluation permettant à l'élève de se situer par rapport à l'atteinte des attentes ciblées par les activités d'apprentissage (p. ex., questionnaire, liste de vérification, étude de cas). L'énoncé qui renvoie à l'objectivation est désigné par le code **(O)**

évaluation sommative

- activités de façon continue mais particulièrement en fin d'activité ou en fin d'unité à l'aide de divers moyens (p. ex., épreuve papier-crayon, expérience en laboratoire, projet de recherche)

Ressources

L'enseignant ou l'enseignante fait appel à plus ou moins quatre types de ressources à l'intérieur du cours. Ces ressources sont davantage détaillées dans chaque unité. Dans ce document, les ressources suivies d'un astérisque (*) sont en vente à la Librairie du Centre du CFORP. Celles suivies de trois astérisques (***) ne sont en vente dans aucune librairie. Allez voir dans votre bibliothèque scolaire.

Manuels pédagogiques

MARTINDALE, David G., Robert W. HEALTH, Phillip C. EASTMAN, *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, Montréal, Guérin, 1992, 825 p.*

Ouvrages généraux/de référence/de consultation

GAGNON, Jean-Marie, et Réjean GAUDETTE, *Guide pour la rédaction d'un rapport scientifique*, Montréal, Les éditions de la Chenelière, 1998, 89 p.*

GRIFFITH, Dave, *Manuel d'expériences à faire avec l'interface Science*, Roseville, Pasco Scientific, 1998, 155 p.

GRIFFITH, Dave, *Manuel d'expériences à faire avec l'interface Science Workshop II*, Roseville, Pasco Scientific, 2001, 190 p.

HIRSCH, Alan J., *La physique et le monde moderne*, Guérin, Montréal, 1985, 641 p.***

LeMAY, Bernadette, *La boîte à outils*, Esquisse de cours 9^e, Vanier, CFORP, 1999. *

NOWIKOW, Igor, et Brian HEIMBECKER, *Physique 11*, Montréal, Les éditions de la Chenelière, 2002, 706 p.*

RESNICK-HALLIDAY, *Ondes, optique et physique moderne, physique 3*, Montréal, Les Éditions du Renouveau pédagogique, 1979, 411 p. *

RESNICK-HALLIDAY, *Physique 1 mécanique*, Montréal, ERPI, 1979, 405 p.*

Médias électroniques

Centre des médias. (consulté le 20 juillet 2001)

<http://www.centredesmedias.com>

Conseil national de Recherches Canada. (consulté le 2 août 2001)

<http://corpserv.nrc.ca/>

Great Canadian scientists. (consulté le 2 août 2001)

<http://www.science.ca>

JfNoblet, Physique - mouvements et référentiels. (consulté le 20 juillet 2001)

http://perso.infonie.fr/jf_noblet/phy.htm

SCIO - Site de vulgarisation de physique. (consulté le 20 juillet 2001)

<http://scio.free.fr/index.php3>

Application des politiques énoncées dans *ÉSO* - 1999

Cette esquisse de cours reflète les politiques énoncées dans *Les écoles secondaires de l'Ontario de la 9^e à la 12^e année - Préparation au diplôme d'études secondaires de l'Ontario, 1999* au sujet des besoins des élèves en difficulté d'apprentissage, de l'intégration des technologies, de la formation au cheminement de carrière, de l'éducation coopérative et de diverses expériences de travail, ainsi que certains éléments de sécurité.

Évaluation du cours

L'évaluation du cours est un processus continu. Les enseignantes et les enseignants évaluent l'efficacité de leur cours de diverses façons, dont les suivantes :

- évaluation continue du cours par l'enseignant ou l'enseignante : ajouts, modifications, retraits tout le long de la mise en œuvre de l'esquisse de cours (sections Stratégies d'enseignement et d'apprentissage ainsi que Ressources, Activités, Applications à la région);
- évaluation du cours par les élèves : sondages au cours de l'année ou du semestre;
- rétroaction à la suite des tests provinciaux;
- examen de la pertinence des activités d'apprentissage et des stratégies d'enseignement et d'apprentissage (dans le processus des évaluations formative et sommative des élèves);
- échanges avec les autres écoles utilisant l'esquisse de cours;
- autoévaluation de l'enseignant et de l'enseignante;
- visites d'appui des collègues ou de la direction et visites aux fins d'évaluation de la direction;
- évaluation du degré de réussite des attentes et des contenus d'apprentissage des élèves (p. ex., après les tâches d'évaluation de fin d'unité et l'examen synthèse).

De plus, le personnel enseignant et la direction de l'école évaluent de façon systématique les méthodes pédagogiques et les stratégies d'évaluation du rendement de l'élève.

APERÇU GLOBAL DE L'UNITÉ 1 (SPH4U)

Dynamique

Description

Durée : 24 heures

Cette unité porte sur la dynamique et les applications des lois de Newton. L'élève étudie, en laboratoire ou au moyen de simulation, le mouvement d'objets sur un plan incliné, les projectiles et le mouvement circulaire uniforme. Elle ou il distingue les référentiels inertiels et non inertiels, analyse le mouvement des planètes et des satellites, et enquête sur l'impact de la loi de la gravitation universelle sur la société.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12

Domaine : Dynamique

Attentes : SPH4U-D-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-D-Comp.1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6
SPH4U-D-Acq.1 - 2 - 3 - 4
SPH4U-D-Rap.1 - 2

Titres des activités

Durée

Activité 1.1 : Diagramme de forces et plan incliné	360 minutes
Activité 1.2 : Mouvement d'un projectile	300 minutes
Activité 1.3 : Mouvement circulaire uniforme	300 minutes
Activité 1.4 : Référentiel inertiels et non inertiels	180 minutes
Activité 1.5 : Gravitation universelle	300 minutes

Liens

L'enseignant ou l'enseignante prévoit l'établissement de liens entre le contenu du cours et l'animation culturelle (AC), la technologie (T), les perspectives d'emploi (PE) et les autres matières (AM) au moment de sa planification des stratégies d'enseignement et d'apprentissage. Des suggestions pratiques sont intégrées dans la section **Déroulement de l'activité** des activités de cette unité.

Mesures d'adaptation pour répondre aux besoins des élèves

L'enseignant ou l'enseignante doit planifier des mesures d'adaptation pour répondre aux besoins des élèves en difficulté et de celles et ceux qui suivent un cours d'ALF/PDF ainsi que des activités de renforcement et d'enrichissement pour tous les élèves. L'enseignant ou l'enseignante trouvera plusieurs suggestions pratiques dans *La boîte à outils*, p. 11-21.

Évaluation du rendement de l'élève

L'évaluation fait partie intégrante de la dynamique pédagogique. L'enseignant ou l'enseignante doit donc planifier et élaborer en même temps les activités d'apprentissage et les étapes de l'évaluation en fonction des quatre compétences de base. Des exemples des différents types d'évaluation tels que l'évaluation diagnostique (**ED**), l'évaluation formative (**EF**) et l'évaluation sommative (**ES**) sont suggérés dans la section **Déroulement de l'activité** des activités de cette unité.

Sécurité

L'enseignant ou l'enseignante veille au respect des règles de sécurité du Ministère et du conseil scolaire. Elle ou il s'assure que l'élève connaît les règles de sécurité, la façon sûre d'utiliser l'équipement et le comportement attendu au laboratoire.

L'enseignant ou l'enseignante doit :

- revoir avec l'élève les techniques appropriées pour manipuler les appareils électriques;
- vérifier le matériel de laboratoire nécessaire pour assurer la sécurité et indiquer à l'élève où se trouvent les appareils de sécurité (p. ex., extincteur, trousse de premiers soins);
- discuter avec l'élève des consignes de sécurité selon le SIMDUT;
- revoir les procédures d'évacuation du laboratoire;
- inciter l'élève à rapporter tout incident de nature sécuritaire (p. ex., verre brisé, produit non étiqueté, blessure);
- demander à l'élève de porter des lunettes de protection et des blouses de laboratoire, au besoin;
- discuter avec l'élève d'allergies et de toute autre condition médicale susceptible d'être affectée par certaines expériences et prendre les mesures appropriées;
- rappeler à l'élève le comportement approprié au laboratoire (p. ex., ni boire, ni manger, pas de chahut);
- demander à l'élève de libérer sa surface de travail de tout objet inutile et de ne conserver que le matériel nécessaire à la manipulation;
- inciter l'élève à nettoyer et à ranger le matériel;
- s'assurer que les robinets à gaz et les commutateurs électriques sont bien fermés;
- insister pour que l'élève lise le texte complet d'une activité avant de la commencer;
- s'assurer de ne jamais laisser une expérience en cours sans surveillance;
- s'assurer que l'élève ne s'écarte jamais du protocole, à moins de le lui suggérer;
- demander à l'élève de manier les lasers avec précaution (ne jamais les pointer directement vers les yeux de quelqu'un);
- s'assurer que l'élève suit les consignes du fabricant pour manipuler les produits radioactifs.

Ressources

Dans cette unité, l'enseignant ou l'enseignante utilise les ressources suivantes :

Ouvrages généraux/de référence/de consultation

AUGER, A., *Physique mécanique, théorie-exemples-exercices*, Les éditions Le Griffon d'argile,

1987, 489 p.*

BEISER, A., *Physique appliquée*, Paris, McGraw-Hill, 1987, 273 p.*

BENSON, H., *et al.*, *Physique 1 Mécanique*, Saint-Laurent, ERPI, 1999, 588 p.*

SERWAY, R. A., *Physique 1 Mécanique*, Montréal, Les Éditions HRW, 1989, 560 p.*

Médias électroniques

Astrosurf, gravitation. (consulté le 20 juillet 2001)

http://www.astrosurf.com/skylink/doc_astro/generale/gravitation_maree/gravitation.html

Astrosurf, les marées. (consulté le 20 juillet 2001)

http://www.astrosurf.com/skylink/doc_astro/generale/gravitation_maree/marees.html

INRP, la gravitation qu'est-ce que c'est? (consulté le 20 juillet 2001)

<http://www.inrp.fr/lamap/scientifique/astronomie/essentiel/gravitation.htm>

INRP, le phénomène des marées. (consulté le 20 juillet 2001)

<http://www.inrp.fr/lamap/scientifique/astronomie/savoir/maree.htm>

Jf Noblet, Physique - mouvements et référentiels. (consulté le 20 juillet 2001)

http://perso.infonie.fr/jf_noblet/phy.htm

L'odyssée encyclopédie, La gravitation. (consulté le 20 juillet 2001)

<http://www.elf.fr/odysee/fr/genese/grav/>

La physique en ligne - animation plan incliné. (consulté le 15 octobre 2001)

<http://www.presenceweb.qc.ca/physique.go/cours.html>

Musée des arts et métiers- Le pendule de Foucault. (consulté le 15 octobre 2001)

<http://www.cnam.fr/museum/foucault>

Sfrs, l'interaction gravitationnelle. (consulté le 20 juillet 2001)

<http://www.sfrs.fr/e-doc/forces/gravitation.htm>

Logiciel

RIOPEL M., *Physique animée*, complément de H. Benson, *Physique 1 : mécanique*, ERPI, 1999

Vidéos

La grande marée; Parfum de la nature; Terrine de monstre, TVO, BPN 906624, coul., 30 min (série Culture-choc).

L'océanographie, MAV (0753), BPN 953744, coul., 26 min (série OmniScience).

Les vecteurs, tfo, BPN 345301 à 345306, coul., 60 min.

ACTIVITÉ 1.1 (SPH4U)

Diagramme de forces et plan incliné

Description

Durée : 360 minutes

Cette activité porte sur l'analyse du mouvement d'objets sur un plan incliné et sur le calcul de force résultante à l'aide de diagrammes vectoriels. L'élève recueille des informations qualitatives et quantitatives du mouvement d'objets sur un plan incliné et les vérifie à l'aide des lois de Newton et de la décomposition des vecteurs. De plus, elle ou il analyse des applications du plan incliné.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.2 - 3 - 4 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11

Domaine : Dynamique

Attente : SPH4U-D-A.1

Contenus d'apprentissage : SPH4U-D-Comp.1 - 2
SPH4U-D-Acq.1

Notes de planification

- Se procurer des objets pour montrer diverses forces (p. ex., aimant, bille d'acier, peigne, confettis, dynamomètre, ressort à boudin).
- Se procurer plusieurs photos de diverses applications du plan incliné (p. ex., escalade de montagne, rampe pour fauteuil roulant, télésiège ou gondole, rampe de chargement d'un camion, descente d'un bobsleigh, métro, montagnes russes, glissades d'eau).
- Se procurer le matériel pour montrer la résultante de deux ou plusieurs vecteurs (p. ex., table de forces, ensemble de masses).
- Se procurer un film sur les vecteurs.
- Préparer des feuilles d'exercices portant sur les sujets suivants :
 - calcul et interprétation de la résultante de deux vecteurs ou plus (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 122-123);
 - calcul et interprétation des composantes orthogonales d'un vecteur (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 123);
 - plan incliné, décomposition orthogonale et calcul d'accélération sans force de frottement (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 143);
 - étude du mouvement d'objets dans un plan incliné en présence de force de frottement (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 170-171).
- Se procurer le matériel, pour chaque équipe, en vue de l'exploration du mouvement sur un plan incliné (p. ex., planche, balles, voiturette, chariot, chronomètre, rapporteur, ensemble de masses, capteurs photosensibles, tissus ou sable).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Illustrer concrètement des exemples de forces :
 - attraction gravitationnelle : attacher une masse à un dynamomètre;
 - magnétique : attirer une bille d'acier avec un aimant;
 - musculaire : soulever un livre;
 - électrostatique : frotter un peigne sur ses cheveux et l'approcher de petits morceaux de papier;
 - élastique : comprimer un ressort à boudin.
- Animer une séance de remue-méninges pour amener l'élève à citer d'autres exemples de forces (p. ex., sonore, électrique, frottement). **(ED)**
- Afficher des photos illustrant diverses applications du plan incliné et inviter l'élève à déterminer les forces utilisées dans chacune d'elles (p. ex., escalade de montagne, rampe pour fauteuil roulant, télésiège, rampe de chargement d'un camion, descente d'un bobsleigh, métro, montagnes russes, glissades d'eau).
- Animer une discussion sur les ressemblances mécaniques entre les différents dispositifs affichés (p. ex., mouvement uniformément accéléré, plan incliné, forces de frottement).

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Résultante de vecteurs

- Utiliser le matériel disponible pour montrer l'effet d'une force non équilibrée sur la direction et l'accélération du mouvement, et répéter la démonstration avec deux ou plusieurs forces pour introduire le concept de la résultante.
- Demander à l'élève de se rappeler l'unité du Système International (SI) utilisé pour mesurer une force et le symbole employé pour représenter un vecteur. **(ED)**
- Définir *grandeur*, *direction* et *sens d'un vecteur* et montrer, à l'aide de diagrammes, la façon de représenter la somme vectorielle de deux forces.
- Établir la correspondance entre «la résultante» et le vecteur «somme», et expliquer que les formules à utiliser pour calculer la résultante sont celles utilisées pour résoudre les triangles en trigonométrie.
- Demander à l'élève de se rappeler les formules trigonométriques pour résoudre un triangle, les écrire sur un carton et les afficher au haut du tableau en avant de la salle de classe. **(AM)**
- Résoudre, au tableau, quelques problèmes portant sur le calcul de la résultante de vecteurs.
- Distribuer un questionnaire sur le calcul de la résultante de vecteurs, circuler, vérifier les travaux de l'élève et répondre aux questions, au besoin (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 122-123). **(EF)**

Plan incliné : étude qualitative

- Faire le montage d'un plan incliné et inviter l'élève à énumérer les facteurs qui influencent le mouvement d'un objet sur un plan incliné (p. ex., Angle d'inclinaison et frottement : l'élève dira probablement que l'accélération est proportionnelle à la masse).

- Demander à l'élève d'énoncer une hypothèse quant à l'effet sur l'accélération, de la masse de l'objet, de l'angle d'inclinaison et du frottement.
- Demander à l'élève de suivre la procédure ci-dessous pour observer l'effet que la variation de la masse, l'angle d'inclinaison et le frottement ont sur l'accélération d'un chariot :
 - installer les portes du capteur photosensible sur le plan incliné et sélectionner la mesure de l'accélération; **(T)**
 - placer le chariot au haut du plan incliné et le laisser glisser entre les portes du capteur photosensible;
 - noter la mesure de l'accélération de l'indicateur numérique. Recommencer à quelques reprises et calculer la moyenne des résultats obtenus;
 - répéter les étapes précédentes pour observer l'effet de différentes masses ajoutées au chariot;
 - vider le chariot et répéter pour observer des valeurs différentes de l'angle d'inclinaison;
 - répéter encore en gardant la masse et l'angle d'inclinaison constants, mais en changeant le frottement (p. ex, modifier la surface du plan incliné en y étalant un morceau de tissu ou du sable).
- Demander à l'élève de présenter un rapport d'expérience complet qui inclut : but, hypothèses, matériel, méthode, tableau des résultats et conclusion.
- Corriger le rapport et donner une rétroaction à l'élève. **(EF)**

Étude quantitative sans force de frottement

- Présenter une vidéo sur la décomposition des vecteurs (p. ex., *Les vecteurs* de tfo).
- Dessiner un plan incliné au tableau et représenter le vecteur du poids d'un objet sur ce plan.
- Montrer et expliquer que le poids d'un objet sur un plan incliné peut être décomposé en deux vecteurs orthogonaux (l'un parallèle et l'autre perpendiculaire au plan incliné).
- Demander à l'élève de se rappeler de la deuxième loi de Newton ($\sum \vec{F} = m\vec{a}$). **(ED)**
- Dériver la formule de l'accélération en appliquant la deuxième loi de Newton et expliquer, en utilisant l'équation, l'effet de l'angle d'inclinaison et de la masse sur l'accélération (p. ex., insister sur le fait que l'accélération ne dépend pas de la masse) et les unités de mesure appropriées.
- Demander à l'élève de vérifier ses prédictions de l'effet de la masse et de l'angle d'inclinaison. Lui demander de justifier son raisonnement à l'aide de la formule (p. ex., la masse n'étant pas présente dans la formule, elle n'a donc aucun effet).
- Résoudre, au tableau, quelques problèmes portant sur le plan incliné, la décomposition orthogonale de vecteurs et le calcul d'accélération sans force de frottement et assigner un exercice à l'élève (p. ex., *Physique 1 mécanique*, ERPI, p. 143).
- Demander à l'élève de comparer ses réponses, d'en discuter avec un ou une partenaire et de poser des questions si elle ou il en a. **(O)**

Étude quantitative avec force de frottement

- Expliquer l'impossibilité d'un système mécanique sans frottement et demander à l'élève d'indiquer la direction et le sens de la force de frottement dans un plan incliné (parallèle au plan incliné et opposé au mouvement). **(ED)**
- Rappeler la définition de *frottement dynamique* et de *coefficient de frottement*.

- Esquisser un nouveau diagramme des forces qui inclut une force de frottement.
- Dériver la nouvelle formule de l'accélération et expliquer l'effet du frottement sur l'accélération.
- Résoudre, au tableau, des exercices et des problèmes concernant les diagrammes de forces, des forces de frottement et de l'accélération, en s'assurant d'utiliser les unités appropriées. Montrer que l'accélération est toujours indépendante de la masse.
- Assigner des exercices et des problèmes à résoudre. Circuler, vérifier les solutions de l'élève et fournir des explications supplémentaires, au besoin (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 170, 171). **(EF)**

Généralisation

- Demander à l'élève de dresser la liste de ce qu'elle ou il a appris et de la comparer avec ce qu'elle ou il pensait du plan incliné avant le cours. **(O)**

Évaluation sommative

- Voir **Évaluation sommative** à l'activité 1.3

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Inviter l'élève à étudier les variations de la masse, de l'angle d'inclinaison et de la valeur du coefficient de frottement sur un plan incliné au moyen d'une animation dans Internet (p. ex., sélectionner la capsule interactive *le plan incliné* au site www.presenceweb.qc.ca/physique.go/cours.html). **(T)**
- Inviter l'élève à lire un texte scientifique portant sur des applications du frottement telles que le frottement de roulement d'une bicyclette ou le frottement associé à la neige et à la glace (p. ex., *Physique 1 mécanique*, p. 166 à 168).
- Demander à l'élève de trouver des applications du plan incliné dans des machines ou des appareils d'usage courant et de les analyser (p. ex., remonte-pente, escalier roulant).
- Demander à l'élève d'expliquer la raison pour laquelle la loi canadienne impose une valeur maximale pour construire les pentes des routes et lui demander de faire une recherche pour trouver cette valeur.

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 1.2 (SPH4U)

Mouvement d'un projectile

Description

Durée : 300 minutes

Cette activité porte sur l'analyse quantitative du mouvement d'un projectile en fonction de ses composantes verticale et horizontale. L'élève examine le mouvement d'un projectile à l'aide d'une vidéo et d'un logiciel de simulation, et utilise un lance-projectile qu'elle ou il a construit pour étudier la portée en fonction de l'angle d'envoi et de la vitesse initiale.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 2 - 3 - 4 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11

Domaine : Dynamique

Attentes : SPH4U-D-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-D-Comp.1 - 3
SPH4U-D-Acq.2 - 3
SPH4U-D-Rap.1 - 2

Notes de planification

- Demander à l'élève, au préalable (p. ex., une semaine à l'avance), de construire un lance-projectile ayant les caractéristiques suivantes : vitesse initiale variable; angle de tir variable; portée maximale ne dépassant pas 1,50 m).
- Se procurer un appareil de Newton.
- Se procurer des accessoires pour faire l'analyse quantitative du mouvement d'un projectile (p. ex., ruban à mesurer, rapporteur, chronomètre, caméra vidéo, trépied, téléviseur ou capteurs appropriés de données).
- Se procurer un logiciel de simulation pour étudier le mouvement d'un projectile (p. ex., «Projectile» de *Physique animée*, complément de *Physique 1 Mécanique* de H. Benson).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Présenter et expliquer le problème du canonnier : «Ne connaissant que ses propres coordonnées géographiques et celles de son objectif, il doit ajuster son tir pour l'atteindre.» et demander à l'élève de relever le défi d'une version simplifiée du problème du canonnier à l'aide de son lance-projectile (p. ex., utiliser le lance-projectile pour atteindre un objectif placé à une distance donnée).

- Vérifier le respect des critères du lance-projectile de l'élève (variabilité de l'angle d'inclinaison et de la vitesse initiale), lui demander de monter son lance-projectile et d'effectuer la manoeuvre pour atteindre la cible.
- Diriger une discussion portant sur les résultats obtenus en introduisant la terminologie des projectiles telle que le mouvement vertical, le mouvement horizontal, la portée, le temps d'envol.
- Demander à l'élève de discuter des modifications qu'elle ou il apporterait à son lance-projectile avant d'effectuer le lancement si la cible était plus rapprochée ou plus éloignée. **(ED)**

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Portée d'un projectile

- Demander à l'élève d'utiliser son lance-projectile pour analyser l'effet de l'angle d'inclinaison sur la portée. Lui demander de compiler ses résultats dans un tableau, d'en faire une représentation graphique à l'aide de la calculatrice à capacité graphique et de les analyser pour déterminer l'angle d'inclinaison donnant une portée maximale.
- Circuler et vérifier la procédure, la technique et la précision de la saisie des données de l'élève et l'aider, au besoin (p. ex., pour faire une bonne mesure de la portée, s'assurer que le projectile et son point de chute sont dans le même plan horizontal). **(EF)**
- Dire à l'élève de conserver son rapport d'expérience pour en faire un usage ultérieur.

Mouvement d'un projectile

- Amener l'élève à se rendre compte de l'indépendance des composantes horizontale et verticale en suivant la procédure suivante :
 - installer, sur un mur, un grand panneau quadrillé de la hauteur d'une table jusqu'au sol;
 - installer un appareil de Newton sur la table devant le panneau et une caméra vidéo sur un trépied à une distance lui permettant de bien saisir toute la scène; **(T)**
 - demander à un ou à une autre élève d'utiliser l'appareil de Newton pour faire partir deux billes en même temps, l'une ayant une vitesse horizontale, l'autre en chute libre;
 - demander à un ou à une élève de filmer le mouvement des billes;
 - inviter d'autres élèves à chronométrer le temps d'envol de chacune des billes;
 - à la suite de l'expérience, présenter la vidéo du mouvement des billes au ralenti; faire remarquer à l'élève que les deux billes sont toujours à la même hauteur et qu'elles touchent le sol en même temps.
- Demander à un ou à une élève volontaire de résumer le principe de l'indépendance des composantes verticale et horizontale de la trajectoire d'un projectile. S'assurer de l'usage de la terminologie appropriée. **(EF)**
- Demander à l'élève de justifier l'absence ou la présence de l'accélération et sa direction, le cas échéant, pour chacun des mouvements suivants : uniforme; uniformément accéléré; en chute libre; au repos; lancé verticalement vers le haut; projeté à un angle. Corriger au fur et à mesure. **(EF)**
- Représenter, au tableau, la trajectoire parabolique dans un repère cartésien avec h (hauteur mesurée en mètres) sur l'axe des ordonnées et t (temps mesuré en secondes) sur l'axe des abscisses.
- Expliquer à l'élève qu'on décompose toujours le mouvement selon ces composantes horizontale et verticale pour résoudre des problèmes portant sur les projectiles.
- Séparer le tableau en deux grandes parties tel qu'il est montré ci-dessous.

Mouvement vertical	Mouvement horizontal
--------------------	----------------------

- Faire remarquer à l'élève que les vitesses initiales verticale et horizontale sont différentes, que la vitesse verticale n'est pas constante contrairement à la vitesse horizontale, que la hauteur et la portée sont aussi différentes et que le temps est l'unique paramètre identique aux deux mouvements.
- Analyser le mouvement vertical au tableau :
 - mentionner que l'accélération est toujours dirigée vers le bas, vaut $9,8 \text{ m/s}^2$ et que le mouvement vertical est uniformément accéléré;
 - illustrer la composante verticale du vecteur vitesse initiale à l'aide de la décomposition de vecteurs et la calculer à l'aide de la trigonométrie.
- Demander à l'élève d'analyser la composante horizontale du mouvement du projectile. **(EF)**
- Définir *portée horizontale* et *hauteur maximale* d'un projectile.
- Faire des exercices en utilisant le tableau 1.2a et en effectuant les calculs se rapportant à chaque composante dans la colonne appropriée (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 178-179).

Tableau 1.2a : Analyse du mouvement d'un projectile

Mouvement vertical (Mouvement uniformément accéléré)	Mouvement horizontal (Mouvement uniforme)
$t =$	$t =$
$\vec{v}_i =$	$\vec{v}_i = \vec{v}_f =$
$\vec{v}_f =$	
$\vec{a} = -9,8 \text{ m/s}^2$	$d =$
$h =$	calculs
calculs	

- Assigner des problèmes, à résoudre en salle de classe, sur le calcul de la portée, de la hauteur et de la vitesse (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 108-109) et vérifier la qualité des travaux en observant particulièrement la division en mouvements horizontal et vertical. **(EF)**

Étude quantitative de la portée

- Demander à l'élève :
 - de trouver, dans un livre de physique, la formule pour calculer la portée horizontale et la hauteur maximale en fonction de l'angle de tir et de la vitesse initiale;
 - de calculer l'angle pour lequel la portée est maximale au moyen de la formule trouvée;
 - de comparer ses calculs théoriques à son résultat empirique obtenu avec son lance-projectile et de déterminer les sources d'erreurs et d'incertitudes;

- d'inclure ses calculs à son rapport d'expérience portant sur la portée d'un projectile en fonction de l'angle de tir et de le remettre pour le faire corriger. **(EF)**
- Inviter l'élève à prédire l'angle pour lequel la portée est maximale dans le cas où la position de tir est plus élevée que le point d'atterrissage et lorsque la résistance de l'air n'est pas nulle.
- Demander à l'élève d'utiliser un logiciel de simulation pour vérifier ses prédictions (p. ex., «Projectile» de *Physique animée*, complément de *Physique 1 Mécanique* de H. Benson). **(T)**

Généralisation

- Demander à l'élève de résumer les étapes à suivre pour résoudre des problèmes sur les projectiles et de préparer une liste de questions d'éclaircissement. **(O)**
- Animer un remue-méninges pour amener l'élève à citer des exemples d'emplois ou de loisirs où une connaissance de la trajectoire des projectiles s'avère importante (p. ex., obus d'artillerie et engins balistiques, lancer du poids ou du javelot, saut à ski, tir à l'arc, jeux de fer et de dards, golf). **(PE)**
- Demander à l'élève de choisir un des sujets proposés dans le remue-méninges et d'en faire, en devoir, une analyse basée sur les principes de la dynamique. Commenter l'analyse de l'élève. **(EF)**

Évaluation sommative

- Voir **Évaluation sommative** à l'activité 1.3

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Demander à l'élève d'étudier le temps d'envol en fonction de la vitesse initiale et de l'angle de tir à l'aide de son lance-projectile.
- Suggérer à l'élève de calibrer son lance-projectile pour marquer le plus précisément possible une mesure de la vitesse initiale du projectile.
- Demander à l'élève d'analyser la technique des athlètes du saut en longueur, du lancer du poids, du disque ou du javelot et de la comparer à la théorie des projectiles pour obtenir une portée maximale. **(AM)**
- Inviter un policier ou une policière à faire une présentation sur l'utilisation des lois de la dynamique dans les enquêtes criminelles. **(PE)**

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 1.3 (SPH4U)

Mouvement circulaire uniforme

Description

Durée : 300 minutes

Cette activité porte sur l'étude quantitative du mouvement circulaire uniforme dans des plans vertical et horizontal à l'aide des lois de Newton. L'élève analyse en laboratoire la relation entre la force centripète et la masse de l'objet, le rayon, la période et la vitesse de rotation. De plus, elle ou il examine le fonctionnement de dispositifs appliquant le mouvement circulaire uniforme.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 2 - 3 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12

Domaine : Dynamique

Attentes : SPH4U-D-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-D-Comp. 1 - 4
SPH4U-D-Acq.1 - 2 - 4
SPH4U-D-Rap.1 - 2

Notes de planification

- Se procurer un tourne-disque, une bille et un lasso pour faire les démonstrations de la mise en situation (s'exercer à faire tourner le lasso à la manière d'un cowboy ou d'une cowgirl de façon que la boucle demeure parallèle au sol).
- Se procurer un à deux mètres de ficelle, une balle de aki, une bille et une grande assiette ronde en aluminium avec un rebord pour faire la démonstration de la force centripète.
- Préparer, sur des transparents, les diagrammes vectoriels montrant les vecteurs force, vitesse et accélération centripète (p. ex., sélectionner **accélération centripète** dans la section **Mécanique** du site www.presenceweb.qc.ca/physique.go/cours.html).
- Préparer des exercices sur la cinématique du mouvement circulaire uniforme (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 110) et sa dynamique (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 173 à 175).
- Préparer un protocole d'expérience portant sur la vérification de la formule de la force centripète (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 192).
- Se procurer un pot, une corde, une bougie et des allumettes pour montrer l'effet de la force centrifuge.
- Se procurer un logiciel de simulation du mouvement circulaire uniforme ou de son application (p. ex., «Montagnes russes» de *Physique animée*, complément de *Physique 1 Mécanique* de H. Benson).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Tenir un lasso vers le bas et le faire tourner, à la manière d'un cowboy ou d'une cowgirl, de façon que la boucle demeure parallèle au sol. Inviter l'élève à expliquer ses observations, mais ne pas lui donner la réponse. **(ED)**
- Placer une bille sur un tourne-disque et faire varier la vitesse de rotation. Demander à l'élève d'expliquer le comportement du lasso en partant de ses observations de la bille. (Lorsqu'on tourne la corde, chaque section de celle-ci agit comme la bille et a tendance à se déplacer tangentiellement à la direction, mais la force centripète la retient. Quand le lasso tourne rapidement, cette force est suffisamment grande pour compenser l'effet de la gravité sur lui.)
- Expliquer à l'élève qu'au cours de cette activité elle ou il étudiera les facteurs influençant la force centripète.

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Terminologie du mouvement circulaire

- Expliquer que le mouvement de rotation est périodique.
- Dessiner un cercle au tableau et demander à l'élève d'utiliser la terminologie appropriée pour définir les concepts suivants : mouvement périodique; période de rotation et unité; fréquence d'un mouvement périodique et unité; relation mathématique entre période et fréquence.
- Corriger, au besoin, et écrire les définitions au tableau. **(ED)**
- Définir *vitesse de rotation* et amener l'élève à dériver une relation mathématique concernant la vitesse de rotation d'un objet, la circonférence parcourue par celui-ci, la période de rotation et la fréquence du mouvement périodique ($v = d/t = \text{circonférence}/\text{période} = 2\pi R/T = 2\pi Rf$).

Cinématique du mouvement circulaire

- D'un endroit sûr, comme une cour d'école, faire tourner au-dessus de sa tête, une balle de aki, attachée à une ficelle, et faire remarquer à l'élève que, même si la balle possède une vitesse uniforme, le mouvement est uniformément accéléré parce qu'elle change de direction.
- Demander à l'élève de prédire l'origine et la direction de la force qui maintient la balle sur sa trajectoire circulaire (la force de traction exercée par la ficelle est dirigée vers le centre).
- Lâcher la ficelle à trois reprises et demander à l'élève d'observer la direction de la fuite. Lui demander de déduire la direction du vecteur vitesse de la balle par rapport à sa trajectoire circulaire (le vecteur vitesse est tangent à la trajectoire).
- Présenter et expliquer, à l'aide de diagrammes vectoriels préparés à cet effet, les éléments suivants : le vecteur vitesse de rotation; l'accélération centripète; la raison pour laquelle l'accélération centripète est appelée ainsi; la façon de dériver l'expression $a_c = v^2/R$ mathématiquement; les unités de mesure de l'accélération centripète (p. ex., sélectionner

accélération centripète dans la section **Mécanique** du site www.presenceweb.qc.ca/physique/go/cours.html).

- Demander à l'élève de dériver deux autres expressions de a_c ; la première en fonction de la période T et du rayon R ; la deuxième en fonction de la fréquence f et du rayon R . Circuler et aider l'élève dans sa démarche. **(EF)**
- Demander à l'élève de justifier à plusieurs reprises que le mouvement circulaire uniforme est un mouvement accéléré (l'élève a de la difficulté à comprendre cette notion).
- Résoudre, au tableau, des problèmes sur la cinématique de l'accélération centripète et assigner une série d'exercices à l'élève (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 110). Corriger. **(EF)**
- Animer un remue-ménages pour amener l'élève à fournir et à expliquer des exemples de dispositifs technologiques qui appliquent le mouvement circulaire uniforme (p. ex., centrifugeuse, système d'essorage des machines à laver).

Dynamique du mouvement circulaire

- Faire tourner une bille dans une grande assiette ronde avec un rebord et demander à l'élève de prédire l'origine et la direction de la force qui maintient la bille sur sa trajectoire circulaire. Inviter l'élève à comparer cet exemple à celui de la balle de ski tournant au bout d'une corde.
- Demander à l'élève de citer d'autres exemples d'objets en mouvement circulaire uniforme et de donner, pour chacun d'eux, l'origine et la direction de la force (p. ex., la force de gravité dirigée vers le centre de la Terre maintient un satellite sur sa trajectoire circulaire autour de la Terre, la force de frottement des pneus d'une voiture lui permet d'effectuer un virage).
- Montrer, à l'aide de diagrammes de forces, la raison pour laquelle le mouvement circulaire sur un plan incliné augmente la force centripète (p. ex., le bord extérieur des virages d'un vélodrome est surélevé ajoutant ainsi la composante du poids des cyclistes vers le centre le long du plan incliné augmentant la force centripète).
- Définir *force centripète* (force proportionnelle à l'accélération centripète dirigée vers le centre du cercle).
- Demander à l'élève d'effectuer une expérience pour analyser, en laboratoire, la relation entre la force centripète et la masse de l'objet, la période et la vitesse de rotation, et de présenter ses résultats sous la forme d'un graphique (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 192).
- Dériver l'expression mathématique de la force centripète en partant de la deuxième loi de Newton ($\vec{F} = m\vec{a}_c = m\frac{v^2}{R}$).
- Résoudre, au tableau, des problèmes sur la dynamique du mouvement circulaire et assigner une série d'exercices à l'élève (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 173 à 175). Corriger au tableau. **(EF)**

Mouvement circulaire dans un plan vertical

- Demander à l'élève de faire l'exploration du mouvement circulaire uniforme dans un plan vertical, à l'aide d'un logiciel de simulation (p. ex., «Montagnes russes» de *Physique animée*, complément de *Physique 1 Mécanique* de H. Benson). **(T)**
- Demander à l'élève :
 - de tracer un diagramme de forces qui inclut le poids de l'objet en mouvement, la tension dans la corde et la force centripète des différentes positions de l'objet;

- d'analyser les diagrammes de forces pour déterminer la position de l'objet où la grandeur de la force résultante est la plus petite (au point le plus haut) et la plus grande (au point le plus bas).
- À la suite de l'exploration, animer une discussion pour faire part des observations et amener l'élève à expliquer les sensations ressenties dans une grande roue ou un autre manège à mouvement circulaire dans un plan vertical.
- Regrouper les élèves en équipes de deux et leur demander de comparer leurs notes de cours sur le mouvement circulaire uniforme, de désigner les concepts les moins bien compris et de demander des éclaircissements. **(O)**

Évaluation sommative

- Présenter la grille d'évaluation adaptée pour faire une épreuve papier-crayon portant sur le plan incliné, les projectiles et le mouvement circulaire uniforme.
- Évaluer les connaissances acquises au sujet de la décomposition orthogonale de vecteurs, du calcul d'accélération sur un plan incliné avec et sans frottement, de l'analyse quantitative du mouvement des projectiles et du mouvement circulaire dans les plans horizontal et vertical en fonction des éléments vus dans les situations d'exploration SPH4U 1.1, 1.2 et 1.3.
- Utiliser une grille d'évaluation adaptée basée sur des critères précis en fonction des quatre compétences :
 - Connaissance et compréhension
 - démontrer une compréhension des concepts et des unités de la dynamique, dans un plan incliné, du mouvement des projectiles et du mouvement circulaire uniforme;
 - démontrer une connaissance de l'origine et de la direction de la force agissant sur un objet en mouvement circulaire.
 - Recherche
 - résoudre des problèmes portant sur le mouvement d'objets sur un plan incliné et le mouvement des projectiles ou mouvement circulaire uniforme;
 - déduire le mouvement d'un objet à l'aide d'un diagramme de forces ou de vitesses.
 - Communication
 - utiliser la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI de la dynamique.
 - Rapprochement
 - démontrer une compréhension des rapprochements entre des dispositifs technologiques ou scientifiques et le mouvement d'objets sur un plan incliné, les projectiles et le mouvement circulaire uniforme.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Demander à l'élève de choisir un dispositif technologique appliquant le mouvement circulaire uniforme, d'analyser son fonctionnement et d'examiner son impact sur la qualité de la vie, de l'économie ou de l'environnement.
- Animer une discussion sur les professions où la connaissance des principes du mouvement circulaire est essentielle (p. ex., ingénieur civil, ingénieur aéronautique, ingénieur mécanique). **(PE)**

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 1.4 (SPH4U)

Référentiel inertiel et non inertiel

Description

Durée : 180 minutes

Cette activité porte sur les concepts de référentiel inertiel et non inertiel. L'élève calcule la vitesse et l'accélération relatives dans une variété de situations, distingue les référentiels inertiels et non inertiels, et compare les trajectoires d'objets dans divers référentiels à l'aide de démonstrations et d'un logiciel de simulation.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.6 - 7 - 8 - 9

Domaine : Dynamique

Attentes : SPH4U-D-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-D-Comp.1 - 5
SPH4U-D-Acq.1 - 2
SPH4U-D-Rap.2

Notes de planification

- Se procurer une chaise sur roulettes et une balle de tennis pour faire la mise en situation.
- Préparer des problèmes sur le calcul de vitesse et d'accélération relatives dans diverses situations (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique*, p. 123; *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 111).
- Télécharger un logiciel de simulation pour illustrer la trajectoire de mouvement d'objets dans divers référentiels (p. ex., *Mouvements et référentiels* au site perso.infonie.fr/jf_noblet/phy.htm).
- Préparer des questions de discussion sur les référentiels (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 195-196).
- Préparer un travail, à faire en devoir, portant sur la distinction des référentiels, le calcul de vitesse et d'accélération relatives (p. ex., *Physique mécanique, théorie - exemples - exercices*, p. 290 à 292).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Faire asseoir un ou une élève volontaire sur une chaise sur roulettes et faire pousser la chaise à vitesse constante par un ou une autre élève. Demander à l'élève sur la chaise de lancer une balle de tennis verticalement vers le haut et de la rattraper.
- Demander à chaque élève, y compris l'élève qui pousse la chaise et celle ou celui assis sur la chaise, de décrire, sur papier et sans se consulter, la trajectoire observée de la balle (l'élève sur la chaise voit une trajectoire verticale droite, les autres qui ne bougent pas voient une parabole).
- Animer une discussion pour expliquer les différentes observations et expliquer à l'élève que cette unité porte sur les différents systèmes de référence. **(ED)**

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Vitesse relative dans des référentiels inertiels

- Définir *référentiel* et citer quelques exemples courants (p. ex., la Terre, lorsqu'on observe le mouvement de la Lune; le trottoir, pour décrire le mouvement d'une automobile).
- Demander à l'élève l'effet de chacune des trois actions ci-dessous sur la vitesse d'une personne se déplaçant sur un escalier mécanique telle qu'elle est vue par un observateur ou une observatrice immobile : **(EF)**
 - la personne se tient immobile sur l'escalier;
 - la personne se déplace dans le même sens que l'escalier;
 - la personne se déplace dans le sens opposé à l'escalier et au même rythme que celui-ci.
- Établir, à l'aide des réponses de l'élève, que : Le vecteur vitesse de la personne par rapport à l'observateur ou à l'observatrice est égal au vecteur vitesse de la personne par rapport à l'escalier plus le vecteur vitesse de l'escalier par rapport à l'observateur ou à l'observatrice. Faire remarquer que cette relation entre les vitesses s'applique seulement dans les référentiels inertiels.
- Faire, au tableau, des exercices sur le calcul de la vitesse relative dans une variété de situations et assigner des exercices à l'élève. Circuler, vérifier les travaux et répondre aux questions, au besoin (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique*, p. 123; *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 111). **(EF)**

Référentiel non inertiels

- Demander à l'élève de rappeler la loi d'inertie de Newton (un corps soumis à une force résultante nulle va soit rester au repos, soit se déplacer à une vitesse constante). **(ED)**
- Placer une balle de tennis sur une chaise sur roulettes immobilisée. Demander à l'élève de prédire le mouvement de la balle si on pousse la chaise. Accélérer la chaise en la poussant brusquement et faire observer à l'élève que la balle n'a été assujettie à aucune force, mais a bougé dans le sens opposé à l'accélération de la chaise.
- Inviter l'élève à expliquer ses observations et lui faire comprendre que la loi de l'inertie ne s'applique pas dans ce cas et dans tous les cas où le référentiel (la chaise) est en mouvement accéléré.
- Expliquer, à l'aide d'un diagramme de forces, la cause du mouvement de la balle. (p. ex., Un observateur ou une observatrice, lié à la chaise, voit la balle de masse m s'éloigner de

lui ou d'elle avec une accélération égale, mais opposée à celle de la chaise. Pour expliquer le mouvement de la balle, on doit imaginer une force $\vec{F} = -m\vec{a}$.)

- Définir *référentiel inertiel* (système dans lequel la loi d'inertie s'applique) et *référentiel non inertiel* (référentiel accéléré dans lequel les lois de Newton ne s'appliquent pas).
- Demander à l'élève d'utiliser un logiciel de simulation pour visualiser les trajectoires du mouvement d'un objet dans divers référentiels (p. ex., *Mouvements et référentiels* au site perso.infonie.fr/jf_noblet/phy.htm). **(T)**
- Assigner à l'élève des questions de discussion sur les référentiels à débattre en équipes (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 195-196). Animer une mise en commun des résultats de l'exercice. **(EF)**
- Demander à l'élève d'enquêter sur les applications des forces fictives dans des manèges de parc attractions et d'expliquer leur rôle ou d'enquêter sur les dispositifs qui atténuent l'effet des forces fictives sur les passagers à bord d'un véhicule engagé dans une courbe tel qu'une voiture, un train ou un avion à vitesse constante sur la trajectoire circulaire. Commenter le travail de l'élève. **(AM) (EF)**
- Assigner à l'élève un travail, à faire en devoir, sur la distinction des référentiels, le calcul de vitesse et d'accélération relatives (p. ex., *Physique mécanique, théorie - exemples - exercices*, p. 290 à 292).
- Inviter l'élève à faire un tableau comparatif des propriétés et des caractéristiques des référentiels inertiel et non inertiel. **(O)**

Évaluation sommative

- Voir **Évaluation sommative** à l'activité 1.5

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Inviter l'élève à lire un texte scientifique portant sur les référentiels non inertiels (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 161 à 165).
- Suggérer à l'élève de se renseigner sur le pendule de Foucault et son inventeur (p. ex., www.cnam.fr/museum/foucault).
- Demander à l'élève de concevoir et de réaliser un accéléromètre basé sur les caractéristiques du référentiel non inertiel.

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 1.5 (SPH4U)

Gravitation universelle

Description

Durée : 300 minutes

Cette activité porte sur la loi de la gravitation universelle de Newton. L'élève examine les modèles du système planétaire, les lois de Kepler et utilise la loi de la gravitation universelle pour expliquer le mouvement des planètes et des satellites. De plus, elle ou il examine des situations scientifiques dont l'explication repose sur cette loi.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.4 - 5 - 11 - 12

Domaine : Dynamique

Attentes : SPH4U-D-A.1 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-D-Comp.6
SPH4U-D-Rap.2

Notes de planification

- Se procurer une vidéo sur l'effet des marées (p. ex., *La grande marée, Parfum de la nature* ou *Terrine de monstre* de la série «Culture-choc» ou *L'océanographie* de la série «Omni Science» de tfo).
- Préparer un tableau, tel que le tableau 1.5a, des valeurs moyennes du rayon de l'orbite et de la période de chacune des planètes du système solaire et de la Lune autour de la Terre (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 271) :
 - valeur moyenne du rayon de l'orbite de la Lune autour de la Terre : $3,8 \times 10^8$ m;
 - période de révolution de la Lune autour de la Terre : $2,36 \times 10^6$ s.

Tableau 1.5a : Orbite des planètes du Système solaire

Planète	Rayon, R [m]	Période, T [s]	R^3 [m ³]	T^2 [s ²]	R^3 / T^2 [m ³ /s ²]
Pluton	$5,9 \times 10^{12}$	$7,8 \times 10^9$			
...					

- Préparer un résumé des trois lois de Kepler (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 385-386).

- Préparer des exercices sur la constante de Kepler, le rayon et la période de l'orbite des planètes (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 272).
- Préparer une feuille de démonstration de la formule : $F_C = 4\pi^2 K_s \frac{m}{R^2}$ (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 277).
- Préparer des problèmes sur la loi de l'attraction universelle et de la trajectoire de satellites (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 281 et 284).
- Préparer des problèmes sur les orbites des planètes et des satellites (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 175 et 397).
- Préparer une liste de sites Internet pour aider l'élève à enquêter sur l'impact de la loi de la gravitation universelle.

Sites Internet portant sur la loi de la gravitation universelle de Newton

www.elf.fr/odyssee/fr/genese/grav/

www.sfrs.fr/e-doc/forces/gravitation.htm

www.inrp.fr/lamap/scientifique/astronomie/essentiel/gravitation.htm

www.inrp.fr/lamap/scientifique/astronomie/savoir/maree.htm

www.astrosurf.com/skylink/doc_astro/generale/gravitation_maree/gravitation.htm

www.astrosurf.com/skylink/doc_astro/generale/gravitation_maree/marees.html

fr.encyclopedia.yahoo.com/articles/kh/kh_1538_p0.html

Site Internet portant sur l'histoire de la gravitation

wwwusers.imaginet.fr/~joebarbe/gravitation.html

Site Internet portant sur la planète Neptune

www.chez.com/cyberspace/

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Demander à l'élève de tracer un schéma représentant les marées. Animer une mise en commun d'idées en invitant l'élève à tracer son schéma au tableau. **(ED)**
- Présenter une vidéo sur l'effet des marées (p. ex., *La grande marée, Parfum de la nature* ou *Terrine de monstre* de la série «Culture-choc» ou *L'océanographie* de la série «Omni Science» de tfo).
- Demander à l'élève de fournir une définition des marées, des marées hautes et des marées basses. (Elles sont provoquées par les attractions du Soleil et surtout par celles de la Lune sur la Terre, cette attraction étant plus marquée sur l'eau des océans parce qu'elle est libre de bouger.) **(ED)**
- Animer une discussion sur les conséquences de ce phénomène sur l'environnement. **(AM)**

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Système planétaire

- Regrouper les élèves en équipes et demander à chacune de faire une recherche et de préparer une affiche sur un des modèles du système planétaire (p. ex., modèle géocentrique conçu par les philosophes grecs, système de 54 sphères concentriques des aristotéliens, modèle héliocentrique proposé par Copernic et élaboré par Tycho Brahé et Kepler).
- Demander à l'élève d'inclure, dans son affiche, les éléments suivants : titre et schéma du modèle; phénomènes expliqués par le modèle; noms des personnes qui y ont contribué et époque de publication; technologies qui ont aidé à l'élaborer; technologies qui en sont dérivées; impact sur la société (p. ex., église catholique et modèle de Copernic).
- Vérifier le travail de chaque équipe pour s'assurer de la qualité de l'information et du français. **(EF)**
- Reproduire le tableau 1.5b au tableau.

Tableau 1.5b : Modèles du système planétaire

Époque	Titre	Croquis	Concepteur/s ou conceptrice/s	Théorie	Note explicative

- Demander à chaque équipe de présenter son modèle en suivant un ordre chronologique.
- Demander à l'élève de remplir le tableau 1.5b à l'aide des affiches produites par les différentes équipes.
- Animer une discussion pour faire ressortir les ressemblances et les différences des modèles.
- Présenter et expliquer les caractéristiques fondamentales du système planétaire couramment reconnu (p. ex., système héliocentrique, rayon et période de l'orbite du mouvement des planètes).

Constante de Kepler

- Fournir à l'élève un tableau tel que le tableau 1.5a que l'on retrouve dans les notes de planification.
- Demander à l'élève de calculer les valeurs R^3 , T^2 et R^3 / T^2 et d'écrire un énoncé, en phrase complète, pour exprimer le résultat des calculs compilés à la colonne R^3 / T^2 .
- Définir la constante de Kepler à l'aide des résultats obtenus et faire remarquer à l'élève que la valeur de la constante calculée est valide pour des astres en orbite autour du Soleil seulement. Établir la convention suivante : K_s = constante de Kepler relative au Soleil; K_T = constante de Kepler relative à la Terre.
- Demander à l'élève de calculer la constante K_T en lui rappelant que la Lune est un satellite de la Terre.
- Résumer les trois lois de Kepler (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 385 et 386).
- Faire, au tableau, des exercices sur les constantes de Kepler, le calcul de rayon et de la période d'orbites de satellites (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 272).

Loi de l'attraction universelle

- Montrer que la force centripète appliquée sur une planète (masse m) en mouvement circulaire autour du Soleil est directement proportionnelle à sa masse et inversement proportionnelle au carré de sa distance $F_C = 4\pi^2 K_S \frac{m}{R^2}$ (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 277).
- Faire remarquer que cette expression reste valide pour un satellite de masse m en orbite circulaire autour de la Terre; dans ce cas, il faut remplacer K_S par K_T : $F_C = 4\pi^2 K_T \frac{m}{R^2}$.
- Reproduire le tableau 1.5c au tableau et demander à l'élève de calculer le rapport $4\pi^2 K / m$ en utilisant les valeurs K_s et K_t pour désigner le Soleil et la Terre respectivement.

Tableau 1.5c : Constante de la gravitation universelle

	m [kg]	K [m ³ /s ²]	$\frac{4\pi^2 K}{m}$ [m ³ /kgGs ²]
Soleil	1,98 x 10 ³⁰		
Terre	5,98 x 10 ²⁴		

- Définir la constante de gravitation, $G = 4\pi^2 K_s / m_s = 4\pi^2 K_t / m_t$, à l'aide des résultats des calculs et faire remarquer que la valeur de la constante G est valide pour tous les corps célestes, d'où son nom : *constante de gravitation universelle*.
- Dériver la formule de la loi de la gravitation universelle, $F = G \frac{m_s m_T}{d^2}$, en partant de l'expression de la force centripète calculée précédemment, $F_C = 4\pi^2 K \frac{m}{R^2}$, de l'expression de la constante de gravitation, $G = 4\pi^2 K / m$ (ou $4\pi^2 K = Gm$) et du remplacement de R par d , distance des objets.
- Présenter et expliquer les unités SI appropriées.
- Résoudre, au tableau, des problèmes sur la loi de l'attraction universelle et de la trajectoire de satellites (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 281 et 284).
- Assigner à l'élève des problèmes à résoudre sur les orbites des planètes et des satellites, et lui mentionner d'utiliser le nombre approprié de chiffres significatifs (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, p. 175 et 397). Circuler et répondre aux questions de l'élève. **(EF)**

Impact de la loi de la gravitation universelle

- Demander à l'élève de faire une recherche portant sur l'impact de la loi de la gravitation universelle sur la société, au temps de Newton et à notre époque.
- Expliquer à l'élève les trois parties de la recherche :
Première partie
 - Rédaction d'un texte de 400 mots, y compris une bibliographie, pour établir le rapport entre la loi de la gravitation universelle et deux des sujets parmi les suivants :
 - phénomène des marées;
 - découverte de la comète de Halley;
 - découverte de Neptune;

- appareil de Cavendish.

Deuxième partie

- Étude de deux professions exigeant une connaissance de la loi de la gravitation universelle et explication de son intégration dans l'exercice de chacune de ces professions. **(PE)**

Troisième partie

- Tenue d'un journal de bord décrivant les tâches accomplies, les problèmes rencontrés ainsi que les solutions adoptées pour surmonter ces difficultés.
- Fournir à l'élève une liste de sites Internet pour l'aider dans sa recherche (voir **Notes de planification**).
- Fournir à l'élève quelques pistes de réflexion pour l'aider dans le processus d'objectivation. **(O)**
 - Quel problème est survenu lors de la période de travail? Qu'as-tu fait pour régler ce problème?
 - Dorénavant, que pourrais-tu faire pour prévenir ce problème?
 - Es-tu satisfait ou satisfaite de la progression de ton travail?
 - Es-tu satisfait ou satisfaite de la qualité de ton travail? Si non, que pourrais-tu faire pour l'améliorer?
 - Quelles sont les difficultés personnelles que tu as rencontrées durant tout ce projet?
- Demander à l'élève de remettre son rapport d'enquête et son journal de bord. Commenter le travail de l'élève. **(EF)**

Évaluation sommative

- Présenter et expliquer la grille d'évaluation adaptée pour faire une épreuve sur la loi de la gravitation universelle et les référentiels.
- Évaluer les connaissances acquises sur les référentiels inertiels et non inertiels, les lois de Kepler, la loi de la gravitation universelle, à l'aide d'une épreuve papier-crayon fondée sur les éléments vus dans les situations d'exploration SPH4U 1.4 et 1.5.
- Utiliser une grille d'évaluation adaptée en partant de critères précis en fonction des quatre compétences :
 - Connaissance et compréhension
 - démontrer une compréhension des référentiels, des lois de Kepler et de la loi de la gravitation universelle;
 - démontrer une connaissance des modèles de systèmes planétaires et de l'universalité de la constante de gravitation;
 - démontrer une compréhension des rapports entre la loi de la gravitation universelle et de la trajectoire des planètes ou des satellites.
 - Recherche
 - déterminer la vitesse et l'accélération relatives dans divers systèmes de référence;
 - prédire la trajectoire d'un satellite en fonction de sa période de rotation;
 - résoudre des problèmes concernant la loi de la gravitation universelle.
 - Communication
 - utiliser la terminologie, les symboles, les conventions et les unités SI se rapportant aux systèmes de référence, aux lois de Kepler et à la loi de la gravitation universelle.
 - Rapprochement

- démontrer une compréhension des rapprochements entre la loi de la gravitation universelle, la science de l'univers, la technologie des satellites et certains phénomènes naturels.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Suggérer à l'élève de préparer une leçon sur le système solaire visant un groupe-classe de sixième année dans le domaine *Systèmes de la Terre et de l'espace* du nouveau curriculum. **(AC)**
- Revoir la définition mathématique d'une ellipse et montrer à l'élève la façon d'en construire une à l'aide d'une ficelle et de deux attaches. **(AM)**
- Demander à l'élève de prédire le poids d'un objet mesuré à l'aide d'un dynamomètre lorsque les deux sont en chute libre. Effectuer la démonstration et introduire le sujet de la microgravité.
- Inviter l'élève à examiner les effets de la microgravité sur les astronautes.
- Suggérer à l'élève de rechercher la façon de mesurer la masse du Soleil à l'aide de la vitesse de ses satellites en orbite.
- Suggérer à l'élève de lire un texte de vulgarisation scientifique portant sur la théorie de la gravité d'Einstein.
- Suggérer à l'élève de lire *Patience dans l'azur : l'évolution cosmique* d'Hubert Reeves. **(AC)**

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

Annexe SPH4U 1.5.1 : Grille d'évaluation adaptée - Référentiels et gravitation universelle

Grille d'évaluation adaptée - Référentiels et gravitation universelle Annexe SPH4U 1.5.1

<i>Type d'évaluation : diagnostique 9 formative 9 sommative :</i>				
<i>Compétences et critères</i>	<i>50 - 59% Niveau 1</i>	<i>60 - 69% Niveau 2</i>	<i>70 - 79% Niveau 3</i>	<i>80 - 100% Niveau 4</i>
<i>Connaissance et compréhension</i>				
L'élève : - démontre une compréhension des référentiels, des lois de Kepler et de la loi de la gravitation universelle. - démontre une connaissance des modèles de systèmes planétaires et de l'universalité de la constante de gravitation. - démontre une compréhension des rapports entre la loi de la gravitation universelle et de la trajectoire des planètes ou des satellites.	L'élève démontre une connaissance limitée des faits et des termes, et une compréhension limitée des concepts, des principes des lois, des théories et des rapports entre les concepts.	L'élève démontre une connaissance partielle des faits et des termes, et une compréhension partielle des concepts, des principes des lois, des théories et des rapports entre les concepts.	L'élève démontre une connaissance générale des faits et des termes, et une compréhension générale des concepts, des principes des lois, des théories et des rapports entre les concepts.	L'élève démontre une connaissance approfondie des faits et des termes, et une compréhension approfondie des concepts, des principes des lois, des théories et des rapports entre les concepts.
<i>Recherche</i>				
L'élève : - détermine la vitesse et l'accélération relatives dans divers systèmes de référence. - prédit la trajectoire d'un satellite en fonction de sa période de rotation. - résout des problèmes concernant la loi de la gravitation universelle.	L'élève applique un nombre limité des habiletés et des stratégies requises propres à la recherche scientifique.	L'élève applique certaines des habiletés et des stratégies requises propres à la recherche scientifique.	L'élève applique la plupart des habiletés et des stratégies requises propres à la recherche scientifique.	L'élève applique toutes ou presque toutes les habiletés et les stratégies requises propres à la recherche scientifique.

Communication				
L'élève : - utilise la terminologie, les symboles, les conventions et les unités SI se rapportant aux systèmes de référence, aux lois de Kepler et à la loi de la gravitation universelle.	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI avec peu d'exactitude et une efficacité limitée.	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI avec une certaine exactitude une efficacité.	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI avec une grande exactitude et efficacité.	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI avec une très grande exactitude et efficacité.
Rapprochement				
L'élève : - démontre une compréhension des rapprochements entre la loi de la gravitation universelle, la science de l'univers, la technologie des satellites et certains phénomènes naturels.	L'élève démontre une compréhension limitée des rapprochements dans des contextes familiers.	L'élève démontre une certaine compréhension des rapprochements dans des contextes familiers.	L'élève démontre une compréhension générale des rapprochements dans des contextes familiers et dans certains contextes peu familiers.	L'élève démontre une compréhension approfondie des rapprochements dans des contextes familiers et peu familiers.
Remarque : L'élève dont le rendement est en deçà du niveau 1 (moins de 50 %) n'a pas satisfait aux attentes pour cette tâche.				

APERÇU GLOBAL DE L'UNITÉ 2 (SPH4U)

Énergie et quantité de mouvement

Description

Durée : 24 heures

Cette unité porte sur l'impulsion, la quantité de mouvement ainsi que sur les lois de la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie pour des objets se déplaçant en une et en deux dimensions. L'élève vérifie empiriquement les lois de la conservation et des collisions et effectue des simulations pour déterminer la vitesse de libération de fusées au voisinage de la Terre ou d'autres planètes. De plus, elle ou il analyse des dispositifs courants appliquant ces concepts.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12

Domaine : Énergie et quantité de mouvement

Attentes : SPH4U-E-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-E-Comp.1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8
SPH4U-E-Acq.1 - 2
SPH4U-E-Rap.1 - 2

Titres des activités

Durée

Activité 2.1 : Énergie et conservation de l'énergie	225 minutes
Activité 2.2 : Loi de Hooke	300 minutes
Activité 2.3 : Conservation de la quantité de mouvement	300 minutes
Activité 2.4 : Collisions	300 minutes
Activité 2.5 : Énergie potentielle gravitationnelle	240 minutes
Activité 2.6 : Tâche d'évaluation sommative - Mécanique	75 minutes

Liens

L'enseignant ou l'enseignante prévoit l'établissement de liens entre le contenu du cours et l'animation culturelle (**AC**), la technologie (**T**), les perspectives d'emploi (**PE**) et les autres matières (**AM**) au moment de sa planification des stratégies d'enseignement et d'apprentissage. Des suggestions pratiques sont intégrées dans la section **Déroulement de l'activité** des activités de cette unité.

Mesures d'adaptation pour répondre aux besoins des élèves

L'enseignant ou l'enseignante doit planifier des mesures d'adaptation pour répondre aux besoins des élèves en difficulté et de celles et ceux qui suivent un cours d'ALF/PDF ainsi que des activités de renforcement et d'enrichissement pour tous les élèves. L'enseignant ou l'enseignante trouvera plusieurs suggestions pratiques dans *La boîte à outils*, p. 11-21.

Évaluation du rendement de l'élève

L'évaluation fait partie intégrante de la dynamique pédagogique. L'enseignant ou l'enseignante doit donc planifier et élaborer en même temps les activités d'apprentissage et les étapes de l'évaluation en fonction des quatre compétences de base. Des exemples des différents types d'évaluation tels que l'évaluation diagnostique (**ED**), l'évaluation formative (**EF**) et l'évaluation sommative (**ES**) sont suggérés dans la section **Déroulement de l'activité** des activités de cette unité.

Sécurité

L'enseignant ou l'enseignante veille au respect des règles de sécurité du Ministère et du conseil scolaire. Elle ou il s'assure que l'élève connaît les règles de sécurité, la façon sûre d'utiliser l'équipement et le comportement attendu au laboratoire. (Consulter la section **Sécurité** de l'unité 1.)

Ressources

Dans cette unité, l'enseignant ou l'enseignante utilise les ressources suivantes :

Manuels pédagogiques

BENSON, H., *et al.*, *Physique 1 Mécanique*, Saint-Laurent, ERPI, 1999, 588 p.*

Ouvrages généraux/de référence/de consultation

AUGER, A., *Physique mécanique, théorie-exemples-exercices*, Les éditions Le Griffon d'argile, 1987, 489 p.*

BEISER, A., *Physique appliquée*, Paris, McGraw-Hill, 1987, 273 p.*

SERWAY, R. A., *physique 1, mécanique*, Montréal, Les Éditions HRW, 1989, 560 p.*

Matériel

Caméra

Sonde de détection du mouvement et interface

Cage protectrice de la sonde de détection du mouvement

Médias électroniques

Fcm, *Protection du climat*. (consulté le 20 juillet 2001)

http://www.tc.gc.ca/tcgeneral/story/76to86_energy_conservation_f.html

INRP, conservation de l'énergie. (consulté le 14 septembre 2001)

<http://www.inrp.fr/lamap/scientifique/energie/essentiel/conservation.htm>
Transport Canada, conservation de l'énergie. (consulté le 20 juillet 2001)
http://www.tc.gc.ca/tcgeneral/story/76to86_energy_conservation_f.html

Logiciel

RIOPEL, M., «Orbites de satellites», *Physique animée*, complément de H. Benson, *Physique 1 : mécanique*, ERPI.

Vidéos

L'énergie 1, BPN 590856, coul., 15 min (série Allô la Terre).

L'énergie potentielle, BPN 952456, coul., 30 min.

L'espace 4, BPN 590869, coul., 15 min (série Allô la Terre).

L'énergie potentielle, Nuance Bourdon (0893), coul., 30 min (Magic Lantern 0735).

ACTIVITÉ 2.1 (SPH4U)

Énergie et conservation de l'énergie

Description

Durée : 225 minutes

Cette activité porte sur l'énergie et la loi de la conservation de l'énergie. L'élève analyse des situations concernant le travail, l'énergie potentielle, l'énergie cinétique et la loi de la conservation de l'énergie. Elle ou il résout des problèmes qui inclut ces concepts, effectue une expérience et examine les transformations et les pertes d'énergie dans une variété de dispositifs courants.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 3 - 7 - 8 - 11

Domaine : Énergie et quantité et de mouvement

Attentes : SPH4U-E-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-E-Comp.1 - 3 - 5
SPH4U-E-Rap.1 - 2

Notes de planification

- Se procurer, pour chaque équipe de trois, le matériel suivant : chariot; ficelle de 1 m; dynamomètre; rapporteur.
- Se procurer des textes portant sur la conservation de l'énergie et les problèmes environnementaux liés à la consommation de l'énergie (p. ex., les sites suivants : www.inrp.fr/lamap/scientifique/energie/essentiel/conservation.htm; www.tc.gc.ca/tcgeneral/story/76to86_energy_conservation_f.html; www.tc.gc.ca/tcgeneral/story/76to86_energy_conservation_f.html).
- Préparer des diagrammes vectoriels de situations où la force et le déplacement ne sont pas dans la même direction. Les situations devraient inclure des forces de traction, de poussée et perpendiculaire au mouvement d'un objet.
- Se procurer le matériel nécessaire à chaque équipe pour faire l'expérience sur la conservation de l'énergie mécanique : chariot, rail, barrière photoélectrique et accessoire pour mesurer la vitesse, mètre, balance.
- Photocopier le protocole pour faire l'expérience sur la conservation de l'énergie mécanique.
- Se procurer des dispositifs transformant l'énergie et les disposer aux postes de travail dans la salle de classe : calculatrice solaire, thermocouple, sonnette électrique branchée dans un circuit, petite éolienne branchée à un galvanomètre placé devant un ventilateur, balle, séchoir à cheveux, ampoule électrique branchée dans un circuit, appareil de transformation d'énergie (*Northwest*, 242295), haltères, pendule.

- Préparer des problèmes sur la conservation de l'énergie et les transformations énergétiques (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 233).
- Réserver la salle d'ordinateurs et s'assurer que le logiciel *Comment ça marche 2* est installé.
- Se procurer une vidéo portant sur la consommation de l'énergie et préparer une feuille de questions sur son contenu (p. ex., *L'énergie 1* de la série «Allô la Terre» de tfo).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Animer un remue-méninges pour amener l'élève à énoncer des formes d'énergies (énergie cinétique, énergie potentielle gravitationnelle, énergie élastique, énergie nucléaire). **(ED)**
- Poser à l'élève la question ci-après et lui demander d'émettre une hypothèse : Si on appliquait une force de 2 N sur une distance de 3 m, l'énergie cinétique fournie au chariot serait-elle la même si la force était appliquée à un angle de 10° ou de 60° ?
- Demander à l'élève de suggérer une procédure à suivre pour vérifier son hypothèse expérimentalement. Corriger, au besoin.
- Remettre à chaque équipe de trois le matériel suivant : chariot; ficelle de 1 m; dynamomètre; rapporteur. Inviter l'élève à vérifier son hypothèse qualitativement.
- Animer une mise en commun des résultats obtenus en demandant à l'élève d'où provient l'énergie cinétique. Évoquer la notion de travail et demander à l'élève d'expliquer la raison pour laquelle le travail, produit par la force appliquée à un angle de 10° , est plus grand que celui produit par la même force sur une même distance, mais à un angle de 60° .
- Questionner l'élève pour lui rappeler les définitions, les équations et les unités de mesure du système SI des concepts vus en 11^e année :
 - travail accompli par une force de même direction que le déplacement (p. ex., $W = F.d$);
 - énergie potentielle gravitationnelle (p. ex., $W = F.d = P.d = (mg)h = E_p$);
 - énergie cinétique ($E_c = \Delta W = \frac{1}{2}mv^2$). **(ED)**

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Travail mécanique et énergie

- Fournir des exemples de situations où la force et le déplacement ne sont pas dans la même direction. Les situations devraient inclure des forces de traction, de poussée et perpendiculaire au mouvement d'un objet (p. ex., force exercée sur le manche d'une tondeuse à gazon, élève qui marche avec un sac à dos rempli de livres).
- Représenter chaque situation, au tableau, en décomposant chaque force en deux vecteurs orthogonaux dont un est dans la direction du déplacement. Expliquer à l'élève que seule la composante de la force dans la direction du mouvement produit un travail.
- Demander à l'élève de donner d'autres exemples oralement et l'inviter à venir faire un schéma de son exemple, au tableau, en décomposant la force appliquée en deux vecteurs orthogonaux dont un est parallèle au déplacement. Corriger, au besoin. **(EF)**
- Présenter le travail mécanique comme le produit des vecteurs de force et de déplacement avec le cosinus de l'angle entre eux et faire des exercices, au tableau, sur le calcul de travail comportant diverses valeurs de l'angle θ . Mettre en évidence les cas où θ vaut 0° ou 90° et effectuer un lien avec le produit scalaire vu en mathématiques. **(AM)**

- Rappeler à l'élève que le travail fait sur un objet peut se transformer en énergie cinétique ou en énergie potentielle gravitationnelle. Revoir les équations associées à ces concepts et résoudre des problèmes au tableau.
- Fournir à l'élève des exercices à faire en salle de classe portant sur le travail, l'énergie potentielle gravitationnelle et l'énergie cinétique (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 334, 336 et 368).
- Circuler et vérifier le travail de l'élève, en particulier l'utilisation des unités SI et des symboles. **(EF)**

Conservation de l'énergie

- Demander à l'élève de se mettre en équipe.
- Remettre à chaque équipe un article portant sur la conservation de l'énergie ou les problèmes environnementaux liés à la consommation de l'énergie (voir **Notes de planification**). **(AM)**
- À la suite de la lecture, animer une discussion sur la conservation de l'énergie et les problèmes environnementaux liés à la consommation de l'énergie.
- Questionner l'élève afin qu'elle ou il se rappelle le principe de la conservation de l'énergie mécanique. **(ED)**

Expérience sur la conservation de l'énergie mécanique

- Expliquer le principe de conservation de l'énergie mécanique.
- Expliquer à l'élève le but de l'expérience : vérifier la conservation de l'énergie mécanique.
- Remettre à l'élève les consignes de l'expérience et le matériel nécessaire (chariot, rail, barrière photoélectrique et accessoire pour mesurer la vitesse, mètre, balance) :
 - effectuer le montage du schéma 2.1;
 - mesurer la masse du chariot, convertir en kilogrammes et noter dans le tableau 2.1;
 - mesurer la hauteur aux points A, B, C, D et E, convertir en mètres et noter dans le tableau 2.1;
 - calculer l'énergie potentielle gravitationnelle du chariot aux points A, B, C, D et E et noter;
 - noter l'énergie cinétique du chariot au point A lorsque sa vitesse est nulle;
 - installer la barrière photoélectrique au point B et la programmer pour mesurer la vitesse du chariot. Laisser rouler le chariot du haut de la pente (point A) et noter la vitesse enregistrée par la barrière photoélectrique; convertir la vitesse en m/s et noter;
 - bouger la barrière photoélectrique au point C, laisser rouler le chariot du haut de la pente et noter la vitesse du chariot au point C;
 - mesurer de cette façon la vitesse du chariot aux points D et E;
 - calculer l'énergie cinétique aux points A, B, C, D et E à l'aide des valeurs de vitesse obtenues et noter dans le tableau 2.1;
 - calculer l'énergie mécanique totale aux points A, B, C, D et E à l'aide de la formule $E_{\text{totale}} = E_c + E_p$ et la noter dans le tableau 2.1;
 - analyser les résultats obtenus et faire une conclusion;
 - préparer un rapport d'expérience.

Schéma 2.1

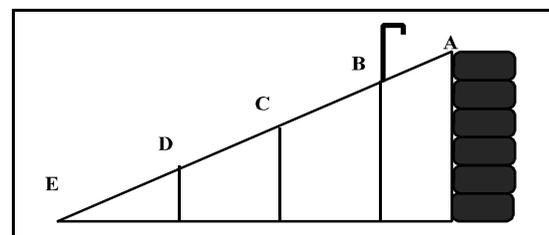


Tableau 2.1 : Conservation de l'énergie mécanique

Masse du chariot [kg]					
	Hauteur [m]	Energie potentielle [J]	Vitesse [m/s]	Énergie cinétique [J]	Énergie totale [J]
A					
...					

- Jumeler les élèves et leur demander de comparer leur rapport d'expérience et d'échanger sur les résultats de leur expérience. **(O)**
- Demander à l'élève de remettre un rapport d'expérience comprenant le but, l'hypothèse, le matériel, la méthode, le tableau des résultats, l'analyse des résultats et la conclusion. **(EF)**
- Présenter une vidéo sur la conservation de l'énergie (p. ex., *Conservation de l'énergie*, tfo, 435313).
- Résoudre, au tableau, des problèmes sur la conservation de l'énergie à l'aide de la relation $E_p + E_c \text{ avant} = E_p + E_c \text{ après}$ et fournir à l'élève des problèmes à faire en salle de classe (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 233). Circuler, vérifier le travail de l'élève et répondre à ses questions. **(EF)**

Fonctionnement de dispositifs énergétiques

- Représenter des transformations d'énergie dans un dispositif à l'aide d'une série nominative, telle : énergie rayonnante ÿ énergie électrique ÿ énergie cinétique ÿ énergie sonore.
- Demander à l'élève de circuler aux dix postes de travail de la salle de classe et de noter, à l'aide d'une série nominative, les transformations d'énergie des dispositifs installés.
 - Poste 1 : Calculatrice solaire.
 - Poste 2 : Thermocouple (dispositif générant un courant électrique lorsque ses deux bandes de métaux différents sont mises dans de l'eau à différentes températures).
 - Poste 3 : Sonnette électrique branchée dans un circuit.
 - Poste 4 : Petite éolienne branchée à un galvanomètre placé devant un ventilateur.
 - Poste 5 : Balle (l'élève fait rebondir la balle sur le plancher).
 - Poste 6 : Séchoir à cheveux.
 - Poste 7 : Ampoule électrique branchée dans un circuit.
 - Poste 8 : Appareil de transformation d'énergie (Northwest, 242295).
 - Poste 9 : Haltères (l'élève soulève les haltères).
 - Poste 10 : Pendule.
- Animer une mise en commun des résultats de l'exercice.
- Demander à l'élève de se rendre à la salle d'ordinateurs et de consulter le logiciel *Comment ça marche 2* pour examiner le fonctionnement de dispositifs transformant l'énergie d'une forme à une autre. **(T)**
- Demander à l'élève de montrer, à l'aide de diagrammes, le fonctionnement de trois dispositifs de son choix et de remettre ses diagrammes. Corriger et commenter. **(EF)**
- Demander à l'élève de se mettre en équipe de deux et de faire l'exercice ci-dessous, à tour de rôle :
 - communique à ta ou à ton partenaire les informations de cette activité que tu connaissais, mais que tu avais oubliées;

- décris à ta ou à ton partenaire ce que tu as retenu de cette activité. **(O)**

Évaluation sommative

- Voir **Évaluation sommative** à l'activité 2.2.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Présenter une vidéo sur la consommation de l'énergie et demander à l'élève de répondre à des questions sur son contenu (p. ex., *L'énergie 1* de la série «Allô la Terre» de tfo).
- Suggérer à l'élève de se renseigner sur les machines à mouvement perpétuel et de rédiger un rapport sur l'éventualité de la création de tels appareils (*La physique et vous, L'énergie*, p. 102, Dessin de M.C. Escher; *La physique et le monde moderne*, p. 142; *Phénomènes mécaniques*, p. 235).
- Demander à l'élève d'effectuer une expérience sur la conservation d'énergie à l'aide d'une sonde de détection du mouvement et d'une interface : **(T)**
 - préparer le logiciel pour faire l'expérience avec la sonde de détection du mouvement, brancher la sonde à l'interface et la placer au sol;
 - lancer un ballon directement vers le haut au-dessus de la sonde et l'attraper avant qu'il tombe sur celle-ci;
 - reproduire le graphique de la vitesse en fonction du temps obtenu en partant des données de la position et du temps;
 - tracer les graphiques de E_p vs t , E_c vs t et $(E_p + E_c)$ vs t dans le même diagramme cartésien; **(AM)**
 - analyser les résultats obtenus et discuter des incertitudes et des causes d'erreurs.

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 2.2 (SPH4U)

Loi de Hooke

Description

Durée : 300 minutes

Cette activité porte sur l'énergie potentielle élastique emmagasinée dans un ressort. L'élève analyse expérimentalement la loi de Hooke et examine des dispositifs technologiques en cernant les questions sociales qui en découlent. De plus, elle ou il conçoit et effectue une expérience pour vérifier la loi de la conservation de l'énergie dans un système utilisant une composante élastique.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.2 - 3 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11

Domaine : Énergie et quantité et de mouvement

Attentes : SPH4U-E-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-E-Comp.1 - 5 - 8
SPH4U-E-Acq.2
SPH4U-E-Rap.1 - 2

Notes de planification

- Se procurer du matériel pour faire l'exploration de l'élasticité de divers matériaux (p. ex., pâte à modeler, ressorts compressibles, bandes élastiques, ressorts à boudin).
- Préparer le matériel et le protocole d'une expérience pour vérifier la loi de Hooke (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 397).
- Préparer une liste de problèmes sur la loi de Hooke, l'énergie potentielle élastique et la loi de la conservation de l'énergie (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 234).
- Se procurer un dispositif dont le fonctionnement repose sur la transformation d'une forme d'énergie en énergie potentielle élastique ou vice versa. (p. ex., jouet d'enfant, appareil d'exercices).
- Préparer et photocopier une grille d'évaluation adaptée pour faire la tâche d'évaluation sommative.

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Distribuer de la pâte à modeler et demander à l'élève de la rouler en une forme de cylindre de 1 cm de diamètre et de 10 à 15 cm de longueur.
- Demander à l'élève d'étirer et, ensuite, de comprimer tranquillement le cylindre de pâte à modeler et d'observer attentivement. Lui demander de reprendre ce procédé avec une bande élastique et un ressort compressible.
- Amener l'élève à résumer ses observations en lui posant des questions. **(ED)**
 - Y a-t-il des matériaux qui n'ont pas repris leur position initiale après avoir été étirés ou comprimés?
 - Y a-t-il des ressorts qu'on peut étirer, mais qu'on ne peut pas comprimer?
 - Y a-t-il des ressorts qu'on peut comprimer, mais qu'on ne peut pas étirer?
 - Donne des exemples de ressorts difficiles ou faciles à comprimer ou à étirer.
 - Où est passé l'énergie qu'on a utilisée pour comprimer ou étirer le ressort?
 - Est-ce que l'énergie requise pour étirer un ressort est la même si on étire le ressort de 10 à 20 cm que si on l'étire de 20 à 30 cm?
- Présenter un ressort à boudin et faire remarquer ses propriétés élastiques. Expliquer à l'élève que la grandeur utilisée pour exprimer cette propriété est la constante d'élasticité d'un ressort et que cette valeur est très importante dans l'étude de l'énergie potentielle élastique (il se laisse étirer et comprimer; dans les deux cas, il reprend sa position initiale lorsqu'il est relâché).

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Vérification de la loi de Hooke

- Expliquer à l'élève le but de l'expérience : étudier quantitativement les propriétés d'un ressort en établissant une relation entre la force exercée sur celui-ci et son allongement (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 397).
- Expliquer à l'élève qu'elle ou il doit rédiger et remettre un rapport comprenant le titre de l'expérience, les réponses à chacune des questions de la marche à suivre, les données recueillies et organisées sous la forme prescrite, l'analyse et l'interprétation des données ainsi que la conclusion.
- Préciser les modalités de la tâche (p. ex., échéance – 1 période, rapport d'expérience rédigé à l'ordinateur, utilisation de la terminologie appropriée).
- Distribuer le matériel approprié (p. ex., ressorts, dynamomètres, sondes de force, papier quadrillé) et mentionner les consignes de sécurité à suivre. Accompagner l'élève dans sa démarche et lui fournir des commentaires, au besoin. **(EF)**
- Regrouper les élèves en équipes de deux, leur demander de comparer leur rapport d'expérience et d'échanger sur les résultats de leur expérience. **(O)**
- Ramasser le rapport d'expérience, l'évaluer et fournir des commentaires à l'élève. **(EF)**
- Rappeler la conclusion obtenue ($F = -kx$), la définition des variables et leur unité de mesure.
- Résoudre, au tableau, des problèmes concernant la loi de Hooke et en assigner à l'élève (p. ex., *Physique 1 : mécanique*, ERPI, p. 234). Inviter l'élève à résoudre les problèmes assignés au tableau. Corriger et commenter. **(EF)**

Énergie potentielle d'un ressort

- Reprendre les résultats de l'expérience précédente en prenant soin :
 - de préciser les différentes zones du graphique, c'est-à-dire zone linéaire, limite d'élasticité, zone non élastique, point de rupture;
 - de définir la constante d'élasticité en partant du graphique, soit la pente de la droite;
 - de montrer que l'unité de l'aire sous la courbe est le joule;
 - de calculer l'aire sous la courbe pour différentes élongations du ressort.
- Dériver mathématiquement la formule de l'énergie potentielle emmagasinée dans un ressort et définir les unités de mesure appropriées (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 374).
- Demander à l'élève d'utiliser la formule de l'énergie potentielle et ses données de l'expérience précédente pour calculer l'énergie potentielle des différentes élongations du ressort.
- Montrer à l'élève la façon de résoudre des problèmes sur la loi de Hooke et l'énergie potentielle élastique et lui assigner des exercices à faire en classe (p. ex., *Physique I Mécanique*, ERPI, p. 234). Circuler, vérifier les travaux et répondre aux questions. **(EF)**
- Montrer un dispositif dont le fonctionnement est basé sur la transformation d'énergie potentielle élastique en une autre forme d'énergie et analyser son fonctionnement (p. ex., jouet ou appareil d'exercices).
- Demander à l'élève :
 - de se mettre en équipe de deux pour trouver trois applications de l'énergie élastique dans le domaine des transports;
 - d'examiner les impacts de ces applications selon des critères tels que la qualité de la vie, les retombées économiques et la protection de l'environnement;
 - de faire un rapport de ses résultats sous forme de tableau et de le remettre pour l'évaluer. **(EF)**

Vérification de la loi de la conservation de l'énergie

- Présenter la tâche d'évaluation sommative : concevoir et effectuer une expérience pour vérifier la loi de la conservation de l'énergie et la loi de Hooke. **(ES)**
- Expliquer que le système conçu doit comprendre de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle gravitationnelle, de l'énergie potentielle élastique et de l'énergie thermique.
- Dire à l'élève de supputer les pertes d'énergie comme de l'énergie thermique et d'exprimer les résultats de ses calculs en utilisant le nombre approprié de chiffres significatifs.
- Indiquer à l'élève d'inclure à son rapport trois applications de l'énergie élastique dans le domaine des loisirs ou des développements technologiques. Lui dire d'examiner l'impact de ces applications selon des critères tels que la qualité de la vie, les retombées économiques et la protection de l'environnement.
- Mentionner à l'élève de faire vérifier son plan de conception avant de réaliser l'expérience.
- Inviter l'élève à préciser les instruments de mesure qu'elle ou il utilisera pour recueillir les données et lui en proposer quelques-uns (p. ex., capteur photosensible, sonde de force et interface, dynamomètre).
- Demander à l'élève de remettre un rapport d'expérience comprenant les éléments suivants : but, hypothèse, matériel, méthode, compilation et organisation des données, analyse et interprétation des données et conclusion.
- Remettre à l'élève la grille d'évaluation adaptée.

- Préciser les modalités de la tâche (p. ex., échéances – 4 jours dont une période de classe; longueur du rapport – 3 pages; présentation – écrit à l’ordinateur, diagrammes clairs et propres, page de titre, terminologie scientifique appropriée).
- Distribuer de la documentation telle qu’un croquis de montage mécanique montrant divers transferts d’énergie pour donner des idées à l’élève.
- Mettre à la disposition de l’élève le matériel requis pour effectuer son expérience.
- Accompagner l’élève dans sa démarche et lui fournir des commentaires à chaque étape. **(EF)**
- Ramasser les rapports pour les évaluer. **(ES)**

Évaluation sommative

- Présenter la grille d’évaluation adaptée pour évaluer le rapport d’expérience.
- Évaluer les connaissances de l’élève par rapport à la conception et à la réalisation d’une expérience pour vérifier la loi de la conservation de l’énergie et la loi de Hooke.
- Utiliser une grille d’évaluation adaptée en partant de critères précis en fonction des quatre compétences suivantes :
 - Connaissance et compréhension
 - démontrer une compréhension de la loi de la conservation de l’énergie, des transformations d’énergie et de la loi de Hooke.
 - Recherche
 - planifier et réaliser une expérience sur la loi de la conservation de l’énergie et la loi de Hooke;
 - utiliser des outils, de l’équipement et du matériel de façon sûre et correcte.
 - Communication
 - utiliser la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI se rapportant à la conservation de l’énergie et à la loi de Hooke;
 - utiliser le rapport d’expérience comme forme de communication.
 - Rapprochement
 - analyser des questions sociales et économiques liées à l’application de l’énergie élastique dans le domaine des loisirs ou des développements technologiques.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Demander à l’élève de trouver des applications de ressorts utilisés pour convertir l’énergie cinétique en énergie élastique ou vice versa (p. ex., la suspension d’une auto).
- Demander à l’élève d’effectuer une expérience pour étudier la conservation de l’énergie d’un ressort (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 398).
- Présenter une vidéo sur l’énergie potentielle et demander à l’élève de répondre à des questions sur son contenu (p. ex., *L’énergie potentielle*, Nuance Bourdon).

Annexes

(espace réservé à l’enseignant ou à l’enseignante pour l’ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 2.3 (SPH4U)

Conservation de la quantité de mouvement

Description

Durée : 300 minutes

Cette activité porte sur la loi de la conservation de la quantité de mouvement. L'élève vérifie expérimentalement la loi et présente ses résultats ainsi que ses calculs au groupe-classe. Elle ou il examine le fonctionnement de dispositifs et résout des problèmes concernant une conservation de quantité de mouvement à l'aide de diagrammes vectoriels et d'analyses mathématiques.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 2 - 3 - 4 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11

Domaine : Énergie et quantité de mouvement

Attentes : SPH4U-E-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-E-Comp.1 - 2 - 3
SPH4U-E-Acq.1
SPH4U-E-Rap.1

Notes de planification

- Se procurer un drap, une balle de tennis et un oeuf cru pour faire la mise en situation.
- Se procurer du matériel pour faire une démonstration de système isolé (p. ex., ressort à boudin, support universel, voiturette, masse, balle).
- Préparer des exercices sur la quantité de mouvement, l'impulsion et la variation de la quantité de mouvement (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 290, 291 et 297).
- Se procurer deux chaises sur roulettes et une corde pour montrer la conservation de la quantité de mouvement.
- Préparer des problèmes sur la loi de la conservation de la quantité de mouvement (voir *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 264).
- Préparer le matériel pour faire différentes expériences sur la conservation de la quantité de mouvement en une et en deux dimensions (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 324).
- Préparer une liste de dispositifs technologiques dont le fonctionnement repose sur la loi de la conservation de la quantité de mouvement (p. ex., propulsion des fusées, mouvement de recul d'un fusil).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Demander à des élèves de tenir un drap verticalement en s'assurant de former un creux à la base du drap. Lancer une balle dans le drap et demander aux élèves de s'assurer de l'attraper dans le creux formé à sa base.
- Recommencer en lançant un oeuf cru dans le drap. Demander à l'élève d'expliquer la raison pour laquelle l'oeuf ne casse pas, peu importe la force avec laquelle il a été lancé (la force appliquée sur l'oeuf pour le ralentir est petite, car le drap ralentit l'oeuf graduellement pendant un temps assez long).
- Poser des questions à l'élève pour lui faire comprendre l'importance de la grandeur de la force et de la durée de son action sur la variation du mouvement d'un objet (p. ex., Pourquoi plie-t-on les genoux lorsqu'on atterrit après un saut? Pourquoi une personne jouant au baseball attrape-t-elle la balle en bougeant sa main vers l'arrière? Pourquoi une personne qui joue au tennis ou au golf suit-elle son mouvement après son coup? Dans quel cas y a-t-il une plus grande variation du mouvement d'une bicyclette : si on applique une force de 10 N pendant 1 s ou pendant 10 s?). **(ED)**
- Animer une discussion portant sur les réponses fournies par l'élève et l'amener à conclure que la grandeur d'une force et son temps d'application contribuent à augmenter la variation de mouvement.

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Impulsion et quantité de mouvement

- Représenter la quantité de mouvement par son expression mathématique $\vec{p} = m\vec{v}$, expliquer sa nature vectorielle et présenter les unités SI utilisées dans cette expression.
- Résoudre, au tableau, des exercices sur la quantité de mouvement et en assigner à l'élève (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 290, 291 et 297).
- Représenter le concept d'impulsion par son expression mathématique $\Delta\vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$, expliquer sa nature vectorielle et présenter les unités SI utilisées dans cette expression.
- Assigner à l'élève des exercices sur l'impulsion (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 290, 291 et 297). Corriger au tableau. **(EF)**
- Montrer la relation entre l'impulsion et la variation de la quantité de mouvement $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta\vec{v}$ (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 296).
- Assigner à l'élève des exercices sur l'impulsion et la variation de la quantité de mouvement (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 290, 291 et 297).

Systèmes isolé et ouvert

- Illustrer un système ouvert par une démonstration : attacher l'extrémité d'un ressort à un support universel, attacher une masse à l'autre extrémité, étirer la masse vers le bas, la lâcher et la laisser osciller. Faire remarquer que les oscillations diminuent progressivement et qu'à un moment donné la masse cesse d'osciller à cause de l'action de forces extérieures telles que la résistance de l'air et la force de gravitation.

- Définir *système ouvert* (en mécanique, un système est dit ouvert s'il est soumis à une ou à des forces extérieures) et demander à l'élève de fournir d'autres exemples de système ouvert (p. ex., objet en chute libre, projectile). **(EF)**
- Définir *système isolé* par opposition à système ouvert (en mécanique, un système est dit isolé s'il n'est soumis à aucune force extérieure; dans ce cas, sa quantité de mouvement est constante dans un référentiel inertiel).

Conservation de la quantité de mouvement

- Demander à deux élèves volontaires de s'asseoir sur une chaise sur roulettes à une distance de 4 m avec une corde les reliant. Diriger une discussion sur la situation en posant des questions telles que :
 - Prédisez ce qui arrivera si un ou une élève tire sur la corde, alors que l'autre la tient. (les deux élèves se déplacent l'un ou l'une vers l'autre)
 - Est-ce qu'une personne exerce une force plus grande sur la corde? (les forces sont égales et opposées; on peut le montrer en attachant chaque extrémité de la corde à un dynamomètre)
 - Comparez le temps pour lequel la force agit sur chaque personne. (la force agit pendant le même temps sur les deux personnes)
 - Quelle personne subira une plus grande variation de sa quantité de mouvement? (les variations de la quantité de mouvement sont égales mais opposées)
 - Le système est-il isolé ou ouvert? (isolé, car aucune force extérieure n'entre en jeu)
 - Si on approche les deux chaises de manière que les deux élèves puissent se toucher les mains et qu'on leur demande de se repousser, quelle est la quantité de mouvement totale du système isolé avant et après la poussée? Justifiez. (la quantité de mouvement totale avant la poussée est zéro parce que les deux élèves ont une vitesse nulle; la quantité de mouvement totale après la poussée est zéro parce que les variations de la quantité de mouvement des élèves sont égales et opposées)
 - Si trois élèves s'assoient sur une chaise et un seul ou une seule élève s'assoit sur l'autre chaise et qu'elle ou il tire la corde, la variation de la quantité de mouvement est-elle la même pour les deux chaises? (les variations de la quantité de mouvement sont égales, mais opposées)
 - Dans la situation précédente, le changement de vitesse est-il le même pour les deux chaises? (la masse la plus petite subira un plus grand changement de vitesse)
- Énoncer la loi de la conservation de la quantité de mouvement (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 296).
- Résoudre, au tableau, des problèmes sur la loi de la conservation de la quantité de mouvement en une et en deux dimensions, et en assigner à l'élève. Corriger au tableau. **(EF)**
- Diviser le groupe-classe en équipes et remettre à chaque équipe le protocole d'une expérience différente portant sur la vérification de la loi de la conservation de la quantité de mouvement (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 324) :
 - collision de deux chariots de même masse sur un rail;
 - collision de deux chariots de masse différente sur un rail;
 - explosion de deux chariots de même masse sur un rail;
 - explosion de deux chariots de masses différentes sur un rail;
 - collision de deux rondelles de même masse sur une table de jeu de hockey pneumatique.

- Demander à chaque équipe de présenter les résultats de son expérience et d'écrire, au tableau, ses calculs de la quantité de mouvement totale avant et après la collision. Vérifier et corriger, au besoin. **(EF)**
- Regrouper les élèves en équipes de deux et leur demander de mettre au point une stratégie de résolution de problèmes sur la loi de la conservation de la quantité de mouvement. **(O)**
- Circuler, vérifier, commenter les travaux et répondre aux questions (p. ex., *Physique 1 : mécanique*, ERPI, 1999, p. 264). **(EF)**

Applications

- Analyser quelques exemples d'application de l'impulsion, de la quantité de mouvement et de la loi de la conservation de la quantité de mouvement, tels :
 - l'intérieur mou d'un casque de vélo augmente le temps de l'impact réduisant ainsi sa force et la partie rigide du casque propage la force sur une plus grande surface réduisant ainsi la pression en un point;
 - lorsque deux personnes se lancent une balle de baseball, l'impulsion est la même, mais en sens opposé pour la lanceuse ou le lanceur et la receveuse ou le receveur. Par contre, la force exercée par la receveuse ou le receveur est plus grande puisque l'intervalle de temps est plus court pour arrêter la balle que pour la lancer (en supposant que la vitesse de la balle demeure constante);
 - un fusil plus lourd a un mouvement de recul moins prononcé qu'un fusil plus léger;
 - une personne en patins à roues alignées peut se déplacer vers l'arrière en projetant des objets vers l'avant, du à la loi de la conservation de la quantité de mouvement.
- Demander à l'élève de trouver des images de dispositifs usuels dont le fonctionnement montre une impulsion, la quantité de mouvement ou la loi de la conservation de la quantité de mouvement et lui demander de rédiger un paragraphe explicatif.
- Inviter l'élève à agencer son travail en un collage collectif sur un babillard de la salle de classe (p. ex., pare-chocs d'automobile, coussin gonflable, chaussure d'athlète, propulsion d'une fusée, mouvement de recul d'un fusil, suivi d'un coup au golf).

Évaluation sommative

- Voir **Évaluation sommative** à l'activité 2.6.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Demander à l'élève de mesurer expérimentalement la vitesse d'une balle de baseball en utilisant la loi de la conservation de la quantité de mouvement :
 - remplir une grosse boîte de carton de matériel d'emballage, la fixer sur une planche à roulettes et peser le tout;
 - mesurer la force de friction entre le duo planche à roulettes-boîte et le plancher lisse avec un dynamomètre ou une sonde de force en les tirant à vitesse constante;
 - peser la balle de baseball;
 - lancer la balle de baseball dans la boîte; mesurer la distance parcourue par la balle et le duo planche à roulettes-boîte;
 - utiliser la loi de la conservation de la quantité de mouvement pour calculer la vitesse initiale de la balle.
- Présenter un extrait d'un film dans lequel une balle rebondit plus haut qu'un point où elle a été laissée tombée et diriger une discussion sur la possibilité ou l'impossibilité de reproduire un tel phénomène (p. ex., *Flubber*).

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 2.4 (SPH4U)

Collisions

Description

Durée : 300 minutes

Cette activité porte sur l'étude des collisions. L'élève distingue les collisions élastiques des collisions inélastiques en étudiant en laboratoire les quantités d'énergie déployées avant et après le choc. De plus, elle ou il analyse la place de l'industrie de la collision dans la société, en fonction de critères tels que la sécurité, les ressources humaines et l'économie.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.2 - 3 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12

Domaine : Énergie et quantité et de mouvement

Attentes : SPH4U-E-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-E-Comp.1 - 3 - 4
SPH4U-E-Acq.1
SPH4U-E-Rap.1 - 2

Notes de planification

- Se procurer un jouet touchant les collisions (p. ex., voitures tamponneuses, billard, bolo).
- Préparer le matériel pour produire et filmer une collision ou se procurer des capteurs photosensibles pour mesurer directement la vitesse (p. ex., deux chariots désignés 1 et 2 dont l'un d'eux est muni de ressorts servant de pare-chocs, caméra vidéo, télévision, balance à plateau).
- Préparer des problèmes sur les collisions élastiques en une dimension (voir *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 267).
- Préparer des questions de discussion sur les collisions (voir *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 263).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Demander à l'élève d'énumérer des exemples de collisions dans les sports, les loisirs ou autres domaines (p. ex., contrôles de sécurité sur les carrosseries des voitures, détecteurs de particules, football, lutte, rugby, jeu de quilles, billard, billes, mississippi, croquet).
- Utiliser un dispositif pour faire une démonstration de collision (p. ex., bolo).
- Demander à un ou à une élève volontaire de rappeler les définitions des concepts vus durant les trois activités précédentes : quantité de mouvement; loi de la conservation de l'énergie et loi de la conservation de la quantité de mouvement. Mentionner à l'élève que ces concepts sont importants pour étudier les collisions. **(ED)**

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Étude des collisions en laboratoire

- Demander à l'élève d'utiliser une caméra vidéo pour filmer toutes les étapes d'une collision entre deux chariots ou d'utiliser des capteurs photosensibles pour mesurer directement les vitesses (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 347). **(T)**
 - Désigner deux chariots par les numéros 1 et 2.
 - Placer un ruban à mesurer à un endroit visible par la caméra et activer l'horloge de celle-ci.
 - Envoyer les deux chariots sur le rail et filmer toutes les étapes de la collision.
- Inviter l'élève à visionner la vidéo de la collision au ralenti pour lui permettre d'observer et de déterminer toutes les phases de la collision : avant la collision; contact entre les chariots; collision; avant la fin de la collision; après la collision.
- Fournir à l'élève le tableau 2.4a et lui demander de le remplir en suivant les étapes suivantes :
 - mesurer les masses des chariots;
 - évaluer, à l'aide d'un ruban à mesurer, les distances entre les chariots de la vidéo;
 - calculer les vitesses des chariots en partant des distances évaluées et du temps affiché par l'horloge de la caméra;
 - calculer l'énergie cinétique à l'aide de la formule $E_c = \frac{1}{2}mv^2$.

Tableau 2.4a : Phases d'une collision

Phases de la collision	Distance entre les chariots [m]	Chariot 1			Chariot 2		
		m_1 [kg]	v_1 [m/s]	E_{c1} [J]	m_2 [kg]	v_2 [m/s]	E_{c2} [J]
Avant							
Au début							
Au milieu							
Vers la fin							

Après							
-------	--	--	--	--	--	--	--

Étude quantitative

- Définir *collision élastique* (énergie cinétique totale avant le choc = énergie cinétique totale après le choc) et *collision inélastique* (énergie cinétique totale avant le choc ... énergie cinétique totale après le choc), et mentionner que la loi de la conservation de la quantité de mouvement s'applique lorsque la collision est soit élastique, soit inélastique.
- Demander à l'élève de fournir des exemples courants de chaque type de collision (p. ex., une collision entre deux billes de marbre est élastique, par contre celle entre deux balles de tennis ne l'est pas parce qu'il y a perte d'énergie cinétique).
- Fournir à l'élève une version vierge du tableau 2.4b et lui demander de le remplir en utilisant les termes *s'applique* et *ne s'applique pas*. **(ED)**

Tableau 2.4b : Lois s'appliquant dans des collisions élastiques et inélastiques

Loi de la conservation	Collision élastique	Collision inélastique
de la quantité de mouvement	s'applique	s'applique
de l'énergie cinétique	s'applique	ne s'applique pas
de l'énergie totale	s'applique	s'applique

- Résoudre, au tableau, des problèmes sur les collisions élastiques en une dimension et assigner des problèmes à résoudre en salle de classe (p. ex., *Physique 1 Mécanique*, p. 267). Circuler, vérifier le travail de l'élève, lui fournir des commentaires et répondre à ses questions. **(EF)**
- Demander à l'élève d'élaborer des procédés mnémotechniques pour différencier les divers types de collisions et d'en faire part au reste du groupe-classe. **(O)**

Applications

- Poser des questions à l'élève portant sur les domaines d'emploi touchant une connaissance des collisions : **(PE)**
 - Énumérer les professionnels ou professionnelles susceptibles d'intervenir en cas de collision entre deux véhicules, de l'instant où la collision s'est produite jusqu'à l'instant où le dossier est fermé (p. ex., premier répondant ou première répondante, policier ou policière, mécanicien ou mécanicienne, médecin, enquêteur ou enquêteuse);
 - préciser le rôle de chacun;
 - évaluer le nombre d'heures passées sur un dossier par chaque intervenant ou intervenante, le taux horaire de leurs honoraires et le coût de leur intervention en matière de ressources financières;
 - évaluer le coût total en ce qui a trait à la ressource financière d'une collision typique concernant deux véhicules.
- À la suite de l'exercice, diriger une discussion pour faire le point sur les réponses de l'élève.

Évaluation sommative

- Voir **Évaluation sommative** à l'activité 2.6.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Analyser des problèmes de collisions élastiques à deux dimensions (voir *Physique 1 Mécanique*, p. 257 et 269).
- Remettre à l'élève le protocole d'une expérience portant sur les collisions inélastiques à deux dimensions et lui demander de l'effectuer et d'analyser les résultats obtenus (p. ex., table de jeu de hockey pneumatique).

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 2.5 (SPH4U)

Énergie potentielle gravitationnelle

Description

Durée : 240 minutes

Cette activité porte sur l'énergie potentielle gravitationnelle. L'élève étudie qualitativement et quantitativement le travail fait par la force de gravitation. Elle ou il résout des problèmes quantitatifs portant sur l'énergie potentielle gravitationnelle et analyse le mouvement des planètes et des satellites à l'aide d'un logiciel de simulation.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 11

Domaine : Énergie et quantité de mouvement

Attente : SPH4U-E-A.1

Contenus d'apprentissage : SPH4U-E-Comp.1 - 6 - 7

Notes de planification

- Demander, au préalable, à un ou à une élève de se procurer un extrait d'un roman de science-fiction mentionnant la force gravitationnelle ou en trouver un (voir **Mise en situation**).
- Préparer des exercices sur l'énergie potentielle gravitationnelle (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 386, 387, 402, 403).
- Se procurer un logiciel de simulation pour illustrer la trajectoire de satellites autour de la Terre et déterminer la vitesse de libération pour diverses altitudes (p. ex., «Orbites de satellites» de *Physique animée*, complément de *Physique 1 : mécanique* de H. Benson et Académie de Nice, www.ac-nice.fr/physique/MvtFcent/forcecent.htm).
- Écrire, sur un transparent, la dérivation mathématique de la formule de la vitesse de libération (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 392).
- Se procurer une liste des planètes du système solaire ainsi que leur masse et leur rayon (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 271).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Demander à un ou à une élève volontaire de lire un extrait d'un roman de science-fiction sur la force gravitationnelle. L'exemple ci-dessous est tiré de *NordNet* du site Internet home.nordnet.fr/~jamarquis/frverne.htm :
 - Premier extrait. Tiré de *De la Terre à la Lune* de Jules Verne :
«Les artilleurs américains du Gun-Club décident de fabriquer un canon géant destiné à envoyer un boulet sur la Lune. J.T. Maston effectue tous les calculs, et le canon est installé en Floride. Le français Michel Ardan se manifeste : il souhaite partir sur la Lune. Le boulet initialement prévu est transformé en obus, et Ardan y prend place ainsi que Barbicane, président du Gun-Club, et Nicholl qui est persuadé depuis l'origine de l'échec du projet. L'obus est tiré, mais à la suite d'une erreur, le projectile rate son objectif...»
 - Deuxième extrait. Tiré de *Autour de la Lune* de Jules Verne :
«Faute d'atteindre la Lune, l'obus tiré dans *De la Terre à la Lune* s'est mis en orbite. Barbicane, Nicholl et Ardan tentent néanmoins d'en découvrir les secrets : est-elle habitée ou habitable? Après avoir découvert sa face cachée, l'obus finira par sortir de l'orbite pour revenir vers la Terre.»
- Animer une discussion sur l'application de la physique dans des livres de science-fiction, des films, des jeux vidéo et des émissions télévisées et demander à l'élève de donner des exemples de situations possibles et impossibles selon les lois de la physique. **(AM)**
- Demander à l'élève de se rappeler l'expression de la force gravitationnelle entre deux masses et les unités SI concernées. **(ED)**

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Énergie potentielle gravitationnelle

- Rappeler le concept d'énergie potentielle gravitationnelle au voisinage de la Terre $\Delta E_g = mg\Delta h$.
- Rappeler que le travail est un transfert d'énergie : $W = \Delta E$
- Tracer le graphique de F_g en fonction de la distance r et expliquer à l'élève que l'aire sous la courbe représente le travail nécessaire pour éloigner un objet de la Terre.
- Dédurre mathématiquement $E_g = -G \frac{Mm}{r}$.
 - Faire remarquer que cette expression ne s'applique pas aux points situés à l'intérieur des masses.
 - Préciser que r représente la distance entre le centre des deux masses.
 - Préciser les unités SI concernées.
 - Définir $E_{g,0}$ et mentionner que $E_g < 0$ puisque $E_{g,0} = 0$ est le point de référence.
- Demander à l'élève d'étudier la variation de E_g en fonction de la distance r entre les deux masses :
 - dire à l'élève que les masses M et m restent les mêmes pendant tout le calcul. Le produit GMm ne changeant pas, on peut donc étudier la relation inverse $E_g \propto 1/r$;
 - demander à l'élève de remplir le tableau 2.5 et d'analyser les résultats obtenus en les représentant graphiquement et en interprétant le graphique. **(AM)**.

Tableau 2.5 : Variation de l'énergie potentielle en fonction de la distance r

	Distance, r	Énergie potentielle gravitationnelle, $E_g = -1/r$
1	$r/2$	exemple : $E_{g1} = 2E_{g2}$
2	r	exemple : $E_{g2} = E_{g2}$
3	$2r$	exemple : $E_{g3} = \frac{1}{2}E_{g2}$
4	$10r$	exemple : $E_{g4} = 1/10(E_{g2})$
5	4	exemple : $E_{g5} \neq 0$

- Faire ressortir à l'aide du tableau 2.5 que $E_g \neq 0$ lorsque $r \neq 4$ et que $E_g \neq 4$ lorsque $r \neq 0$.
- Résoudre, au tableau, des problèmes sur l'énergie potentielle gravitationnelle et assigner des problèmes à résoudre en salle de classe (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 386, 387, 402, 403).

Vitesse de libération du champ gravitationnel

- Décrire l'énergie totale d'une fusée en mouvement dans le champ gravitationnel terrestre comme étant $E_T = E_c + E_g = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{-GMm}{r}$.
- Expliquer que l'énergie totale minimale d'un objet qui échappe au champ gravitationnel terrestre est nulle puisque $E_{g4} = 0$ et que $E_{c4} = 0$.
- Montrer en partant de $E_T = E_c + E_g = 0$ que pour échapper au champ gravitationnel terrestre $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{r}$.
- Préciser que la valeur de la vitesse qui permet à l'objet d'échapper au champ gravitationnel terrestre est appelée *vitesse de libération*, v_L .
- Dériver mathématiquement la formule de la vitesse de libération (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 392).
- Utiliser la formule pour calculer, au tableau, la vitesse de libération de la Terre et demander à l'élève de calculer la vitesse de libération de chacune des autres planètes à l'aide de leur masse et de leur rayon (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 271). Corriger au tableau. **(EF)**
- Demander à l'élève d'utiliser un logiciel de simulation pour illustrer la trajectoire de satellites et déterminer la vitesse de libération pour diverses altitudes (p. ex., «Orbites de satellites» de *Physique animée*, complément de *Physique 1 : mécanique* de H. Benson et Académie de Nice, www.ac-nice.fr/physique/MvtFcent/forcecent.htm).
- Assigner des problèmes sur l'énergie potentielle gravitationnelle et la vitesse de libération et demander à l'élève de les résoudre en classe ou en devoir (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 396). Vérifier le travail de l'élève et commenter. **(EF)**
- Demander à l'élève de nommer les difficultés qu'elle ou il a eues dans l'atteinte des compétences liées à cette activité et d'expliquer la façon dont elle ou il s'y est pris pour les surmonter. **(O)**

Évaluation sommative

- Voir **Évaluation sommative** à l'activité 2.6.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Montrer mathématiquement qu'un objet en orbite stationnaire autour de la Terre possède déjà la moitié de l'énergie de libération requise pour s'échapper du champ gravitationnel terrestre.
- Discuter de la possibilité d'atteindre la vitesse de libération de la Terre, mais d'être encore influencé par le champ gravitationnel du Soleil.
- Présenter une vidéo sur le bras canadien, le système GPS, les satellites et le télescope spatial Hubble, et demander à l'élève de répondre à un questionnaire sur le contenu de la vidéo
(p. ex., *L'espace 4* de tfo).
- Demander à l'élève de lire un texte scientifique sur les trous noirs et la valeur théorique de leur vitesse de libération (voir *Physique 1 Mécanique*, ERPI, p. 228, 229).

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 2.6 (SPH4U)

Tâche d'évaluation sommative - Mécanique

Description

Durée : 75 minutes

Cette activité porte sur le mouvement des projectiles, l'énergie potentielle élastique, la quantité de mouvement, les collisions élastique et inélastique, et les lois de la conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement. L'élève effectue un test papier-crayon et analyse et interprète des données en utilisant la terminologie scientifique appropriée pour communiquer ses idées.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.7 - 8 - 9 - 11

Domaine : Énergie et quantité de mouvement

Attentes : SPH4U-E-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-E-Comp.1 - 3 - 4 - 6 - 8
SPH4U-E-Rap.1

Notes de planification

- Photocopier la grille d'évaluation adaptée (Annexe SPH4U 2.6.1) et le cahier de l'élève (Annexe SPH4U 2.6.2).
- Annoncer la tâche d'évaluation sommative au moins cinq jours de classe à l'avance.

Déroulement

- Présenter les attentes et les contenus d'apprentissage visés par cette tâche et faire le lien avec la dynamique, l'énergie et la quantité de mouvement.
- Remettre la grille d'évaluation adaptée et l'expliquer.
- Présenter à l'élève les modalités de la tâche : durée – 75 minutes; document permis – feuille de formules; instrument permis – calculatrice.
- Présenter les éléments sur lesquels porteront les étapes de la tâche d'évaluation et les habiletés que l'élève doit pouvoir montrer dans cette tâche. L'élève doit pouvoir :
 - Connaissance et compréhension
 - démontrer une compréhension de la loi de l'attraction universelle, de la loi de Hooke, du mouvement circulaire, des référentiels, du mouvement d'un projectile, de l'énergie potentielle gravitationnelle et élastique, des collisions, de la loi de la

- conservation de la quantité de mouvement et de la loi de la conservation de l'énergie;
- démontrer une compréhension des rapports entre les collisions élastique et inélastique, la loi de la conservation de la quantité de mouvement et la loi de la conservation de l'énergie cinétique.
 - Recherche
 - tracer et analyser un graphique de force élastique en fonction de l'étirement;
 - appliquer des habiletés de résolution de problèmes.
 - Communication
 - utiliser la terminologie, les symboles et les unités de la quantité de mouvement, de la constante d'élasticité et de l'énergie.
 - Rapprochement
 - montrer une compréhension des rapprochements entre la mécanique et la vie courante;
 - proposer des mesures concrètes à l'égard de problèmes sociaux liés à la technologie.
 - Distribuer le cahier de l'élève.
 - Demander à l'élève de lire la tâche individuellement.
 - Donner le temps nécessaire pour faire cette activité.

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

Annexe SPH4U 2.6.1 : Grille d'évaluation adaptée - Mécanique

Annexe SPH4U 2.6.2 : Cahier de l'élève - Mécanique

<i>Type d'évaluation : diagnostique 9 formative 9 sommative :</i>				
<i>Compétences et critères</i>	<i>50 - 59 % Niveau 1</i>	<i>60 - 69 % Niveau 2</i>	<i>70 - 79 % Niveau 3</i>	<i>80 - 100 % Niveau 4</i>
Connaissance et compréhension				
L'élève : - démontre une compréhension de la loi de l'attraction universelle, de la loi de Hooke, du mouvement circulaire, des référentiels, des projectiles, de l'énergie potentielle gravitationnelle et élastique, des collisions et des lois de conservation. - démontre une compréhension des rapports entre les collisions élastique et inélastique et les lois de conservation.	L'élève démontre une compréhension limitée des concepts, des principes, des lois, des théories et des rapports entre les concepts.	L'élève démontre une compréhension partielle des concepts, des principes, des lois, des théories et des rapports entre les concepts.	L'élève démontre une compréhension générale des concepts, des principes, des lois, des théories et des rapports entre les concepts.	L'élève démontre une compréhension approfondie des concepts, des principes, des lois, des théories et des rapports entre les concepts.
Recherche				
L'élève : - trace et analyse un graphique de force élastique en fonction de l'étirement. - applique les habiletés de résolution de problèmes.	L'élève applique un nombre limité des habiletés et des stratégies requises propres à la recherche scientifique, et applique les habiletés et les procédés techniques avec une compétence limitée .	L'élève applique certaines des habiletés et des stratégies requises propres à la recherche scientifique, et applique les habiletés et les procédés techniques avec une certaine compétence .	L'élève applique la plupart des habiletés et des stratégies requises propres à la recherche scientifique, et applique les habiletés et les procédés techniques avec une grande compétence .	L'élève applique toutes ou presque toutes les habiletés et les stratégies requises propres à la recherche scientifique, et applique les habiletés et les procédés techniques avec une très grande compétence .

Communication				
L'élève : - utilise la terminologie, les symboles et les unités de la quantité de mouvement, de la constante d'élasticité et de l'énergie.	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI avec peu d'exactitude et une efficacité limitée.	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI avec une certaine exactitude et efficacité.	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI avec une grande exactitude et efficacité.	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI avec une très grande exactitude et efficacité.
Rapprochement				
L'élève : - démontre une compréhension des rapprochements entre la mécanique et la vie courante. - propose des mesures concrètes à l'égard de problèmes liés aux sciences et à la technologie.	L'élève démontre une compréhension limitée des rapprochements dans des contextes familiers et une compétence limitée à élaborer des mesures concrètes pour résoudre des problèmes familiers.	L'élève démontre une compréhension partielle des rapprochements dans des contextes familiers et une certaine compétence à élaborer des mesures concrètes pour résoudre des problèmes familiers.	L'élève démontre une compréhension générale des rapprochements dans des contextes familiers et dans certains contextes peu familiers et une grande compétence à élaborer des mesures concrètes pour résoudre des problèmes familiers.	L'élève démontre une compréhension approfondie des rapprochements dans des contextes familiers et peu familiers et une très grande compétence à élaborer des mesures concrètes pour résoudre des problèmes familiers et peu familiers.
Remarque : L'élève dont le rendement est en deçà du niveau 1 (moins de 50 %) n'a pas satisfait aux attentes pour cette tâche.				

Mécanique

Consignes

- La tâche sommative est divisée en trois parties.
 - Partie A - Attraction universelle, mouvement circulaire uniforme et référentiels (15 minutes)
 - Partie B - Projectiles, collisions et conservation de l'énergie (30 minutes)
 - Partie C - Énergie potentielle élastique (30 minutes)
- Lis la tâche sommative pour te familiariser avec le contenu et fais ensuite le travail.
- Détaille la solution du problème en précisant le raisonnement et les formules utilisées.
- Tu peux utiliser une calculatrice.
- Utilise un français correct ainsi que les unités du système SI et le vocabulaire scientifique approprié.

Partie A - Attraction universelle, mouvement circulaire uniforme et référentiels**Durée** : 15 minutes

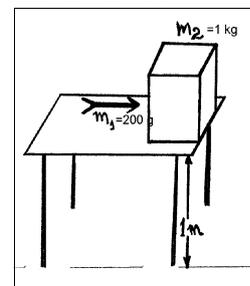
- 1) Qu'arrive-t-il à la trajectoire d'une sonde d'exploration lorsqu'elle s'approche d'une planète massive? Explique.
- 2) La Terre est supposée être parfaitement sphérique et fait un mouvement de rotation autour de son axe.
 - a) Est-elle un référentiel inertielle ou non inertielle? Justifie ton choix.
 - b) Si tu achètes du poisson au poids, où coûtera-t-il le moins cher, au pôle Nord ou à l'équateur? Justifie ta réponse.

Partie B - Projectiles, collisions et conservation de l'énergie**Durée** : 30 minutes

Le montage du schéma 2.6 est utilisé pour déterminer la vitesse d'une flèche tirée d'un arc. La flèche de 200,0 g frappe le billot de bois, au repos, au bord de la table et s'y fixe.

L'ensemble flèche-billot tombe de la table sans frottement à 2,5 m de la table

($g = 9,8 \text{ m/s}^2$) et la masse du billot de bois est de 1,0 kg.

Schéma 2.6

- Fais, sur le schéma, l'esquisse de la trajectoire de l'ensemble flèche-billot tombant du bord de la table.
 - Combien de temps l'ensemble a-t-il pris pour tomber sur le plancher?
 - Calcule la vitesse v_2 de l'ensemble, tout de suite après la collision.
-
- Quelle est la vitesse v_1 de la flèche avant la collision?
 - Quelle est la nature de la collision entre la flèche et le billot de bois? Justifie ta réponse.

Tes amis t'ont invité à faire du saut à l'élastique (ou du bungee) dans un parc d'attractions. Tu décides de profiter de l'occasion pour mettre tes connaissances de physique à l'épreuve. Tu recueilles des données de la longueur de la corde selon la masse de chaque personne du groupe. Ces données sont compilées et représentées dans le tableau 2.6 suivant.

Tableau 2.6 : Longueur d'une corde de bungee en fonction de la masse

Masse [kg]	Longueur de la corde [m]
30,6	30
61,2	40
91,8	50
102	55
122,4	60
153,1	70
158,3	80
162,3	85
166	90
169,8	95

- Trace le graphique de la force F agissant sur la corde en fonction de l'étirement (une graduation pour 10 m sur l'axe horizontal et une graduation pour 100 N sur l'axe vertical avec $g = 9,8 \text{ m/s}^2$).
- Quelle est la longueur initiale de la corde?
- Est-ce que l'étirement est conforme à la loi de Hooke? Justifie ta réponse.
- Quel concept mathématique dois-tu utiliser pour calculer la constante d'élasticité de la corde?
- Calcule la constante d'élasticité du bungee.
- Quelle grandeur physique est représentée par l'aire sous la courbe?
- Calcule l'énergie potentielle élastique emmagasinée dans la corde étirée par une personne de 40 kg.
- Un règlement du parc d'attractions interdit d'utiliser les cordes élastiques en dehors de leur limite d'élasticité. En te basant sur tes connaissances en mécanique, justifie ce règlement.
- En tenant compte du règlement précédent, quel doit être, à la dizaine près, le poids maximal des personnes admissibles à sauter?

APERÇU GLOBAL DE L'UNITÉ 3 (SPH4U)

Champs gravitationnel, électrique et magnétique

Description

Durée : 22 heures

Cette unité porte sur la comparaison des champs gravitationnel, électrique et magnétique. L'élève expérimente, effectue des simulations à l'ordinateur et résout des problèmes sur les champs, les lignes de force, l'énergie potentielle électrique, les lignes équipotentiels et la force magnétique. De plus, elle ou il évalue les répercussions sociales d'applications technologiques qui découlent de leur application.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12

Domaine : Champs gravitationnel, électrique et magnétique

Attentes : SPH4U-C-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-C-Comp.1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7
SPH4U-C-Acq.1 - 2
SPH4U-C-Rap.1 - 2 - 3

Titres des activités

Durée

Activité 3.1 : Loi de Coulomb	225 minutes
Activité 3.2 : Caractéristiques des champs	345 minutes
Activité 3.3 : Énergie potentielle électrique	150 minutes
Activité 3.4 : Charge et conducteur dans un champ	375 minutes
Activité 3.5 : Applications des champs	225 minutes

Liens

L'enseignant ou l'enseignante prévoit l'établissement de liens entre le contenu du cours et l'animation culturelle (AC), la technologie (T), les perspectives d'emploi (PE) et les autres matières (AM) au moment de sa planification des stratégies d'enseignement et d'apprentissage. Des suggestions pratiques sont intégrées dans la section **Déroulement de l'activité** des activités de cette unité.

Mesures d'adaptation pour répondre aux besoins des élèves

L'enseignant ou l'enseignante doit planifier des mesures d'adaptation pour répondre aux besoins des élèves en difficulté et de celles et ceux qui suivent un cours d'ALF/PDF ainsi que des activités de renforcement et d'enrichissement pour tous les élèves. L'enseignant ou l'enseignante trouvera plusieurs suggestions pratiques dans *La boîte à outils*, p. 11-21.

Évaluation du rendement de l'élève

L'évaluation fait partie intégrante de la dynamique pédagogique. L'enseignant ou l'enseignante doit donc planifier et élaborer en même temps les activités d'apprentissage et les étapes de l'évaluation en fonction des quatre compétences de base. Des exemples des différents types d'évaluation tels que l'évaluation diagnostique (**ED**), l'évaluation formative (**EF**) et l'évaluation sommative (**ES**) sont suggérés dans la section **Déroulement de l'activité** des activités de cette unité.

Sécurité

L'enseignant ou l'enseignante veille au respect des règles de sécurité du Ministère et du conseil scolaire. Elle ou il s'assure que l'élève connaît les règles de sécurité, la façon sûre d'utiliser l'équipement et le comportement attendu au laboratoire. (Consulter la section **Sécurité** de l'unité 1.)

Ressources

Dans cette unité, l'enseignant ou l'enseignante utilise les ressources suivantes :

Manuels pédagogiques

BENSON, Harris, *et al.*, *Physique : électricité et magnétisme*, ERPI, 1999, 398 p.*
CÔTÉ Maurice A., et Carole OUELLET, *Électricité et magnétisme*, Sainte-Foy, 2000, 354 p.*

Ouvrages généraux/de référence/de consultation

RESNICK-HALLIDAY, *Physique 2 : électricité et magnétisme*, ERPI, 1979, 357 p.*
SERWAY, Raymond A., *Physique II, Électricité et magnétisme*, Montréal, Les Éditions HRW,
1989, 372 p.*

Matériel

Appareil de cartographie des équipotentielles électriques (p. ex., «potential demonstrator», Boreal)

Sonde de détection de champs magnétiques VERNIER

Appareil pour vérifier la loi de Coulomb (p. ex., Coulomb's law apparatus, Boreal)

Médias électroniques

Académie de Nice. (consulté le 20 juillet 2001)

<http://www.ac-nice.fr/physique/champs/index.htm>

CEA. (consulté le 20 juillet 2001)
<http://www.cea.fr/medeccea/html/applications.html>

Centre de Physique des Particules de Marseille. (consulté le 12 septembre 2001)
<http://marwww.in2p3.fr/>

Commission géologique du Canada. (consulté le 12 septembre 2001)
http://www.geolab.emr.ca/geomag/f_history-1.html

Cybersciences. (consulté le 13 septembre 2001)
<http://www.cybersciences.com/Cyber/3.0/N1782.asp>

Introduction à la physique des trous noirs. (consulté le 12 septembre 2001)
<http://pages.infinet.net/gafen/index.htm#index>

LFEY. (consulté le 20 juillet 2001)
<http://perso.libertysurf.fr/LFEY/MAGLEV.html>
<http://perso.libertysurf.fr/lfey/aerorain.html>

Noblet physique. (consulté le 20 juillet 2001)
http://perso.infonie.fr/jf_noblet/phy.htm#

Physique, chimie. (consulté le 13 septembre 2001)
<http://perso.wanadoo.fr/aurelie/>
<http://perso.wanadoo.fr/aurelie/T-fiches/Ch-elec.htm>

Québec Science. (consulté le 12 septembre 2001)
<http://www.quebecscience.qc.ca/Cyber/2.0/Q828.asp>

Sciences en lignes. (consulté le 20 juillet 2001)
http://www.sciences-en-ligne.com/Frames_dictionary.asp/vhmoo0.htm

Sciences pour tous. (consulté le 20 juillet 2001)
<http://www.sciencepresse.qc.ca/jdm/jdm41.html>

Université de Liège, Institut d'astrophysique et de géophysique. (consulté le 20 juillet 2001)
<http://www.ping.be/gravitation/astrod15a.htm>

Université de Provence. (consulté le 20 juillet 2001)
<http://www.up.univ-mrs.fr/~laugierj/CabriJava/>
<http://www.up.univ-mrs.fr/~laugierj/CabriJava/Opjava44.html>

Université du Maine. (consulté le 20 juillet 2001)
<http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/electri/menuelec.html>

Université du Québec à Rimouski. (consulté le 12 septembre 2001)
<http://www.uqar.quebec.ca/chaumel/guideeolienACEE.htm>

Université Laval. (consulté le 12 septembre 2001)
<http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s1/magnetisme.terr.html>

Université François-Rabelais de Tours. (consulté le 20 juillet 2001)
<http://www.lema.phys.univ-tours.fr/Materiaux/Supra/Enjeux/Applications.htm>

Université Paul-Sabatier. (consulté le 20 décembre 2001)
<http://www.nte.ups-tlse.fr/services/ressources/physique/>

Weborama, Sciences-Savoirs. (consulté le 13 septembre 2001)
http://www.nirgal.net/mars_science_mf.html

Vidéos

Électromagnétisme : Induction et effets moteurs, Nuance Bourdon (0893), coul., 29 min.

ACTIVITÉ 3.1 (SPH4U)

Loi de Coulomb

Description

Durée : 225 minutes

Cette activité porte sur la force électrostatique s'exerçant entre deux charges au repos. L'élève analyse qualitativement, quantitativement et empiriquement des situations touchant la loi de Coulomb et la compare avec la loi de la gravitation universelle. De plus, elle ou il entreprend une recherche qui se poursuivra tout le long de l'unité sur un dispositif ou un phénomène naturel concernant un champ électrique, magnétique ou gravitationnel.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 2 - 3 - 4 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11

Domaine : Champs gravitationnel, électrique et magnétique

Attentes : SPH4U-C-A.2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-C-Comp.1 - 2
SPH4U-C-Acq.1
SPH4U-C-Rap.1

Notes de planification

- Découper, pour chaque équipe de deux, les sections du tableau 3.1a et les mêler dans une enveloppe.
- Photocopier un texte sur l'histoire de l'électricité, de l'électricité statique aux lois de l'électromagnétisme de Maxwell (voir le site Internet www.nte.ups-tlse.fr/services/ressources/physique/induction/induction.htm).
- Se procurer le matériel nécessaire à chaque équipe pour faire l'expérience sur l'électrostatique (p. ex., deux balles de bureau, électroscope, bâton d'ébonite, support universel).
- Trouver des livres de ressources décrivant l'expérience de Coulomb et des catalogues de sciences à mettre à la disposition de l'élève.
- Préparer l'appareil de Coulomb.
- Préparer des problèmes sur la loi de Coulomb (voir *Physique : électricité et magnétisme*, p. 15 et 16).
- Préparer et photocopier une liste de références touchant divers sujets de recherche possibles (voir Activité 3.5).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Animer une discussion sur les expériences des élèves avec l'électricité statique. **(ED)**
- Remettre à l'élève une enveloppe de papiers découpés sur lesquels figurent les noms de scientifiques, leur date d'existence et leur découverte scientifique portant sur l'étude de l'électrostatique et de l'électromagnétisme, et lui demander de les associer et de les placer par ordre chronologique. **(ED)**

Tableau 3.1a : Chronologie de l'étude de l'électricité		
Scientifique	Date d'existence	Découverte
Grecs (Thalès)	Antiquité	Ambre (êlektron en grec) attire les corps légers après avoir été frotté
Benjamin Franklin	(1706-1790)	Notion de fluide électrique chargé
Charles A. Coulomb	(1736-1806)	Force mutuelle entre deux objets chargés
Alessandro Volta	(1745-1827)	Pile électrique
André-Marie Ampère	(1775-1836)	Courant génère un champ
Michael Faraday	(1791-1867)	Induction électromagnétique
James Clerk Maxwell	(1831-1879)	Théorie mathématique des champs électromagnétiques

- Remettre à l'élève un texte sur l'histoire de l'électricité et lui demander de corriger son exercice d'association à la suite de la lecture du texte et d'écrire le tout dans son cahier de notes.

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Loi de Coulomb

- Demander à l'élève de se rappeler les concepts de charge électrique, de charge positive et de charge négative. **(ED)**
- Montrer la loi d'attraction et de répulsion des charges électriques de la manière suivante :
 - suspendre à un support universel deux balles de polystyrène assez rapprochées l'une de l'autre;
 - en attendant qu'elles cessent d'osciller, frotter une tige d'ébonite avec de la soie;
 - toucher les deux balles avec la tige ou la soie pour faire observer la répulsion;
 - décharger les balles en les touchant et frotter de nouveau la tige d'ébonite avec la soie;
 - toucher une des balles avec la soie et l'autre avec la tige et faire observer l'attraction.
- Préciser que la force répulsive ou attractive des charges électriques s'appelle *force électrique*.

Étude quantitative : loi de Coulomb

- Présenter et expliquer la loi de Coulomb, $F = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$, où :
 - F est une force attractive ou répulsive, son unité SI est le newton (N);
 - q_1 et q_2 sont des charges ponctuelles, elles se mesurent en coulomb (C);
 - d est la distance entre les charges ponctuelles, elle se mesure en mètre (m);
 - k est la constante de Coulomb et vaut : $9,0 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$.

- Montrer, au tableau, la solution d'exercices sur l'application de la loi de Coulomb et assigner des problèmes à faire en classe (voir *Physique : électricité et magnétisme*, p. 15 et 16). Circuler, vérifier les travaux et répondre aux questions. **(EF)**

Vérification de la loi de Coulomb

- Mettre à la disposition de l'élève des livres de ressources et des catalogues de sciences, et lui demander de chercher l'appareil et la méthode utilisée par Coulomb pour mesurer la force entre deux objets chargés.
- Inviter l'élève à trouver d'autres appareils utilisés pour mesurer la force entre deux objets chargés. Animer une mise en commun des découvertes de l'élève.
- Effectuer une démonstration pour vérifier la loi de Coulomb. Demander à l'élève de tracer un croquis du schéma du montage, d'écrire la méthode suivie et de noter les résultats obtenus.
- Demander à l'élève d'analyser les données, d'effectuer les calculs, d'évaluer leur précision et de tirer une conclusion. Animer une mise en commun des idées de l'exercice.
- Présenter la comparaison entre la loi de Coulomb et la loi de la gravitation universelle de

Newton $F_g = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$, par exemple :

- comparer les deux formules et faire remarquer que, dans les deux cas, la force est inversement proportionnelle au carré de la distance;
- comparer la nature des objets concernés (masse vs charge électrique);
- comparer l'ordre de grandeur des constantes;
- prendre des valeurs identiques des masses et des charges, calculer les forces et les comparer.
- Demander à l'élève de faire un tableau comparatif entre les lois de Coulomb et de Newton. Le tableau doit préciser les ressemblances et les différences, et les expliquer. **(O)**
- Montrer à l'élève la façon de résoudre des problèmes qui inclut les lois de Coulomb et de Newton, tels que l'analyse de la force électrique nécessaire pour équilibrer la force gravitationnelle d'une goutte d'huile pulvérisée (voir perso.wanadoo.fr/aurelie/T-fiches/Ch-elec.htm).

Généralisation

- Distribuer une liste de vérification des concepts et de la terminologie étudiés dans cette activité, et demander à l'élève de cocher la case appropriée. **(O)**

Tableau 3.1b : Vérification des acquis sur la Loi de Coulomb

	Je comprends bien	Je vais chercher	J'ai besoin d'aide
Force électrique			
Charge ponctuelle			
Charge d'essai			
Constante de Coulomb			
Attraction et répulsion			

Expérience de Coulomb			
Comparaison avec la loi de la gravitation universelle de Newton			

Projet de recherche de l'unité

- Remettre à l'élève une feuille de consignes du projet pour l'informer des attentes visées, des critères à respecter et des composantes du projet à chercher tout le long de l'unité (voir Activité 3.5).
- Fournir à l'élève une liste de références touchant divers sujets de recherche possibles (voir Activité 3.5).
- Mentionner à l'élève de travailler sur son projet de recherche de l'unité en dehors des heures de classe et tout le long de l'unité.

Évaluation sommative

Voir **Évaluation sommative** à l'activité 3.2.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Animer une discussion sur les professions où la connaissance des principes de force s'exerçant à distance est nécessaire (p. ex., astrophysicien ou astrophysicienne, chercheur ou chercheuse en physique atomique, ingénieur ou ingénieure en électromécanique). **(PE)**

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 3.2 (SPH4U)

Caractéristiques des champs

Description

Durée : 345 minutes

Cette activité porte sur la comparaison des champs gravitationnel, électrique et magnétique. L'élève décrit le champ magnétique à la surface et à l'intérieur d'un fil conducteur en fonction du flux du courant. Elle ou il analyse quantitativement et illustre, à l'aide de lignes de force, le champ électrique produit par une ou deux charges ponctuelles et des plaques parallèles chargées.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 2 - 3 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11

Domaine : Champs gravitationnel, électrique et magnétique

Attentes : SPH4U-C-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-C-Comp.1 - 3 - 5 - 6
SPH4U-C-Acq.1
SPH4U-C-Rap.2

Notes de planification

- Préparer pour chaque équipe de deux le matériel ci-après pour faire la mise en situation : bille d'acier de 6 mm de diamètre; bille de verre; règle avec rainure; aimant permanent; argile.
- Préparer le matériel pour faire les expériences sur le champ magnétique (p. ex., aimants, sonde, boussoles, limaille de fer, aiguille aimantée, supports universels, boucle circulaire (spire), solénoïde, sources de courant, fils conducteurs, interrupteurs).
- Photocopier un tableau synoptique tel que le tableau 3.2 pour noter les caractéristiques des champs gravitationnel, magnétique et électrique.
- Préparer, sur un transparent, un croquis des lignes de champ d'une charge ponctuelle positive, d'une charge ponctuelle négative et de deux plaques parallèles uniformément chargées (voir *Électricité et magnétisme*, p. 47 et 48).
- Se procurer le matériel pour faire la démonstration du champ électrique (p. ex., huile, cuve d'électrolyse, semences de gazon, électrodes, générateur de courant).
- Préparer des exercices sur les lignes de champ électrique (voir *Physique : électricité et magnétisme*, p. 44-45).
- Se procurer un logiciel de simulation ou en télécharger des sites Internet pour analyser des lignes de champ électrique dans une variété de situations (voir les sites www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/electri/ et www.up.univ-mrs.fr/~laugierj/CabriJava/).

- Préparer un graphique montrant la variation du champ magnétique à l'intérieur et à la surface d'un conducteur (voir *Électricité et magnétisme*, p. 255).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Placer les élèves en équipes de deux et remettre à chaque équipe une bille d'acier de 6 mm de diamètre, une règle avec une rainure, un aimant permanent et un peu d'argile.
- Demander à l'élève d'incliner la règle à l'aide de l'argile et de placer l'aimant sur la table, près de la trajectoire de la bille d'acier, et d'observer la trajectoire de la bille d'acier. Demander à l'élève de prédire et de vérifier expérimentalement le changement de trajectoire :
 - si on approche ou on éloigne l'aimant par rapport à sa position initiale (plus l'aimant est proche, plus la trajectoire est déviée);
 - lorsque la pente est plus abrupte et que la bille se déplace plus rapidement (plus la bille se déplace rapidement, moins la trajectoire est déviée parce que la force magnétique de l'aimant agit pendant moins de temps);
 - lorsqu'on change la bille d'acier pour une bille de verre (la bille de verre n'est pas affectée par la force magnétique de l'aimant et la bille n'est pas déviée). **(ED)**
- Définir le concept de *champ* en précisant certains paramètres tels que son origine, la force en fonction de la distance et la nature des objets concernés.
 - l'origine du champ de l'aimant utilisé lors de l'expérience résulte de l'alignement des dipôles de fer, mais l'origine du champ magnétique de la Terre résulte du mouvement du noyau de fer liquide;
 - la grandeur de la force est inversement proportionnelle au carré de la distance;
 - la force magnétique agit sur une charge en mouvement ou la gravitation agit sur une masse.

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Analyse qualitative du champ magnétique

- Inviter l'élève à analyser et à illustrer les lignes de force du champ magnétique d'un aimant à l'aide de petites expériences telles que :
 - montrer son effet d'attraction sur les objets en l'approchant d'une pièce de monnaie;
 - montrer les lignes de champ magnétique en plaçant un aimant sous une feuille de papier parsemé de limailles de fer;
 - montrer son effet sur un autre aimant et définir les pôles nord et sud en l'approchant d'une petite aiguille aimantée suspendue à un support universel.
- Discuter des résultats obtenus et expliquer qu'un aimant a toujours deux pôles, d'où le nom de dipôle, et que l'intensité du champ magnétique est définie par l'intermédiaire d'un champ électromagnétique.
- Inviter l'élève à analyser et à illustrer les lignes de force du champ magnétique engendrées par le courant électrique dans un conducteur rectiligne à l'aide de petites expériences telles que :
 - observer la déviation de l'aiguille d'une boussole parallèle à un fil conducteur avant de fermer l'interrupteur d'un circuit simple;

- saupoudrer de la limaille de fer sur un carton placé perpendiculairement au fil électrique pour montrer la disposition des lignes de force (p. ex., faire passer un fil à la verticale au centre d'un carton percé avant de le brancher au circuit).
- Animer une mise en commun des résultats obtenus. **(EF)**

Analyse quantitative du champ magnétique

- Présenter et expliquer la règle de la main droite pour déterminer la direction du champ autour d'un conducteur.
- Présenter et expliquer la loi d'Ampère du champ magnétique à l'extérieur et à la surface d'un conducteur, $B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r}$, où I représente l'intensité du courant en ampère et r , la distance du point au centre du conducteur.
- Définir l'unité de mesure du champ magnétique, le tesla (T) et expliquer qu'un tesla est défini comme étant $\frac{N}{A \cdot m}$.
- Mesurer, à l'aide d'une sonde, l'intensité du champ magnétique en fonction de la distance au fil rectiligne et l'intensité du champ magnétique en fonction du courant. Écrire les résultats au tableau.
- Demander à l'élève de tracer les graphiques B vs r et B vs I et de vérifier que $B \propto I$ et $B \propto 1/r$. Montrer à l'élève la façon d'utiliser les méthodes de corrélation à l'aide d'un logiciel tel qu'*Excel* ou d'une calculatrice graphique. **(T)**
- S'assurer que les graphiques et les calculs liés aux graphiques sont faits correctement. **(EF)**
- Faire, au tableau, des exercices sur le champ magnétique d'un conducteur rectiligne et en assigner d'autres à l'élève. Circuler et répondre aux questions. **(EF)**
- Présenter et décrire, à l'aide d'un graphique, le champ magnétique à l'intérieur d'un fil conducteur cylindrique (de la valeur zéro au centre du conducteur, il augmente linéairement en fonction du rayon ou de l'intensité du courant pour atteindre une valeur maximale de $\frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r}$ sur le conducteur) (voir *Électricité et magnétisme*, p. 255).

Champ magnétique d'une spire et d'un solénoïde

- Définir *spire* et en montrer une à l'élève (conducteur formant une boucle).
- Inviter l'élève à illustrer et à analyser les lignes de force du champ engendrées par le courant électrique dans une spire. Lui demander :
 - de déduire l'existence d'un champ autour d'une spire en observant la déviation de l'aiguille d'une boussole placée près de la spire;
 - d'illustrer les lignes de force de champ en saupoudrant de la limaille de fer sur un carton placé perpendiculairement au plan de la spire électrique.
- Animer une mise en commun des résultats obtenus. **(EF)**
- Présenter et expliquer la règle de la main droite pour déterminer la direction du champ autour d'un conducteur.
- Définir *solénoïde* et en montrer un à l'élève (bobine cylindrique).
- Demander à l'élève de concevoir et de faire une expérience pour illustrer et analyser les lignes de force du champ engendrées par le courant électrique dans un solénoïde.
- Dire à l'élève de résumer sa conception et ses résultats dans un rapport contenant les éléments suivants : raisonnement de la conception, matériel, méthode, croquis des

résultats, analyse des résultats, énoncé de la règle de la main droite pour le solénoïde.
Commenter le rapport. **(EF)**

- Souligner les caractéristiques du champ d'un solénoïde et expliquer la loi d'Ampère relative au solénoïde, $B = \mu_0 \frac{NI}{L}$ en précisant chaque variable : I , intensité du courant en ampère; N , nombre de spires; L , longueur du solénoïde en mètre.
- Mesurer, à l'aide d'une sonde, l'intensité du champ magnétique en fonction du courant. S'assurer de garder N et L constants et écrire les résultats obtenus au tableau.
- Demander à l'élève de tracer les graphiques B vs I et B vs N/L et de vérifier que $B \propto I$. Demander à l'élève d'utiliser les méthodes de corrélation à l'aide d'un logiciel tel qu'*Excel* ou d'une calculatrice graphique. **(T)**
- Demander à l'élève d'effectuer un calcul pour déterminer m la perméabilité magnétique de l'air.
- S'assurer que les graphiques et les calculs liés aux graphiques sont faits correctement. **(EF)**
- Faire, au tableau, des exercices sur le champ magnétique d'un solénoïde et en assigner d'autres à l'élève. Circuler et répondre aux questions. **(EF)**

Champ électrique

- Demander à l'élève de se rappeler les concepts de *charge ponctuelle* (charge de la taille d'un point et de valeur quelconque) et de *charge d'essai* (charge ponctuelle positive). **(ED)**
- Présenter et expliquer les lignes de champ d'une charge ponctuelle positive et négative (voir *Électricité et magnétisme*, p. 47 et 48).
- Montrer les lignes de force d'un champ électrique de deux charges opposées en s'assurant de respecter les règles de sécurité pour utiliser des appareils électriques :
 - verser de l'huile dans une cuve d'électrolyse;
 - saupoudrer la surface d'une très mince couche de semences de gazon;
 - plonger les électrodes du générateur dans le bain et faire observer l'arrangement des semences qui suivent les lignes de champ.
- Demander à l'élève d'utiliser un logiciel de simulation pour observer les lignes de champ électrique engendrées par diverses distributions de charges telles que les dipôles et les quadripôles, et de présenter les résultats de son étude dans un rapport comprenant : **(T)**
 - titre du logiciel ou adresses Internet utilisées;
 - croquis et diagramme vectoriel des lignes de champ pour chacune des distributions de charge (voir les sites www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/electri/ et www.up.univ-mrs.fr/~laugierj/CabriJava/).
- Ramasser les rapports pour les évaluer. **(EF)**
- Présenter et expliquer les lignes de champ de deux plaques parallèles de charges uniformes égales et opposées (voir *Électricité et magnétisme*, p. 255).

Étude quantitative du champ électrique

- Définir et expliquer, à l'aide de la loi de Coulomb, l'intensité du champ électrique en un point de l'espace environnant une charge (c'est la force électrique qui s'exerce sur une charge d'essai de un Coulomb placée à ce point. Une charge positive de valeur, q_0 , placée à ce point, est soumise à une force, électrique, \vec{F} , telle que : $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$).

- Définir le sens vectoriel de cette force relativement au signe de la source du champ, présenter et expliquer les unités SI appropriées.
- Résoudre, au tableau, des exercices et des problèmes sur le calcul de l'intensité et sur les lignes de champ électrique, et en assigner d'autres à résoudre en salle de classe. Circuler et répondre aux questions, et vérifier les travaux de l'élève (voir *Physique : électricité et magnétisme*, p. 44 et 45). **(EF)**

Champ gravitationnel

- Donner à l'élève un tableau synoptique tel que le tableau 3.2 sur les caractéristiques des champs magnétique, électrique et gravitationnel. Remplir les cases relatives aux champs magnétique et électrique en posant des questions à l'élève. **(O)**
- Demander à l'élève de remplir les cases relatives au champ gravitationnel et ramasser la feuille pour la corriger. **(EF)**

Tableau 3.2 : Caractéristiques des champs

Champ	Origine	Direction	Force	Objet d'essai
Magnétique	Aimant Courant électrique			
Électrique		Attraction ou répulsion	$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$	Charge électrique
Gravitationnel				

- Demander à l'élève d'élaborer des procédés mnémotechniques pour différencier les trois types de champs et de faire part de ses résultats au reste du groupe-classe. **(O)**
- Demander à l'élève de trouver les idées de cette activité qu'elle ou il peut inclure dans son projet de recherche. **(O)**

Évaluation sommative

- Présenter une grille d'évaluation adaptée pour faire une épreuve papier-crayon sur la loi de Coulomb et les champs gravitationnel, électrique et magnétique.
- Évaluer les connaissances acquises relatives au concept de champs en fonction des éléments vus dans les situations d'exploration des activités 3.1 et 3.2.
- Utiliser une grille d'évaluation adaptée en partant de critères précis en fonction des quatre compétences :
 - Connaissance et compréhension
 - démontrer une compréhension de la loi de Coulomb et des concepts des champs gravitationnel, électrique et magnétique;
 - démontrer une compréhension des rapports entre les champs gravitationnel, magnétique et électrique.
 - Recherche
 - résoudre des problèmes touchant la loi de Coulomb et la loi de la gravitation universelle de Newton;
 - calculer le champ magnétique produit par un flux électrique;
 - analyser et interpréter des diagrammes des champs électrique et magnétique.

- Communication
 - utiliser la terminologie des champs et la convention de la main droite.
- Rapprochement
 - démontrer une compréhension des applications des champs magnétique et électrique au développement de la technologie et de la science.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Demander à l'élève de faire une recherche sur l'effet des champs magnétiques des câbles de haute tension sur la santé des humains.
- Suggérer à l'élève de lire la biographie de Nikola Tesla (1856-1943) (voir perso.wanadoo.fr/thomas.soft/tesla/older_versions/menu.htm). **(T)**

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 3.3 (SPH4U)

Énergie potentielle électrique

Description

Durée : 150 minutes

Cette activité porte sur l'énergie potentielle relative aux champs électrique et gravitationnel. L'élève applique le concept de l'énergie potentielle électrique à diverses situations quantitatives et compare ses caractéristiques à celui de l'énergie potentielle gravitationnelle. Elle ou il analyse et interprète les lignes équipotentiels obtenues en partant de simulations à l'ordinateur.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 2 - 3 - 4 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11

Domaine : Champs gravitationnel, électrique et magnétique

Attentes : SPH4U-C-A.1 - 2

Contenus d'apprentissage : SPH4U-C-Comp.1 - 3 - 4 - 5
SPH4U-C-Acq.1 - 2

Notes de planification

- Se procurer un appareil de cartographie des équipotentiels électriques (p. ex., *potential demonstrator*, Boreal).
- Télécharger un logiciel de simulation des équipotentiels électriques (voir *Champ électrostatique* : www.up.univ-mrs.fr/~laugierj/CabriJava/0pjava44.html).
- Télécharger un logiciel de simulation pour illustrer et analyser les lignes de champs et les équipotentiels engendrés par des plaques parallèles chargées (voir perso.infonie.fr/jf_noblet/phy.htm#).
- Préparer des exercices sur l'énergie potentielle, la différence de potentiel et les plaques parallèles chargées (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 597, 612 à 614).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Poser des questions afin que l'élève se rappelle les concepts de potentiel gravitationnel et d'énergie potentielle gravitationnelle. **(ED)**
- Faire remarquer qu'une charge électrique placée dans un champ est soumise à une force électrique et expliquer que cette force produirait un travail mécanique si la charge était libre de bouger, d'où le concept d'énergie potentielle électrique.

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Étude comparative

- Comparer le potentiel électrique au potentiel gravitationnel en suivant les étapes suivantes :
 - Tracer la planète Terre au tableau et une masse m à une hauteur h .
 - Rappeler que cette masse est attirée vers le centre de la Terre par la force de gravité F_g et que son énergie potentielle est E_g .
 - Demander à l'élève de se rappeler la formule de l'énergie potentielle gravitationnelle, $E_g = -G \frac{mM}{r}$. **(ED)**
 - Définir le potentiel gravitationnel en ce point comme l'énergie potentielle par unité de masse (1 kg) à l'aide de la relation $V_g = \frac{E_g}{m}$.
 - Dessiner, au tableau, une charge q et placer une charge d'essai q_0 à une distance r de q .
 - Rappeler que la charge d'essai q_0 est attirée par la charge q et que son énergie potentielle est E_e .
 - Demander à l'élève d'établir une comparaison entre l'énergie potentielle gravitationnelle et la formule d'énergie potentielle électrique d'une charge ponctuelle ($E_g = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d}$). Corriger. Rappeler les unités SI appropriées.
 - Définir le potentiel électrique V_e comme le rapport de l'énergie potentielle électrique E_e à la charge de l'essai q_0 : $V_e = \frac{E_e}{q_0}$.
 - Présenter et expliquer l'unité de potentiel électrique, c'est-à-dire le volt (V) : $1 \text{ volt} = 1 \text{ J/C}$.

Équipotentielle électrique

- Inviter l'élève à définir le concept *équipotentielle électrique* (lignes ou surfaces joignant les points de même potentiel). **(ED)**
- Demander à l'élève de se mettre en équipe pour produire des relevés cartographiques de lignes équipotentielles en considérant respectivement les cas de champs engendrés par une charge ponctuelle positive et une charge ponctuelle négative (voir *Champ électrostatique* : www.up.univ-mrs.fr/~laugierj/CabriJava/0pjava44.html).
- Présenter et expliquer la propriété des équipotentielles (perpendiculaires aux lignes de champ) et faire remarquer que les lignes de champ sont orientées en partant des potentiels les plus élevés aux plus faibles.
- Demander à l'élève d'utiliser un logiciel de simulation pour faire l'étude quantitative des équipotentielles électriques : lui demander d'étudier le cas d'une charge ponctuelle positive et d'une charge ponctuelle négative, et de remettre un rapport contenant : données compilées; représentation graphique; analyse des données; interprétation et conclusion (l'énergie potentielle électrique pour une charge ponctuelle est inversement proportionnelle à la distance à la charge). Corriger et commenter. **(EF) (T)**
- Faire remarquer que le concept de potentiel s'étend à toutes les distributions de charges.

Différence de potentiel

- Définir *différence de potentiel* : énergie nécessaire pour amener une charge d'essai d'un coulomb d'un point A d'un champ électrique à un point B.
- Faire remarquer que la différence de potentiel ne dépend pas du chemin suivi par la charge, mais des potentiels aux points A et B, de telle sorte que :

$$\Delta V = V_A - V_B = \frac{E_A}{q} - \frac{E_B}{q} = \frac{E_A - E_B}{q} = \frac{\Delta E}{q}$$

- Faire des exemples d'exercices, au tableau, en assigner à l'élève, circuler et répondre aux questions (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 597, 612 à 614). **(EF)**

Champ et équipotentiels des plaques parallèles chargées

- Présenter et expliquer à l'aide d'un croquis le montage des plaques parallèles chargées.
- Demander à l'élève d'utiliser un logiciel de simulation pour illustrer et analyser le champ électrique et les équipotentiels engendrés par deux plaques parallèles chargées (voir perso.infonie.fr/jf_noblet/phy.htm#). **(T)**
- Demander à l'élève de remettre un rapport comportant :
 - données compilées qui incluent un croquis des lignes de champ et des équipotentiels;
 - représentations graphiques;
 - analyse des données qui incluent la formule de l'intensité E du champ en un point à l'intérieur des plaques en fonction de sa distance d à la plaque de référence et de la différence de potentiel V ainsi que les unités SI appropriées;
 - interprétation et conclusion (les lignes de champs sont perpendiculaires aux plaques, elles sont dirigées de la plaque positive vers la plaque négative, les lignes équipotentiels sont donc parallèles aux plaques et la formule est $E = \frac{V}{d}$ (son unité SI est V/m)).
- S'assurer que l'élève a compris les résultats de l'expérience en présentant les propriétés, les formules et les unités SI appropriées (p. ex., $V/m = (J/C)/m = (N \cdot Cm) / (C/m) = N/C$).
- Expliquer la façon dont le potentiel électrique varie à l'intérieur d'un conducteur en fonction du rayon du rayon (le potentiel électrique est constant et le champ est nul créant ainsi une couche qui protège contre les champs électriques externes et qui bloque l'échappement de champ magnétique interne).
- Expliquer la manière d'appliquer les propriétés des champs électriques pour contrer ou modifier le champ magnétique autour d'un conducteur (voir *Maurice A. Côté, Électricité et magnétisme*, p. 78 à 81).

Généralisations

- Demander à l'élève de prendre son tableau synoptique de l'activité 3.2 et de le modifier pour y ajouter les concepts de cette activité. **(O)**
- Inviter l'élève à inclure dans son projet de recherche les concepts de cette activité.

Évaluation sommative

Voir **Évaluation sommative** à l'activité 3.4.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Demander à l'élève d'utiliser un logiciel de simulation pour illustrer et analyser les équipotentielles du champ engendrées par deux charges ponctuelles (p. ex., deux charges égales et positives, deux charges égales et négatives, deux charges égales, mais de signes contraires). (T)

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 3.4 (SPH4U)

Charge et conducteur dans un champ

Description

Durée : 375
minutes

Cette activité porte sur l'étude des forces exercées sur une charge en mouvement et sur un conducteur situé dans un champ magnétique. L'élève analyse le mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme à l'aide d'un logiciel de simulation et résout des problèmes touchant un fil conducteur laissant passer un courant dans un champ magnétique.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11

Domaine : Champ gravitationnel, électrique et magnétique

Attentes : SPH4U-C-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-C-Comp.1 - 7
SPH4U-C-Acq.1
SPH4U-C-Rap.1 - 2

Notes de planification

- Préparer du matériel pour faire une expérience de charge dans un champ électrique uniforme (p. ex., balle de bureau, support universel, plaques parallèles, interrupteur, source de tension).
- Télécharger un logiciel de simulation pour illustrer et analyser le mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme (voir Académie de Nice, *Champs électrique et magnétique* : www.ac-nice.fr/physique/champs/index.htm).
- Préparer des problèmes sur le mouvement de charges dans un champ électrique uniforme (voir *Physique : électricité et magnétisme*, p. 46).
- Trouver des articles sur des applications technologiques du mouvement de particules dans un champ électrique (p. ex., le tube à rayons cathodiques est utilisé dans les télévisions, les oscilloscopes et les écrans d'ordinateurs).
- Se procurer le matériel pour faire une démonstration de la force appliquée sur un conducteur dans un champ magnétique (p. ex., pile, résistance, fil conducteur, aimant en fer à cheval, interrupteur).
- Préparer le protocole d'une expérience portant sur la force exercée sur un conducteur dans un champ magnétique (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 662).
- Préparer des exercices portant sur la force exercée sur un conducteur dans un champ magnétique et sur le mouvement de particule chargée dans un champ magnétique (voir *Physique : électricité et magnétisme*, p. 225, 226).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Permettre à l'élève de poser des questions à propos de son projet de recherche.
- Rappeler à l'élève qu'à l'activité précédente elle ou il a appris qu'un courant électrique dans un conducteur produit un champ magnétique autour du conducteur.
- Lui demander de prédire ce qui se passera si on place un tel conducteur dans un champ magnétique.
- Animer un remue-méninges pour recueillir les prédictions des élèves. **(ED)**

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Particule dans un champ électrique

- Expliquer le mouvement d'un objet chargé dans un champ électrique : dessiner une charge entre des plaques parallèles branchées à une source de courant munie d'un interrupteur.
- Animer une discussion pour amener l'élève à expliquer ce qui se produirait si on chargeait une plaque positivement et l'autre négativement, et si on inversait les charges (p. ex., la balle chargée est soumise à la force électrique du champ uniforme des plaques, si elle est chargée positivement, elle est déplacée vers la plaque négative, si au contraire elle est chargée négativement, elle est déplacée vers la plaque positive).
- Ajouter, au croquis des deux plaques parallèles et de la charge entre elles, le vecteur \vec{F}_e représentant la force électrique agissant sur la particule (nous négligeons le poids de la particule).
- Demander à l'élève de rappeler la formule de la force électrique agissant sur une particule dans un champ électrique $\vec{F} = q\vec{E}$.
- Expliquer qu'en appliquant la deuxième loi de Newton $\vec{F} = m\vec{a}$, on obtient : $\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$.

Faire remarquer que, le champ étant uniforme, \vec{E} est alors constante, q et m sont aussi constantes; l'accélération est donc constante et le mouvement est uniformément varié.

- Demander à l'élève d'utiliser un logiciel de simulation pour illustrer et analyser la trajectoire d'une particule dans un champ électrique uniforme (voir le site Internet www.ac-nice.fr/physique/champs/index.htm).
- Résoudre, au tableau, des problèmes concernant des charges dans un champ électrique, en assigner à l'élève, circuler, vérifier ses travaux et répondre aux questions (voir *Physique : électricité et magnétisme*, p. 46). **(EF)**
- Expliquer l'expérience de Millikan sur la détermination de la charge de l'électron (voir *Physique : électricité et magnétisme*, p. 41).

Conducteur dans un champ magnétique

- Montrer qu'un conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique subit une force :
 - monter un circuit électrique ayant un interrupteur, une résistance de valeur appropriée en série avec une batterie;
 - faire passer le fil entre les pôles d'un aimant en fer à cheval;

- faire passer le courant et demander à l'élève de noter ses observations;
- répéter l'expérience, d'abord en changeant le sens du courant, puis en permutant la position des pôles.
- Demander à l'élève d'expliquer oralement le phénomène observé et l'aider à utiliser la terminologie appropriée.
- Rappeler le sens conventionnel du courant dans un conducteur et présenter la règle de la main droite pour déterminer le sens de la force appliquée sur le conducteur.

Étude quantitative d'un fil conducteur dans un champ magnétique

- Fournir à l'élève le protocole de l'expérience et le matériel nécessaire pour étudier la force exercée sur un conducteur dans un champ magnétique (*Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 662).
- S'assurer que les règles de sécurité sont bien comprises et demander à l'élève de réaliser son montage et de le faire vérifier avant de commencer.
- Demander à l'élève de remettre un rapport d'expérience comprenant les éléments suivants : énoncé du sujet de l'expérience; données compilées; calculs sur les données; analyse et conclusion. Ramasser les rapports pour les évaluer. **(EF)**
- Expliquer la formule pour calculer la force exercée sur un conducteur dans un champ magnétique : $F = BIl \sin \theta$, présenter les unités SI, expliquer la signification de l'angle θ et déduire la formule simple $F = BIl$ pour θ valant 90 degrés.
- Résoudre, au tableau, des problèmes sur la force exercée sur un conducteur dans un champ magnétique et en assigner d'autres à faire en salle de classe (voir *Physique : électricité et magnétisme*, p. 225).

Particule chargée dans un champ magnétique

- Demander à l'élève de prédire le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique en lui rappelant que le courant électrique est un mouvement de particules chargées.
- Demander à l'élève d'utiliser un logiciel de simulation pour illustrer et analyser le mouvement soit le plan, l'accélération et la trajectoire d'une particule chargée dans un champ magnétique (voir www.ac-nice.fr/physique/champs/index.htm). **(T)**
- À la suite de l'expérience, s'assurer que les résultats sont bien compris en établissant la direction et le sens de la force exercée sur la particule par la règle de la main droite avec le pouce pointé dans le sens de la vitesse de la particule (le mouvement d'une particule de charge négative étant le même que le courant dans un conducteur, si la particule est chargée positivement le pouce pointe dans le sens opposé);
- Dériver la formule pour calculer la force exercée sur la particule $F = Bvq \sin \theta$ en partant de $F = BIl \sin \theta$ (en introduisant la formule de l'intensité du courant dans un conducteur $I = q / t$ et $v = l / t$ la vitesse des particules, la formule devient $F = B(q/t)l \sin \theta = Bq (l/t) \sin \theta = Bqv \sin \theta$).
- Déduire la formule simplifiée dans le cas où θ vaut 90°, $F = Bqv$.
- Expliquer que le mouvement est circulaire uniforme (car la force exercée sur la particule est perpendiculaire à la vitesse, c'est donc une force centripète et la trajectoire du mouvement est un cercle de rayon r tel :

$$Bqv \sin \theta = \frac{mv^2}{r}, \text{ d'où } r = \frac{mv^2}{Bqv \sin \theta}.$$

- Montrer que si la vitesse de la particule est perpendiculaire aux lignes de champs alors

$$\sin\theta = 1, \text{ donc } r = \frac{mv}{Bq}.$$

- Montrer à l'élève la façon de résoudre des problèmes sur le mouvement d'une particule et en assigner à résoudre en classe. Circuler et vérifier les travaux de l'élève (voir *Physique : électricité et magnétisme*, p. 226). **(EF)**
- Regrouper les élèves en équipes et leur demander de comparer leurs notes de cours sur les formules ainsi que le comportement de particules ou de conducteurs dans les champs électrique et magnétique. **(O)**
- Animer une discussion sur les résultats obtenus en comparant l'expérience de la mise en situation au fonctionnement d'un spectromètre de masse ou d'un accélérateur de particule et citer un exemple où l'invention d'une technologie a fait progresser les connaissances scientifiques dans le domaine de l'électricité ou du magnétisme (p. ex., cyclotron, synchrotron);
- Demander à l'élève de dresser, en partant de son cahier de notes, une liste des connaissances et des habiletés développées dans cette activité au sujet des aspects qualitatifs et quantitatifs des particules chargées dans un champ électrique ou magnétique, de comparer cette liste avec celle de ses pairs, de la terminer et de demander de l'aide, au besoin. **(O)**

Évaluation sommative

- Présenter une grille d'évaluation adaptée pour faire une épreuve sur l'énergie potentielle et les charges et conducteurs dans des champs électrique et magnétique.
- Évaluer les connaissances acquises relatives au concept de champ en fonction des éléments vus dans les situations d'exploration, à l'aide d'une évaluation écrite.
- Utiliser une grille d'évaluation adaptée en partant de critères précis en fonction des quatre compétences :
 - Connaissance et compréhension
 - démontrer une compréhension de l'énergie potentielle électrique;
 - démontrer une connaissance des champs magnétiques à la surface et à l'intérieur d'un fil;
 - démontrer une compréhension des forces exercées sur une charge en mouvement et sur un conducteur situé dans un champ magnétique uniforme.
 - Recherche
 - calculer le champ magnétique produit par un flux électrique;
 - analyser et interpréter des diagrammes de champs électrique et magnétique.
 - Communication
 - utiliser la terminologie des champs et la convention de la main droite.
 - Rapprochement
 - démontrer une compréhension des applications des champs magnétique et électrique au développement de la technologie et de la science.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Présenter une vidéo sur l'électromagnétisme (p. ex., *Électromagnétisme : Induction et effets moteurs* de tfo).
- Expliquer le fonctionnement d'un spectrogramme de masse, son utilisation en physique des particules et la façon dont le concept de champ tel qu'il est utilisé dans cet appareil a

révolutionné nos connaissances à l'échelle microscopique (voir *Physique : électricité et magnétisme*, p. 213).

- Demander à l'élève de faire une recherche sur un réacteur à fusion nucléaire et sur le confinement d'un plasma par des champs magnétiques ou le guidage de particules dans les accélérateurs de particules et des emplois liés à ces technologies. **(PE)**

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 3.5 (SPH4U)

Applications des champs

Description

Durée : 225 minutes

Cette activité porte sur des applications des champs gravitationnel, magnétique ou électrique. L'élève explique le fonctionnement d'un dispositif ou d'un phénomène naturel découlant des connaissances des champs et l'analyse en fonction de critères tels que les retombées économiques, la qualité de la vie, la protection de l'environnement et l'avancement des connaissances scientifiques.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag. 4 - 5 - 8 - 9 - 10 - 12

Domaine : Champs gravitationnel, électrique et magnétique

Attentes : SPH4U-C-A.1 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-C-Comp.1 - 3 - 6 - 7
SPH4U-C-Rap.1 - 2 - 3

Notes de planification

- Se procurer des rapports de recherche d'élèves des années antérieures et en faire des photocopies (obtenir l'autorisation des élèves au préalable).
- Préparer et photocopier une feuille de consignes pour faire le projet de recherche de l'unité (voir **Déroulement de l'activité**).
- Réserver la salle d'ordinateurs et le centre de ressources pour permettre à l'élève de terminer sa recherche.
- Préparer un questionnaire pour revoir les contenus des activités 3.1 à 3.4.
- Préparer et photocopier une grille d'évaluation adaptée pour évaluer le rapport de recherche.

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Demander à l'élève de se mettre en équipe;
- Remettre à l'équipe des rapports de recherche d'élèves des années antérieures ainsi qu'une grille d'évaluation adaptée.
- Demander à l'élève de discuter avec les membres de son équipe pour accorder un rendement à chaque projet et de justifier son choix.

- Demander à l'élève d'indiquer des améliorations à apporter au projet pour augmenter son rendement.
- Animer une mise en commun des résultats de l'exercice.
- Encourager l'élève à soumettre un rapport de recherche de bonne qualité.

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Révision de l'unité 3

- Faire un rappel des concepts, des formules, des unités et de tout autre contenu jugé important vus au cours de cette unité.
- Distribuer un questionnaire de révision couvrant les activités 3.1 à 3.4 et demander à l'élève de répondre aux questions individuellement. **(ED)**
- Ramasser le questionnaire pour faire l'évaluation immédiate et fournir des commentaires à l'élève concernant ses réponses. **(EF)**
- Discuter d'applications techniques du mouvement de particules dans un champ électrique et présenter leurs répercussions sociales en fonction de critères tels que la qualité de la vie, les retombées économiques et la protection de l'environnement (p. ex., le tube à rayons cathodiques est utilisé dans les télévisions, les oscilloscopes et les écrans d'ordinateurs).

Projet de recherche

- Distribuer la feuille de consignes pour faire le projet de recherche de l'unité (voir le modèle ci-après).
- Expliquer la tâche du projet de recherche de l'unité et rappeler les critères d'évaluation.
- Faire un court rappel des exemples cités au cours de l'unité.
- Demander à l'élève de finir son travail et l'aider, au besoin. **(EF)**

<i>Feuille de consignes pour faire le projet de recherche de l'unité</i>
<p><i>Description de la tâche</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Effectuer une recherche portant sur une application d'un champ gravitationnel, électrique ou magnétique, soit un dispositif technologique, soit un phénomène naturel. - Relever et analyser les répercussions sociales de ce dispositif ou de ce phénomène en fonction de critères tels que la qualité de la vie, les retombées économiques et la protection de l'environnement. - Expliquer le rôle des preuves et des théories dans l'avancement des connaissances scientifiques sur les champs gravitationnel, électrique ou magnétique concernés dans le fonctionnement du dispositif ou au moment de la réalisation du phénomène naturel. - Présenter les résultats de sa recherche sous un des formats suivants : affiche, vidéo, présentation multimédia. (T) - Présenter les résultats de sa recherche au groupe-classe. (AC)

Ce que doit contenir le rapport final

- Sujet choisi et champ concerné.
- Fonctionnement du dispositif ou explication du phénomène.
- Explication scientifique de l'incidence du champ dans le fonctionnement du dispositif ou au moment de la réalisation du phénomène.
- Analyse des effets de l'utilisation de ce dispositif ou de la réalisation de ce phénomène sur la qualité de la vie, ses dangers et les mesures de sécurité à prendre; ses répercussions sur l'environnement; les coûts associés à son fonctionnement.
- Réflexion sur la question suivante : Compte tenu des avantages et des inconvénients liés à cette application technique ou à ce phénomène naturel, à ses utilités et à ses effets sur l'environnement, devrait-on arrêter, diminuer, maintenir ou augmenter son utilisation? Justifier son opinion.
- Suggestions d'amélioration du dispositif ou des propositions de mesures concrètes au sujet des problèmes liés au dispositif ou au phénomène.
- Bibliographie.
- Conclusion.

Suggestions de sujets possibles

- Lentilles gravitationnelles, train à grande vitesse, accélérateur de particules, supraconducteur, inversion du magnétisme terrestre.

Journal de bord

- Tout le long de ce projet, tu devras mettre à jour un journal de bord dans lequel tu décriras les tâches que tu as accomplies, tes succès, les problèmes que tu as rencontrés ainsi que les solutions que tu as adoptées pour surmonter ces difficultés. (O)

Critères d'évaluation

- Voir la grille d'évaluation adaptée, Annexe SPH4U 3.5.1.

Plan et échéances

- Choisir un sujet avant la date limite indiquée.
- Préparer son plan de travail et le faire valider.
- Faire sa recherche de façon indépendante tout le long de l'unité, en dehors des heures de classe.
- Informer l'enseignant ou l'enseignante de son progrès au moyen de son journal de bord.
- Maintenir un dossier pour recueillir les informations.
- Respecter les échéances.

Tableau 3.1a : Sujets de recherche de l'unité 3

Sujets	Sites Internet de référence
Train à lévitation magnétique	perso.libertysurf.fr/LFEY/MAGLEV.html www.sciencepresse.qc.ca/jdm/jdm41.html perso.libertysurf.fr/lfey/aerotrains.html
Imagerie par résonance magnétique	www.cea.fr/medeccea/html/applications.html
Lentille gravitationnelle	www.ping.be/gravitation/astrod15a.html

Supraconductivité	www.lema.phys.univ-tours.fr/Materiaux/Supra/Enjeux/Applications.htm
Histoire de champ	www.sciences-en-ligne.com/Frames_dictionary.asp/vhmoo0.htm
Alternateur	www.nte.ups-tlse.fr/services/ressources/physique/induction/induction.htm
Inversions du magnétisme terrestre	www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s1/magnetisme.terr.html
Éolienne	www.uqar.quebec.ca/chaumel/guideeolienACEE.htm
Aurore boréale	www.geolab.emr.ca/geomag/f_history-1.html www.quebecscience.qc.ca/Cyber/2.0/Q828.asp
Champs magnétiques dans l'Univers	www.cybersciences.com/Cyber/3.0/N1782.asp www.nirgal.net/mars_science_mf.html www.multimania.com/magnetosphere/
Trous noirs	pages.infinit.net/gafen/index.htm#index
Accélérateur de particules	marwww.in2p3.fr/

- Ramasser les rapports pour les évaluer. **(ES)**

Évaluation sommative

- Présenter une grille d'évaluation adaptée pour faire le projet de recherche.
- Évaluer les connaissances acquises relatives aux concepts cités ci-dessus en fonction des éléments vus dans les situations d'exploration.
- Utiliser une grille d'évaluation adaptée en partant de critères précis en fonction des quatre compétences :
 - Connaissance et compréhension
 - démontrer une compréhension d'une application d'un champ gravitationnel, électrique ou magnétique, soit un dispositif technologique, soit un phénomène naturel;
 - démontrer une compréhension du rôle des preuves et des théories dans l'avancement des connaissances scientifiques sur les champs gravitationnel, électrique ou magnétique concernés dans le fonctionnement du dispositif ou au moment de la réalisation du phénomène naturel.
 - Recherche
 - appliquer des habiletés et des stratégies propres à la recherche scientifique.
 - Communication
 - utiliser la terminologie, les symboles et les conventions scientifiques liés aux champs;
 - communiquer oralement le résultat de ses recherches au groupe-classe;
 - utiliser une affiche, une vidéo ou une présentation multimédia comme forme de communication.

- Rapprochement
 - analyser les questions sociales, économiques et environnementales de ce dispositif ou de ce phénomène.

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

Annexe SPH4U 3.5.1 : Grille d'évaluation adaptée - Applications des champs

<i>Type d'évaluation : diagnostique 9 formative 9 sommative :</i>				
Compétences et critères	50 - 59 % Niveau 1	60 - 69 % Niveau 2	70 - 79 % Niveau 3	80 - 100 % Niveau 4
Connaissance et compréhension				
L'élève : - démontre une compréhension d'une application d'un champ gravitationnel, électrique ou magnétique, soit un dispositif technologique, soit un phénomène naturel. - démontre une compréhension du rôle des preuves et des théories dans l'avancement des connaissances scientifiques sur les champs gravitationnel, électrique ou magnétique concernés dans le fonctionnement du dispositif ou au moment de la réalisation du phénomène naturel.	L'élève démontre une compréhension limitée des concepts, des principes, des lois, des théories et des rapports entre les concepts.	L'élève démontre une compréhension partielle des concepts, des principes, des lois, des théories et des rapports entre les concepts.	L'élève démontre une compréhension générale des concepts, des principes, des lois, des théories et des rapports entre les concepts.	L'élève démontre une compréhension approfondie des concepts, des principes, des lois, des théories et des rapports entre les concepts.
Recherche				
L'élève : - applique des habiletés et des stratégies propres à la recherche scientifique.	L'élève applique les habiletés et les procédés techniques avec une compétence limitée .	L'élève applique les habiletés et les procédés techniques avec une certaine compétence .	L'élève applique les habiletés et les procédés techniques avec une grande compétence .	L'élève applique les habiletés et les procédés techniques avec une très grande compétence .

Communication				
<p>L'élève :</p> <ul style="list-style-type: none"> - utilise la terminologie, les symboles et les conventions scientifiques liés aux champs. - communique oralement le résultat de ses recherches au groupe-classe. - utilise une affiche, une vidéo ou une présentation multimédia comme forme de communication. 	<p>L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions et les unités SI avec peu d'exactitude et une efficacité limitée, communique en ayant une compréhension limitée des fins et des auditoires divers, et utilise diverses formes de communication avec une compétence limitée.</p>	<p>L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions et les unités SI avec une certaine exactitude et efficacité, communique en ayant une certaine compréhension des fins et des auditoires divers, et utilise diverses formes de communication avec une certaine compétence.</p>	<p>L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions et les unités SI avec une grande exactitude et efficacité, communique en ayant une compréhension générale des fins et des auditoires divers, et utilise diverses formes de communication avec une grande compétence.</p>	<p>L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions et les unités SI avec une très grande exactitude et efficacité, communique en ayant une compréhension approfondie des fins et des auditoires divers, et utilise diverses formes de communication avec une très grande compétence.</p>
Rapprochement				
<p>L'élève :</p> <ul style="list-style-type: none"> - analyse les questions sociales, économiques et environnementales de ce dispositif ou de ce phénomène. 	<p>L'élève analyse les questions sociales et économiques avec une efficacité limitée.</p>	<p>L'élève analyse les questions sociales et économiques avec une certaine efficacité.</p>	<p>L'élève analyse les questions sociales et économiques avec une grande efficacité.</p>	<p>L'élève analyse les questions sociales et économiques avec une très grande efficacité.</p>
<p>Remarque : L'élève dont le rendement est en deçà du niveau 1 (moins de 50 %) n'a pas satisfait aux attentes pour cette tâche.</p>				

APERÇU GLOBAL DE L'UNITÉ 4 (SPH4U)

La nature ondulatoire de la lumière

Description

Durée : 20 heures

Cette unité porte sur la nature ondulatoire du rayonnement électromagnétique. L'élève étudie des comportements ondulatoires tels que l'interférence, la diffraction et la polarisation. Elle ou il reproduit les expériences appuyant le modèle ondulatoire et montre expérimentalement que la lumière possède des propriétés semblables à celles des ondes mécaniques. De plus, elle ou il explique des phénomènes naturels et le fonctionnement de dispositifs technologiques à l'aide des propriétés ondulatoires de la lumière.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12

Domaine : La nature ondulatoire de la lumière

Attentes : SPH4U-N-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-N-Comp.1 - 2 - 3 - 4 - 5
SPH4U-N-Acq.1 - 2 - 3 - 4
SPH4U-N-Rap.1 - 2 - 3

Titres des activités

Durée

Activité 4.1 : Évolution du modèle ondulatoire	150 minutes
Activité 4.2 : Ondes électromagnétiques	225 minutes
Activité 4.3 : Interférence	300 minutes
Activité 4.4 : Diffraction	300 minutes
Activité 4.5 : Polarisation	225 minutes

Liens

L'enseignant ou l'enseignante prévoit l'établissement de liens entre le contenu du cours et l'animation culturelle (AC), la technologie (T), les perspectives d'emploi (PE) et les autres matières (AM) au moment de sa planification des stratégies d'enseignement et d'apprentissage. Des suggestions pratiques sont intégrées dans la section **Déroulement de l'activité** des activités de cette unité.

Mesures d'adaptation pour répondre aux besoins des élèves

L'enseignant ou l'enseignante doit planifier des mesures d'adaptation pour répondre aux besoins des élèves en difficulté et de celles et ceux qui suivent un cours d'ALF/PDF ainsi que des activités de renforcement et d'enrichissement pour tous les élèves. L'enseignant ou l'enseignante trouvera plusieurs suggestions pratiques dans *La boîte à outils*, p. 11-21.

Évaluation du rendement de l'élève

L'évaluation fait partie intégrante de la dynamique pédagogique. L'enseignant ou l'enseignante doit donc planifier et élaborer en même temps les activités d'apprentissage et les étapes de l'évaluation en fonction des quatre compétences de base. Des exemples des différents types d'évaluation tels que l'évaluation diagnostique (**ED**), l'évaluation formative (**EF**) et l'évaluation sommative (**ES**) sont suggérés dans la section **Déroulement de l'activité** des activités de cette unité.

Sécurité

L'enseignant ou l'enseignante veille au respect des règles de sécurité du Ministère et du conseil scolaire. Elle ou il s'assure que l'élève connaît les règles de sécurité, la façon sûre d'utiliser l'équipement et le comportement attendu au laboratoire. (Consulter la section **Sécurité** de l'unité 1.)

Ressources

Dans cette unité, l'enseignant ou l'enseignante utilise les ressources suivantes :

Manuels pédagogiques

BENSON, Harris, *et al.*, *Physique 3 : Ondes, optique et physique moderne*, Saint-Laurent, ERPI, 1999, 428 p.*

Ouvrages généraux/de référence/de consultation

ARTHUR, Beiser, *Physique appliquée*, Paris, McGraw-Hill, 1987, 273 p.*

AUGER, André, et Carol Ouellet, *Vibrations, ondes et physique moderne*, Sainte-Foy, Les éditions Le Griffon d'argile, 1997, 344 p.*

RAYMOND, A., Serway, *physique III, optique et physique moderne*, Laval, Éditions Études Vivantes, 1996, 760 p.*

Matériel

Appareil à fente double de Young
Bac à ondes

Filtres polarisants (p. ex., polarized light demonstraton kit, Boreal)
Polariseur mécanique

Médias électroniques

Lycée Comte de Foix interférence. (consulté le 20 juillet 2001)

http://www.andorra.ad/lycee_comte_de_foix/optique/interference.htm
SCIO, site de vulgarisation en physique. (consulté le 20 juillet 2001)
<http://scio.free.fr/index.php3>
Université de Bourgogne, interférences. (consulté le 20 juillet 2001)
<http://www.u-bourgogne.fr/PHYSIQUE/teroptique/Interferences.htm>
Université de Nantes, interférences. (consulté le 20 juillet 2001)
<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/enseignement/tp/interferences/interf.html>
Université de LeMans, optique ondulatoire. (consulté le 20 juillet 2001)
<http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/optiphy/mnuopphy.html>

Logiciel

Cédérom, *Comment ça marche 2*, Dorling-Kindersley.*

Vidéos

Interférence de la lumière, TVO, BPN 952367, coul., 18 min (série Nuance bourdon).
Le modèle ondulatoire, TVO, BPN 247202, coul., 9 min (série La dualité Onde-Corpuscule).
Le modèle corpusculaire, TVO BPN 247201, coul., 9 min (série La dualité Onde-Corpuscule).
Le modèle électromagnétique, TVO, BPN 247203, coul., 9 min (série La dualité Onde-Corpuscule).
Polarisation de la lumière, Classroom video, BPN 952631, coul., 23 min.

ACTIVITÉ 4.1 (SPH4U)

Évolution du modèle ondulatoire

Description

Durée : 150 minutes

Cette activité porte sur les expériences et les théories qui ont contribué à l'évolution du modèle ondulatoire. L'élève distingue le modèle corpusculaire du modèle ondulatoire en analysant les explications des phénomènes de la lumière selon les deux modèles.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.2 - 4 - 5 - 6 - 9

Domaine : La nature ondulatoire de la lumière

Attente : SPH4U-N-A.1

Contenu d'apprentissage : SPH4U-N-Comp.5

Notes de planification

- Prévoir l'accès à Internet, au magnétoscope, aux livres et aux magazines spécialisés.
- Se procurer le matériel pour montrer la réflexion, la réfraction, la dispersion et la propagation de la lumière (p. ex., miroir, verre d'eau, prisme, laser, lumière blanche).
- Se procurer des livres ou des articles scientifiques portant sur les explications des phénomènes lumineux selon la théorie corpusculaire et la théorie ondulatoire (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 520).
- Préparer une analyse comparative des explications de phénomènes lumineux selon les théories corpusculaire et ondulatoire (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 514 à 524, H. Benson, *Physique 3 : Ondes, optique et physique moderne*, p. 112 à 117).
- Se procurer une vidéo sur les théories de la lumière (p. ex., *Dualité onde-corpuscule* de tfo) et préparer un questionnaire sur son contenu.

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Demander à l'élève de tracer, sur un papier, une représentation, la plus juste possible, de la lumière et d'y inclure le vocabulaire associé. **(ED)**
- Demander à l'élève d'afficher sa représentation sur le babillard de la salle de classe.
- Expliquer à l'élève que la théorie pour expliquer la nature de la lumière a évolué et s'améliore avec le temps, et que les scientifiques bâtissent leur nouvelle théorie en partant des connaissances antérieures.
- Expliquer à l'élève que les théories des scientifiques sont développées la plupart du temps en partant de déductions et de conclusions qui font suite à des expériences.
- Demander à l'élève de faire appel à ses connaissances antérieures et de nommer la contribution de quelques scientifiques au modèle de la lumière (p. ex., Newton). **(ED)**

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Modèle corpusculaire vs modèle ondulatoire

- Expliquer brièvement les théories corpusculaire (la lumière est composée de très petites particules) et ondulatoire de la lumière (la lumière se déplace comme une onde, comme les rides à la surface d'une cuve d'eau).
- Demander à l'élève de définir une onde et de décrire ses caractéristiques tels que la fréquence, la longueur, la période, l'amplitude. **(ED)**
- Présenter et expliquer le principe de Huygens à l'aide d'un transparent (chacun des points d'un front d'onde agit comme une source de petites ondes secondaires. À un instant ultérieur, l'enveloppe des bords avant des petites ondes forme le nouveau front d'onde).
- Rappeler, en faisant une démonstration, les phénomènes lumineux déjà étudiés, soit la réflexion, la réfraction, la dispersion et la propagation rectiligne, par exemple :
 - réflexion : faire réfléchir le faisceau laser sur un miroir et faire remarquer l'égalité des angles d'incidence et de réflexion;
 - réfraction : pointer le faisceau laser sur la surface de l'eau dans le verre et faire remarquer la différence entre l'angle d'incidence et l'angle de réfraction;
 - dispersion : faire passer un faisceau de lumière blanche à travers un prisme et faire remarquer la décomposition de la lumière;
 - propagation rectiligne : faire observer la propagation rectiligne du faisceau au laser.
- Expliquer chacun des phénomènes lumineux précédents selon la théorie corpusculaire et la théorie ondulatoire. Par exemple, expliquer la réflexion (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 514 à 524, H. Benson, *Physique 3 : Ondes, optique et physique moderne*, p. 112 à 117) :
 - selon la théorie corpusculaire : comparer la lumière à un faisceau de particules dont le mouvement ressemble à celui d'une balle de billard qui frappe le bord d'une table et qui rebondit selon un angle équivalent à l'angle d'incidence;
 - selon la théorie ondulatoire : présenter un diagramme basé sur le principe de Huygens (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 520).
- Retracer l'évolution des modèles de la lumière (voir H. Benson, *Physique 3 : Ondes, optique et physique moderne*, p. 184) :
 - présenter les principaux défenseurs de la théorie corpusculaire tels que Newton et Laplace, en décrivant leurs contributions;

- présenter les principaux défenseurs de la théorie ondulatoire, par exemple Huygens et Hooke, en décrivant leurs contributions; **(AC) (AM)**
- montrer la façon dont on est arrivé à accepter la théorie ondulatoire en décrivant brièvement les résultats de l'expérience de la double fente de Young.
- Remettre à l'élève un questionnaire à remplir en visionnant une vidéo sur les théories de la lumière (p. ex., *Dualité onde-corpuscule* de tfo).
- Ramasser les réponses au questionnaire pour les évaluer. **(EF)**
- Demander à l'élève d'expliquer la façon dont sa conception de la lumière a changé depuis le début de cette activité. **(O)**

Évaluation sommative

- Voir **Évaluation sommative** à l'activité 4.3.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Demander à l'élève de faire une recherche pour trouver les principales théories et découvertes qui ont appuyé le modèle ondulatoire ou corpusculaire, et de nommer les auteurs et les auteures de ces découvertes.

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 4.2 (SPH4U)

Ondes électromagnétiques

Description

Durée : 225 minutes

Cette unité porte sur le rayonnement électromagnétique et les théories et expériences qui ont amené les scientifiques à considérer la lumière comme une onde électromagnétique. L'élève montre expérimentalement que la lumière possède des caractéristiques semblables à celles des ondes mécaniques et examine le fonctionnement de dispositifs fondés sur le rayonnement électromagnétique.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9

Domaine : La nature ondulatoire de la lumière

Attentes : SPH4U-N-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-N-Comp.1 - 2
SPH4U-N-Acq.4
SPH4U-N-Rap.2

Notes de planification

- Se procurer un projecteur multimédia et le logiciel *Comment ça marche 2*.
- Préparer le matériel pour préparer les postes de travail, tels : guitare, tambour, deux cuves à ondes, deux ressorts à boudin, deux haut-parleurs et un générateur de fréquence branché à un amplificateur, une cloche à vide, un réveil et un laser.
- Préparer un tableau sur les propriétés des ondes électromagnétiques (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 649).
- Préparer des exercices et des problèmes portant sur les ondes électromagnétiques (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 652, 670 et 671).
- Se procurer des articles scientifiques sur le fonctionnement de dispositifs fondés sur le rayonnement électromagnétique tels que la radio ou le traitement du cancer par micro-ondes (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 653).
- Se procurer une vidéo sur la nature ondulatoire de la lumière (p. ex., *Le modèle électromagnétique de tfo*).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Demander à l'élève de décomposer le terme *ondes électromagnétiques* et de l'expliquer. **(ED)**
- Animer un remue-méninges pour amener l'élève à nommer des ondes électromagnétiques. **(ED)**
- Demander à l'élève de classer les ondes électromagnétiques en partant de la fréquence la plus basse à la plus élevée : ondes radio, micro-ondes, infrarouges, spectre visible, ultraviolets, rayons X, rayons gamma. **(ED)**
- Présenter, à l'aide d'un projecteur multimédia et du logiciel *Comment ça marche 2*, des applications variées des ondes électromagnétiques.
 - Sélectionner **Grands Principes** et cliquer de nouveau sur **Les grands principes** en bas à la droite de l'écran lorsque le curseur se transforme en flèche.
 - Sélectionner **Électro-magnétisme** et examiner le mode de production d'une onde électromagnétique. Demander à l'élève de prendre des notes.
 - Sélectionner **spectre électromagnétique** et demander à l'élève de le tracer dans son cahier.
 - Revoir avec l'élève les définitions ci-après en les sélectionnant : *onde, longueur d'onde, amplitude, fréquence*.
 - Faire un retour et sélectionner **Machines**. Observer diverses applications des ondes électromagnétiques telles que le four à micro-ondes (micro-ondes), portique de détection dans les aéroports (rayons x), chauffage solaire (infrarouges), radiotélescope (ondes radio) et système de positionnement global.

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Évolution du modèle ondulatoire

- Faire remarquer que le rapprochement de la lumière des ondes mécaniques était presque accepté, sauf pour une propriété : les scientifiques croyaient qu'à la manière des ondes mécaniques la lumière avait besoin d'un support pour voyager. Ce support était l'éther, mais il fallait prouver son existence.
- Décrire brièvement l'expérience de Michelson-Morley pour mesurer la vitesse de la Terre par rapport au vent de l'éther (voir H. Benson, *Physique 3 : Ondes, optique et physique moderne*, p. 232).
- Expliquer la manière dont l'échec de cette expérience a fait progresser les connaissances scientifiques sur la nature ondulatoire de la lumière (ayant montré que l'éther n'existe pas, il fallait une nouvelle explication du mode de propagation de la lumière : la vitesse de la lumière est constante).
- Définir *onde électromagnétique* en présentant l'expérience réalisée par Hertz pour produire et détecter une onde radio et expliquer la façon dont les ondes électromagnétiques sont produites, transmises, reçues et la façon dont elles interagissent avec la matière (voir *Vibrations, ondes et physique moderne*, p. 89 à 94).
- Décrire l'expérience réalisée par A. A. Michelson pour mesurer la vitesse de la lumière et présenter les résultats obtenus : la lumière peut voyager dans le vide et sa vitesse constante vaut 3×10^8 m/s (voir H. Benson, *Physique 3 : Ondes, optique et physique moderne*, p. 232).

Ondes mécaniques et électromagnétiques

- Diviser le groupe-classe en équipes et expliquer le déroulement de la tâche : découvrir les conditions de transmission des ondes électromagnétiques à l'aide d'analogies avec les ondes mécaniques.
- Expliquer à l'élève que chacun des six postes de travail installés, dans la salle de classe, comporte l'observation d'une onde mécanique visible ou sonore se propageant. Lui demander de noter ses observations et d'extrapoler les résultats obtenus concernant les ondes électromagnétiques.
 - Poste 1 : Observer l'origine des ondes sonores dans une guitare ou un tambour. Faire un lien avec l'origine d'une onde électromagnétique comme étant l'oscillation d'une charge électrique tel que l'a découvert Hertz.
 - Poste 2 : Observer la diminution de l'amplitude d'une onde circulaire se propageant dans un bac à ondes. Faire un lien avec l'intensité d'une onde électromagnétique telle que la lumière qui diminue avec la distance.
 - Poste 3 : Noter la réflexion d'une impulsion transversale dans un ressort à boudin sur une extrémité fixe. Faire un lien avec la réflexion d'une onde électromagnétique telle que la lumière dans un miroir.
 - Poste 4 : Mesurer, à l'aide de la formule $v=d/t$, la vitesse d'un train d'onde de basse fréquence et d'un train d'onde de haute fréquence dans un bac à ondes. Noter que la fréquence d'une onde n'affecte pas sa vitesse et faire un lien avec les ondes électromagnétiques se propageant toutes à la même vitesse de 3×10^8 m/s, quel que soit leur fréquence.
 - Poste 5 : Observer, à l'aide d'une cloche à vide, d'un réveil et d'un laser, qu'une onde sonore ne peut pas se propager dans le vide alors que la lumière le peut. Faire un lien avec les autres ondes du spectre électromagnétique qui peuvent se propager dans le vide.
 - Poste 6 : Noter les changements dans l'intensité du son en se déplaçant devant deux haut-parleurs disposés l'un à côté de l'autre et émettant un son de même fréquence. Faire un lien avec l'interférence des ondes radio que l'on note lorsqu'on se déplace en automobile et noter que l'interférence de la lumière sera étudiée plus en détail dans l'activité 4.3 (voir *Éléments de physique*, p. 341).
- Demander à l'élève de résumer, en phrases précises et concises, les propriétés et les caractéristiques des ondes électromagnétiques qu'elle ou il a notées à l'aide des analogies.
- Inviter l'élève à comparer ses résultats avec ceux des autres équipes et à demander de l'aide pour refaire son analyse, en cas de divergence. (O)

Analyse quantitative des ondes électromagnétiques

- Présenter et expliquer les propriétés des ondes électromagnétiques (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 649) :
 - leur vitesse dans le vide est celle de la lumière $c = \lambda f$;
 - elles sont composées d'un champ magnétique et d'un champ électrique voyageant perpendiculairement l'un à l'autre;
 - elles possèdent toutes les caractéristiques ondulatoires telles que la réflexion et la réfraction.
- Présenter l'équation des ondes électromagnétiques et les unités SI utilisées.

- Montrer à l'élève la façon de résoudre des problèmes concernant l'équation des ondes électromagnétiques (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 652, 670 et 671).
- Assigner des problèmes à l'élève. Circuler, vérifier les travaux et répondre aux questions. **(EF)**

Généralisations

- Expliquer le fonctionnement de dispositifs fondés sur le rayonnement électromagnétique tels que la radio ou le traitement du cancer par micro-ondes (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 653).
- Demander à l'élève de recenser trois dispositifs dont le fonctionnement est basé sur les ondes électromagnétiques, d'expliquer la conception et le fonctionnement des dispositifs choisis et de préciser la gamme de fréquence du spectre utilisée.
- Demander à l'élève de remettre un rapport écrit du résultat de ses recherches. **(EF)**
- Demander à l'élève de nommer les difficultés qu'elle ou il a eues dans l'atteinte des objectifs liés à cette activité et d'expliquer la façon dont elle ou il s'y est pris pour surmonter ces difficultés. **(O)**

Évaluation sommative

- Voir **Évaluation sommative** à l'activité 4.3.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Présenter une vidéo portant sur l'effet des ondes électromagnétiques sur la santé et demander à l'élève de répondre à des questions sur son contenu (p. ex., *Effets des ondes électromagnétiques sur la santé*, Émission *Découverte* de Radio-Canada).
- Présenter une vidéo sur la nature ondulatoire de la lumière et demander à l'élève de prendre des notes sur son contenu.

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 4.3 (SPH4U)

Interférence

Description

Durée : 300 minutes

Cette activité porte sur l'étude des facteurs qui influent sur les figures d'interférence. L'élève réalise en laboratoire l'expérience de la double fente de Young et examine son apport à la théorie ondulatoire de la lumière. Elle ou il étudie des exemples où l'invention d'une technologie a fait progresser les connaissances scientifiques sur la nature ondulatoire de la lumière.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 2 - 3 - 4 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12

Domaine : La nature ondulatoire de la lumière

Attentes : SPH4U-N-1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-N-Comp.1 - 3 - 5
SPH4U-N-Acq.3 - 4
SPH4U-N-Rap.1 - 3

Notes de planification

- Se procurer un anneau à bulles de savon et du savon liquide.
- Monter un bac à ondes et se procurer une caméra vidéo pour filmer les figures d'interférences produites par deux sources ponctuelles.
- Se procurer un transparent montrant le patron d'interférence de deux sources ponctuelles.
- Préparer le matériel et le protocole d'une expérience à fente double de Young en utilisant un appareil approprié.
- Préparer des exercices sur l'expérience à fente double de Young (voir H. Benson, *Physique 3 : ondes, optique et physique moderne*, p. 188, 189).
- Préparer des notes sur les pellicules minces et des applications de ce phénomène (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 545).
- Préparer des notes sur l'interféromètre de Michelson, l'impact de son invention et ses utilisations (voir H. Benson, *Physique 3 : ondes, optique et physique moderne*, p. 180).
- Préparer les consignes d'un travail de recherche sur les effets d'interférence et leurs applications technologiques (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 542 à 556).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Demander à l'élève d'écrire la définition des termes vus en SPH3U : *interférence*, *interférence constructive*, *interférence destructive*, *crête*, *creux*. Corriger oralement. **(ED)**
- Demander à l'élève de tracer le croquis d'une interférence constructive et d'une interférence destructive. Corriger au tableau. **(ED)**
- Expliquer que l'interférence de la lumière se manifeste de plusieurs façons et qu'au cours de cette activité l'élève analysera l'apport de l'expérience de la double fente de Young résultant de l'interférence des ondes lumineuses à la théorie ondulatoire.
- Montrer la formation d'une figure d'interférence :
 - plonger un anneau à bulles de savon dans du savon liquide de manière à emprisonner une fine pellicule de savon à l'intérieur de l'anneau;
 - exposer l'anneau contenant la pellicule à la lumière du jour;
 - faire observer les franges de couleurs variées qui se forment sur la pellicule.
- Demander à l'élève d'écrire une hypothèse pour expliquer l'irisation de cette pellicule. Lui dire de conserver son hypothèse pour en faire un usage ultérieur. **(ED)**

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Interférence

- Montrer et analyser la formation d'une figure d'interférence en effectuant une expérience avec deux sources ponctuelles dans un bac à ondes :
 - effectuer l'expérience;
 - demander à un ou à une élève de filmer les résultats;
 - visionner le film au ralenti ou par saccades, au besoin (une caméra vidéo capte 30 images par secondes); **(T)**
 - faire remarquer les points d'amplitude élevée et basse.
- Reproduire, au tableau, le croquis de la figure d'interférence et définir, à l'aide du croquis, les points d'interférence constructive et les points d'interférence destructive.
- Définir la différence de marche comme la différence entre les distances d'un point aux sources, soit $\delta = d_1 - d_2$.
- Établir l'équation d'interférence constructive, soit $d_1 - d_2 = k\lambda$, λ étant la longueur d'onde et k un entier.
- Établir l'équation d'interférence destructive, soit $d_1 - d_2 = (2k+1)\lambda/2$.
- Recommencer l'expérience dans le bac à ondes, mais, cette fois-ci, produire une onde plane qui frappe deux fentes dans le bac à ondes.
- Demander à l'élève de prendre en note la figure d'interférence produite.
- Assigner des exercices mettant en application les relations touchant les interférences constructive et destructive.
- Vérifier les solutions et la compréhension des concepts en questionnant les élèves. **(ED)**

Expérience de la double fente de Young

- Demander à l'élève de prédire les figures d'interférence produites par la lumière de deux sources ponctuelles, en se basant sur les résultats de la démonstration précédente. **(EF)**
- Expliquer que, si la lumière n'est pas en phase, l'interférence n'est pas visible, mais que, si on envoie une source lumineuse en phase à travers les fentes, il est possible de voir sur un écran une alternance de franges sombres et claires.
- Faire remarquer que cette expérience a été réalisée la première fois par Thomas Young en 1802 et que les résultats ont constitué la preuve définitive de la nature ondulatoire de la lumière.

- Présenter, sur un transparent, la figure d'interférences produite par l'expérience d'une fente double.
- Dériver mathématiquement la formule de la longueur d'onde de la lumière utilisée, soit $\lambda = \frac{d}{L} \Delta x$. Préciser ce que représente les variables de cette formule et les unités SI.
- Demander à l'élève d'effectuer l'expérience de la double fente de Young à l'aide d'un laser, d'une double fente et d'un écran (s'assurer d'avoir l'obscurité complète dans le laboratoire).
- Demander à l'élève de remettre, pour faire l'évaluation, un rapport comprenant un schéma du montage, les valeurs des paramètres de l'expérience, soit la distance entre les fentes et la distance des fentes à l'écran, le diagramme d'interférence, l'analyse des données et la conclusion. Corriger et commenter. **(EF)**
- Résoudre, au tableau, des exercices utilisant la relation $\lambda = \frac{d}{L} \Delta x$ et des problèmes sur l'expérience de Young (voir H. Benson, *Physique 3 : ondes, optique et physique moderne*, p. 188, 189).
- Assigner à l'élève des problèmes en devoir et lui demander de calculer la longueur d'onde de la lumière utilisée lors de l'expérience de Young.

Interféromètre de Michelson

- Présenter l'exemple d'un dispositif technologique qui a fait progresser les connaissances scientifiques sur la nature ondulatoire de la lumière : l'interféromètre de Michelson.
- Expliquer le fonctionnement et l'utilisation de l'interféromètre de Michelson (voir H. Benson, *Physique 3 : ondes, optique et physique moderne*, p. 180).
- Faire un croquis de l'interféromètre au tableau.
- Expliquer la formation des figures d'interférence.
- Expliquer qu'on a prouvé la non-existence du vent d'éther à l'aide de l'interféromètre.
- Présenter l'impact de la preuve de la non-existence du vent d'éther sur la théorie ondulatoire.

Pellicules minces

- Définir *pellicule mince*.
- Expliquer la marche des rayons lumineux à travers une pellicule mince en tenant compte des indices de réfraction des deux milieux (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 545).
- Montrer différentes figures d'interférence qui peuvent se former et décrire les valeurs précises de *différences de marche* pour chacun des cas.
- Expliquer l'apparition des couleurs en fonction de la longueur d'onde de chacune des couleurs du spectre et de l'épaisseur de la pellicule.
- Faire remarquer que cette expérience prouve aussi que la lumière possède la propriété d'interférence des ondes mécaniques.
- Présenter et expliquer des applications des pellicules minces telles que le revêtement antireflet des lentilles.
- Demander à l'élève de relire son hypothèse de la mise en situation pour expliquer l'irisation d'un film de savon et lui demander de la modifier. Animer une mise en commun d'idées des diverses hypothèses énoncées pour expliquer l'irisation. **(O)**

Applications de l'interférence

- Demander à l'élève de faire une recherche pour relever un effet d'interférence (p. ex., dispersion de la lumière sur l'huile flottant sur l'eau, anneaux de Newton, coin d'air, spectroscopie à réseau). Lui demander :
 - de décrire qualitativement et quantitativement les facteurs qui influent sur la formation de l'effet choisi;
 - d'expliquer la manière dont les données recueillies appuient la théorie ondulatoire de la lumière;
 - de présenter des applications techniques de l'effet choisi;
 - d'utiliser une affiche pour communiquer le résultat de ses recherches.
- Poser les affiches sur le babillard de la salle de classe et les commenter. **(EF)**

Évaluation sommative

- Présenter une grille d'évaluation adaptée pour faire une épreuve papier-crayon portant sur le modèle ondulatoire de la lumière, les ondes électromagnétiques et le concept d'interférence lumineuse.
- Évaluer les connaissances acquises relatives au modèle ondulatoire, aux ondes électromagnétiques et au concept d'interférence lumineuse en fonction des éléments vus dans les situations d'exploration SPH4U 4.1, 4.2 et 4.3.
- Utiliser une grille d'évaluation adaptée en partant de critères précis en fonction des quatre compétences :
 - Connaissance et compréhension
 - démontrer une compréhension des modèles corpusculaire et ondulatoire;
 - démontrer une compréhension du principe de Huygens et du concept d'interférence lumineuse.
 - Recherche
 - résoudre des problèmes portant sur les figures d'interférence à fente double de Young et les ondes électromagnétiques;
 - analyser et interpréter des figures d'interférence.
 - Communication
 - utiliser la terminologie, les symboles et les unités SI liés au modèle ondulatoire de la lumière.
 - Rapprochement
 - démontrer une compréhension des rapprochements entre les ondes électromagnétiques et les technologies;
 - démontrer une compréhension de l'impact de l'invention de certains dispositifs technologiques sur le progrès des connaissances scientifiques de la nature ondulatoire de la lumière;
 - proposer des mesures concrètes relatives à l'exposition aux ondes électromagnétiques ainsi qu'à leur utilisation.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Assigner des problèmes sur les effets d'interférence de la lumière sur des fentes, à travers des pellicules minces et des réseaux de diffraction (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 569 à 571).

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 4.4 (SPH4U)

Diffraction

Description

Durée : 300 minutes

Cette activité porte sur la diffraction de la lumière et son impact sur l'évolution du modèle ondulatoire de la lumière. L'élève décrit et explique, à l'aide d'expériences et de diagrammes, le phénomène de diffraction d'ondes appliqué à la lumière. De plus, elle ou il analyse les figures d'interférence produites par la diffraction de la lumière par une fente simple.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.2 - 3 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 12

Domaine : La nature ondulatoire de la lumière

Attentes : SPH4U-N-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-N-Comp.1 - 4 - 5
SPH4U-N-Acq.1 - 2 - 3 - 4
SPH4U-N-Rap.1 - 3

Notes de planification

- Se procurer le matériel pour montrer les postes de travail montrant des phénomènes de diffraction (p. ex., lumière blanche, disque compact, crayons, papillon, feuille de papier, deux moustiquaires, hologramme).
- Monter un bac à ondes pour montrer la diffraction d'ondes.
- Préparer des exercices sur la diffraction de la lumière par une fente simple (voir H. Benson, *Physique 3, ondes optique et physique moderne*, p. 224).
- Préparer le protocole d'une expérience de diffractions d'ondes appliquées à la lumière (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 563).
- Se procurer de la documentation sur les réseaux de diffraction (voir *Physique 3 : ondes, optique et physique moderne*, p. 203 ou les sites Internet www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/optiphy/mnuopphy.html et www.andorra.ad/lycee_comte_de_foix/optique/interference.htm).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Expliquer à l'élève que le phénomène de diffraction se manifeste quotidiennement. Lui demander de circuler parmi les postes de travail installés dans la salle de classe pour observer diverses manifestations de la diffraction.
 - Poste 1 : Demander à un ou à une élève d'aller dans une pièce adjacente et de parler à voix haute. On peut entendre une personne qu'on ne voit pas grâce à la diffraction des ondes sonores.
 - Poste 2 : Faire réfléchir la lumière blanche sur la surface d'un disque compact; il se forme un ou plusieurs arc-en-ciel causés par le réseau de diffraction du disque.
 - Poste 3 : Placer deux crayons collés l'un sur l'autre devant une source lumineuse, les éloigner ou les rapprocher et observer les franges apparues entre eux-ci.
 - Poste 4 : Observer un hologramme. L'hologramme capture un patron d'interférence lumineuse sur une plaque photographique et le reconstitue pour former une image qui paraît tridimensionnelle.
 - Poste 5 : Tenir une feuille de papier devant une fenêtre et observer de minuscules franges claires et sombres sur ses bordures.
 - Poste 6 : Observer les ailes d'un papillon.
 - Poste 7 : Observer le patron d'interférence obtenu en superposant deux moustiquaires. Un phénomène similaire est utilisé pour créer des dessins moirés en art. **(AM)**
- Demander à l'élève de définir *diffraction* en partant des phénomènes observés. **(ED)**
- S'assurer de faire la distinction entre diffraction et interférence.

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Étude qualitative de la diffraction

- Définir et montrer la diffraction à l'aide d'un bac à ondes :
 - produire une diffraction en faisant passer l'eau dans une ouverture simple;
 - demander à l'élève de faire des croquis de la diffraction;
 - faire observer le lien entre la largeur de l'ouverture et la diffraction;
 - faire remarquer la formation des fronts d'ondes dans l'ouverture;
 - faire remarquer qu'il se produit une figure d'interférence avec des maxima et des minima plus loin de l'ouverture. Définir *maxima* et *minima*.
 - préciser que le patron d'interférence résulte des multiples sources ponctuelles de la fente.

Analyse quantitative de la diffraction de la lumière

- Analyser les figures de diffraction et d'interférence produites par le passage de la lumière à travers une fente simple en comparant les résultats de l'expérience précédente avec l'expérience du poste 3 (avec les deux crayons et des lumières de différentes couleurs).
- Dériver mathématiquement les formules des lignes sombres, des lignes claires et de la longueur d'onde, c'est-à-dire $\sin \theta = \frac{n\lambda}{L}$, $\sin \theta = \frac{2n + \lambda}{2L}$ et $\lambda = \frac{l}{L} \Delta y$. **(AM)**
- Préciser ce que représente les variables et les unités SI de cette formule et faire le lien entre λ et la largeur de la fente.
- Faire remarquer que la diffraction est une preuve additionnelle de la nature ondulatoire de la lumière.

- Résoudre, au tableau, des exercices et des problèmes sur la diffraction de la lumière par une fente unique (voir H. Benson, *Physique 3, ondes optique et physique moderne*, p. 224).
- Assigner à l'élève des problèmes sur la diffraction de la lumière par une fente unique. Circuler, vérifier les travaux et répondre aux questions. **(EF)**

Expérience sur la diffraction de la lumière

- Demander à l'élève d'effectuer une expérience pour analyser la figure d'interférence produite par la diffraction de la lumière par une fente simple (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 563).
- Demander à l'élève de remettre un rapport d'expérience comprenant :
 - un croquis du montage utilisé;
 - le diagramme d'interférence, les données recueillies et leur analyse;
 - la conclusion;
 - une explication sur l'apport de cette expérience pour prouver la nature ondulatoire de la lumière.
- Ramasser les rapports pour les évaluer. **(EF)**
- S'assurer que les résultats de l'expérience sont bien compris, à l'aide de diagrammes montrant les points brillants, les points sombres, le maximum principal et les maxima secondaires (voir *Principes fondamentaux : un cours avancé*, p. 537 à 539).

Généralisations

- Suggérer à l'élève d'expliquer les phénomènes observés lors de la mise en situation, de comparer ses explications à celles de ses pairs et de demander de l'aide, au besoin. **(O)**
- Demander à l'élève de relever les professions dont l'exercice nécessite des connaissances en diffraction et de montrer la façon dont ces connaissances sont utilisées. **(PE)**

Évaluation sommative

- Voir **Évaluation sommative** à l'activité 4.5.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Demander à l'élève de faire une recherche sur le principe de l'holographie.
- Suggérer à l'élève de produire des hologrammes en laboratoire à l'aide d'une trousse.
- Présenter une vidéo sur l'interférence lumineuse (p. ex., *Interférence de la lumière* de tfo)
- Inviter l'élève à se renseigner davantage sur les réseaux de diffraction (voir *Physique 3 : ondes, optique et physique moderne*, p. 203 ou les sites Internet www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/optiphy/mnuopphy.html et www.andorra.ad/lycee_comte_de_foix/optique/interference.htm).

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 4.5 (SPH4U)

Polarisation

Description

Durée : 225 minutes

Cette activité porte sur la polarisation d'ondes. L'élève prédit l'effet produit sur la lumière par deux filtres polarisants. Elle ou il examine l'application de la polarisation par réflexion à la mise au point de dispositifs technologiques et effectue, dans Internet, une recherche dirigée pour examiner les mécanismes du cinéma en trois dimensions.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 3 - 4 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 12

Domaine : La nature ondulatoire de la lumière

Attentes : SPH4U-N-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-N-Comp.1 - 5
SPH4U-N-Acq.1
SPH4U-N-Rap.1

Notes de planification

- Se procurer du matériel pour montrer la polarisation d'ondes mécaniques (p. ex., corde, polariseur mécanique).
- Se procurer des filtres polarisants (p. ex., *polarized light demonstraton kit*, Boreal).
- Préparer des exercices sur la polarisation (voir H. Benson, *Physique 3, ondes, optique et physique moderne*, p. 226).
- Trouver des explications du fonctionnement de dispositifs fondés sur la polarisation :
 - lunettes de soleil (voir A. Auger, *Vibrations, ondes optique et physique moderne*, p. 196);
 - matériaux photo-électriques (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 559);
 - écrans à cristaux liquides (voir scio.free.fr/ondes/effets_pol.php3).
- Se procurer un projecteur multimédia et le logiciel *Comment ça marche 2*.
- Préparer les consignes d'une recherche dirigée sur une application de la polarisation : le cinéma en trois dimensions (voir scio.free.fr/ondes/effets_pol.php3).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Attacher un ressort à boudin d'un bout à l'autre de la salle de classe et demander à un ou à une élève de venir produire une onde.
- Demander au reste du groupe-classe de nommer le type d'onde produit : transversale ou longitudinale.
- Demander à l'élève si les propriétés et les caractéristiques de la lumière observées permettent de déterminer la nature transversale ou longitudinale des ondes lumineuses.

(ED)

- Expliquer à l'élève que le modèle ondulatoire étudié ne fait pas mention de la nature des ondes et que la polarisation permet de montrer que la lumière est une onde transversale.

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Polarisation d'ondes mécaniques

- Montrer la polarisation des ondes mécaniques :
 - faire vibrer une corde successivement dans des plans horizontal et vertical;
 - faire observer les ondes transversales;
 - faire passer la corde dans un polariseur mécanique vertical (ou entre deux planches parallèles);
 - faire remarquer que les ondes horizontales sont bloquées;
 - reprendre l'expérience avec le polariseur à l'horizontal pour bloquer les ondes verticales;
 - utiliser ensuite deux polariseurs, un vertical et un horizontal, pour montrer que les ondes sont presque toutes bloquées.
- Faire remarquer que la polarisation est une propriété dont jouissent les ondes transversales exclusivement et que les ondes longitudinales ne se polarisent pas. Le montrer à l'aide d'un ressort à boudin et de deux polariseurs mécaniques, un vertical et un horizontal.

Polarisation par absorption sélective

- Demander à l'élève de prédire les effets de deux filtres polarisants sur des ondes lumineuses qui les traversent en se basant sur les résultats de la démonstration précédente.
- Montrer la polarisation de la lumière en utilisant des filtres polarisants :
 - placer les filtres de façon à laisser passer le plus de lumière possible (les plans de polarisation des deux filtres sont parallèles).
 - faire observer que le maximum de lumière passe à travers;
 - tourner un filtre de 90° par rapport à l'autre;
 - faire observer que la lumière est presque bloquée.
- Définir et expliquer, en partant de l'expérience précédente, la polarisation de la lumière (dessiner, au tableau, le diagramme circulaire d'un faisceau lumineux avant la polarisation, c'est-à-dire avec les flèches dans toutes les directions et le diagramme après la polarisation, c'est-à-dire avec les flèches montrant l'axe de transmission uniquement).
- Définir, en se reportant à l'expérience précédente, les termes *polariseur* (le premier filtre) et *analyseur* (le second filtre).
- Préciser que cette expérience prouve que la lumière est une onde transversale.

Polarisation par réflexion et angle de polarisation

- Présenter et expliquer, à l'aide d'un diagramme, la polarisation par réflexion (phénomène par lequel le faisceau réfléchi est polarisé).
- Définir *angle de polarisation* ou *angle de Brewster*, θ_p (angle d'incidence auquel le faisceau réfléchi est polarisé).
- Présenter et expliquer les lois de Brewster :
 - à l'angle de polarisation, le faisceau réfléchi et le faisceau réfracté font un angle de 90° , $\theta_R + \theta_p = 90^\circ$.
 - dériver mathématiquement la deuxième loi en partant de la loi de Snell-Descartes ($n_1 \sin\theta_p = n_2 \sin\theta_R$) et de la première loi de Brewster, soit $\tan \theta_p = \frac{n_2}{n_1}$, θ_p est l'angle de polarisation, n_1 et n_2 sont les indices de réfraction du premier et du deuxième milieu.
- Résoudre, au tableau, des exercices et des problèmes sur la polarisation par réflexion (voir H. Benson, *Physique 3, ondes, optique et physique moderne*, p. 226).
- Assigner à l'élève des problèmes à faire en salle de classe sur la polarisation par réflexion. Circuler, vérifier les travaux et répondre aux questions. **(EF)**

Applications de la polarisation

- Montrer la façon dont la polarisation par réflexion peut servir à la mise au point de dispositifs technologiques, par exemple :
 - certaines lunettes de soleil (les filtres polarisants des lunettes de soleil réduisent les éblouissements provenant des rayons réfléchis des surfaces horizontales telles que la chaussée et la neige. L'axe de transmission du filtre est orienté perpendiculairement, soit verticalement, à la surface d'où vient le reflet);
 - les matériaux photoélastiques (comme la résine et le verre deviennent doublement réfringents sous la pression mécanique, ils sont utilisés dans la fabrication des prototypes qui permettent de rendre visible les zones de haute contrainte);
 - les écrans aux cristaux liquides (le cristal est placé entre deux polariseurs d'axes de transmission identiques. La lumière incidente passe à travers l'ensemble et est réfléchi par un miroir situé au fond de l'écran, ce qui produit un point brillant. Quand un segment du cristal est soumis à un voltage, il fait tourner de 90° la lumière incidente du premier polariseur, cette lumière est bloquée par le deuxième polariseur, ce qui produit un point noir à l'écran). (voir **Notes de planification**);
 - présenter le fonctionnement de l'affichage à cristaux liquides à l'aide du logiciel *Comment ça marche 2* : sélectionner *Machines*, choisir la fenêtre de l'affichage à cristaux liquides et cliquer sur l'icône qui explique le fonctionnement.
- Demander à l'élève de consulter le site Internet scio.free.fr/ondes/effets_pol.php3 pour effectuer une recherche dirigée sur l'application de la polarisation au cinéma en trois dimensions et lui demander d'expliquer en ses propres mots : **(T)**
 - la façon dont les lunettes 3D sont polarisées;
 - la façon dont l'image 3D est formée;
 - la différence entre l'image perçue avec et sans lunettes 3D.

Évaluation sommative

- Évaluer les connaissances que l'élève a acquises quant à la diffraction et à la polarisation, à l'aide d'une épreuve, en fonction des éléments vus dans les situations d'exploration des activités 4.4 et 4.5.
- Présenter une grille d'évaluation adaptée pour faire une épreuve papier-crayon sur la diffraction et la polarisation, et l'expliquer.
- Utiliser une grille d'évaluation adaptée en partant de critères précis en fonction des quatre compétences :
 - Connaissance et compréhension
 - démontrer une compréhension de la diffraction et de la polarisation appliquées à la lumière;
 - démontrer une connaissance des termes suivants : *maximum principal, maxima secondaires, polarisation par absorption sélective, polarisation par réflexion, polariseur, analyseur, angle de polarisation.*
 - Recherche
 - résoudre des problèmes portant sur la diffraction de la lumière par une fente unique et sur la polarisation par réflexion;
 - prédire des figures d'interférence produites par la diffraction de la lumière par une fente unique.
 - Communication
 - utiliser la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI se rapportant aux propriétés des ondes lumineuses;
 - utiliser des diagrammes comme une forme de communication pour décrire les phénomènes de diffraction et de polarisation.
 - Rapprochement
 - démontrer une compréhension des rapprochements entre la diffraction et la polarisation, le développement du modèle ondulatoire de la lumière et le fonctionnement de dispositifs.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Demander à l'élève de relever des professions où la connaissance de la théorie ondulatoire de la lumière est nécessaire et d'expliquer ensuite la façon dont cette connaissance est utilisée dans la pratique de chacune de ces professions. **(PE)**

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

Annexe SPH4U 4.6.1 : Grille d'évaluation adaptée - Diffraction et polarisation

<i>Type d'évaluation : diagnostique 9 formative 9 sommative :</i>				
<i>Compétences et critères</i>	<i>50 - 59 % Niveau 1</i>	<i>60 - 69 % Niveau 2</i>	<i>70 - 79 % Niveau 3</i>	<i>80 - 100 % Niveau 4</i>
Connaissance et compréhension				
L'élève : - démontre une compréhension de la diffraction et de la polarisation appliquées à la lumière. - démontre une connaissance des termes suivants : <i>maximum principal, maxima secondaires, polarisation par absorption sélective, polarisation par réflexion, polariseur, analyseur, angle de polarisation.</i>	L'élève démontre une compréhension limitée des concepts, des principes, des lois et des théories et une connaissance limitée des faits et des termes.	L'élève démontre une compréhension partielle des concepts, des principes, des lois et des théories et une connaissance partielle des faits et des termes.	L'élève démontre une compréhension générale des concepts, des principes, des lois et des théories et une connaissance générale des faits et des termes.	L'élève démontre une compréhension approfondie des concepts, des principes, des lois et des théories et une connaissance approfondie des faits et des termes.
Recherche				
L'élève : - résout des problèmes sur la diffraction de la lumière par une fente unique et sur la polarisation par réflexion. - prédit des figures d'interférence produites par la diffraction de la lumière par une fente unique.	L'élève applique un nombre limité des habiletés et stratégies requises propres à la recherche scientifique.	L'élève applique certaines des habiletés et stratégies requises propres à la recherche scientifique.	L'élève applique la plupart des habiletés et stratégies requises propres à la recherche scientifique.	L'élève applique toutes ou presque toutes les habiletés et stratégies requises propres à la recherche scientifique.

Communication				
L'élève : - utilise la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI se rapportant aux propriétés des ondes lumineuses. - utilise des diagrammes comme une forme de communication pour décrire les phénomènes de diffraction et de polarisation.	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions et les unités SI avec peu d'exactitude et une efficacité limitée , et utilise diverses formes de communication avec une compétence limitée .	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions et les unités SI avec une certaine exactitude et efficacité , et utilise diverses formes de communication avec une certaine compétence .	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions et les unités SI avec une grande exactitude et efficacité , et utilise diverses formes de communication avec une grande compétence .	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions et les unités SI avec une très grande exactitude et efficacité , et utilise diverses formes de communication avec une très grande compétence .
Rapprochement				
L'élève : - démontre une compréhension des rapprochements entre la diffraction et la polarisation et le développement du modèle ondulatoire de la lumière et le fonctionnement de dispositifs.	L'élève démontre une compréhension limitée des rapprochements entre les sciences, la technologie et la société.	L'élève démontre une certaine compréhension des rapprochements entre les sciences, la technologie et la société.	L'élève démontre une compréhension générale des rapprochements entre les sciences, la technologie et la société.	L'élève démontre une compréhension approfondie des rapprochements entre les sciences, la technologie et la société.
Remarque : L'élève dont le rendement est en deçà du niveau 1 (moins de 50 %) n'a pas satisfait aux attentes pour cette tâche.				

APERÇU GLOBAL DE L'UNITÉ 5 (SPH4U)

Matière et énergie

Description

Durée : 20 heures

Cette unité porte sur l'évolution des modèles atomiques de la mécanique classique à la mécanique quantique et sur la théorie de la relativité restreinte d'Einstein. L'élève interprète les preuves des modèles atomiques de la matière et effectue des expériences abstraites pour explorer diverses idées scientifiques. De plus, elle ou il étudie l'influence de nouvelles théories et de nouveaux modèles conceptuels sur la pensée scientifique et le développement de nouvelles technologies.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12

Domaine : Matière et énergie

Attentes : SPH4U-M-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-M-Comp.1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7
SPH4U-M-Acq.1 - 2 - 3 - 4
SPH4U-M-Rap.1 - 2 - 3

Titres des activités

Durée

Activité 5.1 : Relativité, masse et énergie	225 minutes
Activité 5.2 : Effet photoélectrique	300 minutes
Activité 5.3 : Nature de l'atome	225 minutes
Activité 5.4 : Radioactivité	225 minutes
Activité 5.5 : Modèle standard	225 minutes

Liens

L'enseignant ou l'enseignante prévoit l'établissement de liens entre le contenu du cours et l'animation culturelle (AC), la technologie (T), les perspectives d'emploi (PE) et les autres matières (AM) au moment de sa planification des stratégies d'enseignement et d'apprentissage. Des suggestions pratiques sont intégrées dans la section **Déroulement de l'activité** des activités de cette unité.

Mesures d'adaptation pour répondre aux besoins des élèves

L'enseignant ou l'enseignante doit planifier des mesures d'adaptation pour répondre aux besoins des élèves en difficulté et de celles et ceux qui suivent un cours d'ALF/PDF ainsi que des activités de renforcement et d'enrichissement pour tous les élèves. L'enseignant ou l'enseignante trouvera plusieurs suggestions pratiques dans *La boîte à outils*, p. 11-21.

Évaluation du rendement de l'élève

L'évaluation fait partie intégrante de la dynamique pédagogique. L'enseignant ou l'enseignante doit donc planifier et élaborer en même temps les activités d'apprentissage et les étapes de l'évaluation en fonction des quatre compétences de base. Des exemples des différents types d'évaluation tels que l'évaluation diagnostique (**ED**), l'évaluation formative (**EF**) et l'évaluation sommative (**ES**) sont suggérés dans la section **Déroulement de l'activité** des activités de cette unité.

Sécurité

L'enseignant ou l'enseignante veille au respect des règles de sécurité du Ministère et du conseil scolaire. Elle ou il s'assure que l'élève connaît les règles de sécurité, la façon sûre d'utiliser l'équipement et le comportement attendu au laboratoire. (Consulter la section **Sécurité** de l'unité 1.)

L'enseignant ou l'enseignante doit :

- demander à l'élève d'utiliser des pinces ou des gants pendant la manipulation de substances radioactives;
- dire à l'élève d'éviter de manipuler les substance radioactives et de le faire sous sa supervision;
- interdire à l'élève d'apporter des effets personnels dans la zone de manipulation des substances radioactives;
- exiger que l'élève manipule toujours les isotopes radioactifs dans un plat avec un papier absorbant;
- interdire à l'élève d'utiliser une pipette sur des solutions radioactives;
- étiqueter tous les contenants dans lesquels des substances radioactives ont été entreposées;
- contrôler la zone de travail pendant et après l'expérience pour réduire les risques de contamination;
- éviter de transporter des substances radioactives à l'extérieur du laboratoire.

Ressources

Dans cette unité, l'enseignant ou l'enseignante utilise les ressources suivantes :

Ouvrages généraux/de référence/de consultation

AUGER, André, et Carol OUELLET, *Vibrations, ondes et physique moderne*, Sainte-Foy, Les éditions Le Griffon d'argile, 1997, 344 p.*

BEISER, Arthur, *Physique appliquée*, Paris, McGraw-Hill, 1987, 273 p.*

BENSON, Harris, et al., *Physique 3 : Ondes, optique et physique moderne*, ERPI, Saint-Laurent, 1999, 428 p.*

SERWAY, Raymond A., *physique III, optique et physique moderne*, Laval, Éditions Études Vivantes, 1996, 760 p.*

Matériel

Basic Nuclear Lab System (66816-01), Boreal

Chambre à nuage (Cloud Chamber set 64712-00), Boreal

Médias électroniques

Cégep Saint-Laurent, Richard Taylor. (consulté le 2 août 2001)

<http://www.cegep-st-laurent.qc.ca/depar/physique/histayl.htm>

Développement des ressources humaines du Canada : avertisseurs de fumée à cellule photoélectrique et à ionisation. (consulté le 2 août 2001)

http://info.load-otea.hrdc.drhc.gc.ca/prevention_incendies/bulletins/fumee.htm

Laboratoire de l'accélérateur linéaire, Les idées modernes (modèle standard) : de 1964 à nos jours. (consulté le 2 août 2001)

<http://lal.in2p3.fr/cpep/history/smt.html>

Laboratoire de Physique théorique de l'École Normale Supérieure, L'évaporation quantique des trous noirs. (consulté le 2 août 2001)

<http://www.lpt.ens.fr/rapport/node15.html>

La Relativité : des exemples concrets. (consulté le 8 décembre 2001)

<http://www.astroturf.com/lombry/relativite-restreinte-ex.htm>

Le Conseil national de Recherche du Canada, Bertram Brockhouse, 1918. (consulté le 2 août 2001)

http://corpserv.nrc.ca/coprserve/hall/u_i22_f.html

Service de physique nucléaire : Le polarimètre Compton du Jefferson laboratory. (consulté le 2 août 2001)

<http://www-dapnia.cea.fr/Sphn/Compton/index.shtml>

Université de la Colombie-Britannique, Ian Affleck, Professor. (consulté le 2 août 2001)

<http://axion.physics.ubc.ca/theory/affleck.html>

Université de Montréal, 1996 CRM-Cap Prize : Professor William J. Unruh. (consulté le 2 août 2001)

http://www.crm.umontreal.ca/prix/prix_ACP_CRM_fr.html

Université de Montréal, Prix CRM-CAP 1995 (Prof. Werner Israël). (consulté le 2 août 2001)

http://www.crm.umontreal.ca/prix/prix_ACP_CRM_fr.html

Vidéos

Forces de la nature, COSC, BPN 953677, coul., 27 min (série Omni Science).

La Notion de Quantum, tfo, BPN 247204, coul., 9 : 35 min (série La dualité Onde corpuscule).

Les propriétés de la radioactivité, tfo, BPN 320902, coul., 9 : 35 min (série Physique Nucléaire).

Transmutation, tfo (série Les dimensions de la sciences).

Agents de Transformation, tfo (série Les dimensions de la sciences).

Espace-temps et Albert Einstein, tfo (série Les dimensions de la sciences).

ACTIVITÉ 5.1 (SPH4U)

Relativité, masse et énergie

Description

Durée : 225 minutes

Cette activité porte sur la théorie de la relativité restreinte et la relation entre la masse et l'énergie. L'élève examine les deux postulats de la théorie de la relativité restreinte et les trois expériences abstraites d'Einstein. Elle ou il applique quantitativement la loi de la conservation de la masse et la loi de la conservation de l'énergie à l'aide de l'équivalence masse-énergie d'Einstein.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 12

Domaine : Matière et énergie

Attentes : SPH4U-M-A.1 - 2

Contenus d'apprentissage : SPH4U-M-Comp.1 - 5 - 6
SPH4U-M-Acq.2
SPH4U-M-Rap.3

Notes de planification

- Préparer un résumé des transformations de Galilée (voir Resnick - Halliday, *Ondes, optique et physique moderne, physique 3*, p. 82).
- Préparer des exercices sur la dilatation du temps, la contraction de longueurs et la relation $E = mc^2$ (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 691).
- Préparer des transparents, des affiches ou une présentation multimédia pour décrire les trois expériences d'Albert Einstein sur la contraction des longueurs, la dilatation du temps et la relation masse-énergie (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 684).
- Trouver des références bibliographiques ou des adresses Internet sur le physicien canadien Werner Israël (voir www.crm.umontreal.ca/prix/prix_ACP_CRM_fr.html).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Demander à l'élève de se mettre en équipe et d'écrire, sur une affiche, tout ce qu'elle ou il connaît de la relativité. Lui mentionner d'indiquer tout ce qu'elle ou il peut trouver tel que l'auteur de la théorie, l'année de la découverte, les conséquences, les informations générales. **(ED)**
- Poser les affiches sur le babillard de la salle de classe.
- Demander à l'élève de définir les concepts *référentiel inertiel* et *référentiel non inertiel* vus à l'activité 1.4. Corriger, au besoin, les définitions de l'élève. **(ED)**

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Introduction

- Relever les contradictions scientifiques qui existaient avant la théorie de la relativité :
 - présenter les transformations de Galilée et faire remarquer que la vitesse dans ces transformations n'a pas de limite, y compris la vitesse de la lumière (voir *Ondes, optique et physique moderne, physique 3*, p. 82);
 - rappeler qu'en accord avec l'expérience de Michelson-Morley la vitesse de la lumière est constante et qu'on ne connaît rien qui voyage plus vite;
 - poser la question : «Quelle serait la vitesse des photons quittant une ampoule d'une lampe de poche tenue par un astronaute voyageant à 90 % de la vitesse de la lumière?»
(Selon les transformations galiléennes, les photons devraient avoir une vitesse de $c+0,9c = 1,9c$, soit presque le double de la vitesse de la lumière, sauf que des expériences effectuées sur des particules rapides émettant des photons gamma ont montré que la vitesse de ces photons est de c ; il existe donc une vitesse limite.);
 - expliquer que ce modèle doit donc être réévalué.
- Présenter et expliquer les postulats de la relativité restreinte :
 - toutes les lois de la physique sont les mêmes dans tous les systèmes inertiels; il n'existe aucun système inertiel privilégié;
 - la vitesse de la lumière dans le vide est la même dans tous les référentiels inertiels; elle est indépendante du mouvement de la source et de celui de l'observateur.

Dilatation du temps

- Définir *référentiel propre* (référentiel au repos par rapport à l'horloge utilisée pour mesurer le temps) et *référentiel relativiste* (référentiel en mouvement par rapport à l'horloge utilisée pour mesurer le temps).
- Définir *temps propre* (intervalle de temps écoulé entre deux événements mesuré dans un référentiel propre tel que l'horloge qui se trouve dans le véhicule en mouvement) et *temps relativiste* (intervalle de temps écoulé entre deux événements mesuré dans un référentiel relativiste).
- Montrer la dilatation du temps au moyen d'une expérience abstraite : le paradoxe des jumeaux (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 680).
- Comparer le temps qui s'écoule pour deux observateurs et observatrices, l'un au repos et l'autre dans un avion volant à 900 km/h. L'observateur ou l'observatrice au repos aura

l'impression que le temps ralentit pour ce qui est de l'observateur ou de l'observatrice dans l'avion.

- Présenter et expliquer la relation entre le temps propre T_0 et le temps relativiste T .
- Présenter les unités SI appropriées et faire remarquer que cette équation peut s'écrire sous la forme $T = \gamma T_0$ où $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ et que γ est connu sous le nom de facteur de Lorentz.
- Montrer mathématiquement que la vitesse v ne peut pas être égale à c , car γ et le temps seraient infinis. **(AM)**
- Montrer mathématiquement que la vitesse v ne peut pas être plus grande que c , car la quantité sous la racine carrée serait négative. **(AM)**
- Faire remarquer que, à la suite des deux remarques précédentes, la vitesse v est toujours plus petite que la vitesse de la lumière c et que celle-ci est une vitesse limite inaccessible aux objets matériels.
- Amener l'élève à comprendre que le temps relativiste T est plus grand que le temps propre T_0 en lui demandant de remplir le tableau 5.1.

Tableau 5.1 : Facteur de Lorentz

v (m/s)	v^2/c^2	$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$	γ
$1,0 \times 10^8$			
$1,5 \times 10^8$			
$2,0 \times 10^8$			
$2,6 \times 10^8$			
$2,9 \times 10^8$			

- Expliquer qu'à de très petites vitesses $v \ll c$ la mécanique newtonienne peut s'appliquer pour résoudre les problèmes, mais qu'à mesure que l'on s'approche de la vitesse de la lumière nous devons utiliser les formules de transformations de Lorentz, c'est-à-dire la mécanique relativiste.
- Montrer à l'élève la façon de résoudre des exercices sur la dilatation du temps (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 691).
- Assigner à l'élève des problèmes à résoudre sur la dilatation du temps. Circuler, vérifier ses travaux et répondre aux questions. **(EF)**

Contraction des longueurs

- Présenter et expliquer *longueur propre* L_0 (mesurée dans le référentiel propre) et *longueur* L (mesurée dans le référentiel relativiste).
- Montrer la contraction des longueurs en décrivant une expérience abstraite (voir Resnick - Halliday, *Ondes, optique et physique moderne, physique 3*, p. 82).
- Présenter et expliquer la relation mathématique entre la longueur relativiste et la longueur

propre :
$$L = \sqrt{1 - v^2/c^2} L_0 = \frac{1}{\gamma} L_0.$$

- Présenter les unités SI appropriées et utiliser les valeurs de γ du tableau 5.1 pour faire remarquer la contraction de la longueur L par rapport à L_0 .
- Expliquer que la contraction s'applique aux longueurs parallèles au mouvement et que, si la longueur est perpendiculaire au mouvement, la contraction est nulle.
- Faire, au tableau, un exemple d'application de la formule de la contraction des longueurs.
- Demander à l'élève de calculer la longueur d'un objet pour différentes valeurs de la vitesse (p. ex., $0,1c$, $0,2c$, ..., $0,9c$, 1), d'écrire les résultats dans un tableau et de les analyser.

Augmentation de la masse

- Présenter et expliquer la masse relativiste, c'est-à-dire $m = \gamma m_0 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$. Expliquer que cette masse représente celle d'un objet se déplaçant à la vitesse v et qu'elle est mesurée par un observateur ou une observatrice au repos.
- Expliquer que plus la vitesse de l'objet v s'approche de la vitesse de la lumière c , plus la masse est grande et tend vers l'infini; ce qui requiert, soit une force infinie sur un temps fini, soit une force finie sur un temps infini. Ainsi, un objet possédant une masse ne peut atteindre la vitesse de la lumière.
- Expliquer que l'étude des collisions de particules, voyageant à des vitesses proches de celle de la lumière, doit tenir compte des effets relativistes sur la masse de ces particules afin que les lois de conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie soient respectées.
- Demander à l'élève de calculer la masse relativiste d'un objet pour différentes valeurs de γ à l'aide des données du tableau 5.1.

Relation masse-énergie

- Présenter la relation d'équivalence masse-énergie $E = mc^2$ et les unités SI appropriées.
- Présenter des exemples numériques de la conservation de la masse et de l'énergie au moment d'une réaction nucléaire.
- Montrer à l'élève la façon de résoudre des problèmes liés à l'équivalence masse-énergie (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 691).
- Assigner à l'élève des problèmes sur l'équivalence masse-énergie. Circuler, vérifier les travaux et répondre aux questions. **(EF)**
- Demander à l'élève de faire une recherche sur les exemples de la contribution de scientifiques canadiens à la physique, par exemple Werner Israël et ses recherches en cosmologie (voir **Notes de planification**), d'écrire un résumé de la biographie et des travaux du scientifique, et de le remettre pour l'évaluer. **(EF)**

Généralisation

- Demander à l'élève de joindre son équipe de la mise en situation et de faire un réseau de concept de la relativité. Lui demander de comparer son réseau à l'affiche produite lors de la mise en situation et de noter la manière dont sa conception de la relativité a changé depuis le début de l'unité. **(O)**

Évaluation sommative

- Voir **Évaluation sommative** à l'activité 5.2.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Demander à l'élève de faire une recherche sur la vie d'Albert Einstein, de sa jeunesse jusqu'à l'âge adulte, en précisant le type d'étudiant qu'il était, les relations qu'il entretenait avec ses amis et ses parents, les principaux prix et titres honorifiques qui lui ont été attribués. **(EF) (AM)**
- Présenter une vidéo sur la théorie de la relativité et demander à l'élève de prendre des notes pendant la présentation (p. ex., *Agents de Transformation et Espace-temps et Albert Einstein* de la série «Les dimensions de la sciences» de tfo).
- Présenter et expliquer la *relativité de la simultanéité* à l'aide d'une expérience abstraite :
 - deux sirènes, assez distantes l'une de l'autre, sonnent;
 - Jeanne, assise sur le banc à mi-chemin entre les deux sirènes, reçoit les sons en même temps, donc affirme qu'elles ont sonné simultanément;
 - Robert, assis dans le train qui s'éloigne de l'une des sirènes et qui s'approche de l'autre reçoit les sons à des temps différents, affirme qu'elles n'ont pas sonné simultanément.
- Énoncer la relativité de la simultanéité : Des événements distincts simultanés pour un observateur ou une observatrice ne le sont pas nécessairement pour un autre observateur ou observatrice en mouvement par rapport au premier.

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 5.2 (SPH4U)

Effet photoélectrique

Description

Durée : 300 minutes

Cette activité porte sur le concept de quantum, l'effet photoélectrique et autres faits liés à la nature de l'atome et des particules élémentaires. L'élève analyse l'impact des découvertes dans ce domaine portant sur le débat de la dualité onde-particule du modèle de la lumière et explique la façon dont l'évolution de la théorie quantique a mené à l'invention de nouveaux dispositifs technologiques.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 2 - 4 - 6 - 7 - 8 - 9 - 11

Domaine : Matière et énergie

Attentes : SPH4U-M-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-M-Comp.1 - 3
SPH4U-M-Rap.2

Notes de planification

- Se procurer du fil de fer, un brûleur Bunsen, un tube à décharge gazeuse, un tube fluorescent, une ampoule incandescente, un élément chauffant de cuisinière.
- Préparer le matériel et le protocole pour faire l'expérience sur l'effet photoélectrique (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 720).
- Se procurer une vidéo sur la théorie quantique (p. ex., *La Notion de quantum* de tfo) et préparer un questionnaire sur son contenu.
- Préparer des exercices sur l'effet photoélectrique et l'effet Compton (voir *Vibrations, ondes et physique moderne*, p. 273).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Allumer un brûleur Bunsen et chauffer un fil de fer au rouge.
- Demander à l'élève de dire d'où provient la lumière émise par le fil. **(ED)**
- Allumer une ampoule incandescente et demander à l'élève de comparer les deux phénomènes. **(ED)**
- Allumer un tube fluorescent et poser la même question à l'élève (la lumière provient de l'émission d'énergie par un atome passant d'un niveau d'énergie élevé à un niveau d'énergie plus bas après qu'il a été excité par le courant électrique). **(ED)**

- Expliquer le processus d'émission de la lumière avec une ampoule électrique, une lampe fluorescente et un laser, à l'aide d'un projecteur multimédia et du logiciel *Comment ça marche 2*, en sélectionnant ces dispositifs dans la section **Machines**.
- Expliquer qu'à la fin du XIX^e siècle les scientifiques tentaient d'expliquer le rayonnement électromagnétique émis par des solides ou des gaz chauffés.
- Expliquer ce qu'est un corps noir et discuter de l'échec de la théorie ondulatoire pour expliquer le rayonnement des corps noirs.

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Étude qualitative

- Montrer l'effet photoélectrique à l'aide d'un électroscope, d'une plaque de cuivre et d'une lampe ultraviolette UVA :
 - sabler une plaque de cuivre et la mettre sur un électroscope;
 - charger l'électroscope négativement;
 - éclairer le montage avec une lumière rouge, puis avec une lampe ultraviolette (l'électroscope se décharge avec la lampe ultraviolette seulement).
- Expliquer le processus de production d'un courant avec de la lumière, à l'aide d'un projecteur multimédia et du logiciel *Comment ça marche 2*, en sélectionnant **Batterie solaire** dans la section **Machines** et en appuyant sur l'icône du film explicatif.

Étude quantitative

- Présenter les hypothèses de Planck pour expliquer le rayonnement du corps noir (les particules oscillantes ne peuvent avoir que des multiples entiers n d'énergie).
- Définir n comme le nombre quantique et préciser que l'énergie s'exprime comme $E = nhf$. Préciser les variables, les constantes et les unités utilisées.
- Montrer, au tableau, un exemple de calcul du nombre quantique d'un objet macroscopique (p. ex., masse au bout d'un ressort) et calculer la variation relative d'énergie de ce système entre deux niveaux quantiques (p. ex., niveau n et niveau $n+1$). Expliquer que les effets quantiques ne sont pas observables sur le plan macroscopique.
- Dériver la formule de l'énergie d'un quantum en fonction de sa longueur d'onde, $E = hc/\lambda$ et présenter les unités SI appropriées.
- Présenter la théorie des photons, c'est-à-dire des quanta de lumière, en montrant le lien avec la théorie des quanta de Planck.
- Présenter et expliquer l'équation photoélectrique d'Einstein : $E_c = hf - W$, où E_c est l'énergie cinétique de l'électron libéré, f , est la fréquence de la lumière utilisée, W est l'énergie minimale pour extraire un électron.
- Expliquer qu'une augmentation de l'intensité lumineuse sur la surface accroît le nombre de photons incidents.
- Présenter et définir *fréquence de seuil* f_0 à l'aide d'un graphique esquissé au tableau.
- Fournir à l'élève des données tirées d'expériences sur l'effet photoélectrique (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 721) et lui demander :
 - de les présenter sous la forme de graphiques et de tableaux appropriés;
 - de les interpréter;
 - d'exprimer le résultat des calculs en utilisant le nombre approprié de chiffres significatifs;
 - de présenter un graphique de l'énergie en fonction de la fréquence des différents métaux;

- de dériver la relation $E = hf - W$;
- de produire et de remettre un rapport pour faire l'évaluation. **(EF)**
- Montrer, au tableau, la résolution de problèmes sur l'effet photoélectrique (voir *Vibrations, ondes et physique moderne*, p. 273).
- Assigner des problèmes sur l'effet photoélectrique à faire en devoir.
- Présenter une vidéo sur l'effet photoélectrique (p. ex., *La Notion de quantum* de tfo), distribuer un questionnaire sur le contenu de la vidéo et demander à l'élève d'y répondre. **(EF)**
- Analyser l'impact de l'effet photoélectrique sur les théories ondulatoire et corpusculaire de la lumière en faisant remarquer qu'un photon, autrement dit un quantum de lumière, à la manière d'une particule, est doté d'énergie proportionnelle à sa fréquence qui, pour sa part, est une propriété ondulatoire.
- Demander à l'élève de remplir le tableau 5.2. **(O)**

Tableau 5.2 : Objectivation

Je comprends que...	Cocher			Ce que je peux faire pour améliorer ma compréhension
	Sans difficulté	Avec un peu de difficulté	Avec beaucoup de difficulté	
des électrons sont émis par la surface selon une certaine fréquence de seuil.				
l'intensité de la lumière n'a pas d'effet sur la fréquence de seuil.				
la fréquence de seuil dépend des surfaces.				
il existe un potentiel d'arrêt auquel aucun courant ne passe dans le circuit.				
le potentiel d'arrêt est différent pour chacune des fréquences lumineuses frappant la surface.				
la libération d'électrons à la surface frappée par la lumière est immédiate.				

Effet Compton

- Décrire l'expérience de Compton sur la dispersion des rayons X par le graphite (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 706 et 707).
- Présenter l'interprétation, proposée par Compton, des résultats de cette expérience (la collision entre un photon de rayon X de forte énergie et un électron de graphite provoque l'éjection de l'électron, et une déviation et une perte d'énergie du rayon incident, d'où sa longueur d'onde plus courte).
- Expliquer que la théorie ondulatoire de la lumière ne peut expliquer ce phénomène.

- Dériver mathématiquement la formule de la quantité de mouvement d'un photon : $p = h/\lambda$ (combinaison des formules $p = mv$ avec $v = c$ et $m = E/c^2$ avec $E = hf = hc/\lambda$). **(AM)**
- Rappeler les unités SI appropriées et la constante de Planck.
- Faire des exercices et des problèmes au tableau en utilisant la relation $p = h/\lambda$ (voir *Vibrations, ondes et physique moderne*, p. 273).
- Assigner des problèmes sur l'effet Compton à faire en classe. Circuler, vérifier les travaux et répondre aux questions. **(EF)**
- Demander à l'élève de produire un texte résumant le débat sur la nature de la lumière en présentant des arguments tirés d'expériences ou de théories variées qui incluent celles vues dans cette activité.
- Ramasser le texte produit par l'élève et le commenter. **(EF)**

Applications

- Montrer l'utilisation d'une photodiode dans le fonctionnement d'une télécommande, à l'aide d'un projecteur multimédia et du logiciel *Comment ça marche 2*, en sélectionnant **Télécommande** dans la section **Machines** et en appuyant sur l'icône du film explicatif.
- Demander à l'élève de lire des articles scientifiques portant sur l'application de l'effet photoélectrique et de l'effet Compton dans des dispositifs technologiques tels que la télécommande de la télévision, le détecteur de fumée à effet photoélectrique et le polarimètre de Compton (voir sites Internet www-dapnia.cea.fr/Sphn/Compton/index.shtml et info.load-otea.hrhc.drhc.gc.ca/prevention_incendies/bulletins/fumee.htm).
- Animer une discussion sur l'impact de l'évolution de la théorie quantique sur des percées scientifiques et techniques qui ont enrichi la société.

Évaluation sommative

- Présenter la grille d'évaluation adaptée pour évaluer une épreuve sur la relativité restreinte et l'effet photoélectrique.
- Évaluer les connaissances acquises quant à la relativité restreinte et à l'effet photoélectrique, à l'aide d'une épreuve, en fonction des éléments vus dans les situations d'exploitation aux activités 5.1 et 5.2.
- Utiliser une grille d'évaluation adaptée en partant de critères précis en fonction des quatre compétences :
 - Connaissance et compréhension
 - démontrer une compréhension de la relativité, de la contraction du temps, de la dilatation des longueurs, de l'augmentation de la masse et de l'équivalence masse-énergie;
 - démontrer une compréhension de l'effet photoélectrique et de l'effet Compton;
 - démontrer une compréhension des rapports entre l'effet photoélectrique, l'effet Compton et la dualité onde-particule.
 - Recherche
 - prédire des résultats relativistes en partant de données en temps propre;
 - prédire la quantité de mouvement d'un électron éjecté par la collision d'un photon de rayon X et d'un atome;
 - reproduire une expérience relativiste abstraite;
 - interpréter des graphiques de courant ou d'énergie en fonction de la fréquence dans un contexte photoélectrique.
 - Communication
 - utiliser la terminologie et les symboles liés à la théorie des quanta.

- Rapprochement
 - démontrer une compréhension des rapprochements entre l'effet photoélectrique et l'effet Compton et le développement de dispositifs technologiques;
 - analyser la contribution d'un scientifique canadien à la physique moderne.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Brancher un voltmètre ou un oscilloscope à une cellule photoélectrique. Demander à l'élève de noter ses observations. Diriger la lumière d'une lampe de poche sur la cellule photoélectrique. Demander à l'élève de noter ses observations.

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 5.3 (SPH4U)

Nature de l'atome

Description

Durée : 225 minutes

Cette activité porte sur les caractéristiques du modèle de l'atome de Bohr. L'élève examine les forces et les faiblesses de ce modèle ainsi que l'importance du principe d'incertitude de Heisenberg et du modèle quantique de l'atome de Schrödinger. De plus, elle ou il prend connaissance de la contribution à la physique du scientifique canadien Bertram Brockhouse.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag. 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 11

Domaine : Matière et énergie

Attentes : SPH4U-M-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-M-Comp.1 - 4
SPH4U-M-Acq.1
SPH4U-M-Rap.1

Notes de planification

- Préparer un transparent montrant les spectres de raies de divers éléments chimiques (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 530).
- Préparer des exercices sur le modèle de Bohr (voir H. Benson, *Physique 3 : Ondes optique et physique moderne*, p. 295).
- Préparer des exercices sur les ondes de matière de de Broglie (voir H. Benson, *Physique 3 : Ondes, optique et physique moderne*, p. 318).
- Trouver des références bibliographiques ou des adresses Internet sur le physicien canadien Bertram Brockhouse (p. ex., *Conseil national de recherche du Canada* : corpserv.nrc.ca/coprsvr/hall/u_i22_f.html, *Great Canadian Scientists* : www.science.ca/scientists/Brockhouse/brockhouse.html).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Demander à l'élève de tracer, sur un papier, une représentation la plus juste possible d'un atome de carbone et d'y inclure le vocabulaire associé. **(ED)**
- Demander à l'élève d'afficher sa représentation sur le babillard de la salle de classe.
- Expliquer à l'élève que la théorie atomique a évolué et s'améliore avec le temps, et que les scientifiques bâtissent leurs nouvelles théories en partant des connaissances antérieures.
- Expliquer à l'élève que les théories des scientifiques sont développées, la plupart du temps, en partant de déductions et de conclusions qui font suite à des expériences.
- Demander à l'élève de faire appel à ses connaissances antérieures et de nommer la contribution de quelques scientifiques au modèle atomique (p. ex., Bohr, Rutherford). **(ED)**
- Demander à l'élève de définir le concept d'onde stationnaire vu en SPH3U ainsi que les conditions de sa formation. **(ED)**

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Modèle de Bohr

- Expliquer que le modèle de Bohr, étant celui qui permettait d'expliquer le plus grand nombre d'observations liées à l'atome, a retenu le plus l'attention des scientifiques.
- Présenter et expliquer la première caractéristique du modèle de Bohr :
 - modèle planétaire; il présente les électrons tournant autour d'un noyau selon des orbites circulaires précises et discrètes, appelées orbites stationnaires;
 - un électron sur une orbite stationnaire n'émet aucun rayonnement;
 - son niveau d'énergie se calcule en partant des lois de la mécanique classique; plus précisément, l'énergie mécanique de l'électron est la somme de ses énergies cinétique et potentielle électrique et en appliquant la deuxième loi de Newton, Bohr a montré que le niveau d'énergie de l'électron est $E = -ke^2/2r$ où k est la constante de Coulomb ($9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$), e est la charge de l'électron ($1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$) et r est le rayon de l'orbite en mètres.
- Définir l'état fondamental d'un électron (*orbite la plus proche du noyau*).
- Présenter et expliquer la deuxième caractéristique du modèle de Bohr : l'électron peut se déplacer uniquement sur les orbites de rayon r satisfaisant l'équation $mvr = n \frac{h}{2\pi}$ où m est la masse de l'électron ($9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$), v est la vitesse de rotation de l'électron en m/s, r est le rayon de l'orbite en m, $n = 1, 2, 3, \dots$ et h est la constante de Planck, $6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$.
- Présenter et expliquer la troisième caractéristique du modèle de Bohr :
 - il y a une émission de rayonnement seulement lorsque l'électron passe d'une orbite permise à un autre de niveau d'énergie plus faible;
 - la fréquence du rayonnement électromagnétique émis est $f = \frac{E_1 - E_2}{h}$ où E_1 est l'énergie du niveau le plus élevé mesurée en J, E_2 est l'énergie du niveau le plus bas mesurée en J et h est la constante de Planck, $6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$.
- Expliquer que les deux dernières caractéristiques du modèle de Bohr sont essentielles car, selon l'électromagnétisme classique, un électron accéléré émet des radiations; celui-ci

émettrait donc de l'énergie de manière continue et atteindrait le noyau détruisant ainsi que l'atome.

Spectre de raies

- Rappeler à l'élève que, si on fournit de l'énergie à un électron, il passe à un autre niveau plus éloigné et que, s'il retombe sur un niveau plus près du noyau, il redonne cette énergie par paquets, et que cela correspond à une raie du spectre de raies.
- Définir et expliquer le spectre de raies et montrer des exemples de spectres de raies de divers éléments (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 530).
- Analyser la façon dont les spectres d'émission de l'hydrogène appuient les états de transition prédits par Bohr.
- Calculer, au tableau, les niveaux d'énergie de l'hydrogène.
- Faire des exercices, au tableau, sur le modèle de Bohr (voir H. Benson, *Physique 3 : Ondes optique et physique moderne*, p. 295).
- Assigner à l'élève des problèmes sur le modèle de Bohr à faire en devoir.

Généralisation

- Demander à l'élève de remplir le tableau 5.3 en expliquant si les énoncés soulignent des points forts ou des points faibles du modèle de Bohr. (O)

Tableau 5.3 : Objectivation

Modèle de Bohr	Cocher		Justification
	Point fort	Point faible	
deuxième et troisième postulats			
prédiction des fréquences des systèmes à un seul électron comme celles de l'hydrogène			
calcul de l'énergie d'ionisation de l'hydrogène (énergie nécessaire pour arracher son unique électron)			
modèle de départ en vue de l'élaboration d'un modèle complet			
explication des diverses intensités des raies spectrales			
tenir compte des interactions des électrons d'un même atome			
explication du mouvement de l'électron autour du noyau et sur lui-même			

Ondes de matière ou de de Broglie

- Expliquer la façon dont de Broglie a eu l'idée des ondes de matière : si un photon de longueur d'onde λ a une quantité de mouvement p , alors l'inverse doit aussi être vrai; un objet de quantité de mouvement $p = mv$ peut être considéré comme une onde dont la longueur λ est telle que $\lambda = h / p = h / mv$.

- Expliquer que la deuxième caractéristique ($mvr = n \frac{h}{2\pi}$) du modèle de Bohr est plutôt arbitraire étant issue de l'intuition de Bohr et n'étant pas prouvée.
- Expliquer que le mouvement restreint des électrons dans un atome peut être représenté par une onde stationnaire qui ne se produit que pour des longueurs d'ondes permises.
- Montrer, en partant, de l'équation de de Broglie ($\lambda = h/mv$), que l'équation de l'orbite du modèle de Bohr ($mvr = nh/2\pi$) vérifie la condition d'onde stationnaire ($n\lambda = 2\pi r$).
- Faire remarquer que l'hypothèse de de Broglie apporte une justification au modèle de Bohr.
- Faire remarquer que, rejetée au début, la théorie de de Broglie a été vérifiée deux ans plus tard par Davisson et L. Germer en étudiant la diffraction d'un faisceau d'électrons.
- Faire, au tableau, des exercices sur les ondes de matière (voir H. Benson, *Physique 3 : Ondes, optique et physique moderne*, p. 318).
- Assigner à l'élève des problèmes sur les ondes de matière. Circuler, vérifier ses travaux et répondre aux questions. **(EF)**

Principe d'incertitude de Heisenberg

- Faire ressortir qu'en mécanique classique on peut toujours augmenter la précision d'une mesure en utilisant un instrument de mesure de plus en plus précis.
- Expliquer que, si la longueur d'onde en mécanique quantique est liée à la quantité de mouvement ($p = h/\lambda$), cela implique que :
 - pour connaître la quantité de mouvement d'une particule avec précision, il faut déterminer sa longueur d'onde;
 - pour calculer la longueur d'onde, il faut que l'onde soit observable sur plusieurs cycles;
 - pour l'observer, il faut l'exposer à la lumière, ce qui a pour effet de varier sa quantité de mouvement.
- Présenter et expliquer le principe d'incertitude de Heisenberg : «Il est impossible de mesurer simultanément la position exacte et la quantité de mouvement exacte d'une particule.»

Modèle quantique de l'atome de Schrödinger

- Présenter et expliquer l'approche de Schrödinger : Il a choisi d'élaborer une équation qui fournit les valeurs de toutes les quantités mesurables comme la quantité de mouvement et l'énergie des états stationnaires d'un système atomique pour lequel l'énergie mécanique ne change pas dans le temps. L'équation de Schrödinger fournit la probabilité de toutes les positions susceptibles d'être occupées par la particule.
- Décrire le rapport entre le principe d'incertitude de Heisenberg et le modèle de Schrödinger (les deux présentent un modèle probabiliste de l'atome).

Généralisations

- Demander à l'élève d'enquêter, à l'aide d'Internet, sur la contribution de scientifiques canadiens à la physique tel que Bertram Brockhouse, prix Nobel 1994 pour avoir créé un spectroscopie à neutrons

- Remettre à l'élève la liste des concepts et des théories vus dans cette activité (p. ex., état fondamental, spectre de raies, état stationnaire, principe d'incertitude) et lui demander de l'examiner et d'indiquer là où elle ou il croit avoir besoin d'aide. **(O)**

Évaluation sommative

- Voir **Évaluation sommative** à l'activité 5.5.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Demander à l'élève de calculer les différents niveaux d'énergie de l'hydrogène, en sachant que l'énergie d'ionisation est l'énergie qu'il faut pour arracher un électron d'un élément et trouver l'énergie d'ionisation de l'hydrogène.
- Présenter l'émission *Découverte* de Radio-Canada qui résume l'histoire de la théorie atomique (vérifier le site Internet de Radio-Canada pour commander la vidéocassette).
- Inviter l'élève à consulter quelques sites Internet pour s'informer au sujet de la théorie atomique. **(T)**

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 5.4 (SPH4U)

Radioactivité

Description

Durée : 225 minutes

Cette activité porte sur les trois formes de désintégration nucléaire. L'élève compare les propriétés des particules alpha, bêta et des rayons gamma selon la masse, la charge, la vitesse, le pouvoir de pénétration et le pouvoir ionisant dans divers matériaux. Elle ou il analyse des données expérimentales sur les atomes obtenues à l'aide d'une sonde et d'une interface.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.1 - 2 - 3 - 7 - 8 - 10 - 11

Domaine : Matière et énergie

Attentes : SPH4U-M-A.1 - 2

Contenus d'apprentissage : SPH4U-M-Comp.1 - 2
SPH4U-M-Acq.4

Notes de planification

- Photocopier les règles de sécurité pour manipuler des produits radioactifs (voir **Aperçu de l'unité 5**).
- Préparer un transparent du diagramme de l'expérience de Rutherford montrant l'effet d'un champ magnétique sur les trois types d'émission radioactive (voir *La physique et le monde moderne*, p. 543).
- Préparer une tâche simulant la désintégration radioactive (p. ex., *La physique et le monde moderne*, p. 560).
- Préparer le protocole d'une expérience pour déterminer la demi-vie d'une substance radioactive en utilisant une sonde et une interface (p. ex., *Physique 11*, p. 666).
- Se procurer des sources d'émissions alpha, bêta et gamma.
- Se procurer un mini-générateur césium-137/baryum-137 (p. ex., *Basic Nuclear Lab System, Boreal*).
- Se procurer un compteur Geiger ou une sonde de radiation Vernier qui se branche à une calculatrice graphique ou à un ordinateur.
- Se procurer une chambre à nuage, une aiguille radioactive et de l'azote liquide.
- Se procurer la vidéo de tfo sur la physique nucléaire.
- Photocopier les règles de sécurité pour manipuler des produits radioactifs (voir **Aperçu global de l'unité 5**).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Permettre à l'élève d'utiliser un compteur Geiger pour détecter la présence d'émissions radioactives naturelles (p. ex., dans une roche) ou provenant d'un objet tel qu'un détecteur de fumée.
- Animer un remue-méninges pour faire ressortir les connaissances de l'élève sur les applications de la radioactivité. **(ED)**
- Présenter une carte géographique montrant la distribution des centrales nucléaires au monde et discuter des aspects positifs et négatifs de la production d'énergie nucléaire (p. ex., des arguments contre le nucléaire au site *Regroupement pour la surveillance du nucléaire* à l'adresse www.ccnr.org/index_f.html et des arguments pour le nucléaire au site *Énergie atomique du Canada* à l'adresse www.aecl.ca/french/energy/energy_f.html). **(T) (AM)**
- Remettre à l'élève une série de quinze questions portant sur l'énergie nucléaire et une enveloppe contenant leur réponse. Demander à l'élève d'apparier les bonnes réponses aux questions (voir le volet questions - réponses du site *Énergie atomique du Canada* www.aecl.ca/french/energy/qa_1_b3.html). Corriger oralement. **(ED)**

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Introduction à la radioactivité

- Décrire les circonstances qui ont conduit H. Becquerel à découvrir la radioactivité.
- Définir *radioactivité* (désintégration spontanée d'un noyau instable émettant des particules et des rayonnements).
- Rappeler les concepts de base de la structure de l'atome : noyau, proton, neutron, isotope, charge et masse de l'électron, masse du noyau, numéro atomique, unité de masse atomique (u) et masse atomique.
- Présenter et expliquer les propriétés de la particule alpha :
 - sa nature (noyau d'un atome d'hélium ${}^4_2\text{He}^{++}$); expliquer la signification des chiffres 2 (numéro atomique) et 4 (nombre de masse) montrés dans le symbole;
 - sa masse ($6,64 \times 10^{-27}$ kg) et expliquer qu'elle est grande par rapport à celle des autres types de particules émises;
 - sa charge électrique : $2+$;
 - sa vitesse est faible à cause de la grandeur de sa masse;
 - son pouvoir de pénétration dans la matière est faible (quelques centimètres dans l'air);
 - son pouvoir ionisant dans un gaz est très élevé.
- Présenter et expliquer les propriétés de la particule bêta :
 - sa nature (électron e^-);
 - sa masse ($9,109 \times 10^{-31}$ kg) et faire remarquer sa faible masse par rapport à celle de la particule alpha;
 - sa charge électrique : $1-$;
 - sa vitesse est très grande par rapport à celle de la particule alpha;
 - son pouvoir de pénétration dans la matière est plus grande que celui des particules alpha (de 6 à 300 cm dans l'air; de 0,06 à 300 mm dans la peau; de 0,005 à 0,3 mm dans le plomb);
 - son pouvoir ionisant dans un gaz est beaucoup moindre que celui de la particule alpha.
- Présenter et expliquer les propriétés du rayon gamma :
 - sa nature : onde électromagnétique dont la fréquence est comprise entre 10^{19} et 10^{24} Hz;

- sa masse (aucune);
- sa charge électrique (aucune);
- sa vitesse (celle de la lumière : 3×10^8 m/s);
- son pouvoir de pénétration dans la matière est très grand (400 m dans l'air; 50 cm dans la peau; 30 mm dans le plomb);
- son pouvoir ionisant dans un gaz est encore moindre que celui de la particule bêta.
- Montrer, en laboratoire, la désintégration radioactive spontanée à l'aide d'une chambre à nuage.

Effet d'un champ magnétique sur les émissions radioactives

- Décrire l'expérience de Rutherford montrant l'effet d'un champ magnétique sur les trois principaux types de désintégrations (voir *La physique et le monde moderne*, p. 543).
- Décrire l'effet d'un champ magnétique sur les trois types d'émissions radioactives à l'aide du diagramme de l'expérience.
- Expliquer qu'une particule chargée dans un champ magnétique subit une force magnétique de grandeur $F_m = Bqv\sin\alpha$ dont la direction est perpendiculaire au champ magnétique et à la direction de la vitesse de la particule chargée (rappeler la règle de la main droite).
- Expliquer que le champ n'a aucun effet sur les rayons gamma, car leur charge est nulle; la force magnétique F_m est donc nulle.
- Mentionner que les particules alpha sont déviées d'un côté et les particules bêta de l'autre côté, car elles ont des charges opposées; la force magnétique F_m est donc opposée.

Désintégration radioactive

- Montrer des exemples d'équations de désintégration radioactive. Expliquer que les lois de conservation de la masse et de la charge doivent être respectées.
- Assigner des exercices d'équilibrage d'équations de désintégration nucléaire.
- Circuler et s'assurer que les élèves utilisent les équations correctement. **(EF)**

Demi-vie ou période radioactive

- Définir *demi-vie* ou *période radioactive* à l'aide d'une activité de simulation :
 - Remettre à l'élève 100 jetons ayant un côté d'une couleur et l'autre côté d'une couleur différente (p. ex., rouge et noir).
 - Expliquer à l'élève que le côté rouge correspond à l'atome original et que le côté noir correspond à l'atome désintégré par radioactivité.
 - Demander à l'élève de brasser les jetons dans une enveloppe, de les jeter sur la table et de compter le nombre d'atomes désintégrés par radioactivité (côté noir) et le nombre d'atomes non désintégrés (côté rouge) et de noter ses résultats dans un tableau tel que le tableau 5.4.
 - Demander à l'élève de continuer à brasser les atomes non désintégrés (côté rouge) jusqu'à ce qu'il n'en reste qu'un.
 - Dire à l'élève de recommencer l'expérience trois fois et d'écrire, dans un tableau, la moyenne des résultats obtenus à chaque essai.
 - Demander à l'élève de tracer un graphique des atomes non désintégrés en fonction du nombre d'essais.
 - Mentionner à l'élève que chaque essai correspond à une période radioactive.
 - Faire remarquer à l'élève que tous les graphiques de demi-vie ont la même forme; seule la période radioactive change en fonction de l'élément radioactif.

Tableau 5.4 : Période radioactive

N ^{bre} D'essais	Atomes non désintégrés par radioactivité (côté rouge)	Atomes désintégrés par radioactivité (côté noir)
1	100	0
2		
...		

- Rappeler toutes les règles de sécurité se rapportant à la manutention des produits radioactifs et s'assurer qu'elles sont bien comprises (voir **Aperçu global de l'unité 5**).
- Demander à l'élève d'effectuer une expérience pour déterminer la demi-vie d'une substance radioactive. Lui demander (p. ex., *Physique 11*, p. 666) :
 - de suivre les règles de sécurité tout le long de l'expérimentation;
 - d'utiliser une sonde ou une interface pour recueillir les données; **(T)**
 - de compiler et d'organiser les données recueillies;
 - d'interpréter les résultats et de présenter sa conclusion;
 - de produire un rapport d'expérience complet et de le remettre pour le faire évaluer. **(EF)**
- Présenter des exemples de calculs de demi-vie à l'aide de la formule et assigner à l'élève des problèmes en devoir.

Généralisation

- Distribuer à l'élève une liste de vérification des concepts, lui demander de vérifier si elle ou il a besoin d'aide et l'inviter à poser des questions, au besoin. **(O)**

Évaluation sommative

Voir **Évaluation sommative** à l'activité 5.5.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Remettre à l'élève un court texte sur la fusion nucléaire et lui demander de le lire en devoir. À la suite de la lecture, susciter une réflexion, animer une mise en commun des idées retenues et écrire les points importants au tableau (p. ex., cegep-st-laurent.qc.ca/depar/chimie/chimiweb/webchimi/deugsm/dor01/fusion.html).
- Visionner une vidéo sur la physique nucléaire (p. ex., *Découverte de la Radioactivité*, TVO et *Les Transmutations Naturelles*, TVO).
- Distribuer un questionnaire sur le contenu de la vidéo et demander à l'élève d'y répondre. **(EF)**
- Demander à l'élève d'effectuer une expérience pour mesurer la radioactivité naturelle à différents endroits et pour comparer la protection offerte par divers matériaux contre les radiations.

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

ACTIVITÉ 5.5 (SPH4U)

Modèle standard

Description

Durée : 225 minutes

Cette activité porte sur le modèle standard de l'atome. L'élève étudie les caractéristiques des quarks, des familles de leptons, des familles de hadrons et des particules de champs de chaque force fondamentale. Elle ou il analyse des images de trajectoires de particules élémentaires et enquête sur la contribution canadienne à l'élaboration de ce nouveau modèle.

Domaines, attentes et contenus d'apprentissage

Attentes génériques : SPH4U-Ag.4 - 7 - 8 - 9 - 10 - 12

Domaine : Matière et énergie

Attentes : SPH4U-M-A.1 - 2 - 3

Contenus d'apprentissage : SPH4U-M-Comp.1 - 7
SPH4U-M-Acq.3
SPH4U-M-Rap.1 - 3

Notes de planification

- Préparer une grille de mots croisés de la terminologie utilisée au cours de cette activité : *lepton, hadron, baryon, méson, photon, gluon, boson, graviton, électron, antiélectron, proton, antiproton, neutron, antineutron, neutrino, antineutrino, muon, tau, quark, up, down, strange, top, bottom, charm.*
- Se procurer un ballon.
- Se procurer une vidéo sur les forces fondamentales (p. ex., *Forces de la nature*, COSC).
- Trouver des images de trajectoires de particules élémentaires (p. ex., *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 795).
- Trouver des références ou des adresses Internet sur les travaux de scientifiques canadiens (voir www.cegep-st-laurent.qc.ca/depar/physique/histayl.htm et lal.in2p3.fr/cpep/history/smt.html).

Déroulement de l'activité

Mise en situation

- Demander à l'élève de nommer des particules élémentaires et des forces fondamentales. **(ED)**
- Expliquer à l'élève que, contrairement à la croyance populaire, les protons et les neutrons ne sont pas des particules élémentaires.
- Lui mentionner qu'au cours de cette activité elle ou il se familiarisera avec le dernier modèle de la matière le plus couramment accepté : le modèle standard.
- Remettre à l'élève une grille de mots croisés pour la ou le familiariser avec la terminologie utilisée au cours de cette activité : *lepton, hadron, baryon, méson, photon, gluon, boson, graviton, électron, antiélectron, proton, antiproton, neutron, antineutron, neutrino, antineutrino, muon, tau, quark, up, down, strange, top, bottom, charm.*

Expérimentation/Exploration/Manipulation

Forces fondamentales

- Demander à l'élève de définir *force*. **(ED)**
- Expliquer à l'élève qu'au niveau subatomique la force entre deux corps se manifeste par l'échange d'une particule intermédiaire appelée *médiateur* ou *particule de champ*.
- Montrer une analogie pour représenter le médiateur :
 - demander à deux élèves volontaires de se lancer un ballon dans un mouvement de va-et-vient;
 - expliquer qu'en se lançant et en recevant le ballon elles et ils exercent une force l'un sur l'autre;
 - mentionner que les deux élèves, représentant les objets, exercent une force l'un sur l'autre et que le ballon représente le médiateur;
 - faire un lien avec la mécanique quantique : lorsque deux particules chargées électriquement interagissent, l'une fournit des paquets d'énergie et l'autre les absorbe, ces paquets d'énergie sont les médiateurs qu'on appelle *photons*. Ce mécanisme de transfert est bref et ne peut être observé. Chaque force ou interaction a son propre médiateur.
- Définir *médiateur* (particule qui véhicule la force ou établit le lien entre la source de la force et l'objet sur laquelle elle est exercée, on l'appelle aussi *particule de champ*).
- Décrire les quatre forces fondamentales et leur médiateur :
 - Force gravitationnelle : Force d'attraction entre tous les objets ayant une masse. Cette force est peu importante pour les particules subatomiques, mais c'est elle qui est responsable de la formation des systèmes solaires et des galaxies. Le médiateur est le graviton. Il n'a pas encore été observé directement ou indirectement;
 - Force électromagnétique : Force qui agit entre des objets chargés électriquement. Elle peut être attractive ou répulsive. Elle est responsable de la formation des atomes puisque le noyau chargé positivement est attiré par l'électron négatif. Le médiateur est le photon qui a été observé indirectement;

- Force d'interaction forte : Force d'attraction entre deux nucléons (proton ou neutron). Elle est responsable de la formation du noyau. Le médiateur est le gluon qui a été observé indirectement.
- Force d'interaction faible : Force affectant toutes les particules, mais plus particulièrement les neutrinos. Elle est responsable de la désintégration bêta. Les médiateurs sont les bosons W^+ , W^- et Z qui sont très massifs, environ 100 fois la masse du proton. Ils ont été observés pour la première fois en 1983.
- Présenter et définir chacune des forces fondamentales à l'aide du tableau 5.5a.

Tableau 5.5a : Forces fondamentales et médiateurs

Force fondamentale			Médiateur			
Nom	Intensité relative	Portée [m]	Nom	Masse [masse atomique]	Charge	Spin
Gravitationnelle	10^{-38}	infinie	graviton	0	0	2
Électromagnétique	4×10^4	infinie	photon	0	0	1
Forte	1×10^0	10^{-15}	gluon	0	0	1
Faible	4×10^4	10^{-19}	bosons W	82	+1 et -1	1
			boson Z	91	0	1

- Mentionner à l'élève que les scientifiques cherchent à prouver que les quatre forces fondamentales sont la manifestation d'une force unique, en cherchant la particule qui serait le véhicule de toutes les forces.
- Présenter une vidéo sur les forces fondamentales (p. ex., *Forces de la nature*, COSC) et demander à l'élève de prendre des notes.

Particules élémentaires

- Expliquer que les théories des années 1930 à 1950 prédisaient l'existence de particules aux propriétés opposées à celles des particules connues. Ces particules furent découvertes au fil des ans et nommées *antiparticules*.
- Définir *antiparticule* (particule ayant des propriétés opposées à celles d'une particule. Quand une particule rencontre une antiparticule, les deux sont détruites selon un processus appelé *annihilation* de paires avec une émission d'énergie $E = mc^2$).
- Donner des exemples d'antiparticules (p. ex., positron-électron, antiproton-proton, antineutron-neutron, antineutrino-neutrino).
- Définir *spin* (caractéristique du mouvement de rotation d'une particule; dans l'échelle quantique, le spin de l'électron est $\pm 1/2$, le spin est positif si l'électron tourne dans un sens et négatif s'il tourne dans le sens opposé).
- Présenter les deux grandes classes de particules élémentaires :
 - Lepton : Du mot grec *leptos* qui signifie petit ou léger, les leptons regroupent les particules qui participent à l'interaction faible et ne se fractionnent pas.

- Hadron : Ils interviennent dans l'interaction forte, ils se fractionnent en particules plus petites (les quarks) et se subdivisent en deux sous-groupes, les *baryons* et les *mésons*;
- Présenter les deux sous-catégories de hadrons :
 - Baryon : Particule composée de trois quarks et de spin fractionné (1/2). Les protons et les neutrons sont des baryons.
 - Méson : Particule composée de deux quarks et de spin entier. Les pions sont des exemples de mésons.
- Présenter un tableau de classification des particules tel que le tableau 5.5b et donner des informations supplémentaires sur leurs caractéristiques.

Tableau 5.5b : Classification des particules

Leptons	Hadrons	
	Baryons	Mésons
électron (e^-)	proton (p)	pion (π^+ , π^- , π^0)
muon (μ^-)	neutron (n)	
tau (τ^-)		
neutrino électron (ν_e)		
neutrino muon (ν_μ)		
neutrino tau (ν_τ)		

- Expliquer que les scientifiques tentent d'unifier toutes les particules élémentaires de la même façon qu'ils tentent d'unifier les quatre forces fondamentales.

Caractéristiques des quarks

- Définir *quark* comme étant les particules qui forment les hadrons.
- Présenter les caractéristiques des quarks (voir *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 802) :
 - types de quarks : u (up); d (down); s (strange); t (top); b (bottom); c (charm).
 - charges électriques fractionnaires des quarks :
 - up $+2/3e$;
 - down $-1/3e$;
 - strange $-1/3e$;
 - spin est toujours $+1/2$;
 - à chaque quark correspond un antiquark.
- Désigner les quarks qui constituent les protons et les neutrons (uud pour les protons et udd pour les neutrons).
- Demander à l'élève de calculer la charge et le spin du proton et du neutron en additionnant la charge électrique et le spin des quarks les constituants.

Généralisations

- Montrer à l'élève la manière de représenter des interactions entre les particules à l'aide de diagrammes de Feynman.

- Demander à l'élève de se rappeler les traces observées dans la chambre à nuage lors de l'activité 5.4. Faire une analogie avec les traces observées dans les détecteurs de particules.
- Montrer à l'élève la façon d'analyser des images de trajectoires de particules élémentaires pour déterminer leur masse, leur quantité de mouvement et leur charge.
- Demander à l'élève d'enquêter sur la contribution de scientifiques canadiens à la physique moderne telle que Richard Taylor, prix Nobel 1990 pour avoir vérifié la théorie des quarks.
- Demander à l'élève de résumer la biographie de la ou du scientifique étudié et de remettre son travail pour l'évaluer. **(EF)**
- Demander à l'élève d'élaborer un réseau de concepts du modèle standard et lui suggérer d'élaborer et de faire part au reste du groupe-classe des procédés mnémotechniques pour apprendre les différentes classes de particules vues dans cette activité. **(O)**

Évaluation sommative

- Présenter la grille d'évaluation adaptée pour faire une épreuve sur le modèle de Bohr, la radioactivité et le modèle standard.
- Évaluer les connaissances acquises en rapport au modèle de Bohr, à la radioactivité et au modèle standard.
- Utiliser une grille d'évaluation adaptée en partant de critères précis en fonction des quatre compétences :
 - Connaissance et compréhension
 - démontrer une compréhension des orbites stationnaires, des niveaux d'énergie, des spectres de raies, des types de désintégrations, des forces fondamentales, des médiateurs et des particules élémentaires.
 - Recherche
 - prédire la longueur d'onde de la lumière émise par un électron passant d'un niveau d'énergie à un autre;
 - prédire la quantité de mouvement d'une particule en partant de sa vitesse;
 - analyser des données sur la désintégration d'une substance radioactive pour déterminer sa demi-vie;
 - interpréter des images de trajectoire de particules pour trouver leur masse et leur charge.
 - Communication
 - utiliser la terminologie et les symboles de la radioactivité et du modèle standard.
 - Rapprochement
 - décrire la contribution de scientifiques canadiens à la physique moderne;
 - retracer l'évolution du modèle atomique du modèle de Bohr au modèle standard.

Activités complémentaires/Réinvestissement

- Suggérer à l'élève de se renseigner sur les recherches effectuées au laboratoire de neutrinos de Sudbury.
- Suggérer à l'élève de se renseigner sur les accélérateurs et les détecteurs de particules en opération et en construction dans le monde.

- Organiser un débat sur les mérites des recherches en physique subatomique.

Annexes

(espace réservé à l'enseignant ou à l'enseignante pour l'ajout de ses propres annexes)

Annexe SPH4U 5.5.1 : Grille d'évaluation adaptée - Modèle standard

Grille d'évaluation adaptée - Modèle standard

Annexe SPH4U 5.5.1

<i>Type d'évaluation : diagnostique 9 formative 9 sommative :</i>				
<i>Compétences et critères</i>	<i>50 - 59 % Niveau 1</i>	<i>60 - 69 % Niveau 2</i>	<i>70 - 79 % Niveau 3</i>	<i>80 - 100 % Niveau 4</i>
Connaissance et compréhension				
L'élève : - démontre une compréhension des orbites stationnaires, des niveaux d'énergie, des spectres de raies, des types de désintégrations, des forces fondamentales, des médiateurs et des particules élémentaires.	L'élève démontre une compréhension limitée des concepts, des principes, des lois, des théories et des rapports entre les concepts.	L'élève démontre une compréhension partielle des concepts, des principes, des lois, des théories et des rapports entre les concepts.	L'élève démontre une compréhension générale des concepts, des principes, des lois, des théories et des rapports entre les concepts.	L'élève démontre une compréhension approfondie des concepts, des principes, des lois, des théories et des rapports entre les concepts.
Recherche				
L'élève : - prédit la longueur d'onde de la lumière émise par un électron passant d'un niveau d'énergie à un autre. - prédit la quantité de mouvement d'une particule en partant de sa vitesse. - analyse des données sur la désintégration d'une substance radioactive pour déterminer sa demi-vie. - interprète des images de trajectoire de particules pour trouver leur masse et leur charge.	L'élève applique les habiletés et les procédés techniques avec une compétence limitée.	L'élève applique les habiletés et les procédés techniques avec une certaine compétence.	L'élève applique les habiletés et les procédés techniques avec une grande compétence.	L'élève applique les habiletés et les procédés techniques avec une très grande compétence.

Communication				
L'élève : - utilise la terminologie et les symboles de la radioactivité et du modèle standard.	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI avec peu d'exactitude et une efficacité limitée.	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI avec une certaine exactitude et efficacité.	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI avec une grande exactitude et efficacité.	L'élève utilise la terminologie, les symboles, les conventions scientifiques et les unités SI avec une très grande exactitude et efficacité.
Rapprochement				
L'élève : - décrit la contribution de scientifiques canadiens à la physique moderne. - retrace l'évolution du modèle atomique du modèle de Bohr au modèle standard.	L'élève démontre une compréhension limitée des rapprochements dans des contextes scientifiques.	L'élève démontre une certaine compréhension des rapprochements dans des contextes scientifiques.	L'élève démontre une compréhension générale des rapprochements dans des contextes scientifiques.	L'élève démontre une compréhension approfondie des rapprochements dans des contextes scientifiques.
Remarque : L'élève dont le rendement est en deçà du niveau 1 (moins de 50 %) n'a pas satisfait aux attentes pour cette tâche.				

TABLEAU DES ATTENTES ET DES CONTENUS D'APPRENTISSAGE

PHYSIQUE		Unités				
		1	2	3	4	5
Attentes génériques						
SPH4U-Ag.1	utiliser des méthodes de manutention et des procédures sans risque [p. ex., appliquer les règles de manipulation et d'entreposage des substances de laboratoire conformément aux consignes du Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT)] et prendre les précautions nécessaires pour assurer sa sécurité et celle d'autrui.	1.2 1.3	2.1 2.3	3.1 3.2 3.3 3.4	4.3 4.5	5.2 5.4
SPH4U-Ag.2	faire des observations et recueillir des données à l'aide d'instruments qu'il ou elle a choisis sciemment, et les utiliser correctement et prudemment (p. ex., interfaces et sondes, cellules photoélectriques, balances, oscilloscopes, multimètres).	1.1 1.2 1.3	2.2 2.3 2.4	3.1 3.2 3.3 3.4	4.1 4.3 4.4	5.2 5.4
SPH4U-Ag.3	concevoir et effectuer rigoureusement des expériences pour démontrer ou déduire les concepts à l'étude, en contrôlant les variables importantes et en modifiant au besoin les techniques utilisées.	1.1 1.2 1.3	2.1 2.2 2.3 2.4	3.1 3.2 3.3 3.4	4.3 4.4 4.5	5.4
SPH4U-Ag.4	effectuer des recherches sur les concepts à l'étude à la bibliothèque et sur Internet.	1.1 1.2 1.5	2.3	3.1 3.3 3.4 3.5	4.1 4.2 4.3 4.5	5.1 5.2 5.3 5.5
SPH4U-Ag.5	recueillir des renseignements dans des imprimés et des médias électroniques (p. ex., revues scientifiques, Internet), les interpréter et les présenter sous diverses formes appropriées (p. ex., diagrammes, tableaux, graphiques), produites manuellement ou à l'ordinateur.	1.5	2.5	3.2 3.4 3.5	4.1 4.2	5.1 5.3
SPH4U-Ag.6	utiliser des modèles scientifiques (théories, lois et moyens explicatifs) pour expliquer et prédire le comportement de phénomènes naturels.	1.1 1.2 1.3 1.4	2.2 2.3 2.4 2.5	3.1 3.2 3.3 3.4	4.1 4.2 4.3 4.4 4.5	5.1 5.2 5.3
SPH4U-Ag.7	analyser et synthétiser les renseignements provenant d'énoncés de problèmes et résoudre ceux-ci en employant les méthodes appropriées.	1.1 1.2 1.3 1.4	2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6	3.1 3.2 3.3 3.4	4.2 4.3 4.4 4.5	5.1 5.2 5.3 5.4 5.5
SPH4U-Ag.8	choisir et utiliser les unités SI appropriées, et appliquer les techniques de conversion et d'analyse d'unités appropriées.	1.1 1.2 1.3 1.4	2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6	3.1 3.2 3.3 3.4 3.5	4.2 4.3 4.4 4.5	5.1 5.2 5.3 5.4 5.5

PHYSIQUE		Unités				
		1	2	3	4	5
SPH4U-Ag.9	communiquer ses idées, ses projets et ses résultats en utilisant la terminologie exacte et les présenter en recourant à des moyens graphiques, numériques et symboliques qu'il ou elle a choisis sciemment (p. ex., équations algébriques, diagrammes de forces, diagrammes de rayons, courbes, programmes d'affichage graphique, feuilles de calcul électronique).	1.1 1.2 1.3 1.4	2.2 2.3 2.4 2.5 2.6	3.1 3.2 3.3 3.4 3.5	4.1 4.2 4.3 4.4 4.5	5.1 5.2 5.5
SPH4U-Ag.10	expliquer avec exactitude ses méthodes de recherche et ses résultats à l'aide de rapports de laboratoire, de tableaux d'observations et d'exposés, et évaluer la fiabilité de ses données en identifiant les sources d'erreur et d'incertitude dans les mesures.	1.1 1.2 1.3	2.2 2.3 2.4	3.1 3.2 3.3 3.4 3.5	4.3 4.4 4.5	5.4 5.5
SPH4U-Ag.11	exprimer le résultat des calculs de données empiriques en utilisant le nombre approprié de chiffres significatifs ou de chiffres décimaux.	1.1 1.2 1.3 1.5	2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6	3.1 3.2 3.3 3.4	4.3	5.2 5.3 5.4
SPH4U-Ag.12	recenser et décrire des professions qui requièrent des connaissances en physique (p. ex., ingénieur mécanique, astronome, météorologue, océanographe).	1.3 1.5	2.4	3.5	4.3 4.4 4.5	5.1 5.5

PHYSIQUE		Unités				
Domaine : Dynamique		1	2	3	4	5
Attentes						
SPH4U-D-A.1	démontrer, en analysant des mouvements dans les plans horizontal, vertical et incliné, l'accélération d'un objet dans la direction de la résultante appliquée sur celui-ci.	1.1 1.2 1.3 1.4 1.5				
SPH4U-D-A.2	analyser quantitativement et expérimentalement les projectiles, le mouvement circulaire et les mouvements rectilignes dans des plans variés.	1.2 1.3 1.4 1.5				
SPH4U-D-A.3	analyser de quelle façon les connaissances scientifiques de la dynamique sont appliquées dans des dispositifs technologiques et de l'équipement récréatif.	1.2 1.3 1.4 1.5				
Contenus d'apprentissage : Compréhension et interprétation des concepts						
SPH4U-D-Comp.1	définir les concepts et les unités de la dynamique (p. ex., mouvement circulaire uniforme, systèmes de référence inertiels et non inertiels, projectile).	1.1 1.2 1.3 1.4				
SPH4U-D-Comp.2	analyser quantitativement et déterminer le mouvement rectiligne d'objets dans des plans vertical, horizontal et incliné.	1.1				
SPH4U-D-Comp.3	analyser quantitativement et expliquer la trajectoire d'un projectile en fonction de ses composantes horizontale et verticale.	1.2				
SPH4U-D-Comp.4	décrire et analyser le mouvement circulaire uniforme dans des plans horizontal et vertical en fonction des forces présentes et identifier la force causant l'accélération centripète dans diverses situations.	1.3				
SPH4U-D-Comp.5	distinguer le système de référence inertiels et le système de référence non inertiels et déterminer la vitesse et l'accélération relatives dans diverses situations.	1.4				
SPH4U-D-Comp.6	appliquer quantitativement la loi de l'attraction universelle de Newton et l'utiliser pour expliquer le mouvement des planètes et des satellites.	1.5				

PHYSIQUE		Unités				
Domaine : Dynamique		1	2	3	4	5
Contenus d'apprentissage : Acquisition d'habiletés en résolution de problèmes, en recherche scientifique et en communication						
SPH4U-D-Acq.1	analyser des données expérimentales pour déterminer la résultante appliquée sur un objet et le mouvement de celui-ci en utilisant des diagrammes de forces, des graphiques, des équations trigonométriques et les composantes orthogonales de vecteurs (p. ex., mesurer les forces appliquées sur un corps équilibré au centre d'une table de forces et vérifier la valeur nulle de la résultante par l'addition vectorielle)	1.1 1.3 1.4				
SPH4U-D-Acq.2	analyser, en laboratoire ou en partant de simulations à l'ordinateur, le mouvement à deux dimensions (p. ex., vérifier l'indépendance des composantes verticale et horizontale de la trajectoire d'un projectile)	1.2 1.3 1.4				
SPH4U-D-Acq.3	concevoir et effectuer une expérience pour vérifier une prédiction sur le mouvement d'un objet (p. ex., déterminer la vitesse initiale d'un projectile en partant des mesures de sa portée et de son temps d'envol)	1.2				
SPH4U-D-Acq.4	analyser quantitativement, en laboratoire, la relation entre la force centripète exercée sur un corps effectuant un mouvement circulaire uniforme et certains facteurs tels que la fréquence, la vitesse, la masse et le rayon, et présenter ses résultats sous forme graphique	1.3				
Contenus d'apprentissage : Rapprochement entre les cultures scientifique et technologique et l'environnement						
SPH4U-D-Rap.1	construire des prototypes ou décrire le fonctionnement de dispositifs technologiques dont la mise au point repose sur les connaissances scientifiques du mouvement circulaire et de la trajectoire des projectiles (p. ex., expliquer comment est combattue l'oscillation des gratte-ciel avec des amortisseurs s'opposant à la force du vent; construire le modèle d'un manège d'un parc d'attractions).	1.2 1.3				
SPH4U-D-Rap. 2	analyser des situations quotidiennes ainsi que des dispositifs technologiques et de l'équipement récréatif qui reposent sur les lois de la dynamique (p. ex., certains projectiles ont une plus grande portée horizontale lorsqu'ils sont lancés selon un angle de 45° dans le vide et selon un angle de 35° dans l'air; le profilage de la coque d'un voilier minimise les forces de résistance).	1.2 1.3 1.4 1.5				

PHYSIQUE		Unités				
Domaine : Énergie et quantité de mouvement		1	2	3	4	5
Attentes						
SPH4U-E-A.1	démontrer qualitativement et quantitativement sa compréhension des concepts de travail, d'impulsion et de quantité de mouvement ainsi que des lois de la conservation de l'énergie et de la conservation de la quantité de mouvement pour les objets se déplaçant en deux dimensions.		2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6			
SPH4U-E-A.2	vérifier, en laboratoire et en partant d'analyses mathématiques, les lois de la conservation de la quantité de mouvement et de la conservation de l'énergie pour les collisions élastiques et calculer les pertes d'énergie pour les collisions inélastiques.		2.1 2.2 2.3 2.4 2.6			
SPH4U-E-A.3	décrire et analyser des applications technologiques qui reposent sur les lois de la conservation de la quantité de mouvement et de la conservation de l'énergie, et évaluer l'incidence sociale de certaines de ces applications.		2.1 2.2 2.3 2.4 2.6			
Contenus d'apprentissage : Compréhension et interprétation des concepts						
SPH4U-E-Comp.1	définir les concepts et les unités de la quantité de mouvement et de l'énergie (p. ex., énergie potentielle élastique, impulsion, quantité de mouvement, mouvement harmonique simple, système isolé, système ouvert, collision élastique).		2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6			
SPH4U-E-Comp.2	analyser et appliquer quantitativement, à l'aide de diagrammes vectoriels, la loi de la conservation de la quantité de mouvement dans des systèmes isolés.		2.3			
SPH4U-E-Comp.3	analyser des situations impliquant les concepts de l'énergie mécanique et de l'énergie thermique ainsi que les lois de la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie.		2.1 2.3 2.4 2.6			
SPH4U-E-Comp.4	distinguer les collisions élastiques des collisions inélastiques.		2.4 2.6			
SPH4U-E-Comp.5	analyser et expliquer les transformations énergétiques qui surviennent dans diverses situations (p. ex., le travail exercé sur un palet de curling est transformé en énergie cinétique et en énergie thermique).		2.1 2.2			
SPH4U-E-Comp.6	analyser et appliquer quantitativement le concept de l'énergie potentielle gravitationnelle à divers corps célestes.		2.5 2.6			
SPH4U-E-Comp.7	décrire le mouvement des planètes et celui des satellites et les analyser en fonction des transformations d'énergie qui se produisent (p. ex., calculer l'énergie nécessaire pour propulser un vaisseau spatial de la surface de la Terre à l'extérieur du champ gravitationnel terrestre et décrire les transformations énergétiques qui en résultent; calculer l'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle d'un satellite sur une orbite circulaire stable autour d'une planète).		2.5			
SPH4U-E-Comp.8	analyser et appliquer quantitativement la loi de Hooke.		2.2 2.6			

PHYSIQUE		Unités				
Domaine : Énergie et quantité de mouvement		1	2	3	4	5
Contenus d'apprentissage : Acquisition d'habiletés en résolution de problèmes, en recherche scientifique et en communication						
SPH4U-E-Acq.1	effectuer des expériences ou des simulations à l'ordinateur pour étudier les lois de la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie dans une ou deux dimensions (p. ex., déterminer si une collision entre deux rondelles est élastique ou inélastique en analysant les diagrammes vectoriels obtenus expérimentalement).		2.3 2.4			
SPH4U-E-Acq.2	concevoir et effectuer une expérience pour vérifier la loi de la conservation de l'énergie dans un système comprenant de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle gravitationnelle, de l'énergie potentielle élastique et de l'énergie thermique (p. ex., vérifier la loi de Hooke; concevoir un emballage pour une denrée fragile comme les œufs et examiner son efficacité en fonction d'un ensemble de critères spécifiés).		2.2			
Contenus d'apprentissage : Rapprochement entre les cultures scientifique et technologique et l'environnement						
SPH4U-E-Rap.1	décrire et analyser des dispositifs dont la conception et le fonctionnement reposent sur les lois de la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie (p. ex., le coefficient d'élasticité d'un câble d'escalade varie en fonction de son usure; Pathfinder était équipé d'un coussin gonflable, d'un parachute et de fusées de réaction pour son atterrissage sur la planète Mars).		2.1 2.2 2.3 2.4 2.6			
SPH4U-E-Rap.2	cerner des questions sociales que soulèvent les applications, dans le domaine des transports, des lois de la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie, et examiner ces questions en fonction de critères tels que la qualité de la vie, les retombées économiques et la protection de l'environnement (p. ex., les tableaux de bord des voitures sont rembourrés pour amortir le choc d'une collision).		2.1 2.2 2.4			

PHYSIQUE		Unités				
Domaine : Champs gravitationnel, électrique et magnétique		1	2	3	4	5
Attentes						
SPH4U-C-A.1	démontrer qualitativement et quantitativement sa compréhension des forces, des champs, des énergies et des potentiels gravitationnels, électriques et magnétiques.			3.2 3.3 3.4 3.5		
SPH4U-C-A.2	analyser et résoudre des problèmes sur des forces, des champs, des énergies ou des potentiels gravitationnels, électriques et magnétiques, tout en démontrant des habiletés en expérimentation.			3.1 3.2 3.3 3.4		

PHYSIQUE		Unités				
Domaine : Champs gravitationnel, électrique et magnétique		1	2	3	4	5
SPH4U-C-A.3	expliquer le rôle des preuves et des théories dans l'avancement des connaissances scientifiques sur les champs gravitationnel, électrique et magnétique, et évaluer les répercussions sociales des applications technologiques qui en découlent.			3.1 3.2 3.4 3.5		
Contenus d'apprentissage : Compréhension et interprétation des concepts						
SPH4U-C-Comp.1	définir les concepts et les unités des champs gravitationnel, électrique et magnétique (p. ex., force gravitationnelle, énergie de liaison, force électrique, potentiel électrique, énergie potentielle électrique, force magnétique).			3.1 3.2 3.3 3.4 3.5		
SPH4U-C-Comp.2	appliquer qualitativement et quantitativement les lois de Coulomb et de Newton et les comparer (p. ex., analyser, à l'aide de diagrammes vectoriels, la force électrique nécessaire pour équilibrer la force gravitationnelle sur une goutte d'huile entre des plaques parallèles chargées).			3.1		
SPH4U-C-Comp.3	comparer et distinguer les propriétés des champs gravitationnel, électrique et magnétique et identifier l'origine et la direction de chaque champ.			3.2 3.4 3.5		
SPH4U-C-Comp.4	appliquer quantitativement le concept de l'énergie potentielle électrique à diverses situations et comparer ses caractéristiques à celles de l'énergie potentielle gravitationnelle.			3.3		
SPH4U-C-Comp.5	analyser quantitativement, et illustrer à l'aide de lignes de forces, le champ électrique produit par une ou deux charges ponctuelles et des plaques parallèles chargées (p. ex., expliquer l'expérience effectuée par Millikan pour déterminer la charge d'un électron).			3.2 3.3		
SPH4U-C-Comp.6	décrire qualitativement le champ magnétique à la surface et à l'intérieur d'un fil conducteur en fonction du flux du courant (p. ex., décrire le champ électrique dans un câble coaxial et autour de celui-ci).			3.2 3.5		
SPH4U-C-Comp.7	analyser qualitativement et quantitativement les forces exercées sur une charge en mouvement et sur un conducteur situé dans un champ magnétique uniforme.			3.4 3.5		
Contenus d'apprentissage : Acquisition d'habiletés en résolution de problèmes, en recherche scientifique et en communication						

PHYSIQUE		Unités				
Domaine : Champs gravitationnel, électrique et magnétique		1	2	3	4	5
SPH4U-C-Acq.1	compiler, analyser et interpréter des données quantitatives, tirées de ses expériences ou de simulations à l'ordinateur, sur des forces et des champs gravitationnel, électrique et magnétique de diverses distributions de charge ou d'objets dans diverses situations (p. ex., calculer la charge d'un électron en partant de données empiriques; vérifier expérimentalement la loi de Coulomb et analyser l'écart entre la valeur théorique et la valeur empirique).			3.1 3.2 3.3 3.4		
SPH4U-C-Acq.2	démontrer et expliquer comment on applique les propriétés des champs électriques pour contrôler ou modifier le champ magnétique autour d'un conducteur (p. ex., montrer comment le blindage du matériel électronique ou des conducteurs influent sur les champs électrique et magnétique).			3.3		
Contenus d'apprentissage : Rapprochement entre les cultures scientifique et technologique et l'environnement						
SPH4U-C-Rap.1	expliquer comment le concept de champ en physique a révolutionné nos connaissances des concepts de la gravitation, de l'électricité et du magnétisme (p. ex., expliquer comment la théorie des champs a aidé les scientifiques à comprendre, à l'échelle macroscopique, le mouvement des corps célestes et, à l'échelle microscopique, le mouvement des particules dans les champs magnétiques).			3.1 3.4 3.5		
SPH4U-C-Rap.2	présenter des exemples où l'invention d'une technologie a fait progresser les connaissances scientifiques dans les domaines de l'électricité et du magnétisme (p. ex., la technologie des accélérateurs de particules dans les cyclotrons des hôpitaux).			3.2 3.3 3.4		
SPH4U-C-Rap.3	relever les répercussions sociales d'applications technologiques découlant des connaissances sur les champs gravitationnel, électrique et magnétique et les évaluer en fonction de critères tels que la qualité de la vie, les retombées économiques et la protection de l'environnement (p. ex., purificateur d'air électronique, train à sustentation magnétique, expériences en microgravité, protection des systèmes informatiques contre les champs électrique et magnétique).			3.5		
PHYSIQUE		Unités				
Domaine : La nature ondulatoire de la lumière		1	2	3	4	5
Attentes						

PHYSIQUE		Unités				
Domaine : La nature ondulatoire de la lumière		1	2	3	4	5
SPH4U-N-A.1	démontrer sa compréhension du modèle ondulatoire du rayonnement électromagnétique en expliquant la diffraction, l'interférence et la polarisation.				4.1 4.2 4.3 4.4 4.5	
SPH4U-N-A.2	démontrer expérimentalement le comportement ondulatoire de la lumière en utilisant des résultats quantitatifs ou qualitatifs tirés de modèles mathématiques et d'expériences.				4.2 4.3 4.4 4.5	
SPH4U-N-A.3	reconnaître comment le modèle ondulatoire de la lumière permet d'expliquer des phénomènes naturels et peut servir à la mise au point de dispositifs technologiques.				4.2 4.3 4.4 4.5	
Contenus d'apprentissage : Compréhension et interprétation des concepts						
SPH4U-N-Comp.1	définir les concepts et les unités liés au modèle ondulatoire de la lumière (p. ex., dispersion, polarisation, interférence, diffraction, maximum principal, maxima secondaires, rayonnement électromagnétique, spectre électromagnétique).				4.2 4.3 4.4 4.5	
SPH4U-N-Comp.2	expliquer, à l'aide d'exemples, comment les ondes électromagnétiques sont produites, transmises, reçues et comment elles interagissent avec la matière.				4.2	
SPH4U-N-Comp.3	décrire qualitativement et quantitativement les facteurs qui influent sur les figures d'interférence (p. ex., appliquer les équations d'interférence constructive, destructive et de la longueur d'onde pour une double fente, une fente simple et une grille de diffraction).				4.3	
SPH4U-N-Comp.4	décrire et expliquer quantitativement, à l'aide de diagrammes, le phénomène de diffraction d'ondes appliqué à la lumière (p. ex., expliquer la formation de zones brillantes et de zones sombres sur les figures d'interférence de la diffraction à fente simple).				4.4	
SPH4U-N-Comp.5	retracer l'évolution des modèles de la lumière en décrivant les expériences appuyant le modèle ondulatoire (p. ex., les résultats obtenus lors de l'expérience de la double fente de Young ont entraîné l'acceptation générale du modèle ondulatoire).				4.1 4.3 4.4 4.5	

PHYSIQUE		Unités				
Domaine : La nature ondulatoire de la lumière		1	2	3	4	5
Contenus d'apprentissage : Acquisition d'habiletés en résolution de problèmes, en recherche scientifique et en communication						
SPH4U-N-Acq.1	déterminer la base théorique d'une expérience portant sur le comportement des ondes lumineuses ou mécaniques et en tirer une prédiction ou une hypothèse (p. ex., prédire les figures de diffraction et d'interférence produites dans des cuves à ondes; prédire la figure de diffraction produite par un laser avec un cheveu; prédire les effets de deux filtres polarisants sur la polarisation de la lumière qui les traverse).				4.4 4.5	
SPH4U-N-Acq.2	déterminer et analyser qualitativement et quantitativement les figures d'interférence produites par la diffraction de la lumière par une fente simple, une fente double et une grille de diffraction (p. ex., mesurer la longueur d'onde de la lumière monochromatique à l'aide de figures d'interférence obtenues avec une grille de diffraction).				4.4	
SPH4U-N-Acq.3	recueillir et interpréter des données empiriques pour appuyer ou infirmer une théorie scientifique qui porte sur la lumière (p. ex., effectuer une expérience pour observer la figure d'interférence obtenue par la diffraction de la lumière qui traverse une fente double et expliquer comment les données recueillies appuient la théorie ondulatoire de la lumière).				4.3 4.4	
SPH4U-N-Acq.4	démontrer expérimentalement que la lumière possède des caractéristiques et des propriétés semblables à celles des ondes mécaniques.				4.2 4.3 4.4	
Contenus d'apprentissage : Rapprochement entre les cultures scientifique et technologique et l'environnement						
SPH4U-N-Rap.1	présenter des exemples où l'invention d'une technologie a fait progresser les connaissances scientifiques sur la nature ondulatoire de la lumière (p. ex., rôle de la diffraction dans la conception des microscopes et des télescopes; utilisation et fonctionnement des spectroscopes; applications et fonctionnement de l'interféromètre de Michelson; interférence dans les pellicules minces; holographie).				4.3 4.4 4.5	
SPH4U-N-Rap.2	expliquer la conception et le fonctionnement de dispositifs fondés sur le rayonnement électromagnétique (p. ex., expliquer de quelle façon on obtient des effets visuels intéressants en utilisant des filtres polarisants en photographie).				4.2	

PHYSIQUE		Unités				
<i>Domaine : La nature ondulatoire de la lumière</i>		1	2	3	4	5
SPH4U-N-Rap.3	analyser la dispersion de la lumière qui survient naturellement dans diverses situations en ayant recours aux concepts de réfraction, de diffraction et d'interférence des ondes (p. ex., irisation d'une bulle de savon; chatoiement des couleurs du spectre dans l'huile flottant sur l'eau; irisation des couleurs sur des papillons, des insectes et des minéraux), et examiner de quelle façon ces connaissances sont appliquées dans des instruments d'optique (p. ex., spectroscopie à réseau).				4.3 4.4	

PHYSIQUE		Unités				
Domaine : Matière et énergie		1	2	3	4	5
Attentes						
SPH4U-M-A.1	démontrer sa compréhension de l'évolution des modèles atomiques de la matière fondés sur la relation entre la matière et l'énergie mise en évidence par la mécanique classique, la mécanique quantique et la théorie de la relativité restreinte d'Einstein.					5.1 5.2 5.3 5.4 5.5
SPH4U-M-A.2	vérifier les modèles atomiques de la matière en interprétant les preuves que constituent les données recueillies et effectuer des expériences abstraites pour explorer diverses idées scientifiques.					5.1 5.2 5.3 5.4 5.5
SPH4U-M-A.3	expliquer comment de nouvelles théories et de nouveaux modèles conceptuels influent sur la pensée scientifique et entraînent la mise au point de nouvelles technologies.					5.2 5.3 5.5
Contenus d'apprentissage : Compréhension et interprétation des concepts						
SPH4U-M-Comp.1	définir les concepts et les unités qui relèvent des connaissances actuelles de la nature de l'atome et des particules élémentaires (p. ex., effet photoélectrique, électronvolt, orbite permise, nombre quantique, couche électronique, état fondamental, état excité, quark, particule de champ, leptons, référentiels inertiels, mouvement relatif).					5.1 5.2 5.3 5.4 5.5
SPH4U-M-Comp.2	décrire les trois formes de la désintégration nucléaire et comparer les propriétés des particules alpha, bêta et gamma selon la masse, la charge, la vitesse, le pouvoir de pénétration et le pouvoir ionisant dans divers matériaux (p. ex., déviation dans un champ magnétique, forme de la trajectoire dans une chambre d'ionisation).					5.4
SPH4U-M-Comp.3	décrire l'effet photoélectrique et analyser l'impact de sa découverte sur le débat de la dualité onde-particule du modèle de la lumière.					5.2
SPH4U-M-Comp.4	énumérer les caractéristiques du modèle de l'atome de Bohr en soulignant ses réussites et faiblesses, et reconnaître l'importance du principe d'incertitude de Heisenberg et du modèle quantique de l'atome de Schroëdinger.					5.3
SPH4U-M-Comp.5	énoncer les deux postulats de la théorie de la relativité restreinte et décrire les trois expériences abstraites d'Einstein.					5.1
SPH4U-M-Comp.6	appliquer quantitativement la loi de la conservation de la masse et la loi de la conservation de l'énergie à l'aide de l'équivalence masse-énergie d'Einstein.					5.1

PHYSIQUE		Unités				
Domaine : Matière et énergie		1	2	3	4	5
SPH4U-M-Comp.7	décrire le modèle standard de l'atome en relevant les caractéristiques des quarks, des familles de leptons, des familles de hadrons et des particules de champs (photon, graviton, gluon, boson) de chaque force fondamentale, et identifier les quarks qui constituent les protons et les neutrons.					5.5
Contenus d'apprentissage : Acquisition d'habiletés en résolution de problèmes, en recherche scientifique et en communication						
SPH4U-M-Acq.1	effectuer une expérience et interpréter ses données comme une preuve appuyant un modèle de l'atome (p. ex., simuler l'expérience de Rutherford; analyser comment les spectres d'émission de l'hydrogène appuient les états de transition prédits par Bohr dans son modèle de l'atome).					5.3
SPH4U-M-Acq.2	effectuer les expériences abstraites d'Einstein pour comprendre ses théories du monde physique (p. ex., examiner le raisonnement d'Einstein pour prédire les effets de la dilatation du temps, de la contraction des longueurs et de l'augmentation de la masse lors de déplacements à diverses vitesses, y compris celles proches de la vitesse de la lumière)..					5.1
SPH4U-M-Acq.3	analyser des images de trajectoires de particules élémentaires pour déterminer leur masse, leur quantité de mouvement et leur charge.					5.5
SPH4U-M-Acq.4	compiler et organiser des données sur les atomes en des formats facilitant leur interprétation (p. ex., organiser les données expérimentales, obtenues à l'aide d'une sonde et d'une interface, de la désintégration d'une substance radioactive produite par un générateur d'isotopes pour déterminer sa demi-vie).					5.4
Contenus d'apprentissage : Rapprochement entre les cultures scientifique et technologique et l'environnement						
SPH4U-M-Rap.1	retracer l'évolution des idées scientifiques et des modèles de l'atome et de l'énergie depuis le modèle de Bohr jusqu'à aujourd'hui (p. ex., expliquer pourquoi les modèles classiques de l'atome ont été révisés; préciser quelles sont les connaissances scientifiques sur lesquelles se fonde le modèle standard).					5.3 5.5
SPH4U-M-Rap.2	expliquer comment l'évolution de la théorie quantique a mené à des percées scientifiques et technologiques qui ont enrichi la société (p. ex., les cyclotrons produisent des particules de courte période radioactive qu'on utilise dans des traitements médicaux; l'analyse des spectres d'émission et d'absorption de matériaux inconnus permet de déterminer leurs composants).					5.2

PHYSIQUE		Unités				
Domaine : Matière et énergie		1	2	3	4	5
SPH4U-M-Rap.3	décrire des exemples de la contribution de scientifiques canadiens à la physique (p. ex., Bert Brockhouse, prix Nobel 1994 pour la création d'un spectroscope à neutrons; Werner Israel, recherches en cosmologie; Ian Keith Affleck, recherches sur la matière condensée; Richard Taylor, prix Nobel 1990 pour avoir vérifié la théorie des quarks; William George Unruh, contribution à la théorie quantique).					5.1 5.5