

Physique

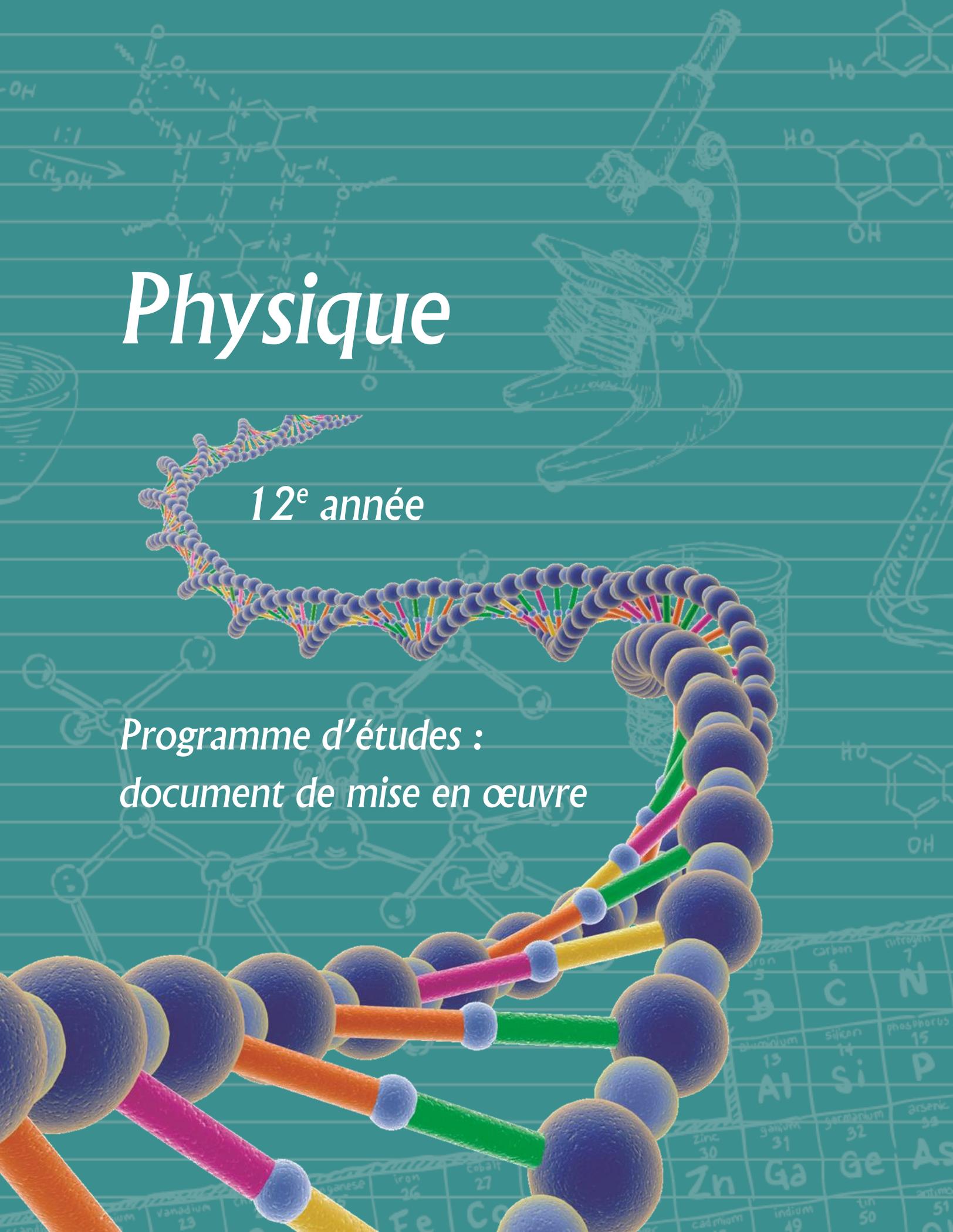
12^e année

Programme d'études :
document de mise en œuvre

Physique

12^e année

Programme d'études :
document de mise en œuvre



Données de catalogage avant publication – Éducation Manitoba

Physique, 12^e année : programme d'études : document de mise en œuvre.

Comprend des références bibliographiques.
ISBN 978-0-7711-5399-0 (version imprimée)

1. Physique – Étude et enseignement (Secondaire) – Programmes
d'études – Manitoba. I. Manitoba.
Éducation Manitoba. Dewey 530.0712

Tous droits réservés © 2013, le gouvernement du Manitoba représenté par
la ministre de l'Éducation.

Éducation Manitoba
Division du Bureau de l'éducation française
Winnipeg (Manitoba) Canada

Tous les efforts ont été faits pour mentionner les sources aux lecteurs et
pour respecter la *Loi sur le droit d'auteur*. Dans le cas où il se serait produit
des erreurs ou des omissions, prière d'en aviser Éducation Manitoba pour
qu'elles soient rectifiées dans une édition future. Nous remercions
sincèrement les auteurs, les artistes et les éditeurs de nous avoir autorisés à
adapter ou à reproduire leurs originaux.

Nous invitons le personnel de l'école à partager ce document avec les
parents, les tuteurs et les collectivités, selon le besoin.

Tout site Web mentionné dans ce document peut faire l'objet de
changement sans préavis. Les enseignants devraient vérifier et évaluer les
sites Web et les ressources en ligne avant de les recommander aux élèves.

Vous pouvez commander des exemplaires imprimés de ce document
(numéro d'article : 98284) du Centre des manuels scolaires du Manitoba,
à l'adresse <<http://www.mtbb.mb.ca>>.

La version électronique de ce document est affichée sur le site Web du
ministère de l'Éducation du Manitoba au <[http://www.edu.gov.mb.ca/
m12/frpub/ped/sn/phys/dmo_12e/index.html](http://www.edu.gov.mb.ca/m12/frpub/ped/sn/phys/dmo_12e/index.html)>.

Veuillez noter que le Ministère pourrait apporter des changements à la
version en ligne.
ISBN 978-0-7711-5398-3 (PDF)

**Dans le présent document, les mots de genre masculin appliqués aux
personnes désignent les femmes et les hommes.**

REMERCIEMENTS

Éducation Manitoba aimerait exprimer ses remerciements au Conseil des ministres de l'Éducation (Canada) et à tous les participantes et participants à l'élaboration du *Cadre commun de résultats d'apprentissage en sciences de la nature M à 12* (1997) dont se sont inspirés les Cadres et les Documents de mise en œuvre manitobains en sciences de la nature.

Éducation Manitoba remercie également les personnes suivantes qui ont contribué à l'élaboration et à la révision du programme d'études en physique 12^e année, y compris ce *Document de mise en œuvre*.

ÉLABORATION ET RÉVISION DU DOCUMENT DE MISE EN ŒUVRE EN SCIENCES DE LA NATURE

Jeff Anderson	Enseignant	Collège Jeanne-Sauvé, Division scolaire Louis-Riel
Gilbert Michaud	Directeur du projet	Bureau de l'éducation française, Éducation Manitoba
Alphonse Bernard	Enseignant	Collège Louis-Riel, Division scolaire franco-manitobaine
Danièle Dubois-Jacques	Conseillère pédagogique en sciences de la nature	Bureau de l'éducation française, Éducation Manitoba
Carole Freynet-Gagné	Traductrice (pigiste)	Winnipeg (Manitoba)
Don Metz	Professeur	Faculté d'éducation, Université de Winnipeg
Rodelyn Stoeber	Enseignante	Institut collégial Vincent Massey, Division scolaire Pembina Trails



ÉLABORATION DES RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE EN SCIENCES DE LA NATURE

Jeff Anderson	Enseignant	Collège Jeanne-Sauvé, Division scolaire Louis-Riel
Alphonse Bernard	Enseignant	Collège Louis-Riel, Division scolaire franco-manitobaine
Steven Boyko	Enseignant	St. Boniface Diocesan High School, Catholic Schools Commission
Jason Braun	Enseignant	John Taylor Collegiate, Division scolaire St. James-Assiniboia
Danièle Dubois-Jacques	Conseillère pédagogique en sciences de la nature	Bureau de l'éducation française, Éducation Manitoba
Elizabeth Kozoriz	Enseignante	Daniel MacIntyre Collegiate, Division scolaire Winnipeg
Don Metz	Professeur	Faculté d'éducation, Université de Winnipeg
John Murray	Conseiller pédagogique en sciences de la nature	Division des programmes scolaires, Éducation Manitoba
Garry Myden	Enseignant	Institut collégial Hapnot, Division scolaire Flin Flon
Barry Panas	Enseignant	River East Collegiate, Division scolaire River East Transcona
Brian Reimer	Enseignant	Arthur Meighan Collegiate, Division scolaire Portage-la-Prairie
Rodelyn Stoeber	Enseignante	Institut collégial Vincent Massey, Division scolaire Pembina Trails



ÉQUIPE TECHNIQUE POUR LE DOCUMENT DE MISE EN ŒUVRE EN SCIENCES DE LA NATURE

Céline Ponsin	Opératrice de traitement de texte	Bureau de l'éducation française, Éducation Manitoba
Pascaline Stevens	Opératrice de traitement de texte	Bureau de l'éducation française, Éducation Manitoba
Barry Panas	Enseignant	River East Collegiate, Division scolaire River East Transcona

Un merci particulier au personnel de la Direction des ressources éducatives françaises (DREF) qui a aidé à la compilation des listes de ressources éducatives pour chacun des regroupements thématiques.



TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION générale	0.01
1. Les finalités de l'éducation	0.03
2. La culture scientifique	0.03
3. Les principes de base de la culture scientifique	0.04
La nature des sciences et de la technologie	0.05
Les sciences, la technologie, la société et l'environnement (STSE)	0.07
Les habiletés et les attitudes scientifiques et technologiques	0.09
Les connaissances scientifiques essentielles	0.15
Les concepts unificateurs.....	0.16
4. Des considérations générales en sciences	0.17
La langue	0.17
Les sciences pour tous	0.17
L'éthique	0.17
La sécurité	0.18
5. L'apprentissage	0.19
Des principes découlant de la psychologie cognitive	0.19
D'autres considérations liées à l'apprentissage	0.19
6. L'enseignement	0.20
La démarche à trois temps.....	0.20
La promotion de la culture scientifique.....	0.21
Philosophie de l'enseignement de la physique	0.23
Les modes de représentation	0.23
7. Les résultats d'apprentissage	0.27
Les résultats d'apprentissage généraux (RAG)	0.27
Les résultats d'apprentissage spécifiques (RAS).....	0.29
Les précisions qui accompagnent les RAS.....	0.31
La codification des RAS	0.31
Mode d'emploi pour la lecture des RAS thématiques.....	0.32
Mode d'emploi pour la lecture des RAS transversaux.....	0.32
8. L'organisation générale du document	0.33
Le contenu d'un module thématique	0.33
Les blocs d'enseignement.....	0.33
Les stratégies d'enseignement suggérées	0.34
Les stratégies d'évaluation suggérées	0.34
Mode d'emploi pour la lecture des stratégies suggérées.....	0.35
Les modalités d'évaluation	0.37
Les questions posées aux élèves.....	0.39
9. La planification en sciences	0.40
10. Bibliographie	0.41
Module thématique 1 : la mécanique	1.01
Module thématique 2 : les champs	2.01
Module thématique 3 : l'électricité	3.01
Module thématique 4 : la physique médicale	4.01



INTRODUCTION GÉNÉRALE





1. LES FINALITÉS DE L'ÉDUCATION

L'éducation vise à préparer l'apprenante ou l'apprenant à devenir une citoyenne ou un citoyen autonome, engagé et responsable, en lui donnant une formation de qualité. Par conséquent, l'éducation doit favoriser le développement harmonieux de la personne dans ses dimensions intellectuelle, physique, affective, sociale, culturelle et morale.

L'éducation ne relève pas uniquement des institutions scolaires, c'est en fait une responsabilité que partagent l'école, la famille, les amis et la communauté. Bien entendu l'école demeure une des pierres angulaires du système éducatif, car c'est à elle que revient le rôle d'assurer une formation générale de base accessible à tous.

2. LA CULTURE SCIENTIFIQUE

Au début du XXI^e siècle, le champ des connaissances scientifiques continue de s'élargir et d'évoluer à un rythme accéléré. Personne ne peut prédire avec certitude quelles seront les nouvelles découvertes, inventions et technologies qui modifieront le mode de vie des sociétés canadienne et mondiale. Puisqu'il faut préparer nos enfants pour le monde de demain, il apparaît impératif de s'interroger sur quelle doit être leur formation de base en sciences de la nature.

Des éducatrices et éducateurs des quatre coins du pays ont tenté de répondre à cette question et à bien d'autres dans un document intitulé *Cadre commun de résultats d'apprentissage en sciences de la nature M à 12*. Dans un premier temps, ces intervenants se sont d'abord accordés sur une vision pancanadienne de la culture scientifique :

Le *Cadre commun des résultats d'apprentissage en sciences de la nature M à 12* s'inspire de la vision que tout élève du Canada, quels que soient son sexe et son origine culturelle, aura la possibilité de développer une culture scientifique. Constituée d'un ensemble évolutif d'attitudes, d'habiletés et de connaissances en sciences, cette culture permet à l'élève de développer des aptitudes liées à la recherche scientifique, de résoudre des problèmes, de prendre des décisions, d'avoir le goût d'apprendre sa vie durant et de maintenir un sens d'émerveillement du monde qui l'entoure.

Diverses expériences d'apprentissage inspirées de ce *Cadre* fourniront à l'élève de multiples occasions d'explorer, d'analyser, d'évaluer, de synthétiser, d'apprécier et de comprendre les interactions entre les sciences, la technologie, la société et l'environnement, lesquelles auront des conséquences sur sa vie personnelle, sa carrière et son avenir. (Conseil des ministres de l'Éducation [Canada], 1997).



3. LES PRINCIPES DE BASE DE LA CULTURE SCIENTIFIQUE AU MANITOBA

Le ministère de l'Éducation partage la vision pancanadienne de la culture scientifique. Pour s'assurer que chaque élève est en mesure de s'approprier une certaine culture scientifique, il importe de proposer à l'élève diverses expériences d'apprentissage structurées et non structurées qui intègrent les aspects essentiels des sciences et de ses applications. Ces aspects essentiels constituent les principes de base de la culture scientifique dont s'inspire le Ministère pour élaborer ses programmes d'études en sciences de la nature. Au Manitoba, cinq principes de base, issus du *Cadre commun des résultats d'apprentissage en sciences de la nature M à 12* et adaptés afin de mieux répondre aux besoins des élèves, servent à articuler l'orientation des programmes d'études en sciences de la nature (voir la figure 1).

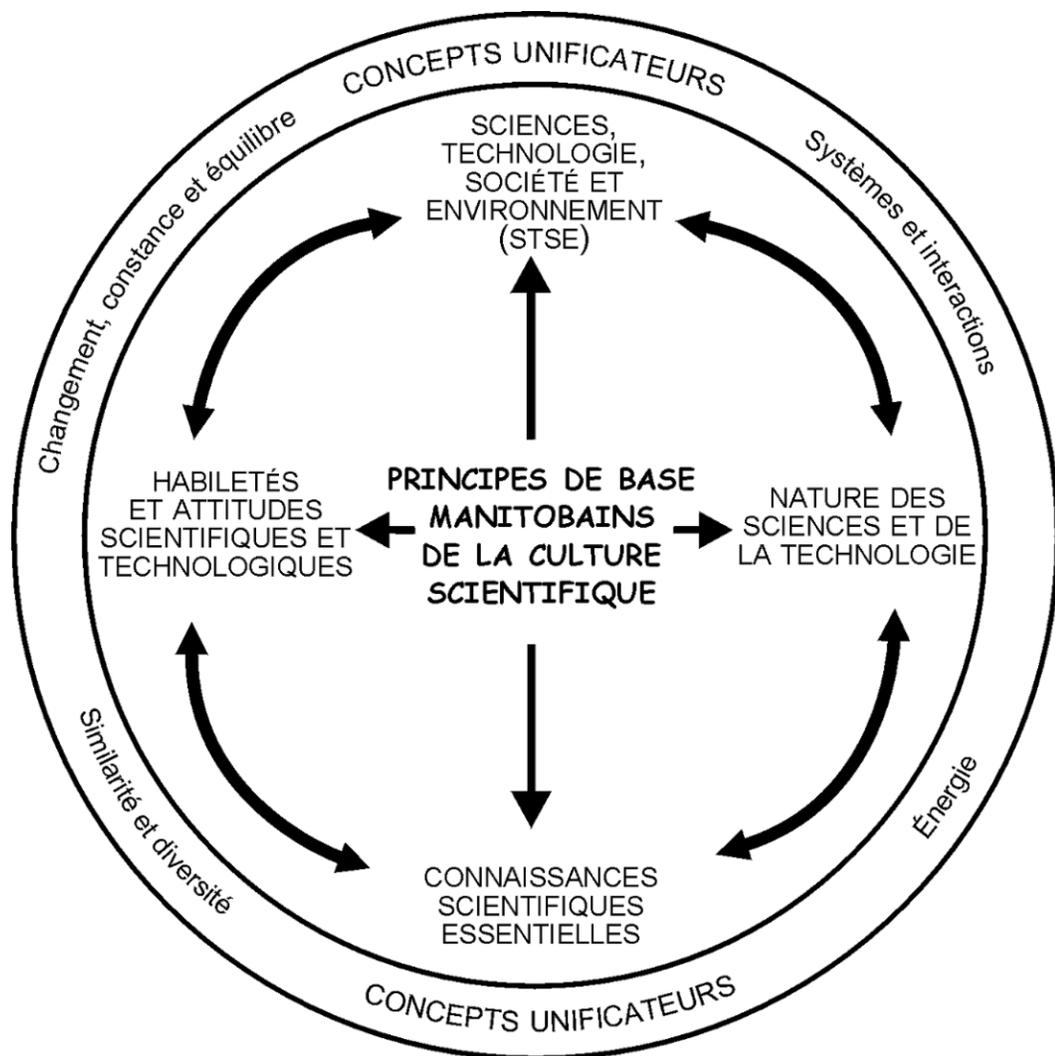


Fig. 1 – Principes de base manitobains de la culture scientifique.

La nature des sciences et de la technologie

Les sciences et la technologie constituent une sphère d'activités humaines et sociales unique ayant une longue histoire tissée par de nombreux hommes et femmes issus de sociétés diverses.

Les **sciences** constituent une façon de connaître l'Univers et de répondre à des questions sur les phénomènes qui nous entourent. Cette interrogation repose sur la curiosité, la créativité, l'imagination, l'intuition, l'exploration, l'observation, la capacité de reproduire des expériences, l'interprétation des données et les débats qui en découlent. L'activité scientifique comprend la prédiction, l'interprétation et l'explication de phénomènes naturels et de conception humaine. Bon nombre de personnes expertes en histoire, en sociologie et en philosophie des sciences affirment qu'il y a plus d'une méthode permettant de mener une étude scientifique. Elles croient que les sciences reposent sur un ensemble de théories, de connaissances, d'observations, d'expériences, d'intuitions et de processus ancrés dans le monde physique.

Les connaissances et les théories scientifiques sont constamment mises à l'épreuve, modifiées et perfectionnées au fur et à mesure que de nouvelles connaissances et théories les précisent. À travers l'histoire, plusieurs intervenants d'origines et de formations diverses ont débattu chaque observation nouvelle et chaque hypothèse, remettant ainsi en question des connaissances scientifiques jusqu'alors acceptées. Ce débat scientifique se poursuit encore aujourd'hui, selon un jeu très élaboré de discussions théoriques, d'expériences, de pressions sociales, culturelles, économiques et politiques, d'opinions personnelles et de besoins de reconnaissance et d'acceptation par des pairs. L'élève se rendra compte que bien qu'il puisse y avoir des changements majeurs dans notre compréhension du monde lors de découvertes scientifiques révolutionnaires, une grande partie de cette compréhension est plutôt le fruit de l'accumulation constante et progressive de connaissances.

La **technologie** se préoccupe principalement de proposer des solutions à des problèmes soulevés lorsque les humains cherchent à s'adapter à l'environnement. On peut considérer la technologie comme : un outil ou une machine; un procédé, un système, un environnement, une épistémologie, une éthique; l'application systématique de connaissances, de matériel, d'outils et d'aptitudes pour étendre les capacités humaines.



Il faut bien saisir que la technologie comprend beaucoup plus que les connaissances et les habiletés liées aux ordinateurs et aux applications informatiques. La technologie est une forme de savoir qui exploite les concepts et les habiletés des autres disciplines, y compris les sciences. Mais c'est aussi l'application de ces connaissances pour satisfaire un besoin ou pour résoudre un problème à l'aide de matériaux, d'énergie et d'outils de toutes sortes. La technologie a des répercussions sur les procédés et les systèmes, sur la société et sur la façon dont les gens pensent, perçoivent et définissent leur monde.

La figure 2 illustre comment les sciences et la technologie diffèrent dans leur but, leur procédé et leurs produits, bien qu'en même temps elles interagissent entre elles.

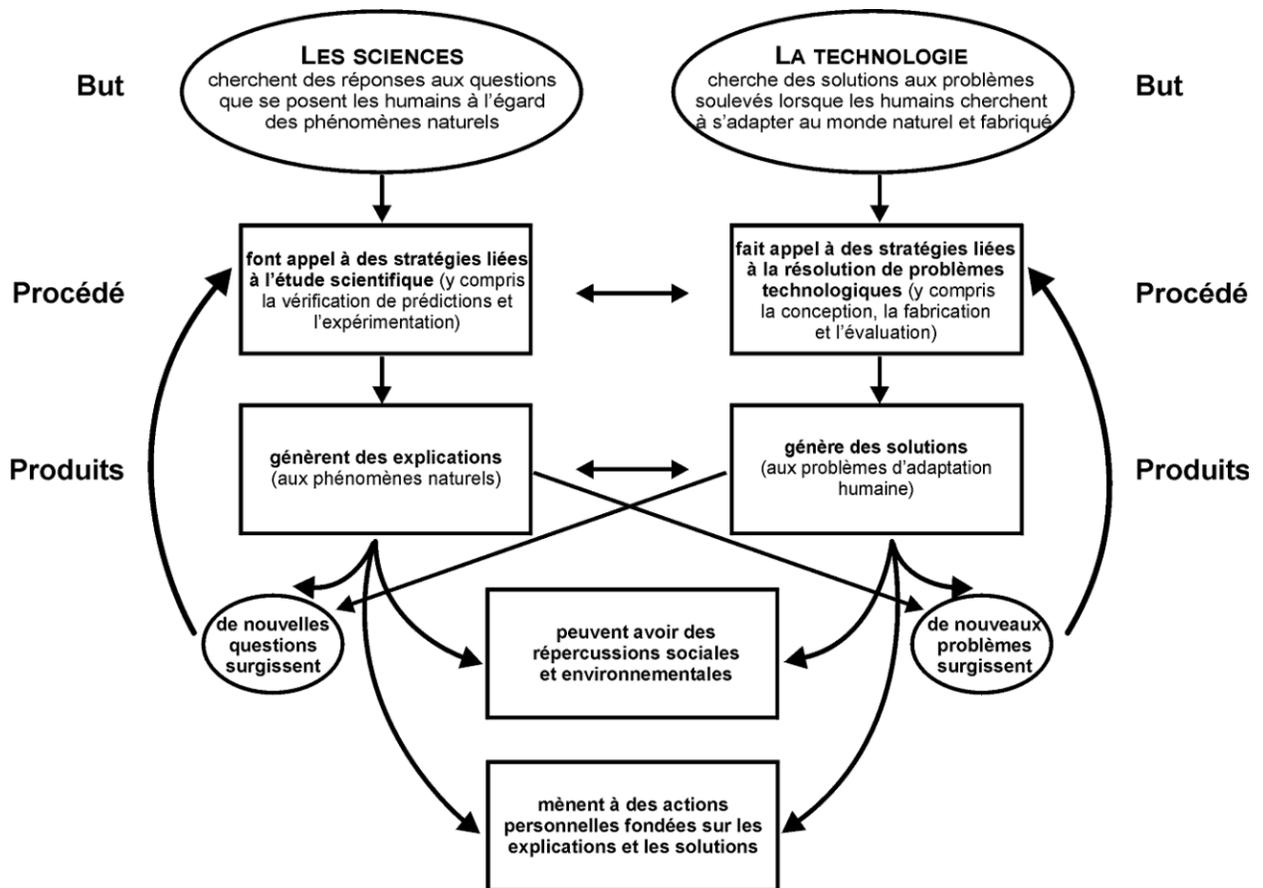


Fig. 2 – Les sciences et la technologie : Leur nature et leurs interactions.

Tiré de *Science and Technology Education for the Elementary Years : Frameworks for Curriculum and Instruction*, par Bybee, Rodger W., ©The Network, Inc. (adaptation autorisée).



Les sciences, la technologie, la société et l'environnement (STSE)

Une compréhension des interactions STSE est essentielle à la culture scientifique. En fait, en étudiant le contexte historique, l'élève en vient à apprécier comment les traditions culturelles et intellectuelles ont influencé les questions et les méthodologies scientifiques et comment, en retour, les sciences et la technologie ont influencé le domaine plus large des idées.

De nos jours, la majorité des scientifiques travaillent dans le secteur privé. Leurs projets sont plus souvent motivés par les besoins de l'entreprise et du milieu sectoriel que par la recherche pure. Pourtant, plusieurs solutions technologiques donnent lieu à des problèmes sociaux et environnementaux. L'élève, en tant que citoyenne ou citoyen de l'avenir, doit reconnaître le potentiel que représente la culture scientifique pour habiliter les personnes, les communautés et la société démocratique dans son ensemble à prendre des décisions.

Les connaissances scientifiques sont nécessaires, mais elles ne suffisent pas par elles-mêmes à faire comprendre les interactions entre les sciences, la technologie, la société et l'environnement. Pour saisir ces interactions, il est essentiel que l'élève comprenne les valeurs liées aux sciences, à la technologie, à la société et à l'environnement.

« Il n'existe pas de plus grande contribution ou d'élément plus essentiel pour les stratégies environnementales à long terme pour un développement durable, respectueux de l'environnement [...], que l'éducation des générations suivantes en matière d'environnement. » (UNESCO, 1988)

Pour parvenir à cette culture scientifique, l'élève doit reconnaître l'importance du développement durable. Le développement durable est un modèle de prise de décisions qui considère les besoins des générations présentes et futures, et qui tient compte à la fois de l'environnement, de la santé et du bien-être humains, et de l'activité économique. Il vise un équilibre harmonieux entre ces trois sphères (voir la figure 3).

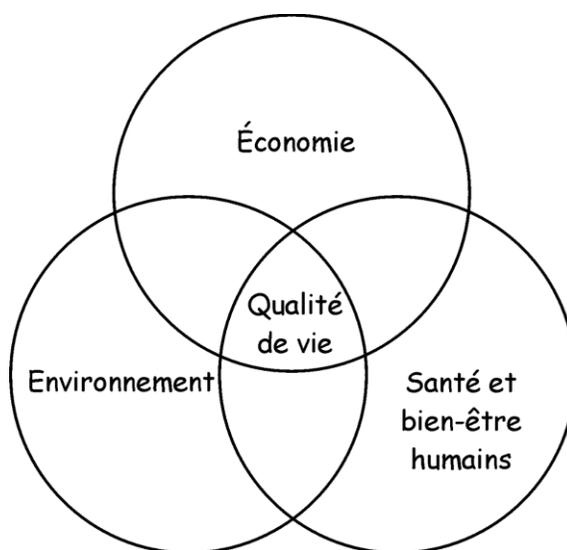


Fig. 3 – Le développement durable.



Au fur et à mesure que l'élève avance dans sa scolarité, elle ou il reconnaît et cerne diverses interactions STSE. L'élève applique ses habiletés de prise de décisions dans des contextes de plus en plus exigeants, tels qu'illustrés ci-après :

- **La complexité de la compréhension** – passer d'idées concrètes et simples à des concepts abstraits; passer d'une connaissance limitée des sciences à une connaissance plus profonde et plus large des sciences et du monde;
- **Les applications en contexte** – passer de contextes locaux et personnels à des contextes sociétaux et planétaires;
- **La considération de variables et de perspectives** – passer d'une ou de deux variables ou perspectives simples à un grand nombre à complexité croissante;
- **Le jugement critique** – passer de jugements simples sur le vrai ou le faux de quelque chose à des évaluations complexes;
- **La prise de décisions** – passer de décisions prises à partir de connaissances limitées et avec l'aide d'une enseignante ou d'un enseignant, à des décisions basées sur des recherches approfondies comportant un jugement personnel et prises de façon indépendante.

[Traduction] « Il est essentiel que le public se familiarise avec le concept du développement durable et ses pratiques dans le but de les comprendre. Si nous voulons changer notre style de vie, nous devons former les générations présentes et futures, et les munir des connaissances nécessaires pour assurer la mise en application du développement durable. »

(La stratégie de développement durable pour le Manitoba, 1994)



Les habiletés et les attitudes scientifiques et technologiques

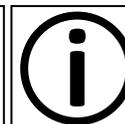
Une culture qui découle d'une formation scientifique doit amener l'élève à répondre à des questions dans le cadre d'une étude scientifique, à résoudre des problèmes technologiques et à prendre des décisions (voir la figure 4). Bien que les habiletés et les attitudes comprises dans ces processus ne soient pas l'apanage exclusif des sciences, elles jouent un rôle important dans l'évolution d'une compréhension des sciences et dans l'application des sciences et de la technologie à des situations nouvelles.

	Étude scientifique	Résolution de problèmes technologiques (processus de design)	Prise de décisions
But :	Satisfaire à sa curiosité à l'égard des événements et des phénomènes dans le monde naturel et fabriqué.	Composer avec la vie de tous les jours, les pratiques et les besoins des humains.	Identifier divers points de vue ou perspectives à partir de renseignements différents ou semblables.
Procédé :	Que savons-nous ? Que voulons-nous savoir ?	Comment pouvons-nous y arriver ? La solution fonctionnera-t-elle ?	Existe-t-il des solutions de rechange ou des conséquences ? Quel est le meilleur choix en ce moment ?
Produit :	Une compréhension des événements et des phénomènes dans le monde naturel et fabriqué.	Un moyen efficace d'accomplir une tâche ou de satisfaire à un besoin.	Une décision avisée compte tenu des circonstances.
	Question scientifique	Problème technologique	Enjeu STSE
Exemples :	Pourquoi mon café refroidit-il si vite ? <i>Une réponse possible :</i> L'énergie calorifique est transférée par conduction, convection et rayonnement.	Quel matériau permet de ralentir le refroidissement de mon café ? <i>Une solution possible :</i> Le polystyrène (tasse) ralentit le refroidissement des liquides chauds.	Devrions-nous choisir des tasses en polystyrène ou en verre pour notre réunion ? <i>Une décision possible :</i> La décision éventuelle doit tenir compte de ce que dit la recherche scientifique et technologique à ce sujet ainsi que des facteurs tels que la santé, l'environnement, et le coût et la disponibilité des matériaux.

Fig. 4 – Les processus de la formation scientifique.

Adaptation autorisée par le ministre d'Alberta Learning de la province de l'Alberta (Canada), 2000.

- **Étude scientifique :** L'étude scientifique est une façon de comprendre un peu plus l'Univers. Elle exige la recherche d'explications de phénomènes. Il n'existe pas une seule méthode ni une seule séquence d'étapes à suivre pour réaliser une étude scientifique. C'est plutôt une approche systématique et critique qui caractérise l'ensemble du travail scientifique.



L'élève doit apprendre les habiletés fondamentales à l'étude scientifique, telles que le questionnement, l'observation, l'inférence, la prédiction, la mesure, l'hypothèse, la classification, la conception d'expériences, la collecte, l'analyse et l'interprétation de données; l'élève doit aussi développer des attitudes telles que la curiosité, le scepticisme et la créativité. Ces habiletés et attitudes sont souvent représentées comme un cycle qui comporte une phase de questionnement, la génération d'explications possibles et la collecte de données afin de déterminer l'explication la plus utile et la plus précise qui permettra de comprendre le phénomène à l'étude. En règle générale, de nouvelles questions peuvent surgir pour relancer le cycle (voir la figure 5).

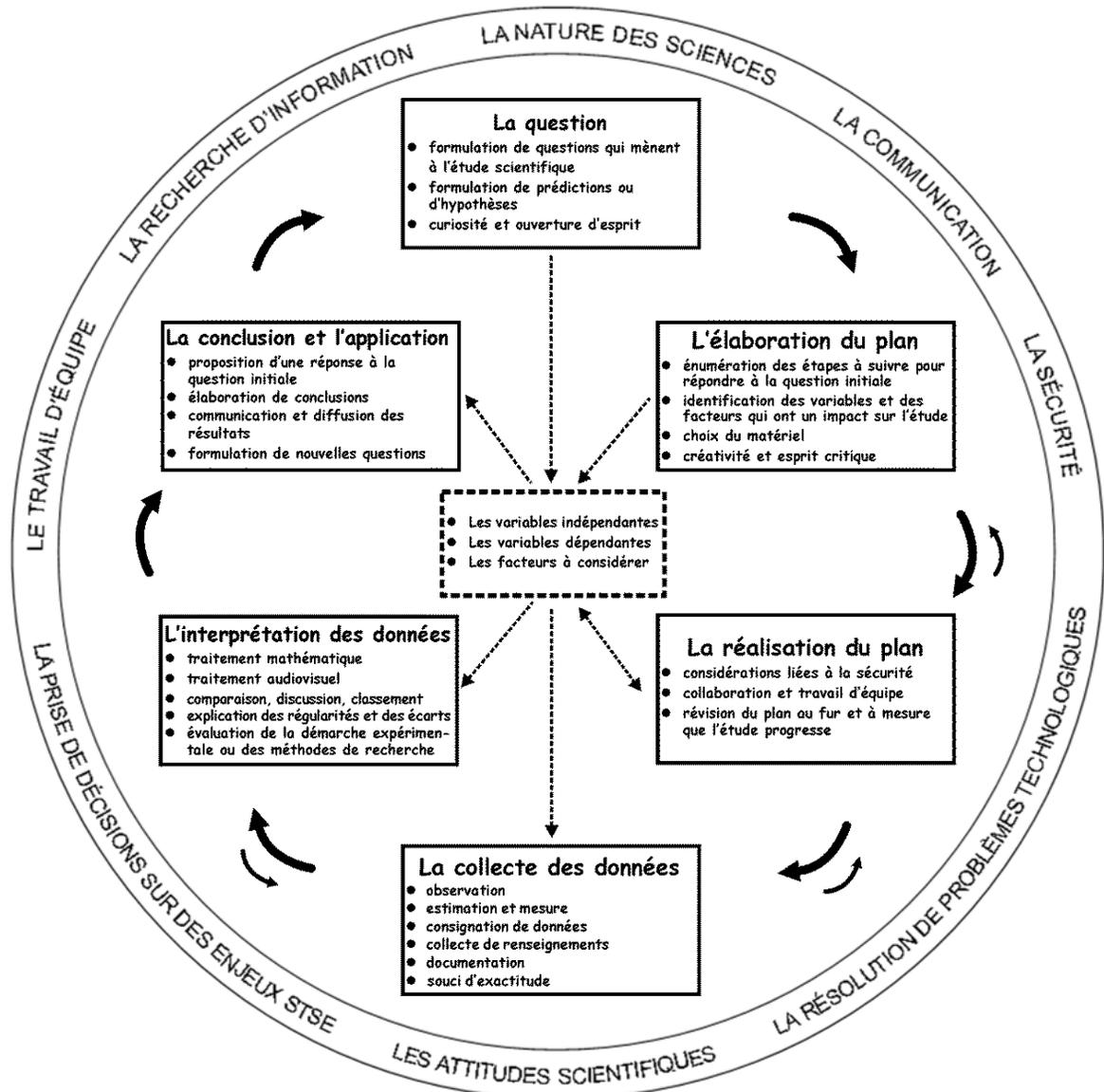


Fig. 5 – Étapes de l'étude scientifique (exploration, expérience, recherche).

- **Résolution de problèmes technologiques** : La résolution de problèmes technologiques amène l'élève à chercher des solutions aux problèmes qui surgissent lorsque les humains cherchent à s'adapter à l'environnement. De la maternelle à la 8^e année, les élèves développent les habiletés et les attitudes nécessaires à la résolution de problèmes par l'entremise d'un cycle appelé le processus de design.

Le processus de design peut lui-même se manifester sous deux variantes : la création d'un prototype et l'évaluation d'un produit ou d'un procédé. La création d'un prototype comprend diverses étapes telles que la conception d'un dispositif, d'un appareil, d'un système ou d'un procédé, la fabrication et la mise à l'essai, en vue d'obtenir une solution optimale à un problème donné. Parfois le processus de design doit faire abstraction de la fabrication même du prototype pour ne s'en tenir qu'à une représentation ou un modèle (voir la figure 6).

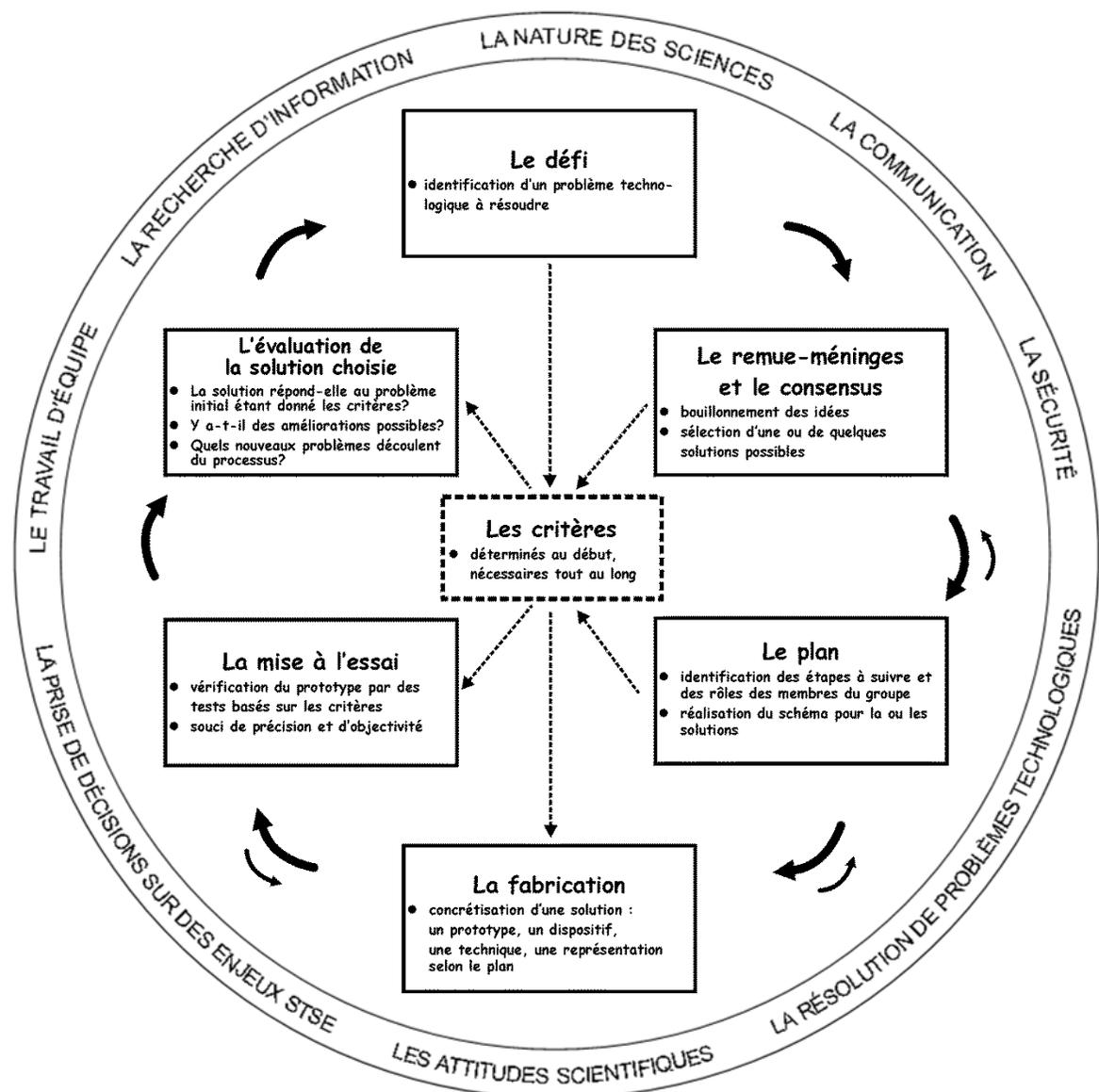


Fig. 6 – Étapes du processus de design. – Création d'un prototype.



L'évaluation d'un produit de consommation est une autre façon d'amorcer le processus de design en faisant abstraction de la fabrication : il s'agit alors d'évaluer ce que d'autres ont déjà produit (voir la figure 7).

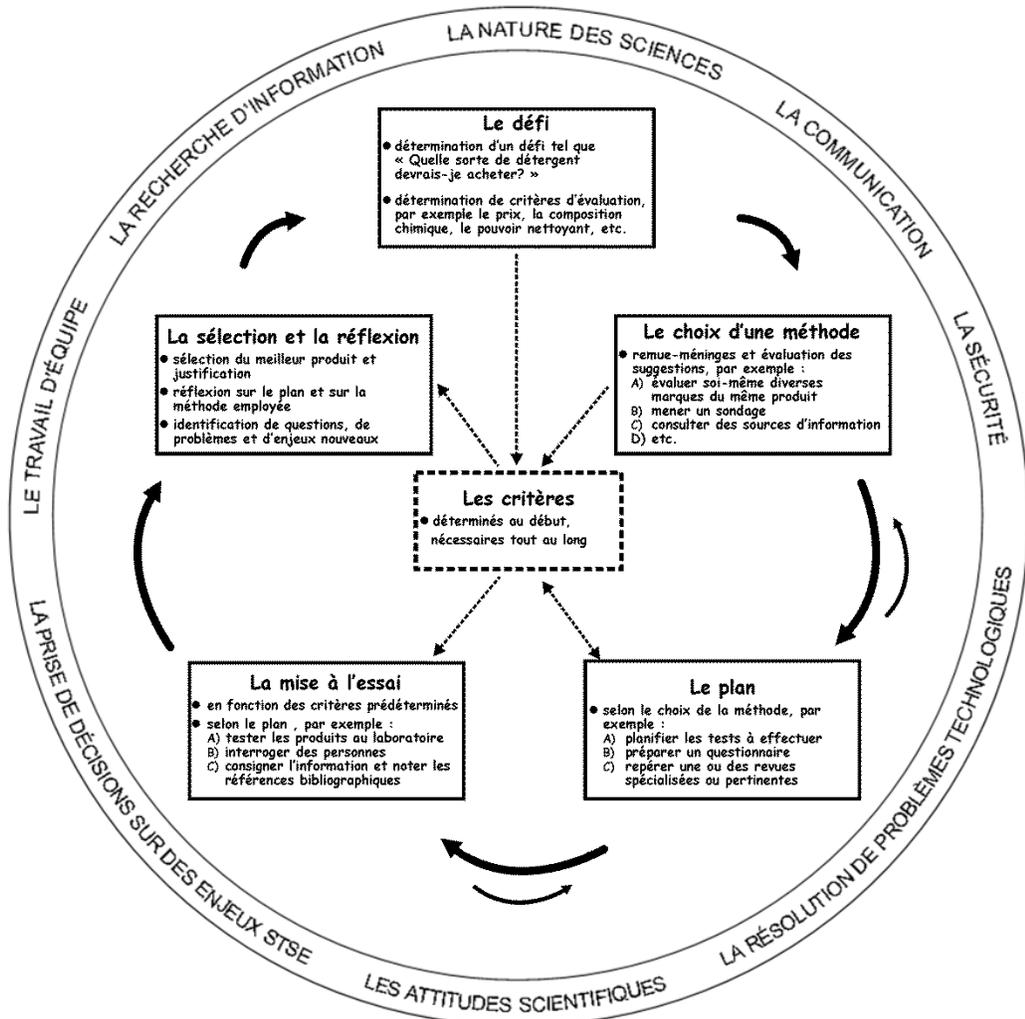


Fig. 7 – Étapes du processus de design – Évaluation d'un produit.

Le processus de design permet aux élèves de simuler en quelque sorte la résolution de problèmes technologiques qui se fait dans la vie de tous les jours, dans l'industrie et dans tout domaine scientifique ou technologique. La détermination de critères est cruciale dans ce genre d'activité, car les plans et les tests subséquents doivent refléter ces critères. À l'intérieur du processus de design figurent aussi une rétroaction flexible et une évaluation ultime du processus lui-même, afin de simuler davantage ce qui se passe lorsqu'on doit résoudre des problèmes technologiques réels. L'intention d'une activité de processus de design n'est pas d'avoir un groupe ou une idée gagnante; son but est plutôt de juger en faveur ou à l'encontre d'un ou de plusieurs prototypes, produits ou techniques selon divers critères préétablis.

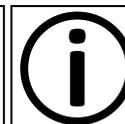
Comme avec l'étude scientifique, le cycle du processus de design peut être relancé par des problèmes nouveaux issus d'un cycle précédent.

Au secondaire, les habiletés et les attitudes liées à la résolution de problèmes technologiques s'inscrivent implicitement dans le processus de prise de décisions.

- **Enjeux STSE et prise de décisions** : L'élève, personnellement et en tant que citoyenne ou citoyen du monde, doit être en mesure de prendre des décisions. De plus en plus, les types d'enjeux auxquels l'élève doit faire face exigent la capacité d'appliquer les processus et les produits scientifiques et technologiques dans une optique STSE. Le processus de prise de décisions comprend une série d'étapes dont la clarification d'un enjeu, l'évaluation critique de tous les renseignements disponibles, l'élaboration d'options en vue d'une décision, le choix de la meilleure décision parmi les options élaborées, l'examen des répercussions (possibles ou actuelles) d'une décision et une réflexion sur le processus lui-même (voir la figure 8).

Tout au long de sa formation en sciences, l'élève devrait prendre une part active dans des situations de prise de décisions. Celles-ci ne sont pas seulement importantes par elles-mêmes, mais elles fournissent également un contexte pertinent pour l'étude scientifique, la résolution de problèmes technologiques et l'étude des interactions STSE. Au cours des années secondaires, les habiletés et les attitudes liées à la prise de décisions STSE sont explicitées.

- **Attitudes** : L'étude scientifique, la résolution de problèmes technologiques et la prise de décisions dépendent toutes des attitudes. Ces attitudes ne s'acquièrent pas de la même façon que le sont les habiletés et les connaissances. Elles consistent en des aspects généralisés de conduite appris au moyen de l'exemple et renforcés par une rétroaction opportune. Les attitudes ne sont pas authentiques si l'on ne peut les observer que lorsque suggérées par l'enseignante ou l'enseignant. Elles sont plutôt mises en évidence par des manifestations non sollicitées au fil du temps. Le foyer, l'école, la communauté et la société en général jouent tous un rôle dans le développement continu des attitudes chez les élèves.



COMMENT ABORDER UN ENJEU STSE

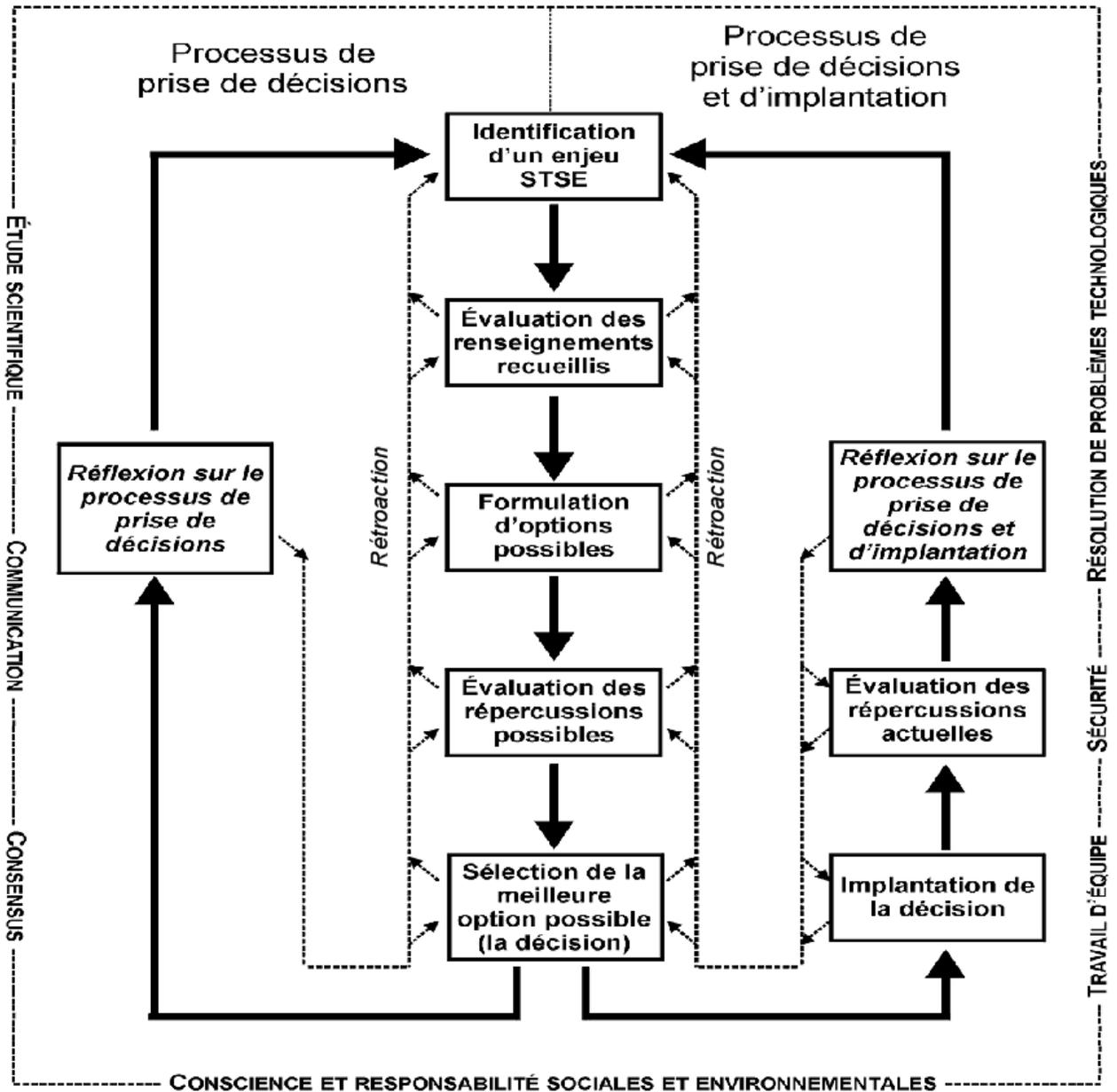


Fig. 8 – Étapes du processus de prise de décisions liées aux enjeux STSE.



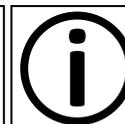
Les connaissances scientifiques essentielles

Le contenu notionnel des sciences comprend notamment des théories, des modèles, des concepts, des principes et des faits essentiels à la compréhension des sciences de la vie, des sciences physiques et des sciences de la Terre et de l'espace.

- **Les sciences de la vie** se préoccupent de la croissance et des interactions des êtres vivants dans leur environnement, de façon à refléter leur caractère unique, leur diversité, leur continuité génétique et leur nature changeante. Les sciences de la vie comprennent l'étude des organismes (dont les humains), des écosystèmes, de la biodiversité, de la cellule, de la biochimie et de la biotechnologie.
- **Les sciences chimiques et physiques** se préoccupent de la matière, de l'énergie et des forces. La matière a une structure, et des interactions multiples existent entre ses composantes. L'énergie relie la matière aux forces gravitationnelle, électromagnétique et nucléaires de l'Univers. Les sciences physiques traitent des lois de la conservation de la masse et de l'énergie, de la quantité de mouvement et de la charge.
- **Les sciences de la Terre et de l'espace** fournissent à l'élève des perspectives mondiales et universelles sur ses connaissances. La Terre a une forme, une structure et des régularités de changement, tout comme le système solaire qui l'entoure et l'Univers physique au-delà de celui-ci. Les sciences de la Terre et de l'espace comprennent des domaines d'études comme la pédologie, la géologie, la météorologie, l'hydrologie et l'astronomie.

Évidemment, l'école ne prétend pas enseigner aux élèves toutes les connaissances scientifiques impliquées dans les enjeux et les débats auxquels ils participeront à titre de citoyennes et citoyens. Même les scientifiques eux-mêmes n'arrivent pas à cerner les connaissances requises pour saisir l'ampleur et la complexité des divers enjeux STSE, surtout en ce qui concerne les conséquences à long terme. Les élèves, qu'ils s'orientent vers une carrière scientifique ou non, ont tous besoin de connaissances scientifiques générales leur permettant de participer avec confiance aux discussions sur les enjeux dans la société à venir.

Les élèves doivent comprendre que les disciplines scientifiques ne sont pas distinctes les unes des autres, et qu'en réalité l'interdisciplinarité scientifique est la norme plutôt que l'exception. L'étude scientifique au sein d'une discipline permet d'approfondir certaines notions théoriques mais il ne faut pas que cet exercice crée chez l'élève la fausse impression qu'on peut, par exemple, faire de la biologie sans tenir compte de la chimie, ou encore faire de l'hydrologie sans toucher à la physique. Comme l'Univers n'est pas sectionné en disciplines scientifiques, l'élève doit se doter d'une culture scientifique qui intègre ses diverses connaissances en un tout cohérent.



Les concepts unificateurs

Les concepts unificateurs permettent d'établir des liens à l'intérieur des disciplines scientifiques et entre elles. Ce sont des idées clés qui sous-tendent et relient entre elles toutes les connaissances scientifiques. De plus, les concepts unificateurs s'étendent dans des disciplines telles que les mathématiques et les sciences humaines. Par conséquent, les concepts unificateurs aident l'élève à construire une compréhension plus globale des sciences et de leur rôle dans la société. Les quatre concepts unificateurs qui suivent ont servi à l'élaboration des programmes d'études manitobains en sciences de la nature.

- **Similarité et diversité** : Les concepts de similarité et de diversité fournissent des outils permettant d'organiser nos expériences avec le monde. En commençant par des expériences non structurées, l'élève apprend à reconnaître divers attributs d'objets, de substances, de matériaux, d'organismes et d'événements, ce qui lui permet de faire des distinctions utiles entre ces attributs et parmi eux. Au fur et à mesure que s'élargissent ses connaissances, l'élève apprend à se servir de procédures et de protocoles couramment acceptés pour décrire et classer des substances, des organismes et des événements, ce qui l'aide à mieux partager ses idées avec autrui et à réfléchir à ses expériences.
- **Systèmes et interactions** : Concevoir le tout en fonction de ses parties et, inversement, comprendre les parties en fonction du tout sont deux aspects importants de la compréhension et de l'interprétation du monde. Un système est un ensemble d'éléments qui interagissent les uns avec les autres; l'effet global de ces interactions est souvent plus grand que celui des parties individuelles du système, et cela même quand on additionne simplement l'effet de chacune des parties. L'élève a l'occasion d'étudier à la fois les systèmes naturels et technologiques.
- **Changement, constance et équilibre** : Les concepts de constance et de changement sous-tendent la plupart des connaissances sur le monde naturel et fabriqué. Grâce à l'observation, l'élève apprend que certains attributs d'objets, de substances, de matériaux, d'organismes et de systèmes demeurent constants au fil du temps, tandis que d'autres changent. Au cours de ses études scientifiques, l'élève apprend le déroulement de divers processus ainsi que les conditions nécessaires au changement, à la constance et à l'équilibre.
- **Énergie** : La notion d'énergie est un outil conceptuel qui rassemble plusieurs connaissances liées aux phénomènes naturels, aux objets, aux substances, aux matériaux et aux processus de changement. L'énergie - qu'elle soit transmise ou transformée - permet à la fois le mouvement et le changement. L'élève apprend à décrire l'énergie par ses effets et ses manifestations, et à acquérir au fil du temps un concept de l'énergie comme élément inhérent des interactions des substances, des fonctions vitales et du fonctionnement des systèmes.



4. DES CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES EN SCIENCES

La langue

De par leur nature, les sciences constituent un terrain fertile à l'apprentissage d'une langue seconde ou de la langue maternelle. L'étude scientifique, la résolution de problèmes technologiques et la prise de décisions STSE, par exemple, nécessitent des activités structurées, des interactions sociales et des réflexions abstraites faisant toutes appel à la communication orale ou écrite. Parallèlement, la langue est un outil indispensable à l'acquisition et à la transmission des savoirs scientifiques et technologiques. Enfin, les sciences sont en quelque sorte une langue, spécialisée certes, qui exige des mécanismes d'apprentissage semblables à ceux déployés pour l'acquisition d'une langue.

La qualité du français parlé et écrit à l'école est une responsabilité partagée par tous les enseignants et ne relève pas uniquement des enseignants de langue. Dans cette optique, les programmes d'études en sciences de la nature favorisent l'emploi d'un vocabulaire précis et d'un style propre aux sciences.

Les sciences pour tous

Les programmes d'études manitobains visent à promouvoir l'apprentissage des sciences et la possibilité d'une carrière scientifique ou technologique pour tout élève, fille ou garçon. Les sciences ne sont plus un domaine réservé aux hommes, et il faut encourager autant les filles que les garçons à élargir leurs intérêts et à développer leurs talents par l'entremise de situations et de défis captivants et pertinents pour tous.

Dans le même ordre d'idée, les sciences intéressent et appartiennent à l'humanité entière dans toute sa diversité, que ce soit au niveau culturel, économique, personnel ou physique. Il faut à la fois respecter et promouvoir la diversité humaine à l'origine même des sciences et de la technologie, et s'assurer que toute personne intéressée par les sciences et la technologie peut les étudier et réaliser son potentiel.

L'éthique

L'étude des concepts scientifiques peut mener les élèves comme les enseignants à discuter de questions d'éthique. Par exemple, les différents points de vue sur l'utilisation des terres peuvent donner lieu à des discussions sur un déséquilibre potentiel entre l'activité économique et le respect de l'environnement et des cultures. De même, une discussion sur l'utilisation médicale des tissus embryonnaires peut susciter des préoccupations religieuses ou morales.

En effet, nombreux sont les enjeux soulevés en classe de sciences qui comporteront des conséquences environnementales, sociales ou morales. Comme ces enjeux tirent leur origine de l'étude scientifique, l'enseignement devrait en tenir compte. Il faut préciser cependant que les sciences ne fournissent qu'une toile de fond permettant la prise de décisions personnelles et collectives plus éclairées. Il incombe de gérer les discussions avec sensibilité et sans détour.



Plus particulièrement, certains élèves et leurs parents exprimeront peut-être des préoccupations concernant la tendance évolutionniste en cours dans le domaine des sciences de la vie. Ils ont droit au respect de leurs convictions, tant de la part du système scolaire que des scientifiques. Néanmoins, les sciences représentent une façon (parmi d'autres) d'étudier l'Univers et l'humanité. Parfois l'enseignante ou l'enseignant choisira de discuter de points de vue autres que celui traditionnellement offert par les sciences dites « occidentales », mais comme ces points de vue ne relèvent pas des disciplines scientifiques, il n'incombe pas au cours de sciences d'en faire un traitement systématique.

L'éthique en classe de sciences doit aussi se manifester par le respect qu'ont les élèves et les enseignants à l'égard des personnes, de la société, des organismes vivants et de l'environnement. Ce respect doit être inculqué et encouragé lors d'activités telles que les excursions scolaires, l'observation d'un animal vivant, la dissection, la visite à un hôpital, etc. L'éthique en sciences doit se traduire aussi bien au niveau de la pratique que de la pensée et elle doit être à la fois rationnelle et sensible.

La sécurité

Au fur et à mesure de leur scolarisation, les élèves sont appelés à être de plus en plus responsables lors d'activités scientifiques. En effet, la sécurité est une composante essentielle de la culture scientifique. L'observation des élèves au cours d'une activité menée dans la classe ou lors d'une excursion scolaire permet à l'enseignante ou à l'enseignant de déceler s'ils manifestent les habiletés et les attitudes de sécurité requises. Le document d'appui *La sécurité en sciences de la nature* fournit de nombreuses précisions à ce sujet.

Généralement, les élèves du secondaire réalisent leurs expériences scientifiques ou observent une démonstration scientifique dans un laboratoire proprement dit. À mesure que les expériences ou les démonstrations faites en classes comportent un plus grand risque, l'enseignante ou l'enseignant doit s'assurer de disposer d'un local ou d'installations qui répondent aux exigences en matière de sécurité en sciences. Ces exigences sont décrites dans *La sécurité en sciences de la nature*.

Tout en exigeant un apprentissage en français de la sécurité en sciences, l'enseignante ou l'enseignant doit tenir compte des compétences langagières de chacun de ses élèves, et doit faire en sorte qu'aucun élève ne soit mis à risque simplement parce qu'elle ou il ne maîtrise pas suffisamment le français.



5. L'APPRENTISSAGE

Des principes découlant de la psychologie cognitive

L'apprentissage des sciences s'inscrit dans l'évolution personnelle de l'élève qui doit se responsabiliser graduellement face à la construction de ses savoirs scientifiques et à leur utilisation dans des contextes de plus en plus variés et complexes. Tout apprentissage est un cheminement dans lequel l'élève élargit progressivement son champ d'autonomie. Les recherches dans le domaine de la psychologie cognitive ont permis de dégager des principes d'apprentissage qui permettent de porter un regard nouveau sur les actes pédagogiques les plus susceptibles de favoriser l'acquisition, l'intégration et la réutilisation des connaissances.

- L'apprentissage est plus efficace et plus durable lorsque l'élève est actif dans la construction de son savoir : l'acquisition de connaissances ou l'intériorisation de l'information est un processus personnel et progressif qui exige une activité mentale continue.
- L'apprentissage est plus efficace lorsque l'élève réussit à établir des liens entre les nouvelles connaissances et les connaissances antérieures.
- L'organisation des connaissances en réseaux favorise chez l'élève l'intégration et la réutilisation fonctionnelle des connaissances : plus les connaissances sont organisées sous forme de schémas ou de réseaux, plus il est facile pour l'élève de les retenir et de les récupérer de sa mémoire.
- L'acquisition des stratégies cognitives (qui portent sur le traitement de l'information) et métacognitives (qui se caractérisent par une réflexion sur l'acte cognitif lui-même ou sur le processus d'apprentissage) permet à l'élève de réaliser le plus efficacement possible ses projets de communication et, plus globalement, son projet d'apprentissage.
- La motivation scolaire repose sur les perceptions qu'a l'élève de ses habiletés, de ses capacités d'apprentissage, de la valeur et des difficultés de la tâche et, enfin, de ses chances de réussite. La motivation scolaire détermine le niveau de son engagement, le degré de sa participation et la persévérance qu'elle ou il apportera à la tâche.

« Pour apprendre quelque chose aux gens, il faut mélanger ce qu'ils connaissent avec ce qu'ils ignorent. »
(Pablo Picasso)

D'autres considérations liées à l'apprentissage

L'apprentissage est plus efficace lorsque le caractère unique de l'élève est mis en ligne de compte. Pour cette raison, différentes situations d'apprentissage doivent être offertes aux élèves afin de respecter leurs intelligences, leurs différences cognitives, sociales, culturelles ainsi que leur rythme d'apprentissage. L'apprentissage est plus efficace aussi lorsque les activités proposées en classe sont signifiantes, pertinentes, intéressantes, réalisables, axées sur des expériences concrètes d'apprentissage et liées à des situations de la vie de tous les jours. Enfin, l'apprentissage est plus efficace lorsque les élèves se sentent acceptés par l'enseignante ou l'enseignant et par leurs camarades de classe. Plus le climat d'apprentissage est sécurisant, plus les élèves sont en mesure de prendre des risques et de poser des questions qui mènent à une meilleure compréhension.



6. L'ENSEIGNEMENT

La démarche à trois temps

L'apprentissage de l'élève est facilité, appuyé et encadré par une démarche pédagogique gérée par l'enseignante ou l'enseignant. Par mesure de cohérence, cette démarche doit s'inspirer des principes d'apprentissage mentionnés à la page précédente. La figure 9 explique la démarche pédagogique à trois temps, qui comprend la préactivité, l'activité proprement dite, et la postactivité.

APPRENTISSAGE DE L'ÉLÈVE	DÉMARCHE PÉDAGOGIQUE	
	OPÉRATIONNALISATION	ÉVALUATION FORMATIVE INTERACTIVE
1^{er} temps : Préparation de la situation d'apprentissage (la préactivité)		
<ul style="list-style-type: none"> ■ L'élève se rappelle la situation d'apprentissage précédente ou des résultats de situations précédentes qu'elle ou il a vécues. ■ L'élève formule ou s'approprie des objectifs d'apprentissage, les relie à son vécu et anticipe d'en tirer profit (d'où sa participation et son intérêt). L'élève considère aussi ses acquis en rapport avec les objectifs proposés. ■ L'élève propose ou choisit une situation d'apprentissage et formule des questions et des réactions en rapport avec cette situation. L'élève cherche à se doter de ressources et d'outils et à créer un milieu propice à l'apprentissage, seul ou avec ses pairs. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ L'enseignante ou l'enseignant facilite le retour de l'élève sur la situation d'apprentissage précédente ou sur les résultats d'expériences antérieures. ■ L'enseignante ou l'enseignant présente les objectifs d'apprentissage, les rend significatifs et accessibles, les relie au vécu de l'élève et facilite la relation entre les acquis et les objectifs proposés. ■ L'enseignante ou l'enseignant propose des situations d'apprentissage significatives et sécurise l'élève face au choix d'une situation, en précisant les attentes. Elle ou il facilite l'organisation des groupes et du milieu d'apprentissage (ressources et outils disponibles). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ L'enseignante ou l'enseignant observe les significations que l'élève dégage de ses expériences antérieures (attitudes, habiletés, connaissances). ■ L'enseignante ou l'enseignant vérifie la compréhension par l'élève des objectifs. Elle ou il vérifie si les objectifs semblent être significatifs et pertinents et si l'élève a les acquis nécessaires pour poursuivre les objectifs proposés. ■ L'enseignante ou l'enseignant vérifie que l'élève a compris les situations d'apprentissage et qu'elle ou il peut en dégager les significations. L'enseignante ou l'enseignant vérifie aussi si l'élève est à l'aise et de quelles façons elle ou il se prépare.
2^e temps : Réalisation de la situation d'apprentissage (l'activité)		
<ul style="list-style-type: none"> ■ L'élève traite du contenu d'apprentissage en explorant et en étudiant des phénomènes, des informations ou des sources de données (observation, interrogation, recherche, analyse, description, prédiction, formulation d'hypothèse, etc.). ■ Elle ou il choisit et organise l'information (traitement de données, schématisation, synthèse, critique, etc.) pour la présenter à la fin (extrapolation, déduction, évaluation, conclusion, application). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ L'enseignante ou l'enseignant incite et guide l'élève dans sa recherche ou son expérimentation, en proposant des éléments de source ou de solution et en conscientisant l'élève aux techniques nécessaires pour puiser de l'information. ■ L'enseignante ou l'enseignant guide aussi l'élève dans l'organisation et la présentation de son information et de ses résultats, lui proposant des pistes diverses et appropriées tout en lui aidant à prendre conscience de la démarche utilisée. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ L'enseignante ou l'enseignant observe la démarche et les stratégies de l'élève dans son étude ou sa résolution de problèmes, tout en vérifiant son intérêt au niveau de la collecte de données, de l'organisation de l'information et de la présentation de ses résultats.
3^e temps : Intégration de la situation d'apprentissage (la postactivité)		
<ul style="list-style-type: none"> ■ L'élève effectue un retour (une réflexion) sur la situation d'apprentissage, en objective sa démarche et son produit, tire des conclusions, dégage des règles et principes, ou applique les résultats à une situation d'apprentissage analogue. ■ L'élève intègre la situation d'apprentissage en y dégageant des significations personnelles, tout en agrandissant son répertoire d'attitudes, d'habiletés et de connaissances et en témoignant de la confiance. Elle ou il est capable de réinvestir ce nouveau savoir dans une autre situation. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ L'enseignante ou l'enseignant facilite le retour sur la situation d'apprentissage, guide l'élève dans l'objectivation, l'aide à tirer des conclusions et à appliquer les résultats dans une situation analogue. ■ L'enseignante ou l'enseignant aide l'élève à dégager des significations personnelles reliées à une situation d'apprentissage, fournit de la rétroaction sur les résultats de la situation, et facilite l'expression et la manifestation de la confiance qu'a l'élève en elle-même ou lui-même, en lui proposant des situations de réinvestissement. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ L'enseignante ou l'enseignant observe la participation de l'élève dans le retour sur la situation d'apprentissage. Elle ou il observe chez l'élève son objectivation, sa démarche pour en arriver à des conclusions, et son application des résultats dans une situation analogue. ■ L'enseignante ou l'enseignant vérifie la pertinence des significations personnelles reliées à la situation d'apprentissage, évalue la démarche suivie par l'élève et son apprentissage, observe l'image qu'a l'élève d'elle-même ou de lui-même, et vérifie le degré de participation de l'élève dans le réinvestissement.
<p><i>Il y a interdépendance dans les différents éléments de la démarche pédagogique; leur déroulement n'est pas forcément linéaire et il varie d'une ou un élève à l'autre.</i></p>		

Fig. 9 – Apprentissage de l'élève et démarche pédagogique en trois temps.

Tiré et adapté du *Dictionnaire actuel de l'éducation*, 2^e éd. de Renald Legendre.



La promotion de la culture scientifique

Tout en suivant une démarche pédagogique axée sur l'élève, l'enseignante ou l'enseignant en sciences de la nature doit, dans la mesure du possible, ne pas perdre de vue son rôle dans la promotion de la culture scientifique. L'enseignante ou l'enseignant doit :

« On ne peut rien enseigner à autrui. On ne peut que l'aider à découvrir. »
(Galiléo Galilée)

- encourager l'élève à développer un sentiment d'émerveillement et de curiosité, accompagné d'un sens critique à l'égard de l'activité scientifique et technologique;
- amener l'élève à se servir des sciences et de la technologie pour construire de nouvelles connaissances et résoudre des problèmes, lui permettant d'améliorer sa qualité de vie et celle des autres;
- préparer l'élève à aborder de façon critique des enjeux d'ordre social, économique, éthique ou environnemental liés aux sciences;
- offrir à l'élève une formation solide en sciences lui offrant la possibilité de poursuivre des études supérieures, de se préparer à une carrière liée aux sciences et d'entreprendre des loisirs à caractère scientifique convenant à ses intérêts et aptitudes;
- développer chez l'élève dont les aptitudes et les intérêts varient une sensibilisation à une vaste gamme de métiers liés aux sciences, à la technologie et à l'environnement.

L'expérimentation par l'élève est au centre de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences de la nature. L'accent n'est plus mis sur la mémorisation des faits et des théories scientifiques isolées du monde réel. Les élèves apprennent à apprendre, à penser, à évaluer de façon critique l'information recueillie et à prendre des décisions éclairées. La figure 10 dresse un portrait de ce que doivent être l'apprentissage et l'enseignement des sciences au début du XXI^e siècle.

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

Dans la salle de classe en sciences de la nature, l'enseignante ou l'enseignant doit être à la fois :

- un pédagogue;
- un modèle en ce qui a trait aux attitudes et aux habiletés scientifiques et technologiques;
- un passionné des sciences et de la technologie.



L'apprentissage des sciences aujourd'hui.	
Insister moins sur :	Privilégier plutôt :
<ul style="list-style-type: none"> ■ la connaissance de faits et de données scientifiques ■ l'étude de chaque discipline en soi (sciences de la vie, sciences chimiques et physiques, sciences de la Terre et de l'espace) ■ la distinction entre les connaissances scientifiques et la démarche scientifique ■ le survol de nombreux sujets scientifiques ■ l'exécution d'une étude scientifique au moyen d'un ensemble prescrit de procédés 	<ul style="list-style-type: none"> ■ la compréhension de concepts scientifiques et le développement d'habiletés pour la recherche scientifique ■ l'apprentissage du contenu disciplinaire abordé dans divers contextes, afin de comprendre des perspectives personnelles et sociales liées aux sciences et à la technologie ainsi que l'histoire et la nature des sciences ■ l'intégration de tous les savoirs (attitudes, habiletés, connaissances) à l'étude scientifique ■ l'étude de quelques concepts scientifiques fondamentaux ■ l'étude scientifique comme un apprentissage continu de stratégies, d'habiletés et de concepts
Changement de priorités pédagogiques pour favoriser l'étude scientifique.	
Insister moins sur :	Privilégier plutôt :
<ul style="list-style-type: none"> ■ les activités de démonstration et de vérification des connaissances scientifiques ■ la recherche ou l'expérience effectuée sur une seule période de classe ■ l'application des habiletés scientifiques hors contexte ■ l'application d'une seule habileté isolément, telle que l'observation ou l'inférence ■ l'obtention d'une réponse ■ les sciences à titre d'exploration et d'expérience ■ la livraison de réponses aux questions sur des connaissances scientifiques ■ l'analyse et la synthèse des données, individuellement ou collectivement, sans affirmer ni justifier une conclusion ■ l'étude d'une grande quantité de connaissances au détriment du nombre de recherches ou d'expériences ■ la conclusion d'une étude scientifique aussitôt que les résultats d'une expérience sont obtenus ■ la gestion du matériel et de l'équipement ■ la communication des idées et des conclusions de l'élève à l'enseignante ou l'enseignant seulement 	<ul style="list-style-type: none"> ■ les activités de recherche et d'analyse liées à des questions scientifiques ■ la recherche ou l'expérience effectuée sur une période de temps prolongée ■ l'application des habiletés scientifiques dans un contexte réel ■ l'application de multiples habiletés intégrées, faisant appel à la manipulation, la cognition et le traitement ■ l'exploitation des données et des stratégies pour développer ou réviser une explication ■ les sciences à titre d'argument et d'explication ■ la communication d'explications scientifiques ■ l'analyse et la synthèse fréquente de données par des groupes d'élèves après qu'ils ont affirmé et justifié leurs conclusions ■ de nombreuses recherches et expériences pour développer une compréhension de l'étude scientifique et pour apprendre des attitudes, des habiletés et des connaissances scientifiques ■ l'application des résultats d'une expérience à des arguments et à des explications scientifiques ■ la gestion des idées et de l'information ■ la communication ouverte des idées et du travail de l'élève à toute la classe

Fig. 10 – *Changement de priorités dans l'apprentissage et l'enseignement des sciences de la nature.*
Traduction d'un extrait du document *National Science Education Standards*, p. 113, publié par la National Academy of Sciences.



Philosophie de l'enseignement de la physique

Demandez à vos élèves de répondre en une seule phrase à la question suivante : « Qu'est-ce que la physique? ». Les élèves ont tendance à répondre par la description d'expériences vécues qui ont un rapport avec la physique : « la physique, c'est le mouvement » ou « la physique est l'étude de l'énergie et de la matière ». D'autres auront une réponse plus générale, comme « la physique est l'étude de l'univers » ou encore « la physique est la science de toutes choses ». Les relations entre les mathématiques et la physique sont prédominantes et les remarques suivantes sont fréquentes : « la physique, c'est des mathématiques » ou « la physique, c'est expliquer les choses simples du quotidien par des formules mathématiques complexes ». Ces réponses indiquent que certains élèves voient les mathématiques comme l'instrument de la physique. Sans trop savoir ce qu'est la physique, plusieurs considèrent qu'elle est déterminante pour leur avenir.

Qu'est-ce que la physique? Bien qu'il puisse y avoir plusieurs réponses, un thème commun ressort lorsqu'on examine les différentes branches de la physique et les principes sous-jacents. La physique est l'étude des relations dans le monde qui nous entoure. Nous envisageons une « chose intéressante », puis nous construisons des modèles afin d'en définir les caractéristiques fondamentales et de décrire comment celles-ci s'influencent mutuellement ou interagissent. Ces relations nous permettent de prévoir le comportement d'autres « choses intéressantes » dont les paramètres sont identiques ou semblables. L'étude des relations constitue une part très importante de la physique. La difficulté que représente pour plusieurs l'étude de la physique est imputable aux multiples modes de représentation des relations. Il est important de bien comprendre ces modes et leurs relations afin de contribuer efficacement à l'enseignement et à l'apprentissage.

Les modes de représentation

Le mode visuel

Prenons un exemple pour illustrer les modes de représentation. Une masse de 0,5 kg est suspendue à un ressort (voir fig. 11). Si l'on suspend des masses de 1 kg et de 1,5 kg à des ressorts identiques, on peut voir la relation entre la force agissant sur le ressort et l'étirement de celui-ci. C'est ce que l'on appelle le mode de représentation visuel d'une relation. Son fondement se trouve dans le monde réel et dans la perception que l'on a de ce monde.

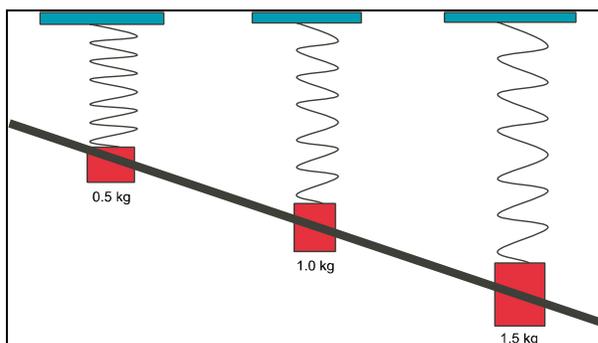


Fig. 11 – Mode de représentation visuel

La représentation visuelle consiste à établir une relation entre deux variables et à vérifier l'hypothèse par l'observation et l'expérimentation. Plus la force exercée est grande, plus le ressort s'étire. Il est même possible parfois d'établir la relation exacte. Dans le cas présent, comme les masses de la figure 11 s'alignent bien droit, l'augmentation de l'étirement doit être proportionnelle à celle de la force exercée. La représentation visuelle n'englobe pas uniquement la conjecture et l'observation; elle comprend aussi l'esprit critique et la pensée créative à mesure que l'on construit et modifie les modèles naturels à la base des observations. La conceptualisation du monde « réel » repose sur un ensemble d'hypothèses que l'on croit fondées. On peut intérioriser un modèle pour faciliter cette conceptualisation, puis effectuer différentes expériences pour en vérifier l'exactitude. Le modèle efficace est celui qui permet à la fois d'expliquer et de prévoir un phénomène. Un modèle peut entraîner des événements contradictoires qui obligent à le reconsidérer et à le modifier, ou un modèle peut être faussé et doit alors être abandonné en faveur de l'élaboration d'un autre, plus complet et plus précis. Par exemple, le modèle de la charge électrique sous-tend l'étude des phénomènes électriques. Le modèle par fluide et particules de la charge électrique a toujours été vérifié par l'observation expérimentale. Cependant, à mesure que les idées sur la structure de la matière évoluent, on constate que le modèle fondé sur les particules permet des prévisions et des explications plus fiables.

Bien que l'on puisse formuler une description générale des relations (plus la force exercée est grande, plus l'étirement du ressort est grand), on ne peut pas toujours établir une relation exacte par la représentation physique et conceptuelle. Il faut donc quantifier les caractéristiques et comparer les chiffres. C'est ce que l'on appelle le mode de représentation numérique.

Le mode numérique

Le mode de représentation numérique consiste à formuler une définition fonctionnelle des propriétés fondamentales, et à effectuer des mesures afin de recueillir des données. On peut ensuite étudier ces données et établir une relation exacte. L'utilisation du mode numérique nécessite une bonne compréhension des rapports de proportion et des modèles numériques (par exemple si F double, x double, et si F triple, x triple; nous avons donc un rapport de proportion direct permettant d'énoncer une loi.). Dans la plupart des cas, cependant, la cueillette de données entraîne des erreurs. Il peut être très difficile d'établir la relation en étudiant uniquement les données. Par contre, une image vaut mille chiffres. La représentation graphique des données permet habituellement de mieux établir la relation.

F (N)	X (m)
5.0	0.2
10.0	0.4
15.0	0.6
20.0	0.8

Fig. 12 – Mode de représentation numérique

Le mode graphique

Le mode de représentation graphique constitue une image mathématique de la relation. Heureusement, il suffit de connaître un nombre limité de figures pour établir les relations. En fait, au niveau secondaire, on a besoin de connaître uniquement trois représentations graphiques, soit la ligne droite, la courbe de puissance et la courbe inversée. En ajustant les données pour « redresser la courbe », on peut établir la relation exacte et formuler une loi que l'on peut représenter de façon symbolique.

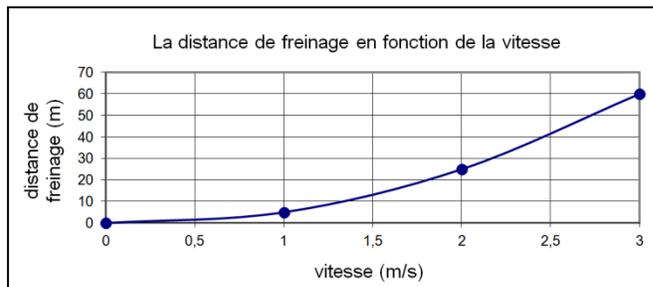
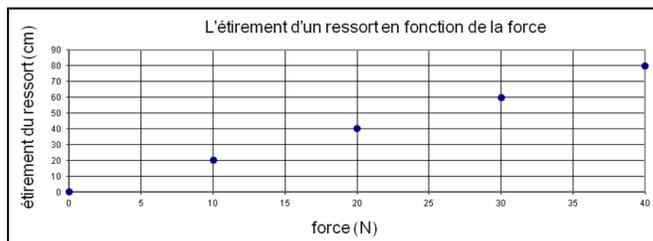


Fig. 13 – Mode de représentation graphique

Le mode symbolique

Enfin, le mode de représentation symbolique consiste à exprimer la relation par une formule algébrique pouvant s'appliquer à d'autres phénomènes physiques de nature semblable.

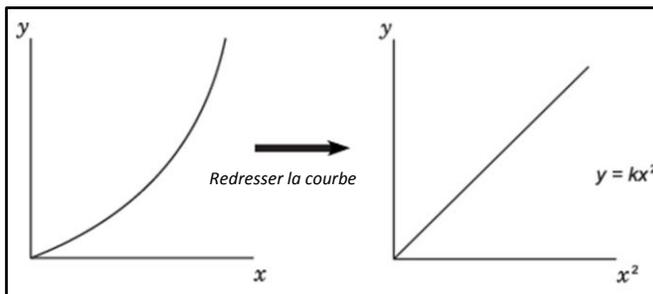


Fig. 14 – Mode de représentation symbolique

Il existe donc quatre modes de représentation des relations : physique et conceptuel, numérique, graphique et symbolique. Dans notre méthode d'enseignement de la physique, l'élève doit être en mesure d'utiliser chacun de ces modes de représentation afin de révéler sa compréhension et sa maîtrise du sujet.

Malheureusement, il est facile de se limiter un seul mode de représentation, surtout le mode symbolique. Les élèves se plaignent souvent du nombre de formules qu'ils doivent apprendre dans leur classe de physique. Ils mémorisent consciencieusement les équations et les notations, apprennent à substituer les variables, et arrivent à des solutions numériques. Élèves et enseignants sont facilement pris au piège de la représentation symbolique. L'enseignement par le mode symbolique est facile car il ne nécessite aucune préparation, sinon très peu. L'enseignant versé en mathématiques n'a qu'à effectuer des dérivations algébriques des équations. Ce traitement « hors contexte » des relations entre variables physiques et conceptuelles pose des difficultés énormes pour certains élèves, y compris ceux qui semblent forts en mathématiques. Il est difficile de faire hors contexte des liens significatifs entre le mode de représentation symbolique et le mode de représentation physique et conceptuelle. Il est probable que la formation en physique qu'ont reçue les enseignants ait été fondée principalement sur le mode symbolique, et que ces derniers n'aient jamais vraiment surmonté leurs propres difficultés de conceptualisation.

Les élèves à qui l'on a enseigné la physique par le mode de représentation symbolique sont en mesure de formuler des réponses toutes faites, mais il est rare qu'ils comprennent la physique ou qu'ils en retiennent les concepts. En fait, leurs difficultés relèvent rarement de la physique comme telle; la confusion émerge des notations, des types d'équations semblables, des différentes représentations algébriques des formules et des calculs. Les taux de réussite diminuent dès qu'il faut faire appel à des concepts physiques, comme dans le cas des problèmes sous forme d'énoncés plus complexes. Des recherches effectuées dans le domaine de l'enseignement de la physique, tel que *le Force Concept Inventory* de Hestenes, indiquent que même les élèves avancés ne peuvent fonctionner avec le mode de représentation physique et conceptuelle. Cela n'a évidemment rien d'étonnant si l'enseignement est axé presque exclusivement sur le mode de représentation symbolique.

L'enseignant et l'élève doivent acquérir une compréhension plus complète des relations et améliorer leurs compétences dans chaque mode de représentation. L'élève doué devrait pouvoir passer facilement d'un mode à l'autre, sans qu'il ne le fasse dans un ordre précis. Un « vrai scientifique » peut commencer ses recherches dans un mode de représentation quelconque et poursuivre en combinant ce mode à d'autres. L'élève qui démontre une compréhension complète des relations physiques et conceptuelles devrait être en mesure de passer d'un mode à l'autre, quel qu'en soit l'ordre.

Bien que l'aptitude à utiliser les différents modes de représentation constitue une base solide pour l'apprentissage des sciences de la nature, elle ne suffit pas à elle seule à décrire la nature de l'activité scientifique. Au moment de l'élaboration de sa théorie de la relativité, Einstein a conceptualisé une hypothèse puis, à partir de présomptions fondamentales sur le temps et l'espace, il en a déduit une série de lois représentées en mode symbolique. Il a laissé à d'autres le soin de faire les observations pour confirmer ou infirmer ses propositions. Le recul historique et une compréhension de l'essence même des sciences de la nature mèneront à une philosophie mieux adaptée à l'enseignement de la physique.

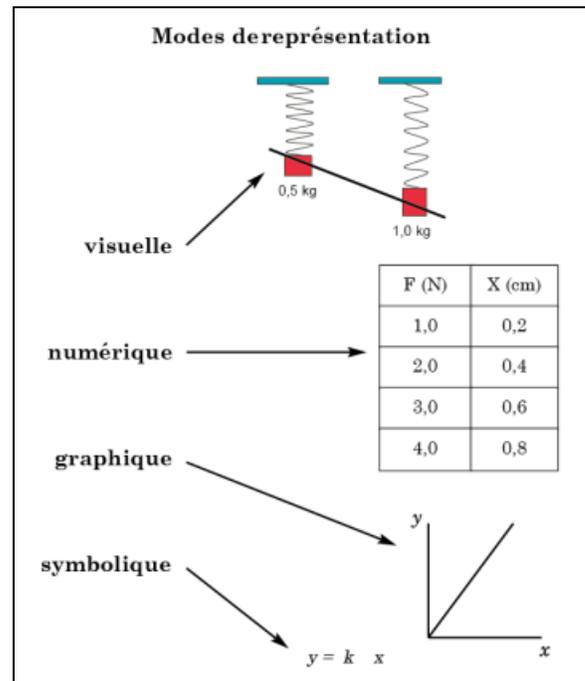


Fig. 15 – Mode de représentation

7. LES RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE

L'apprentissage des sciences de la nature s'articule autour de la notion de résultats d'apprentissage. Un résultat d'apprentissage décrit de façon concise les connaissances, les habiletés et les attitudes - observables et, dans la mesure du possible, mesurables - qu'est censé acquérir une ou un élève dans une matière donnée et au cours d'un laps de temps.

Les résultats d'apprentissage sont toujours exprimés en fonction de ce qu'une ou un élève peut faire ou peut démontrer; à ne pas confondre avec objectif qui met l'accent sur ce que l'enseignant ou l'enseignante doit faire.

On distingue deux niveaux de résultats d'apprentissage au Manitoba : les résultats d'apprentissage généraux, appelés plus familièrement les RAG, et les résultats d'apprentissage spécifiques, nommés RAS.

Les résultats d'apprentissage généraux (RAG)

Les résultats d'apprentissage généraux sont des énoncés généraux qui décrivent ce qu'un élève ayant terminé sa formation scientifique au primaire, à l'intermédiaire et au secondaire est en mesure d'accomplir en sciences de la nature. Les RAG sont les mêmes de la maternelle à la 12^e année. Ils découlent des cinq principes de base de la culture scientifique (voir la figure 16).

PRINCIPES DE BASE	RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE GÉNÉRAUX								
Nature des sciences et de la technologie	A1	A2	A3	A4	A5				
Sciences, technologie, société et environnement (STSE)	B1	B2	B3	B4	B5				
Habiletés et attitudes scientifiques et technologiques	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	
Connaissances scientifiques essentielles	D1	D2	D3	D4	D5	D6			
Concepts unificateurs	E1	E2	E3	E4					

Fig. 16 – Correspondance entre les principes de base et les RAG.

La figure 17 énumère les résultats d'apprentissage généraux en sciences de la nature qui se construisent de la maternelle à la 12^e année.



- A1. L'élève sera apte à reconnaître à la fois les capacités et les limites des sciences comme moyen de répondre à des questions sur notre monde et d'expliquer des phénomènes naturels.
- A2. L'élève sera apte à reconnaître que les connaissances scientifiques se fondent sur des données, des modèles et des explications et évoluent à la lumière de nouvelles données et de nouvelles conceptualisations.
- A3. L'élève sera apte à distinguer de façon critique les sciences de la technologie, en fonction de leurs contextes, de leurs buts, de leurs méthodes, de leurs produits et de leurs valeurs.
- A4. L'élève sera apte à identifier et apprécier les contributions qu'ont apportées des femmes et des hommes issus de diverses sociétés et cultures à la compréhension de notre monde et à la réalisation d'innovations technologiques.
- A5. L'élève sera apte à reconnaître que les sciences et la technologie interagissent et progressent mutuellement.
- B1. L'élève sera apte à décrire des innovations scientifiques et technologiques, d'hier et d'aujourd'hui, et reconnaître leur importance pour les personnes, les sociétés et l'environnement à l'échelle locale et mondiale.
- B2. L'élève sera apte à reconnaître que les poursuites scientifiques et technologiques ont été et continuent d'être influencées par les besoins des humains et le contexte social de l'époque.
- B3. L'élève sera apte à identifier des facteurs qui influent sur la santé et expliquer des liens qui existent entre les habitudes personnelles, les choix de style de vie et la santé humaine aux niveaux personnel et social.
- B4. L'élève sera apte à démontrer une connaissance et un intérêt personnel pour une gamme d'enjeux, de passe-temps et de métiers liés aux sciences et à la technologie.
- B5. L'élève sera apte à identifier et démontrer des actions qui favorisent la durabilité de l'environnement, de la société et de l'économie à l'échelle locale et mondiale.
- C1. L'élève sera apte à reconnaître les symboles et les pratiques liés à la sécurité lors d'activités scientifiques et technologiques ou dans sa vie de tous les jours, et utiliser ces connaissances dans des situations appropriées.
- C2. L'élève sera apte à démontrer des habiletés appropriées lorsqu'elle ou il entreprend une étude scientifique.
- C3. L'élève sera apte à démontrer des habiletés appropriées lorsqu'elle ou il s'engage dans la résolution de problèmes technologiques.
- C4. L'élève sera apte à démontrer des habiletés de prise de décisions et de pensée critique lorsqu'elle ou il adopte un plan d'action fondé sur de l'information scientifique et technologique.
- C5. L'élève sera apte à démontrer de la curiosité, du scepticisme, de la créativité, de l'ouverture d'esprit, de l'exactitude, de la précision, de l'honnêteté et de la persistance, et apprécier l'importance de ces qualités en tant qu'états d'esprit scientifiques et technologiques.
- C6. L'élève sera apte à utiliser des habiletés de communication efficaces et des technologies de l'information afin de recueillir et de partager des idées et des données scientifiques et technologiques.
- C7. L'élève sera apte à travailler en collaboration et valoriser les idées et les contributions d'autrui lors de ses activités scientifiques et technologiques.
- C8. L'élève sera apte à évaluer, d'une perspective scientifique, les idées et les renseignements rencontrés au cours de ses études et dans la vie de tous les jours.
- D1. L'élève sera apte à comprendre les structures et les fonctions vitales qui sont essentielles et qui se rapportent à une grande variété d'organismes, dont les humains.
- D2. L'élève sera apte à comprendre diverses composantes biotiques et abiotiques, ainsi que leurs interactions et leur interdépendance au sein d'écosystèmes y compris la biosphère en entier.
- D3. L'élève sera apte à comprendre les propriétés et les structures de la matière ainsi que diverses manifestations et applications communes des actions et des interactions de la matière.
- D4. L'élève sera apte à comprendre comment la stabilité, le mouvement, les forces ainsi que les transferts et les transformations d'énergie jouent un rôle dans un grand nombre de contextes naturels et fabriqués.
- D5. L'élève sera apte à comprendre la composition de l'atmosphère, de l'hydrosphère et de la lithosphère ainsi que des processus présents à l'intérieur de chacune d'elles et entre elles.
- D6. L'élève sera apte à comprendre la composition de l'Univers et les interactions en son sein ainsi que l'impact des efforts continus de l'humanité pour comprendre et explorer l'Univers.
- E1. L'élève sera apte à décrire et apprécier les similarités et les différences parmi les formes, les fonctions et les régularités du monde naturel et fabriqué.
- E2. L'élève sera apte à démontrer et apprécier comment le monde naturel et fabriqué est composé de systèmes et comment des interactions ont lieu au sein de ces systèmes et entre eux.
- E3. L'élève sera apte à reconnaître que des caractéristiques propres aux matériaux et aux systèmes peuvent demeurer constantes ou changer avec le temps et décrire les conditions et les processus en cause.
- E4. L'élève sera apte à reconnaître que l'énergie, transmise ou transformée, permet à la fois le mouvement et le changement, et est intrinsèque aux matériaux et à leurs interactions.

Fig. 17 – Résultats d'apprentissage généraux en sciences de la nature.



Les résultats d'apprentissage spécifiques (RAS)

Les résultats d'apprentissage spécifiques découlent des résultats généraux et se veulent des descripteurs concis et précis de l'apprentissage scientifique de chaque élève. On distingue deux types de RAS en sciences, soit les RAS transversaux et les RAS thématiques. Ces deux catégories de RAS sont d'importance égale.

- Les **RAS transversaux** sont des énoncés qui décrivent surtout des habiletés et des attitudes à acquérir au cours de l'année scolaire. Chaque RAS transversal est énoncé de façon à pouvoir être enseigné dans un ou plusieurs contextes tout au long de l'année.

Les RAS transversaux sont organisés en quatre catégories.

Les catégories de RAS transversaux

1. Nature des sciences
2. Étude scientifique
3. Sciences, technologie, société et environnement (STSE)
4. Attitudes

- Les **RAS thématiques** sont des énoncés qui décrivent en grande partie des connaissances scientifiques, quoiqu'ils touchent aussi à de nombreuses habiletés et attitudes contextuelles. Les RAS s'agencent autour de thèmes particuliers. L'ordre de présentation qui est offert dans le Document de mise en œuvre n'est pas obligatoire, mais il constitue une progression logique de la construction des savoirs de l'élève dans le cours de sciences.

En Physique 12^e année, quatre grands thèmes appelés regroupements thématiques (numérotés de 1 à 4) servent à orienter l'enseignement; chaque regroupement est constitué d'un ensemble de RAS thématiques. Pour ce qui est des RAS transversaux, ils sont présentés dans le regroupement transversal (dont le numéro est 0). La figure 18 permet de voir d'un coup d'œil tous les regroupements de la maternelle à la 11^e année.



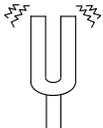
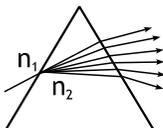
	Regroupement transversal 0	Regroupement thématique 1	Regroupement thématique 2	Regroupement thématique 3	Regroupement thématique 4
Maternelle	Les habiletés et les attitudes transversales de la maternelle	Les arbres	Les couleurs	Le papier	---
1^{re} année	Les habiletés et les attitudes transversales de la 1 ^{re} année	Les caractéristiques et les besoins des êtres vivants	Les sens	Les caractéristiques des objets et des matériaux	Les changements quotidiens et saisonniers
2^e année	Les habiletés et les attitudes transversales de la 2 ^e année	La croissance et les changements chez les animaux	Les propriétés des solides, des liquides et des gaz	La position et le mouvement	L'air et l'eau dans l'environnement
3^e année	Les habiletés et les attitudes transversales de la 3 ^e année	La croissance et les changements chez les plantes	Les matériaux et les structures	Les forces qui attirent ou repoussent	Les sols dans l'environnement
4^e année	Les habiletés et les attitudes transversales de la 4 ^e année	Les habitats et les communautés	La lumière	Le son	Les roches, les minéraux et l'érosion
5^e année	Les habiletés et les attitudes transversales de la 5 ^e année	Le maintien d'un corps en bonne santé	Les propriétés et les changements des substances	Les forces et les machines simples	Le temps qu'il fait
6^e année	Les habiletés et les attitudes transversales de la 6 ^e année	La diversité des êtres vivants	Le vol	L'électricité	L'exploration du système solaire
7^e année	Les habiletés et les attitudes transversales de la 7 ^e année	Les interactions au sein des écosystèmes	La théorie particulaire de la matière	Les forces et les structures	La croûte terrestre
8^e année	Les habiletés et les attitudes transversales de la 8 ^e année	Des cellules aux systèmes	L'optique	Les fluides	Les systèmes hydrographiques
9^e année	Les habiletés et les attitudes transversales de la 9 ^e année	La reproduction	Les atomes et les éléments	La nature de l'électricité	L'exploration de l'Univers
10^e année	Les habiletés et les attitudes transversales de la 10 ^e année	La dynamique d'un écosystème	Les réactions chimiques	Le mouvement et l'automobile	La dynamique des phénomènes météorologiques
Physique 11^e année	Les habiletés et les attitudes transversales de la physique, 11 ^e année	Les ondes	La nature de la lumière	La mécanique	Les champs
Icônes utilisées dans le Document de mise en œuvre pour représenter les regroupements thématiques de physique 11 ^e année					

Fig. 18 – Regroupements en sciences de la nature.



Les précisions qui accompagnent les RAS

Il arrive que l'énoncé d'un RAS transversal ou thématique ne soit pas suffisamment détaillé et que des précisions supplémentaires s'imposent. Un contenu notionnel obligatoire est alors précédé par la mention entre autres dans le RAS. L'inclusion d'un « entre autres » ne limite pas l'apprentissage à ce contenu notionnel, mais elle en précise le minimum (ou le contenu notionnel commun) obligatoire d'un RAS. Par ailleurs, la mention par exemple précise également la nature du contenu notionnel et permet à l'enseignante ou à l'enseignant de mieux cerner l'intention du RAS, sans toutefois exiger que ce soit les exemples fournis qui doivent être enseignés.

Alors que les « entre autres » sont écrits dans le même style que l'énoncé principal des RAS, les « par exemple » sont en italique pour bien souligner le fait qu'ils n'ont pas le statut obligatoire de l'énoncé principal.

Un renvoi relie chacun des RAS transversaux et thématiques aux RAG dont ils s'inspirent. Une enseignante ou un enseignant peut davantage cerner l'esprit dans lequel a été rédigé un RAS en consultant les RAG visés par le renvoi.

La codification des RAS

En sciences de la nature, chaque RAS transversal est codifié selon :

- l'année scolaire;
- le regroupement (tous les RAS transversaux appartiennent au regroupement 0);
- la catégorie;
- l'ordre de présentation du RAS.

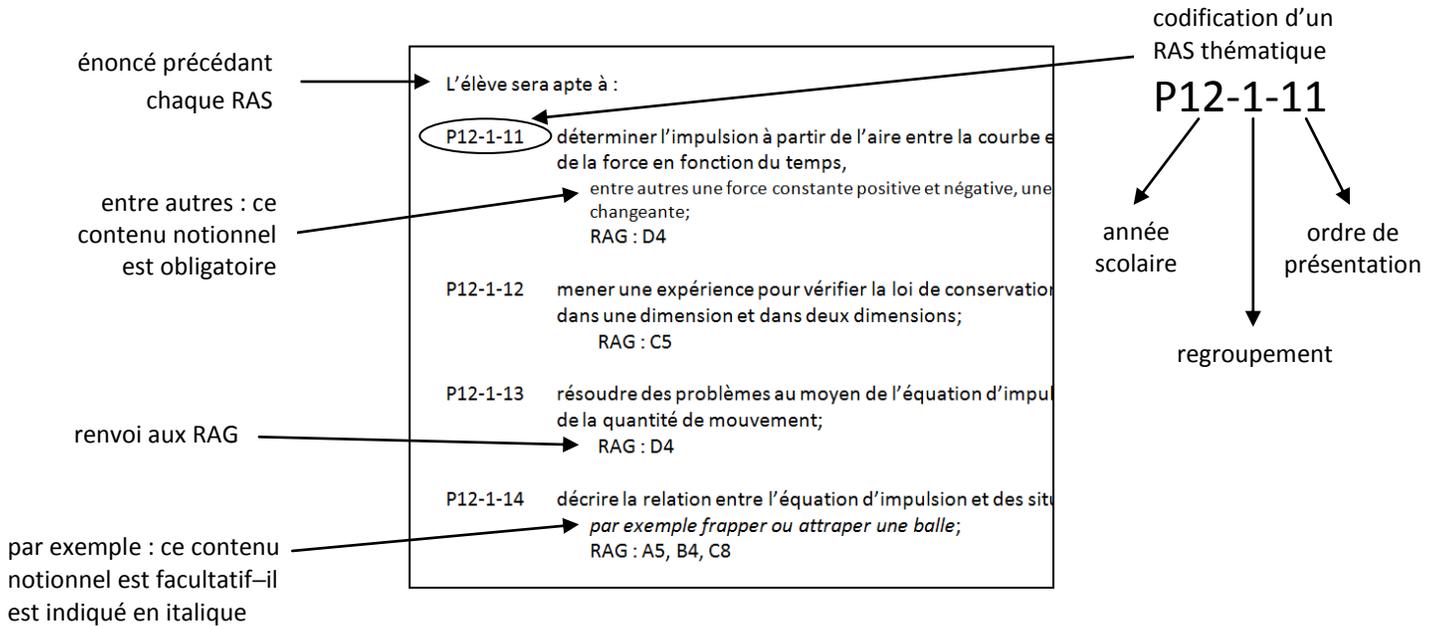
Les RAS thématiques sont eux aussi codifiés selon :

- l'année scolaire;
- le regroupement thématique (1, 2, 3 ou 4);
- l'ordre de présentation du RAS (cet ordre est facultatif).



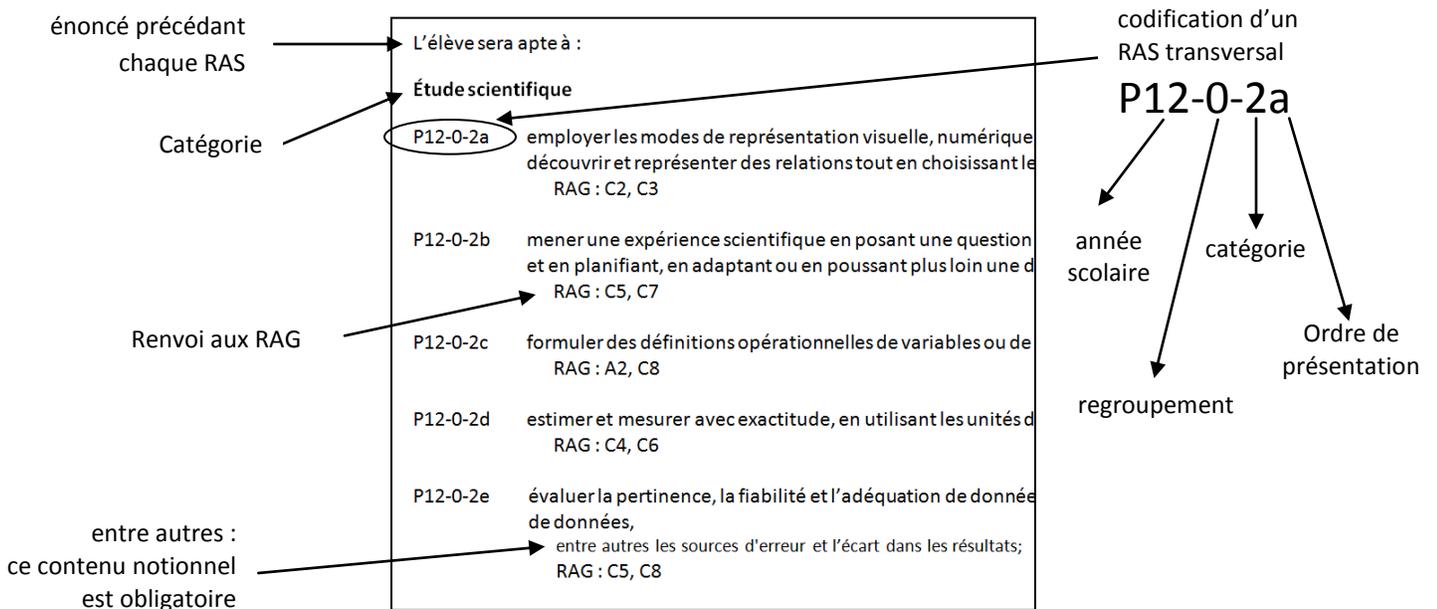
Mode d'emploi pour la lecture des RAS thématiques

Exemples de RAS thématiques



Mode d'emploi pour la lecture des RAS transversaux

Exemples de RAS transversaux



8. L'ORGANISATION GÉNÉRALE DU DOCUMENT

Le présent document comprend, outre la section **d'Introduction générale**, quatre modules qui correspondent aux quatre regroupements (thèmes) ciblés en Physique 12^e année :

- **La mécanique;**
- **Les champs;**
- **L'électricité;**
- **La physique médicale.**

Ces modules peuvent être utilisés indépendamment des autres et l'ordre dans lequel ils sont présentés est facultatif. De nombreux indices servent à reconnaître les modules :

- Le numéro et le titre du regroupement thématique sont indiqués au haut de chaque page;
- Le premier chiffre de la pagination correspond au numéro du regroupement;
- L'icône particulière au regroupement figure en bas de chaque page.

Le contenu d'un module thématique

Chaque module thématique comprend les éléments suivants :

- Un aperçu du regroupement thématique.
- Des conseils d'ordre général qui portent sur des considérations pratiques dont l'enseignante ou l'enseignant devra tenir compte dans la planification de son cours.
- Un tableau des blocs d'enseignement ainsi qu'une suggestion du temps à accorder à chacun des blocs.
- Une liste des ressources éducatives pour l'enseignant, notamment des livres, divers imprimés, des vidéocassettes et DVD, des disques numérisés et des sites Web.
- Une liste des résultats d'apprentissage spécifiques pour le regroupement thématique.
- Des stratégies d'enseignement et d'évaluation suggérées pour chaque bloc d'enseignement.
- Des annexes reproductibles à l'intention de l'enseignante ou de l'enseignant et des élèves.

Les blocs d'enseignement

Les blocs d'enseignement sont des ensembles de RAS, parmi lesquels on retrouve des RAS thématiques propres au regroupement dont il est question ainsi que des RAS transversaux qui y sont jumelés. La mise en page de ces blocs d'enseignement se fait sur deux pages placées côte à côte. Pour chaque bloc d'enseignement, au moins une stratégie d'enseignement et au moins une stratégie d'évaluation sont suggérées.



Les stratégies d'enseignement suggérées

Chaque stratégie d'enseignement comprend une section :

- **En tête** : suggestions pour mettre en contexte les apprentissages visés, activer les connaissances antérieures des élèves ou stimuler l'intérêt des élèves.
- **En quête** : suggestions qui visent l'acquisition d'attitudes, d'habiletés et de connaissances que représentent les RAS du bloc d'enseignement.
- **En fin** : suggestions qui encouragent l'objectivation, la réflexion, la métacognition ou le réinvestissement.

Les encadrés

Divers encadrés accompagnent les stratégies d'enseignement. Ils offrent :

- des précisions quant aux notions scientifiques à enseigner;
- des avis de nature plutôt pédagogique;
- des renvois à des annexes ou à des ressources éducatives utiles;
- d'autres renseignements ou mises en garde susceptibles d'intéresser l'enseignant.

Une stratégie d'enseignement peut aussi comprendre une section :

- **En plus** : suggestions qui dépassent l'intention des RAS de ce niveau, mais qui peuvent néanmoins enrichir l'apprentissage des élèves et stimuler de nouvelles réflexions.

Les stratégies d'évaluation suggérées

Les stratégies d'évaluation sont numérotées (①, ②, ③, etc.). Toutefois, contrairement aux stratégies d'enseignement, **une seule des options proposées n'est pas nécessairement suffisante pour évaluer tous les RAS thématiques et transversaux** du bloc d'enseignement. L'enseignante ou l'enseignant doit donc choisir un ensemble de suggestions.



Mode d'emploi pour la lecture des stratégies suggérées

La lettre du bloc indique son ordre dans le module. Chaque bloc a aussi un titre qui porte sur les notions visées. Les blocs d'enseignement sont offerts à titre de suggestions.

La matière, l'année scolaire et le numéro du regroupement thématique sont indiqués au haut de la page.

Les RAS thématiques et transversaux du bloc sont toujours disposés en haut.

Pour chaque RAS il y a un renvoi aux RAG.

Les stratégies d'enseignement suggérées sont conçues pour l'atteinte des RAS.

La section « En tête » correspond à la préactivité.

Un encadré fournit des précisions notionnelles, pédagogiques ou autres.

L'icône du regroupement thématique.

Dans la pagination, le chiffre avant le point indique le numéro du regroupement thématique.

LA MÉCANIQUE

Physique
12^e année
Regroupement 1

Bloc B
Le mouvement relatif

L'élève sera apte à :

P12-1-03 résoudre au moyen de vecteurs des problèmes sur le mouvement relatif pour des objets se déplaçant à une vitesse vectorielle constante;
RAG : D3

P12-0-2h analyser des problèmes au moyen de vecteurs, entre autres l'addition et la soustraction de vecteurs à n'importe quel angle.
RAG : C2, C3

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

1 Inviter les élèves à compléter l'exercice de @ l'annexe 5 afin de faire ressortir leurs connaissances antérieures (le corrigé figure à @ l'annexe 6).

OU

2 Inviter les élèves à prédire le mouvement de la balle si le cycliste dans l'illustration qui suit la laisse tomber.

- Comment la balle semble-t-elle tomber selon le cycliste? (La balle semble tomber tout droit vers le sol.)

↓

- Selon un observateur sur le bord de la route? (La balle semble tomber vers l'avant avec une trajectoire courbée.)



En *Physique 30S*, les élèves ont additionné et soustrait des vecteurs en ligne droite et à angle droit. Ils ont aussi déterminé les composantes des vecteurs. En *Physique 40S*, les élèves doivent additionner et soustraire des vecteurs à n'importe quel angle en déterminant leurs composantes, en appliquant les rapports trigonométriques (sinus, cosinus et tangente), ou en appliquant les lois du sinus et du cosinus. Les élèves en mathématiques ont étudié les rapports trigonométriques en 10^e année et les lois du sinus et du cosinus en 11^e année (pré-calcul et mathématiques appliquées), et en 12^e année (mathématiques au quotidien).

Lorsqu'un objet semble avoir un mouvement selon un premier observateur, mais un mouvement différent selon un deuxième observateur, on dit qu'il s'agit de mouvement relatif parce que les observateurs font partie de **systèmes de référence** différents. Par exemple, un bateau voyage à 60 km/h vers l'est dans une rivière qui coule vers l'ouest à une vitesse de 25 km/h. Selon le conducteur du bateau, ce dernier se déplace à une vitesse de 60 km/h vers l'est. Cependant, selon l'observateur sur la rive, le bateau voyage à une vitesse de 35 km/h car son système de référence comprend le mouvement du bateau ainsi que le mouvement de l'eau.

Page
1.25





Mode d'emploi pour la lecture des stratégies suggérées

Le titre du module correspond au titre du regroupement thématique. Toutefois, le module traite aussi des habiletés et des attitudes du regroupement 0.

Le texte du Document de mise en œuvre s'adresse aux enseignants. Cependant, les questions posées aux élèves sont en italique.

Physique
12^e année
Regroupement 1

LA MÉCANIQUE

En quête

Enseignement direct – Le mouvement relatif
Introduire aux élèves le concept de mouvement relatif à l'aide des exemples à l'annexe 7, de *Physique 11*, p. 93-107 ou de *Physique 11-12*, p. 91-100).

Résolution de problèmes – Le mouvement relatif
Inviter les élèves à résoudre des problèmes de vitesse relative (voir l'annexe 8 ou *Physique 11*, p. 114-116). Le corrigé de l'annexe 8 figure à l'annexe 9.

En fin

1
Inviter les élèves à décrire la nage à travers d'un cours d'eau qui a un courant. Les élèves peuvent déterminer dans quelles conditions ils peuvent nager afin d'avoir une vitesse vectorielle résultante qui traverse directement la rivière. Les élèves peuvent aussi comparer la nage à travers un cours d'eau sans courant et la nage à travers un cours d'eau avec un courant.

Le site *Le mouvement simple* <http://www.defl.ca/~rocks_dev/modules/1.1_mouvement/02mouvement_simple.html> présente une animation qui illustre le mouvement relatif.

OU

2
Inviter les élèves à résoudre des problèmes de vitesse vectorielle relative à l'aide de notes explicatives (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 13.14 et 13.15).

 **Stratégies d'évaluation suggérées**

1
Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de l'annexe 8.

 Page 1.26

La section « En fin » correspond à la postactivité.

La numérotation à l'intérieur des sections « En tête », « En quête » et « En fin » indique des options : une seule option à l'intérieur de chaque section suffit pour compléter la stratégie d'enseignement. Pour la section « En plus », la numérotation indique aussi des options mais celles-ci vont au-delà des RAS du bloc.

Les stratégies d'évaluation suggérées sont disposées dans la colonne de droite.

Les stratégies d'évaluation sont numérotées. Une seule stratégie ne suffit pas nécessairement à l'évaluation de tous les RAS du bloc.



Les modalités d'évaluation

Une variété de modalités ont été employées dans ce document pour recueillir des données sur la performance des élèves par rapport à l'atteinte des résultats d'apprentissage ou pour les évaluer. Aucune modalité, aussi bonne soit-elle, ne peut permettre d'évaluer à elle seule toute la vaste gamme des connaissances, des habiletés et des attitudes en jeu. Ces diverses modalités, en conjonction les unes avec les autres, permettent d'obtenir des données pertinentes non seulement sur ce que l'élève a appris, mais aussi sur la manière dont il a appris.

Voici une brève description de chacune des modalités privilégiées et des instruments utilisés pour soutenir cette modalité :

- **L'observation** directe au cours des activités d'apprentissage vise avant tout à obtenir des renseignements sur les attitudes de l'élève à l'égard des sciences, sur ses habiletés scientifiques et technologiques et sur la manière dont elle ou il travaille en groupe ou seul. Ces attitudes et habiletés sont difficiles, voire impossibles, à évaluer d'une autre façon.

Divers types de grille d'observation ont été employés dans ce document. Certaines grilles permettent par exemple de noter par un oui ou par un non l'atteinte des résultats d'apprentissage; d'autres, comprennent une échelle d'appréciation, où les critères de réussite d'une tâche sont décrits de manière détaillée et pour lesquels on assigne des valeurs numériques, d'autres encore sont de type anecdotique sur laquelle il est possible de noter de manière très brève un commentaire. Ces diverses grilles d'observation nécessitent parfois une analyse ultérieure.

- **Les travaux pratiques** consistent en une série de tâches ou d'exercices créés de toutes pièces pour faire ressortir des connaissances, des habiletés ou des attitudes précises en relation avec le programme d'études. Les projets de recherche, pour leur part, sont des tâches structurées qui consistent à amener l'élève à étudier en profondeur des questions reliées aux sciences et aux technologies.

Les travaux pratiques (expériences) et les projets de recherche s'accompagnent d'une variété d'instruments d'évaluation, notamment la liste de vérification, la feuille de route ou encore le rapport de laboratoire, qui peut comprendre un plan détaillé de ce qui est attendu à la fin du projet, des échéances et des critères d'évaluation précis. Ces instruments destinés à l'élève lui permettent de mieux cerner son travail, d'une part, et de comprendre l'importance de la planification dans un projet d'envergure, d'autre part. Il arrive parfois que la grille d'évaluation critériée de l'enseignant tienne ce rôle et soit également employée pour donner une idée précise à l'élève de la qualité de son travail grâce à des descriptions claires des niveaux d'habileté atteints pour chaque critère.

- **Les tests** sont employés pour mesurer ce que l'élève a appris à la suite d'un ensemble d'activités d'apprentissage réparties sur une période de temps jugée significative.

Tout instrument qui donne lieu à une note ou à un commentaire peut servir au « testing ». Les tests permettent de faire un retour sur les apprentissages faits en classe et l'enseignant ou l'enseignante peut profiter de cette rétroaction pour améliorer son enseignement. Un test peut servir à l'évaluation diagnostique, formative ou sommative.



- **Les questions objectives** sont des questions qui exigent le choix d'une réponse possible parmi d'autres. Souvent utilisées en guise d'évaluation rapide, elles peuvent, si elles sont bien conçues, permettre de sonder les habiletés cognitives de niveau supérieur.

Les exercices de closure comprenant des phrases lacunaires (à trous) et les questions d'appariement, de vrai ou faux et à choix multiples font partie de la catégorie des questions objectives et sont proposées dans ce document. Des questions de ce genre permettent une notation plus objective.

- **Les questions à développement** requièrent des réponses structurées et écrites. Elles permettent de mieux évaluer la compréhension de concepts ainsi que diverses habiletés cognitives, notamment la synthèse et l'analyse.

Dans le présent document, un grand nombre de questions à développement se trouvent dans la section « En fin » et exigent une réflexion de la part de l'élève faisant appel à la fois aux nouvelles notions apprises et à l'ensemble de ses connaissances sur le sujet.

- **La représentation graphique** permet de comprendre comment l'élève résume, organise et intègre l'information obtenue. Moyen privilégié pour l'évaluation diagnostique, la représentation graphique sert également à l'évaluation formative. Ainsi l'enseignante ou l'enseignant peut plus facilement guider l'élève et intervenir pour corriger une conception erronée.

Les organigrammes, les schémas conceptuels et les divers cadres font partie des outils présentés dans ce document.

- **Le carnet scientifique** est un recueil des réflexions et des réactions de l'élève en rapport avec son apprentissage. La nature des commentaires qui s'y trouvent porte sur le processus d'apprentissage, les difficultés à saisir certaines notions et la perception des activités proposées en classe. Pour l'enseignant ou l'enseignante, ce type d'évaluation permet de mieux comprendre ce qui se passe dans la tête de l'élève en situations d'apprentissage et ainsi d'intervenir plus adéquatement. Certaines suggestions d'enseignement ou d'évaluation font parfois usage du carnet scientifique pour d'autres types d'exercices bien que cela ne soit pas la fonction pour laquelle il a été conçu.

- **Les portfolios** : Un portfolio est un recueil d'échantillons de travaux de l'élève qui témoignent de la progression de ses apprentissages au fil du temps. Le portfolio d'apprentissage ou d'évaluation nécessite la participation et la réflexion de l'élève à l'ensemble du processus d'apprentissage ou d'évaluation.

Pour être un portrait fidèle des apprentissages de l'élève, le portfolio doit contenir une variété de documents ou pièces tels que des travaux de recherche, des rapports d'expérience, des réflexions sur ses apprentissages, des schémas explicatifs, des tests, des autoévaluations et des évaluations par les pairs, des observations de l'enseignant sous forme de grille d'observation ou de commentaires, des extraits du carnet scientifique, des photos, des cassettes audio ou des vidéocassettes de projet de recherche et des disques numérisés. Chaque échantillon de travail est accompagné d'une fiche d'identification sur laquelle l'élève pose un regard critique quant au travail accompli.



- **L'autoévaluation et l'évaluation par les pairs** : Il est important de souligner que les divers instruments recensés peuvent non seulement être utilisés par l'enseignant ou l'enseignante, mais s'avèrent fort utiles quand on demande aux élèves de s'évaluer eux-mêmes ou que l'on demande aux pairs de porter des jugements sur la performance d'un élève.

Les questions posées aux élèves

De nombreux exemples de questions à poser aux élèves sont parsemés dans le texte des stratégies d'enseignement et d'évaluation. Puisque normalement le texte du *Document de mise en œuvre* s'adresse aux enseignants, l'italique a été utilisé pour faire ressortir des questions à l'intention des élèves.

Les questions que l'on pose aux élèves doivent les inciter à réfléchir en regard de nombreux niveaux taxinomiques de pensée cognitive. De plus, les questions doivent faire appel davantage à la compréhension critique et interprétative qu'à la compréhension littérale. La figure 19 met en relation ces éléments.

	niveau taxinomique de pensée cognitive	exemple de questions
COMPRÉHENSION LITTÉRALE	Identification <ul style="list-style-type: none"> ▪ le rappel de l'information ▪ qui, quoi, quand, où, comment? ▪ verbes tels que décrire, nommer 	- <i>Quelles sont des ressources minérales du Manitoba? (7-4*)</i> - <i>Classifiez des vertébrés selon qu'ils sont des poissons, des amphibiens, des reptiles, des oiseaux ou des mammifères? (6-1)</i>
	Compréhension <ul style="list-style-type: none"> ▪ l'organisation et la sélection des faits et des idées ▪ verbes tels que résumer, choisir 	- <i>Quelle est la fonction des interrupteurs dans les circuits électriques? (6-3)</i> - <i>De quelle façon le système circulatoire participe-t-il au travail du système digestif? (8-1)</i>
COMPRÉHENSION INTERPRÉTATIVE	Application <ul style="list-style-type: none"> ▪ l'utilisation de faits, de règles et de principes ▪ verbes tels que calculer, lier 	- <i>Quel est le lien entre le sommeil et le maintien d'un corps en bonne santé? (5-1)</i> - <i>Comment nos connaissances au sujet des bactéries nous permettent-elles de prévenir un empoisonnement alimentaire?</i>
	Analyse <ul style="list-style-type: none"> ▪ la séparation d'un tout en ses constituants ▪ verbes tels que classier, comparer 	- <i>Dans un bécher, on verse trois fluides qui se déposent, du bas vers le haut, dans l'ordre suivant : l'eau, l'huile et l'alcool. Expliquez, à l'aide de la masse volumique, pourquoi il en est ainsi. (8-3)</i> - <i>Quelle force sera requise pour soulever une grosse boîte si on utilise un système à plusieurs poulies? (5-3)</i>
	Synthèse <ul style="list-style-type: none"> ▪ la combinaison d'idées pour en créer de nouveaux ensembles ▪ verbes tels que prédire, inférer 	- <i>Qu'arriverait-il au cycle des saisons si la Terre n'était pas inclinée sur son axe?</i> - <i>Comment vous y prendriez-vous pour démontrer que la déforestation influe sur le climat de votre région? (5-4)</i>
COMPRÉHENSION CRITIQUE	Évaluation <ul style="list-style-type: none"> ▪ l'élaboration d'opinions, de jugements ou de décisions ▪ verbes tels que réagir, apprécier 	- Les bienfaits liés à l'exploitation du rayonnement électromagnétique justifient-ils les risques qu'ils font courir à la société? (8-2) - <i>Comment pouvez-vous déterminer si le sac-repas fabriqué en classe permet de contrôler efficacement le transfert de l'énergie thermique? (7-2)</i>

* Indique l'année scolaire et le regroupement auxquels se réfère la question.

Fig. 19 – Relation entre les types de compréhension et les niveaux taxinomiques de la pensée cognitive.



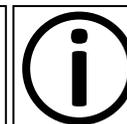
9. LA PLANIFICATION EN SCIENCES

Le Ministère a conçu le programme d'études en Physique 12^e année en fonction de 110 heures d'enseignement. Selon les diverses modalités scolaires, le cours s'échelonne sur cinq ou dix mois.



10. BIBLIOGRAPHIE

- ALBERTA. ALBERTA EDUCATION (1997). *Programme de sciences à l'élémentaire*, Edmonton, Alberta Education.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (1993). *Benchmarks for Science Literacy: Project 2061*, New York, Oxford University Press.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (1990). *Science for All Americans*, Washington, AAAS Publications.
- BYBEE, R. (1989). *Science and Technology Education for the Elementary Years: Frameworks for Curriculum and Instruction*. Rowley (Massachusetts), The NETWORK.
- CAMPBELL, V., J. LOFSTROM ET B. JEROME. (1997). *Decisions Based on Sciences*, Arlington (Virginie), National Science Teachers Association.
- CONSEIL DES MINISTRES DE L'ÉDUCATION (CANADA) (1996). *Évaluation en sciences : Cadre de classification et critères d'évaluation*, Toronto, Conseil des ministres de l'Éducation (Canada).
- CONSEIL DES MINISTRES DE L'ÉDUCATION (CANADA) (1997). *Cadre commun de résultats d'apprentissage en sciences de la nature (M à 12)*, Toronto, Conseil des ministres de l'Éducation (Canada).
- CONSEIL DES SCIENCES DU CANADA (1984). *À l'école des sciences : la jeunesse canadienne face à son avenir, Rapport 36*, Ottawa, Approvisionnement et Services Canada.
- CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'ÉDUCATION (1990). *Améliorer l'éducation scientifique sans compromettre l'orientation des élèves : les sciences de la nature et la mathématique au deuxième cycle du secondaire*, Sainte-Foy (Québec), Conseil supérieur de l'éducation.
- CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'ÉDUCATION (1989). *L'initiation des élèves aux sciences de la nature chez les enfants au primaire*, Sainte-Foy (Québec), Conseil supérieur de l'éducation.
- CORNFIELD, R.J. et autres (1994). *Construire la réussite : L'évaluation comme outil d'intervention*, Montréal, Éditions de la Chenelière.
- DEPARTMENT FOR EDUCATION AND THE WELSH OFFICE (1990). *Technology in the National Curriculum*, Londres, HMSO.
- DE VECCHI, G. ET A. GIORDAN. (1988). *L'enseignement scientifique : comment faire pour que « ça marche »?*, Nice (France), Z'édicions.
- HESTENES, D., M. WELLS ET G. SWACKHAMER (1992). *Force Concept Inventory*, The Physics Teacher, vol. 30, p. 141-151.
- LAROCHELLE, M. ET J. DÉSAUTELS. (1992). *Autour de l'idée de science : itinéraires cognitifs d'étudiants et d'étudiantes*, Québec, Presses de l'Université Laval.



LEGENDRE, RENALD (1993). *Dictionnaire actuel de l'éducation, 2^e édition*, Montréal, Éditions Guérin.

MANITOBA. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE (1995). *Nouvelles directions pour le renouveau de l'éducation : Les bases de l'excellence*, Winnipeg, Éducation et Formation professionnelle Manitoba.

MANITOBA. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE (1996). *Politique curriculaire pour le programme d'immersion française*, Winnipeg, Éducation et Formation professionnelle Manitoba.

MANITOBA. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE (1996). *Les résultats d'apprentissage manitobains en français langue première (M-S4)*, Winnipeg, Éducation et Formation professionnelle Manitoba.

MANITOBA. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE (1996). *Les résultats d'apprentissage manitobains en français langue seconde – immersion (M-S4)*, Winnipeg, Éducation et Formation professionnelle Manitoba.

MANITOBA. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE (1997). *Liens curriculaires : Éléments d'intégration en salle de classe*, Winnipeg, Éducation et Formation professionnelle Manitoba.

MANITOBA. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE (1997). *Le succès à la portée de tous les apprenants*, Winnipeg, Éducation et Formation professionnelle Manitoba.

MANITOBA. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE (1998). *Études autochtones : Document cadre à l'usage des enseignants des années intermédiaires (5-8)*, Winnipeg, Éducation et Formation professionnelle Manitoba.

MANITOBA. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE (1998). *Études autochtones : Document-ressource à l'usage des années intermédiaires (5-8)*, Winnipeg, Éducation et Formation professionnelle Manitoba.

MANITOBA. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE (1998). *Mathématiques, Cinquième et sixième années : Document de mise en œuvre*, Winnipeg, Éducation et Formation professionnelle Manitoba.

MANITOBA. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE (1998). *Mathématiques, Septième et huitième années : Document de mise en œuvre*, Winnipeg, Éducation et Formation professionnelle Manitoba.

MANITOBA. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE (1998). *La technologie comme compétence de base : Vers l'utilisation, la gestion et la compréhension des technologies de l'information*, Winnipeg, Éducation et Formation professionnelle Manitoba.

MANITOBA. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE (1999). *Cadre manitobain de résultats d'apprentissage en sciences de la nature (M à 4)*, Winnipeg, Éducation et Formation professionnelle Manitoba.



MANITOBA. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE (1999). *La sécurité en sciences de la nature : Un manuel ressource*, Winnipeg, Éducation et Formation professionnelle Manitoba.

MANITOBA. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE (2000). *Cadre manitobain de résultats d'apprentissage en sciences de la nature (5 à 8)*, Winnipeg, Éducation et Formation professionnelle Manitoba.

MANITOBA. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE (2000). *Cadre manitobain de résultats d'apprentissage en sciences de la nature (S1)*, Winnipeg, Éducation et Formation professionnelle Manitoba.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *National Science Education Standards*, Washington, National Academy of Sciences.

NATIONAL SCIENCE TEACHERS ASSOCIATION (1992). *Scope, Sequences, and Coordination of Secondary School Science*, vol. 2, Arlington (Virginie), National Science Teachers Association.

NATIONAL SCIENCE TEACHERS ASSOCIATION (1993). *The Content Core : A Guide for Curriculum Designers*, Arlington (Virginie), National Science Teachers Association.

NOUVEAU-BRUNSWICK, TERRE-NEUVE ET LABRADOR, NOUVELLE-ÉCOSSE ET ÎLE DU PRINCE-ÉDOUARD. MINISTÈRES DE L'ÉDUCATION (1995). *Foundation for the Atlantic Canada Science Curriculum*, Saint-Jean (Terre-Neuve), Newfoundland and Labrador Department of Education.

ONTARIO. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION (1998). *Le curriculum de l'Ontario de la 1^{re} à la 8^e année : Sciences et technologie*, Toronto, Imprimeur de la Reine pour l'Ontario.

ORPWOOD, G. ET J. P. SOUQUE (1984). *Science Education in Canadian Schools, Background Study 52*, Ottawa, Approvisionnement et Services Canada.

SUSTAINABILITY MANITOBA (1994). *Sustainable Development Strategy for Manitoba*, Winnipeg, Sustainability Manitoba.

TARDIF, JACQUES (1992). *Pour un enseignement stratégique : L'apport de la psychologie cognitive*, Montréal, Les Éditions Logiques.

UNESCO (1988). *Le développement durable grâce à l'éducation relative à l'environnement*, Connexion, vol. 13, n° 2.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (1987). *Our Common Future*, New York, Oxford University Press.





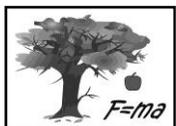
LA MÉCANIQUE

APERÇU DU REGROUPEMENT

Dans ce regroupement les élèves étudieront plusieurs aspects de la mécanique. Les élèves complètent leur étude de la cinématique abordée en 11^e année en étudiant les équations spéciales de l'accélération constante. Dans la section de la dynamique, les élèves doivent résoudre des problèmes reliés au coefficient de frottement sur un plan incliné et pour des systèmes de masses combinées. Les élèves ont étudié la quantité de mouvement de façon qualitative en 10^e année. En 12^e année, ils étudient l'impulsion et la quantité de mouvement de façon quantitative. Les élèves étudient aussi le mouvement projectile, le mouvement circulaire, ainsi que le travail et l'énergie.

CONSEILS D'ORDRE GÉNÉRAL

La collecte de données lors de l'étude de mouvement peut se faire à l'aide de minuteur-enregistreur, de caméscope ou de sonde de mouvement. L'accès des élèves à Internet est fortement recommandé afin qu'ils puissent y poursuivre leurs recherches.



BLOCS D'ENSEIGNEMENT SUGGÉRÉS

Afin de faciliter la présentation des renseignements et des stratégies d'enseignement et d'évaluation, les RAS de ce regroupement ont été disposés en **blocs d'enseignement**. À souligner que, tout comme le regroupement lui-même, les blocs d'enseignement ne sont que des pistes suggérées pour le déroulement du cours de physique. L'enseignant peut choisir de structurer son cours et ses leçons en privilégiant une autre approche. Quoi qu'il en soit, les élèves doivent réussir les RAS prescrits par le Ministère pour la physique 12^e année.

Outre les RAS propres à ce regroupement, plusieurs RAS transversaux de la physique 12^e année ont été rattachés aux blocs afin d'illustrer comment ils peuvent s'enseigner pendant l'année scolaire.

	Titre du bloc	RAS inclus dans le bloc	Durée suggérée
Bloc A	L'accélération	P12-1-01, P12-1-02, P12-0-2a, P12-0-2f, P12-0-2g	120 à 140 min
Bloc B	Le mouvement relatif	P12-1-03, P12-0-2h	60 à 90 min
Bloc C	L'équilibre statique	P12-1-04, P12-0-2h	100 à 120 min
Bloc D	Les forces sur un plan incliné	P12-1-05, P12-1-06, P12-1-07, P12-1-08	60 à 90 min
Bloc E	Expérience – les forces	P12-1-09, P12-0-2b, P12-0-2d, P12-0-2e, P12-0-4a	100 à 120 min
Bloc F	L'impulsion et la quantité de mouvement	P12-1-10, P12-1-11, P12-0-2a, P12-0-2c, P12-0-2g	60 à 90 min
Bloc G	La loi de la conservation de la quantité de mouvement	P12-1-12, P12-1-13, P12-1-14, P12-0-2b, 12-0-2d	120 à 140 min
Bloc H	La chute libre	P12-1-15, P12-0-2a	60 à 90 min
Bloc I	Le mouvement projectile	P12-1-16, P12-1-17, 12-1-18, 12-0-2a, 12-0-3e	140 à 160 min
Bloc J	Le mouvement circulaire	P12-1-19, P12-0-2a	60 à 90 min
Bloc K	Les effets centrifuges	P12-1-20, P12-1-21, P12-0-4e	60 à 90 min
Bloc L	L'analyse du mouvement circulaire	P12-1-22, P12-1-23, P12-1-24, P12-0-1e, P12-0-2g	120 à 140 min
Bloc M	Le travail et l'énergie	P12-1-25, P12-1-26, P12-1-27, P12-1-28, P12-0-4b	100 à 120 min
Bloc N	L'énergie cinétique et l'énergie gravitationnelle	P12-1-29, P12-1-30	60 à 90 min
Bloc O	La loi de Hooke	P12-1-31, P12-1-32, P12-0-2a, P12-0-2g	60 à 90 min
Bloc P	La conservation d'énergie	P12-1-33	60 à 90 min
	<i>Récapitulation et objectivation pour le regroupement en entier</i>		100 à 120 min
	Nombre d'heures suggérées pour ce regroupement		24 à 32 h



RESSOURCES ÉDUCATIVES POUR L'ENSEIGNANT

Vous trouverez ci-dessous une liste de ressources éducatives qui se prêtent bien à ce regroupement. Il est possible de se procurer la plupart de ces ressources à la Direction des ressources éducatives françaises (DREF) ou de les commander auprès du Centre des manuels scolaires du Manitoba (CMSM).

[R] indique une ressource recommandée

LIVRES

Éléments de physique: cours d'introduction, de David G. Martindale et Lise Malo, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (1992). ISBN 2-89310-085-6. DREF 530/M384e.

Éléments de physique: cours d'introduction – Guide d'enseignement, de David G. Martindale, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (1994). ISBN 2-89310-173-9. DREF 530/M384e.

[R] **L'enseignement des sciences de la nature au secondaire : Une ressource didactique**, d'Éducation et Formation professionnelle Manitoba (2000). ISBN 0-7711-2139-3. DREF P.D. 507.12 E59. CMSM 93965. [stratégies de pédagogie différenciée]

Physique 1 – Mécanique, de Benson et autres, Éd. du Renouveau pédagogique (1999). ISBN 2-7613-1040-3. DREF 530 B474p.

[R] **Physique 11 – Guide d'enseignement (avec réponses sur cédérom)**, d'Igor Nowikow et Brian Heimbecker, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (2002). ISBN 2-89310-873-3. DREF 530 N948p. CMSM 92898.

[R] **Physique 11 – Manuel de l'élève**, d'Igor Nowikow et Brian Heimbecker, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (2002). ISBN 2-89310-872-5. DREF 530 N948p. CMSM 92303.

[R] **Physique 11, STSE – Manuel de l'élève**, de Sanders. L. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2012). ISBN 978-2-7650-3198-7. DREF (en traitement). CMSM.

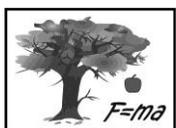
[R] **Physique 11, STSE – Guide d'enseignement numérique**, Éd. Chenelière Éducation (2012). ISBN 978-2-7650-3350-9. CMSM.

[R] **Physique 11-12 – Banque d'évaluation informatisée**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2009). ISBN 978-2-7650-2451-4. DREF 530 A82p.

[R] **Physique 11-12 – Banque d'images**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2009). ISBN 978-2-7650-2452-1. DREF 530 A82p. CMSM 96138.

[R] **Physique 11-12 – Guide d'enseignement 11^e année**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2007). ISBN 978-2-7650-1702-8. DREF 530 A82p. CMSM 96135.

[R] **Physique 11-12 – Guide d'enseignement 12^e année**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2007). ISBN 978-2-7650-1975-6. DREF 530 A82p. CMSM 96136.



- [R] **Physique 11-12 – Manuel de l'élève**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2008). ISBN 978-2-7650-1703-5. DREF 530 A82p. CMSM 97717.
- [R] **Physique 11-12 – Recueil de solutions**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2009). ISBN 978-2-7650-2453-8. DREF 530 A82p. CMSM 96137.
- [R] **Physique 12 – Guide d'enseignement**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615488. DREF 530 H669p 12. CMSM 92899.
- [R] **Physique 12 – Manuel de l'élève**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615341. DREF 530 H669p 12. CMSM 92861.
- [R] **Physique 12 – Matériel reproductible**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615495. DREF 530 H669p 12. CMSM 92863.
- [R] **Physique 12 – Solutionnaire**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615501. DREF 530 H669p 12. CMSM 92864.
- La physique et le monde moderne**, d'Alan Hirsch et Michèle Lemaître, Éd. Guérin (1991). ISBN 2-7601-2400-2. DREF 530.0202/H669p
- Principes fondamentaux de la physique: un cours avancé**, de Martindale, Heath et Eastman, Éd. Guérin (1992). ISBN 2-7601-2445-2. DREF 530 M384p

AUTRES IMPRIMÉS

- L'Actualité**, Éditions Rogers Media, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE. [revue publiée 20 fois l'an; articles d'actualité canadienne et internationale]
- Ça m'intéresse**, Prisma Presse, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; beaucoup de contenu STSE; excellentes illustrations]
- Découvrir : la revue de la recherche**, Association francophone pour le savoir, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE [revue bimestrielle de vulgarisation scientifique; recherches canadiennes]
- Pour la science**, Éd. Bélin, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE [revue mensuelle; version française de la revue américaine *Scientific American*]
- [R] **Québec Science**, La Revue Québec Science, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE. [revue publiée 10 fois l'an]
- [R] **Science et vie junior**, Excelsior Publications, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; excellente présentation de divers dossiers scientifiques; explications logiques avec beaucoup de diagrammes]



[R] **Science et vie**, Excelsior Publications, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; articles plus techniques]

Sciences et avenir, La Revue Sciences et avenir, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE.
[revue mensuelle; articles détaillés] www.sciences-et-avenir.com

MATÉRIEL DIVERS

Mécanique de Newton, Hastings MI. DREF M.-M. 531 M486

VIDÉOCASSETTES ET DVD

La gravité – Du poids et de la masse, collection Eurêka, Prod. TVOntario (1980).
DREF 54898/V8339+G. Service de doublage VIDEO 530.07 E89 03. [10 min]

L'inertie – La masse, collection Eurêka, Prod. TVOntario (1980).
DREF CDLF/V8334+G, V8335+G. Service de doublage VIDEO 530.07 E89 01. [10 min]

[R] **La vitesse – L'accélération**, collection Eurêka, Prod. TVOntario (1980).
DREF CDLG / V8336 + G, V8337 + G. Service de doublage VIDEO 530.07 E89 02. [15 min]

DISQUES NUMÉRISÉS ET LOGICIELS

Physique 12 – Banque de questions informatisées, Éditions Beauchemin (2002).
ISBN 9782761615518. DREF 530 H669p 12.

La physique par l'expérience : simulations, Prod. Sciensoft (1998),
DREF CD-ROM 530 S416.

SITES WEB

Accélération bidimensionnelle.

<http://www.learnalberta.ca/content/sfp20/html/java/acceleration_2D/applet_fr.html>
(juillet 2009). [animation avec plan de leçon]

Agence Science-Pressé. <<http://www.sciencepresse.qc.ca/index.html>> (novembre 2000).
[excellent répertoire des actualités scientifiques issues de nombreuses sources internationales;
dossiers très informatifs]

Analyse graphique du mouvement rectiligne.

<<http://www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/resumes/33a.shtml>> (juillet 2009). [explications]



Animations sur le mouvement rectiligne.

<<http://www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/complements/animMouv.shtml>>
(juillet 2009). [Animations]

Balle de tennis. <<http://subaru2.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/meca/tennis.html>>
(juillet 2009). [animation pour le mouvement projectile]

Chariot de Fletcher.

<http://www.learnalberta.ca/content/sfp20/html/java/fletcher_trolley/applet_fr.html>
(juillet 2009). [animation et plan de leçon – énergie cinétique et potentielle]

Choc élastique à deux dimensions.

<<http://subaru2.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/meca/chocs2d.html>>
(juillet 2009). [animation pour les collisions en deux dimensions]

Choc frontal.

<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/Chocs/Choc_front.html>
(juillet 2009). [animation]

Choc plan sur une cible au repos.

<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/Chocs/choc_plan.html>
(juillet 2009). [animation]

Chocs élastiques. <<http://subaru2.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/meca/chocs.html>>
(juillet 2009). [animation pour les collisions en une dimension]

[R] **Chocs élastiques et inélastiques.** <http://www.walter-fendt.de/ph14f/collision_f.htm> (juillet 2009).
[animation]

Cinématique. <<http://www.cegep-ste-foy.qc.ca/profs/rfoycapsules/mrua.html>> (juillet 2009).
[équation - mouvement rectiligne uniforme]

Coefficient de frottement. <http://www.learnalberta.ca/content/sfp20/html/authorware/Web/CF_Web/index.html> (juillet 2009). [animations et problèmes avec réponses]

Collision à deux dimensions. <http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/Collision/jarapplet.html> (juillet 2009). [animation]

Collision planétaire. <http://www.learnalberta.ca/content/sfp20/html/java/planet_collision/applet_fr.html> (juillet 2009). [animation et plan de leçon – quantité de mouvement, loi de la gravitation universelle]

Condition de collision. <<http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/meca/chasseur.html>> (juillet 2009). [animation]



Conservation de la quantité de mouvement.

<http://www.learnalberta.ca/content/sfp20/html/java/momentum_conservation/applet_fr.html>
(juillet 2009). [animation]

Deuxième loi de Newton. <http://www.walter-fendt.de/ph14f/n2law_f.htm>
(juillet 2009). [animation - mouvement uniformément accéléré].

Energy skate park. <<http://phet.colorado.edu/simulations/translations.php#fr>> (juillet 2009).
[animations en français – énergie cinétique et potentielle]

[R] **Équilibre de trois forces.** <http://www.walter-fendt.de/ph14f/equilibrium_f.htm>
(juillet 2009). [animation - forces équilibrées]

Exercices cinématique 2.

<<http://www.zonedeglisse.com/sciences/sec5/phy/ExercicesCinematique2.pdf>> (juillet 2009).
[exercices de cinématique avec les solutions]

Exercices : mécanique. <<http://olical.free.fr/meca1s/meca1s.htm>> (juillet 2009).

Les lois de Newton. <<http://villemin.gerard.free.fr/Scienmod/NewtLois.htm>> (juillet 2009).

Mouvement avec accélération constante. <http://www.walter-fendt.de/ph14f/acceleration_f.htm>
(juillet 2009). [animation]

[R] **Mouvement circulaire uniforme.**

<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/Cinematique/circ_unif.html>
(juillet 2009). [animation]

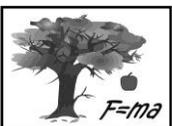
Mouvement d'un projectile. <<http://phet.colorado.edu/simulations/translations.php#fr>>
(juillet 2009). [animations traduites en français]

[R] **Mouvement d'un projectile.** <http://www.learnalberta.ca/content/sfp20/html/authorware/Web/Projectile_Web/index.html> (juillet 2009). [animation et explication graphique du mouvement projectile]

Mouvement d'un projectile. <http://www.walter-fendt.de/ph14f/projectile_f.htm>
(juillet 2009). [animation]

Mouvement projectile. <http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/ProjectileMotion/jarapplet.html> (juillet 2009). [animation]

Mouvement rectiligne. <<http://subaru2.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/meca/coussin.html>> (juillet 2009). [animation pour le mouvement rectiligne]



Le mouvement rectiligne uniformément accéléré.

<<http://www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/resumes/33c.shtml>> (juillet 2009). [explications]

Les mouvements. <<http://olical.free.fr/mvt.htm>> (juillet 2009). [exemples de mouvement relatif]

Les mouvements relatifs. <<http://www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/resumes/31c.shtml>> (juillet 2009). [explication avec illustrations]

Mouvements relatifs selon Galilée.

<<http://www.geneva-link.ch/jdesiebenthal/physique/simulations/mouvements/mvtgrelbat.html>> (juillet 2009). [animation pour le mouvement relatif]

Le nageur, la rivière et le pêcheur.

<<http://www.geneva-link.ch/jdesiebenthal/physique/simulations/mouvements/mvtgrelnag.html>> (juillet 2009). [animation pour le mouvement relatif]

Objectif terminal 3 : La cinématique.

<<http://www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/module3/obj3.shtml>> (juillet 2009). [explications, animations et exercices sur le mouvement rectiligne uniforme, l'accélération uniforme et le mouvement projectile]

Objectif terminal 6 : Énergie potentielle et énergie cinétique.

<<http://www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/resumes/36a.shtml>> (juillet 2009). [explications et exercices sur l'énergie potentielle et l'énergie cinétique]

[R] **Plan incliné.** <http://www.walter-fendt.de/ph14f/inclplane_f.htm> (juillet 2009). [animation - force et plan incliné]

Plan incliné. <<http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/meca/incline.html>> (juillet 2009). [animation - force et plan incliné]

Poulie d'Atwood.

<http://www.learnalberta.ca/content/sfp20/html/java/atwood_massive/applet_fr.html> (juillet 2009). [animation - énergie cinétique et énergie potentielle]

Première journée au boulot. <http://pbl.ccdmd.qc.ca/fr/resultat.php?action=prob_tous&he=960> (juillet 2009). [scénario d'apprentissage par problèmes pour la cinématique en une dimension].

[R] **Projectile motion.**

<http://galileoandstein.physics.virginia.edu/more_stuff/Applets/ProjectileMotion/jarapplet.html> (août 2010). [L'animation propose divers choix de langue dont le français].



Saisie de données.

<http://www.learnalberta.ca/content/sfp20/html/authorware/Web/Values_Web/index.html>
(juillet 2009). [animation - mouvement projectile]

- [R] **Sciences en ligne.** <<http://www.sciences-en-ligne.com/>> (octobre 2000). [excellent magazine en ligne sur les actualités scientifiques; comprend un dictionnaire interactif pour les sciences, à l'intention du grand public]

Traceur de graphique de mouvement non-uniforme unidimensionnel.

<http://www.learnalberta.ca/content/sfp20/html/java/motionbuilder_1D_nonuniform/applet_fr.html> (juillet 2009). [animation permettant de construire et d'analyser des graphiques].

- [R] **Two-dimensional collisions.**

<http://galileoandstein.physics.virginia.edu/more_stuff/Applets/Collision/jarapplet.html>
(août 2010). [L'animation propose divers choix de langue dont le français].

La vitesse. <<http://olical.free.fr/vitesse.swf>> (juillet 2009). [exercices sur le calcul de la vitesse]



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE THÉMATIQUES

L'élève sera apte à :

- P12-1-01 dériver les équations spéciales de l'accélération constante,
entre autres $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a}\Delta t$; $\Delta\vec{d} = \vec{v}_1\Delta t + \frac{1}{2}\vec{a}\Delta t^2$; $v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta d$;
RAG : D4, E2
- P12-1-02 résoudre des problèmes pour des objets se déplaçant en ligne droite, avec une accélération constante,
entre autres $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a}\Delta t$; $\Delta\vec{d} = \vec{v}_1\Delta t + \frac{1}{2}\vec{a}\Delta t^2$; $v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta d$; $\Delta\vec{d} = \left(\frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2}\right)\Delta t$;
RAG : E2
- P12-1-03 résoudre au moyen de vecteurs des problèmes sur le mouvement relatif pour des objets se déplaçant à une vitesse vectorielle constante;
RAG : D3
- P12-1-04 résoudre des problèmes vectoriels reliés à l'équilibre statique;
RAG : D3
- P12-1-05 tracer un diagramme des forces agissant sur un objet situé sur un plan incliné,
entre autres la force normale, la force de frottement, les composantes de la force gravitationnelle;
RAG : D4
- P12-1-06 calculer les composantes de la force gravitationnelle exercée sur un objet situé sur un plan incliné;
RAG : D4
- P12-1-07 résoudre des problèmes reliés au coefficient de frottement,
entre autres des objets sur une surface horizontale, des objets sur un plan incliné;
RAG : D4, E3
- P12-1-08 résoudre des problèmes au moyen de la formule $\vec{F}_{nette} = m\vec{a}$, où
 $\vec{F}_{nette} = \vec{F}_{appliquée} + \vec{F}_{frottement}$ et des équations cinématique énoncées au résultat d'apprentissage spécifique P12-1-02,
entre autres une force appliquée à un angle par rapport au mouvement horizontal, des systèmes de masses combinées; une force appliquée sur un objet situé sur un plan incliné; des forces agissant sur un corps à des angles divers;
RAG : D4, E3



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE THÉMATIQUES (suite)

- P12-1-09 mener une expérience pour étudier les forces agissant sur un objet;
RAG : A2, C5
- P12-1-10 dériver l'équation d'impulsion à partir de la deuxième loi de Newton;
RAG : D4
- P12-1-11 déterminer l'impulsion à partir de l'aire entre la courbe et l'axe horizontal d'un graphique de la force en fonction du temps,
entre autres une force constante positive et négative, une force uniformément changeante;
RAG : D4
- P12-1-12 mener une expérience pour vérifier la loi de conservation de la quantité de mouvement dans une dimension et dans deux dimensions;
RAG : C5
- P12-1-13 résoudre des problèmes au moyen de l'équation d'impulsion et de la loi de conservation de la quantité de mouvement;
RAG : D4
- P12-1-14 décrire la relation entre l'équation d'impulsion et des situations réelles,
par exemple frapper ou attraper une balle;
RAG : A5, B4, C8
- P12-1-15 résoudre des problèmes sur des objets en chute libre au moyen des équations spéciales de l'accélération constante,
entre autres les composantes horizontales et verticales du mouvement correspondant à la trajectoire incurvée d'un projectile (avec ou sans résistance de l'air);
RAG : D4, E3
- P12-1-16 tracer des diagrammes de force pour un projectile à différents points le long de sa trajectoire (avec ou sans résistance de l'air);
RAG : D4
- P12-1-17 calculer les composantes horizontale et verticale de la vitesse vectorielle d'un projectile à différents points le long de sa trajectoire;
RAG : D4
- P12-1-18 résoudre des problèmes reliés aux projectiles lancés à l'horizontale et à des angles divers par rapport à l'horizontale afin de calculer la hauteur maximale, la distance parcourue et la durée totale du déplacement du projectile;
RAG : D4



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE THÉMATIQUES (suite)

- P12-1-19 expliquer en termes qualitatifs pourquoi un objet se déplaçant en cercle à une vitesse constante subit une accélération vers le centre du cercle;
RAG : C2, D4
- P12-1-20 discuter des effets centrifuges en se référant aux lois de Newton;
RAG : C8, D4
- P12-1-21 tracer des diagrammes de force pour un objet décrivant un mouvement circulaire uniforme;
RAG : D4
- P12-1-22 mener une expérience pour établir le rapport mathématique entre la période et la fréquence et une ou plusieurs des valeurs suivantes : la force centripète, la masse et le rayon;
RAG : C3
- P12-1-23 dériver une équation permettant de calculer la vitesse constante et l'accélération d'un objet décrivant un mouvement circulaire uniforme ($v = \frac{2\pi r}{T}$, $a_c = \frac{v^2}{r}$);
RAG : D4
- P12-1-24 résoudre au moyen des formules suivantes des problèmes pour des objets se déplaçant avec un mouvement circulaire uniforme : $a = \frac{v^2}{r}$, $v = \frac{2\pi r}{T}$ et $\vec{F}_{nette} = m\vec{a}$;
RAG : D4
- P12-1-25 définir le travail comme le produit du déplacement et de la composante d'une force parallèle au déplacement lorsque la force est constante;
RAG : D4, E3
- P12-1-26 déterminer le travail à partir de l'aire entre la courbe et l'axe horizontal d'un graphique de la force en fonction de la position pour n'importe quelle force, entre autres une force positive ou négative, une force uniformément changeante;
RAG : C2, D4
- P12-1-27 décrire le travail comme un transfert d'énergie, entre autres un travail positif et négatif, l'énergie cinétique et la conservation de l'énergie;
RAG : E2, E4
- P12-1-28 fournir des exemples de diverses formes d'énergie et décrire de façon qualitative de quelle manière elles peuvent exécuter un travail;
RAG : E2, E4



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE THÉMATIQUES (suite)

- P12-1-29 dériver l'équation pour l'énergie cinétique au moyen de $W = \vec{F} \Delta \vec{d} \cos \theta$ et des équations de cinématique;
RAG : D4
- P12-1-30 dériver l'équation pour l'énergie potentielle gravitationnelle près de la surface de la Terre ($E_p = mgh$);
RAG : D4, D6
- P12-1-31 mener une expérience pour vérifier la loi de Hooke ($\vec{F} = -K\vec{x}$);
RAG : C2, C5
- P12-1-32 dériver l'équation pour l'énergie potentielle d'un ressort à partir de la loi de Hooke et d'un graphique de la force en fonction du déplacement;
RAG : D4
- P12-1-33 résoudre des problèmes liés à la conservation de l'énergie, entre autres l'énergie potentielle gravitationnelle, l'énergie potentielle élastique, l'énergie cinétique.
RAG : D4



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES TRANSVERSAUX

L'élève sera apte à :

Nature des sciences

- P12-0-1a expliquer le rôle que jouent les théories, les données et les modèles dans l'élaboration de connaissances scientifiques;
RAG : A2
- P12-0-1b décrire l'importance de la revue par des pairs dans l'évaluation et l'acceptation de théories, de données et d'affirmations;
RAG : A4, B1
- P12-0-1c rattacher l'historique des idées scientifiques et de la technologie à la forme et à la fonction du savoir scientifique actuel;
RAG : B1
- P12-0-1d décrire comment des connaissances scientifiques évoluent à la lumière de nouvelles données et à mesure que de nouvelles idées et de nouvelles interprétations sont avancées;
RAG : A1, A2
- P12-0-1e établir la différence entre l'explication des phénomènes naturels par les théories scientifiques, et la description des régularités et des constantes de la nature au moyen des lois scientifiques;
RAG : A2, D6

Étude scientifique

- P12-0-2a employer les modes de représentation visuelle, numérique, symbolique ou graphique pour découvrir et représenter des relations tout en choisissant le mode le plus approprié;
RAG : C2, C3
- P12-0-2b mener une expérience scientifique en posant une question initiale, en énonçant des hypothèses et en planifiant, en adaptant ou en poussant plus loin une démarche expérimentale;
RAG : C5, C7
- P12-0-2c formuler des définitions opérationnelles de variables ou de concepts importants;
RAG : A2, C8
- P12-0-2d estimer et mesurer avec exactitude, en utilisant les unités du Système international (SI);
RAG : C4, C6
- P12-0-2e évaluer la pertinence, la fiabilité et l'adéquation de données et de méthodes de collecte de données,
entre autres les sources d'erreur et l'écart dans les résultats;
RAG : C5, C8



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES TRANSVERSAUX (SUITE)

- P12-0-2f enregistrer, organiser et présenter des données dans un format approprié, entre autres des diagrammes avec légendes, des tableaux, des graphiques;
RAG : C6, C7
- P12-0-2g Inférer et calculer des relations directes, des relations proportionnelles au carré et des relations inversement proportionnelles entre des variables à l'aide de modèles mathématiques;
RAG : C3, C8
- P12-0-2h analyser des problèmes au moyen de vecteurs, entre autres l'addition et la soustraction de vecteurs à n'importe quel angle;
RAG : C2, C3
- P12-0-2i sélectionner et intégrer de l'information obtenue à partir d'une variété de sources, entre autres imprimées, électroniques, humaines;
RAG : C6, C8

Sciences, technologie, société et environnement (STSE)

- P12-0-3a analyser, selon diverses perspectives, des avantages et des inconvénients pour la société et l'environnement lorsqu'on applique des connaissances scientifiques ou on introduit une technologie particulière;
RAG : B1, B2
- P12-0-3b décrire des exemples d'évolution de la technologie à la suite de progrès dans le savoir scientifique, et des exemples d'évolution du savoir scientifique résultant d'innovations technologiques;
RAG : A2, B2
- P12-0-3c relever des enjeux d'ordre social liés aux sciences et à la technologie, en tenant compte des besoins humains et environnementaux et des considérations éthiques;
RAG : B3, B5
- P12-0-3d appliquer le processus de prise de décisions à un enjeu STSE;
RAG : B5, C4
- P12-0-3e soulever un problème, en rechercher une solution technologique ou autre et la réaliser;
RAG : B4, C4, C6



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES TRANSVERSAUX (suite)

Attitudes

- P12-0-4a faire preuve d'habitudes de travail qui tiennent compte de la sécurité personnelle et collective, et qui témoignent de son respect pour l'environnement;
RAG : C1, C2
- P12-0-4b travailler en coopération pour rassembler des connaissances antérieures, exprimer et échanger des idées, mener une étude scientifique, résoudre des problèmes et examiner des enjeux;
RAG : C7
- P12-0-4c faire preuve de confiance dans sa capacité de mener une étude scientifique, de résoudre des problèmes et d'examiner en enjeu STSE;
RAG : C3, C5
- P12-0-4d acquérir un sens de responsabilité personnelle et collective au regard de l'impact des êtres humains sur l'environnement, et prendre en considération les conséquences d'actions prévues sur la société et l'environnement;
RAG : B1, B2
- P12-0-4e manifester un intérêt soutenu et plus éclairé dans les sciences et les questions d'ordre scientifique;
RAG : B4, B5
- P12-0-4f valoriser l'ouverture d'esprit, le scepticisme, l'honnêteté, l'exactitude, la précision et la persévérance en tant qu'états d'esprit scientifiques et technologiques.
RAG : C5



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE GÉNÉRAUX

Le but des résultats d'apprentissage manitobains en sciences de la nature est d'inculquer à l'élève un certain degré de culture scientifique qui lui permettra de devenir un citoyen renseigné, productif et engagé. **Une fois sa formation scientifique au primaire, à l'intermédiaire et au secondaire complétée, l'élève sera apte à :**

Nature des sciences et de la technologie

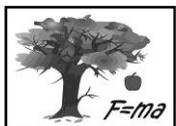
- A1. reconnaître à la fois les capacités et les limites des sciences comme moyen de répondre à des questions sur notre monde et d'expliquer des phénomènes naturels;
- A2. reconnaître que les connaissances scientifiques se fondent sur des données, des modèles et des explications, et évoluent à la lumière de nouvelles données et de nouvelles conceptualisations;
- A3. distinguer de façon critique les sciences de la technologie, en fonction de leurs contextes, de leurs buts, de leurs méthodes, de leurs produits et de leurs valeurs;
- A4. identifier et apprécier les contributions qu'ont apportées des femmes et des hommes issus de diverses sociétés et cultures à la compréhension de notre monde et à la réalisation d'innovations technologiques;
- A5. reconnaître que les sciences et la technologie interagissent et progressent mutuellement;

Sciences, technologie, société et environnement (STSE)

- B1. décrire des innovations scientifiques et technologiques, d'hier et d'aujourd'hui, et reconnaître leur importance pour les personnes, les sociétés et l'environnement à l'échelle locale et mondiale;
- B2. reconnaître que les poursuites scientifiques et technologiques ont été et continuent d'être influencées par les besoins des humains et le contexte social de l'époque;
- B3. identifier des facteurs qui influent sur la santé et expliquer des liens qui existent entre les habitudes personnelles, les choix de style de vie et la santé humaine aux niveaux personnel et social;
- B4. démontrer une connaissance et un intérêt personnel pour une gamme d'enjeux, de passe-temps et de métiers liés aux sciences et à la technologie;
- B5. identifier et démontrer des actions qui favorisent la durabilité de l'environnement, de la société et de l'économie à l'échelle locale et mondiale;

Habiletés et attitudes scientifiques et technologiques

- C1. reconnaître les symboles et les pratiques liés à la sécurité lors d'activités scientifiques et technologiques ou dans sa vie de tous les jours, et utiliser ces connaissances dans des situations appropriées;
- C2. démontrer des habiletés appropriées lorsqu'elle ou il entreprend une étude scientifique;
- C3. démontrer des habiletés appropriées lorsqu'elle ou il s'engage dans la résolution de problèmes technologiques;
- C4. démontrer des habiletés de prise de décisions et de pensée critique lorsqu'elle ou il adopte un plan d'action fondé sur de l'information scientifique et technologique;



- C5. démontrer de la curiosité, du scepticisme, de la créativité, de l'ouverture d'esprit, de l'exactitude, de la précision, de l'honnêteté et de la persistance, et apprécier l'importance de ces qualités en tant qu'états d'esprit scientifiques et technologiques;
- C6. utiliser des habiletés de communication efficaces et des technologies de l'information afin de recueillir et de partager des idées et des données scientifiques et technologiques;
- C7. travailler en collaboration et valoriser les idées et les contributions d'autrui lors de ses activités scientifiques et technologiques;
- C8. évaluer, d'une perspective scientifique, les idées et les renseignements rencontrés au cours de ses études et dans la vie de tous les jours;

Connaissances scientifiques essentielles

- D1. comprendre les structures et les fonctions vitales qui sont essentielles et qui se rapportent à une grande variété d'organismes, dont les humains;
- D2. comprendre diverses composantes biotiques et abiotiques, ainsi que leurs interactions et leur interdépendance au sein d'écosystèmes, y compris la biosphère en entier;
- D3. comprendre les propriétés et les structures de la matière ainsi que diverses manifestations et applications communes des actions et des interactions de la matière;
- D4. comprendre comment la stabilité, le mouvement, les forces ainsi que les transferts et les transformations d'énergie jouent un rôle dans un grand nombre de contextes naturels et fabriqués;
- D5. comprendre la composition de l'atmosphère, de l'hydrosphère et de la lithosphère ainsi que des processus présents à l'intérieur de chacune d'elles et entre elles;
- D6. comprendre la composition de l'Univers et les interactions en son sein ainsi que l'impact des efforts continus de l'humanité pour comprendre et explorer l'Univers;

Concepts unificateurs

- E1. décrire et apprécier les similarités et les différences parmi les formes, les fonctions et les régularités du monde naturel et fabriqué;
- E2. démontrer et apprécier comment le monde naturel et fabriqué est composé de systèmes et comment des interactions ont lieu au sein de ces systèmes et entre eux;
- E3. reconnaître que des caractéristiques propres aux matériaux et aux systèmes peuvent demeurer constantes ou changer avec le temps et décrire les conditions et les processus en cause;
- E4. reconnaître que l'énergie, transmise ou transformée, permet à la fois le mouvement et le changement, et est intrinsèque aux matériaux et à leurs interactions.



Bloc A L'accélération

L'élève sera apte à :

P12-1-01 dériver les équations spéciales de l'accélération constante;

$$\text{entre autres } \vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a}\Delta t; \Delta \vec{d} = \vec{v}_1 t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2; v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta d;$$

RAG : D4, E2

P12-1-02 résoudre des problèmes pour des objets se déplaçant en ligne droite, avec une accélération constante;

$$\text{entre autres : } \vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a}\Delta t; \Delta \vec{d} = \vec{v}_1 t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2; v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta d; \vec{d} = \left(\frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2} \right) \Delta t;$$

P12-0-2a employer les modes de représentation visuelle, numérique, symbolique ou graphique pour découvrir et représenter des relations tout en choisissant le mode le plus approprié;

RAG : C2, C3

P12-0-2f enregistrer, organiser et présenter des données dans un format approprié,

entre autres des diagrammes avec légendes, des tableaux, des graphiques, le multimédia;

RAG : C6, C7

P12-0-2g inférer et calculer des relations directes, des relations proportionnelles au carré et des relations inversement proportionnelles entre des variables à l'aide de modèles mathématiques.

RAG : C3, C8

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Faire ressortir les connaissances antérieures des élèves à l'aide de la stratégie « SVA » (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 9.8-9.10).

OU

②

Inviter les élèves à compléter l'exercice de ① l'annexe 1. Effectuer une mise en commun des réponses et revoir au besoin certains concepts. Le corrigé figure à ① l'annexe 2.

En 10^e année, les élèves ont étudié la cinématique en utilisant l'automobile comme contexte. Ils ont étudié la vitesse vectorielle ainsi que l'accélération. Cette approche était plutôt qualitative, avec l'accent sur le mode de représentation visuel. En *Physique 30S*, les élèves ont approfondi ces concepts en étudiant les relations linéaires, avec l'accent sur l'analyse des graphiques à l'aide du calcul de la pente. Les élèves ont utilisé le concept d'accélération moyenne pour la résolution de problèmes en *Physique 30S*. En *Physique 40S*, les élèves complètent leur étude de la cinématique en étudiant les équations spéciales de l'accélération constante. Ils ont progressé d'une compréhension plutôt qualitative en 10^e année, à un modèle mathématique simple en 11^e année puis à une approche mathématique plus complexe en 12^e année. Les élèves devraient avoir l'occasion de résoudre une variété de problèmes de cinématique, y inclus l'utilisation de la formule quadratique. Cette équation peut être utilisée à plusieurs moments dans le cours.



En quête

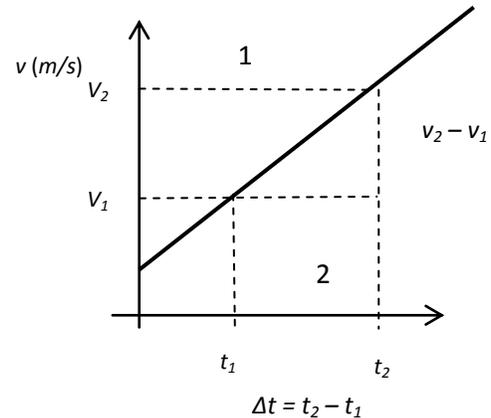
Activité de laboratoire – Le mouvement accéléré

Proposer aux élèves de recueillir des données pour des objets en mouvement accéléré (par exemple une bille qui roule le long d'un plan incliné ou un objet qui tombe). Inviter les élèves à prédire la forme des graphiques de la position en fonction du temps ainsi que des graphiques de la vitesse vectorielle en fonction du temps pour chaque mouvement étudié. Leur demander de tracer des graphiques de la position en fonction du temps et de la vitesse vectorielle en fonction du temps à partir des données recueillies. Le graphique de la vitesse vectorielle en fonction du temps devrait être oblique. Rappeler aux élèves qu'on peut déterminer le déplacement de l'objet en calculant la surface entre le graphique et l'axe horizontal (voir ① l'annexe 11 du regroupement de mécanique dans le *Document de mise en œuvre, Physique secondaire 3*). Si la vitesse initiale de l'objet est zéro, la surface est un triangle et peut être calculée avec l'équation $\Delta \vec{d} = \frac{1}{2}(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)\Delta t$.

Enseignement direct – Les équations spéciales de l'accélération constante

Demander aux élèves de choisir un intervalle de temps sur leur graphique où \vec{v}_1 a une valeur autre que zéro.

La surface entre le graphique et l'axe horizontal est un trapèze et correspond au déplacement de l'objet pour cet intervalle de temps. Ce trapèze peut être divisé en un rectangle (numéro 2 sur le diagramme) et un triangle (numéro 1 sur le diagramme) pour le calcul de l'aire ($\Delta \vec{d}$ = aire du rectangle + aire du triangle).



Inviter les élèves à déterminer la formule pour le calcul de l'aire du rectangle ($\vec{v}_1 \Delta t$), puis la formule pour le calcul de l'aire de triangle ($\frac{1}{2}(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)\Delta t$). Cela nous donne l'équation $\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 t + \frac{1}{2}(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)\Delta t$. Inviter les élèves à calculer le déplacement pour l'intervalle de temps qu'ils ont choisie.

Faire remarquer aux élèves qu'il est possible de simplifier cette équation.

$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$ alors $\vec{v}_2 - \vec{v}_1 = \vec{a}\Delta t$ donc $\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 \Delta t + \frac{1}{2}(\vec{a}\Delta t)\Delta t$, et $\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 t + \frac{1}{2}\vec{a}\Delta t^2$.
C'est la première équation spéciale que les élèves doivent être en mesure de dériver.

Démontrer aux élèves comment dériver de façon algébrique la deuxième équation spéciale. On doit éliminer Δt de deux équations.

1^{re} équation : Rappeler aux élèves qu'ils peuvent déterminer le déplacement en utilisant la vitesse vectorielle moyenne pour l'intervalle de temps ($\Delta \vec{d} = \vec{v}_{moy}\Delta t$).

$$\vec{v}_{moy} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2}, \text{ donc } \Delta \vec{d} = \left(\frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2}\right)\Delta t.$$



2^e équation : $\vec{v}_2 - \vec{v}_1 = \vec{a}\Delta t$

Inviter les élèves à isoler Δt pour la première équation. Cela devrait donner $\Delta t = \frac{2\Delta d}{v_1 + v_2}$.

Ensuite leur demander de substituer cette équation pour Δt dans la deuxième équation.

Cela devrait donner $v_2 - v_1 = a \frac{2\Delta d}{v_1 + v_2}$. Multiplier $v_1 + v_2$ des deux côtés pour obtenir

$(v_1 + v_2)(v_2 - v_1) = 2a\Delta d$. On peut simplifier pour obtenir $v_2^2 - v_1^2 = 2a\Delta d$.

Expliquer aux élèves que les équations spéciales permettent de résoudre en seulement une étape, des problèmes qui auraient pris deux ou trois étapes à résoudre avec les équations utilisées dans le cours de *Physique 30S*. Pour démontrer ceci, les inviter à résoudre le problème qui suit à l'aide des formules de

la 11^e année ($\vec{v}_{moy} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2}$, $\vec{v}_{moy} = \frac{\Delta \vec{d}}{\Delta t}$, et $\vec{a}_{moy} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$) et ensuite à l'aide des équations spéciales.

Une sprinteuse s'approche de la ligne d'arrivée à la vitesse de 1,25 m/s. Elle accélère pour 2,45 s lors des 3,5 derniers mètres de la course. Calcule son accélération durant cet intervalle de temps.

$$\vec{v}_1 = 1,25 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 2,4 \text{ s}$$

$$\Delta \vec{d} = 3,5 \text{ m}$$

$$\vec{a} = ?$$

1^{re} méthode : On doit trouver \vec{v}_1 pour faire le calcul de l'accélération, mais il faut d'abord déterminer la vitesse vectorielle moyenne :

$$\vec{v}_{moy} = \frac{\Delta \vec{d}}{\Delta t}$$

$$\vec{v}_{moy} = \frac{3,5 \text{ m}}{2,4 \text{ s}}$$

$$\vec{v}_{moy} = 1,46 \text{ m/s}$$

On peut maintenant calculer \vec{v}_1 :

$$\vec{v}_{moy} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2}$$

$$\frac{2\vec{v}_{moy}}{\Delta t} - \vec{v}_1 = \vec{v}_2$$

$$2(1,46 \text{ m/s}) - 1,25 \text{ m/s} = \vec{v}_2$$

$$1,67 \text{ m/s} = \vec{v}_2$$



Enfin, on peut calculer \vec{a} :

$$\vec{a}_{moy} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$$\vec{a}_{moy} = \frac{1,67 \text{ m/s} - 1,25 \text{ m/s}}{2,4 \text{ s}}$$

$$\vec{a}_{moy} = 0,18 \text{ m/s}^2$$

2^e méthode : On doit seulement utiliser une équation spéciale au lieu des trois équations de la première méthode.

$$\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 \Delta t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2$$

$$\Delta \vec{d} - \vec{v}_1 \Delta t = \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2$$

$$\frac{2(\Delta \vec{d} - \vec{v}_1 \Delta t)}{\Delta t^2} = \vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{2(3,5 \text{ m} - (1,25 \text{ m/s} \times 2,4 \text{ s}))}{(2,4 \text{ s})^2}$$

$$\vec{a} = \frac{2(3,5 \text{ m} - 3,0 \text{ m})}{5,8 \text{ s}^2}$$

$$\vec{a} = 0,17 \text{ m/s}^2$$

Résolution de problèmes – Le mouvement accéléré

Inviter les élèves à résoudre des problèmes à l'aide des équations de cinématique (voir  l'annexe 3, *Physique 12*, p. 27 ou *Physique 11-12*, p. 53). Corriger ces problèmes en classe pour s'assurer que les élèves saisissent bien les concepts. Le corrigé de  l'annexe 3 figure à  l'annexe 4.

En fin

1

Inviter les élèves à démontrer la dérivation des équations spéciales ainsi que la résolution de problèmes avec les équations spéciales, à l'aide de notes explicatives (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 13-14 et 13-15).



 Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à dériver les équations suivantes à l'aide d'un graphique de la vitesse vectorielle en fonction du temps : $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{t}$; $\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 \Delta t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2$.

②

Inviter les élèves à dériver de façon algébrique l'équation $v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta d$ à partir des équations $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ et $\Delta \vec{d} = \left(\frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2} \right) \Delta t$.

③

Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de  l'annexe 3.

④

Ramasser les carnets scientifiques des élèves afin d'évaluer leur habileté à enregistrer, à organiser et à présenter des données dans un format approprié, à interpréter des régularités et des tendances dans les données et à calculer des relations entre les variables

⑤

Inviter les élèves à créer leurs propres problèmes en utilisant les équations spéciales de l'accélération avec les réponses correspondantes. Inviter les élèves à échanger leurs problèmes pour vérifier les réponses.



Bloc B Le mouvement relatif

L'élève sera apte à :

P12-1-03 résoudre au moyen de vecteurs des problèmes sur le mouvement relatif pour des objets se déplaçant à une vitesse vectorielle constante;

RAG : D3

P12-0-2h analyser des problèmes au moyen de vecteurs, entre autres l'addition et la soustraction de vecteurs à n'importe quel angle.

RAG : C2, C3

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

❶

Inviter les élèves à compléter l'exercice de ④ l'annexe 5 afin de faire ressortir leurs connaissances antérieures (le corrigé figure à ④ l'annexe 6).

OU

❷

Inviter les élèves à prédire le mouvement de la balle si le cycliste dans l'illustration qui suit la laisse tomber.

- Comment la balle semble-t-elle tomber selon le cycliste? (La balle semble tomber tout droit vers le sol.)



- Selon un observateur sur le bord de la route? (La balle semble tomber vers l'avant avec une trajectoire courbée.)



En *Physique 30S*, les élèves ont additionné et soustrait des vecteurs en ligne droite et à angle droit. Ils ont aussi déterminé les composantes des vecteurs. En *Physique 40S*, les élèves doivent additionner et soustraire des vecteurs à n'importe quel angle en déterminant leurs composantes, en appliquant les rapports trigonométriques (sinus, cosinus et tangente), ou en appliquant les lois du sinus et du cosinus. Les élèves en mathématiques ont étudié les rapports trigonométriques en 10^e année et les lois du sinus et du cosinus en 11^e année (pré-calcul et mathématiques appliquées), et en 12^e année (mathématiques au quotidien).

Lorsqu'un objet semble avoir un mouvement selon un premier observateur, mais un mouvement différent selon un deuxième observateur, on dit qu'il s'agit de mouvement relatif parce que les observateurs font partie de **systèmes de référence** différents. Par exemple, un bateau voyage à 60 km/h vers l'est dans une rivière qui coule vers l'ouest à une vitesse de 25 km/h. Selon le conducteur du bateau, ce dernier se déplace à une vitesse de 60 km/h vers l'est. Cependant, selon l'observateur sur la rive, le bateau voyage à une vitesse de 35 km/h car son système de référence comprend le mouvement du bateau ainsi que le mouvement de l'eau.

En quête

Enseignement direct – Le mouvement relatif

Introduire aux élèves le concept de mouvement relatif à l'aide des exemples à l'annexe 7, de *Physique 11*, p. 93-107 ou de *Physique 11-12*, p. 91-100).

Résolution de problèmes – Le mouvement relatif

Inviter les élèves à résoudre des problèmes de vitesse relative (voir l'annexe 8 ou *Physique 11*, p. 114-116). Le corrigé de l'annexe 8 figure à l'annexe 9.

En fin

1

Inviter les élèves à décrire la nage à travers d'un cours d'eau qui a un courant. Les élèves peuvent déterminer dans quelles conditions ils peuvent nager afin d'avoir une vitesse vectorielle résultante qui traverse directement la rivière. Les élèves peuvent aussi comparer la nage à travers un cours d'eau sans courant et la nage à travers un cours d'eau avec un courant.

Le site *Le mouvement simple* <http://www.defl.ca/~rocks_dev/modules/1.1_mouvement/02mouvement_simple.html> présente une animation qui illustre le mouvement relatif.

OU

2

Inviter les élèves à résoudre des problèmes de vitesse vectorielle relative à l'aide de notes explicatives (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 13.14 et 13.15).

Stratégies d'évaluation suggérées

1

Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de l'annexe 8.



Bloc C L'équilibre statique

L'élève sera apte à :

P12-1-04 résoudre des problèmes vectoriels reliés à l'équilibre statique;
RAG : D3

P12-0-2h analyser des problèmes au moyen de vecteurs,
entre autres l'addition et la soustraction de vecteurs à n'importe quel angle.
RAG : C2, C3

STRATÉGIES D'ENSEIGNEMENT SUGGÉRÉES

En tête

①

Placer une ficelle entre deux dynamomètres.
Suspendre une masse de 1 kg entre les dynamomètres et inviter les élèves à noter la force. Augmenter la masse et noter la force sur les deux dynamomètres.
Poser les questions suivantes aux élèves :

- *Qu'est-ce qui arrive à la tension dans les ficelles lorsque la masse augmente?*
(La tension dans les ficelles augmente.)
- *Si la masse double, est-ce que la tension dans chaque ficelle double?*
(La tension dans chaque ficelle va aussi doubler.)

On dit qu'un corps est en équilibre lorsque la somme des forces agissant sur lui est égale à zéro. En *Physique 40S*, on s'attend que les élèves puissent résoudre des problèmes reliés à l'équilibre avec des forces agissant à n'importe quel angle.

En quête

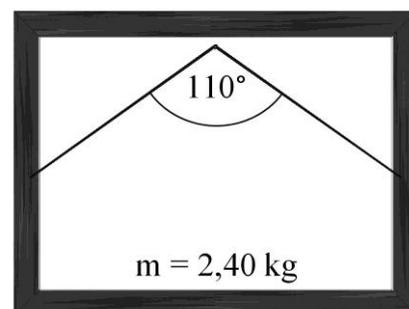
Enseignement direct – L'équilibre statique

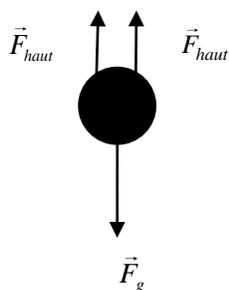
Démontrer aux élèves comment résoudre des problèmes d'équilibre statique à l'aide de l'exemple suivant :

Problème : *Calcule la tension dans le fil qui sert à suspendre le cadre.*

On doit premièrement calculer le poids du cadre.

$$\vec{F} = m\vec{g} = (2,40 \text{ kg})(9,8 \text{ N/kg}) = 24 \text{ N vers le bas}$$



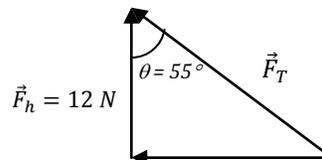


La force totale qui agit vers le haut est égale à la force totale qui agit vers le bas, car il s'agit d'un équilibre statique (l'objet ne bouge pas).

Puisqu'il y a deux fils qui tiennent le cadre, la force dans chaque fil est égale à la moitié de la force totale vers le bas, donc 12 N vers le haut. L'angle entre les deux fils est de 110° donc l'angle par rapport à la verticale est de 55° pour chaque fil.

On dessine un diagramme vectoriel.

L'hypoténuse représente la tension dans le fil.
On peut calculer cette force avec l'équation :



$$\cos 55^\circ = \frac{12 \text{ N}}{F_T}$$

$$F_T = \frac{12 \text{ N}}{\cos 55^\circ}$$

$$F_T = 21 \text{ N}$$

Activité de laboratoire – L'équilibre statique

Proposer aux élèves d'effectuer une expérience de laboratoire afin d'analyser des problèmes reliés à l'équilibre statique (voir *Physique 12*, p. 112 ou *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 250). On peut aussi d'utiliser des simulations Internet telles que *Équilibre de trois forces* <http://www.walter-fendt.de/ph14f/equilibrium_f.htm>.

Résolution de problèmes

Inviter les élèves à compléter l'exercice de @ l'annexe 10. Corriger ces problèmes en classe pour s'assurer que les élèves saisissent bien les concepts. Le corrigé figure à @ l'annexe 11.

En fin

①

Inviter les élèves à construire un mobile. Pour cette construction, les élèves doivent s'assurer que la somme de toutes les forces soit égale à zéro, sinon le mobile ne pend pas correctement.

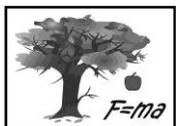
Stratégies d'évaluation suggérées

①

Ramasser les carnets scientifiques des élèves afin d'évaluer leur habileté à enregistrer, à organiser et à présenter des données dans un format approprié.

②

Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de @ l'annexe 10.



Bloc D

Les forces sur un plan incliné

L'élève sera apte à :

P12-1-05 tracer un diagramme des forces agissant sur un objet situé sur un plan incliné;
entre autres la force normale, la force de frottement, les composantes de la force gravitationnelle;
RAG : D4

P12-1-06 calculer les composantes de la force gravitationnelle exercée sur un objet situé sur un plan incliné;
RAG : D4

P12-1-07 résoudre des problèmes reliés au coefficient de frottement,
entre autres des objets sur une surface horizontale, des objets sur un plan incliné;
RAG; D4, E3

P12-1-08 résoudre des problèmes au moyen de la formule $\vec{F}_{nette} = m\vec{a}$ où
 $\vec{F}_{nette} = \vec{F}_{appliquée} + \vec{F}_{frottement}$ et des équations cinématique énoncées au résultat
d'apprentissage spécifique P12-1-02,
entre autres une force appliquée à un angle par rapport au mouvement horizontal, des systèmes
de masses combinées; une force appliquée sur un objet situé sur un plan incliné; des forces
agissant sur un corps à des angles divers.
RAG : D4, E3

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Activer les connaissances antérieures des élèves en les invitant à dessiner un diagramme de force pour un objet situé sur un plan incliné. S'assurer que les élèves puissent identifier toutes les forces qui agissent sur l'objet (force gravitationnelle, force normale, force de frottement).

OU

②

Faire ressortir les connaissances antérieures des élèves sur les forces par l'entremise de ☹ l'annexe 12.
Effectuer une mise en commun des réponses et revoir au besoin certains concepts.

(Réponses de ☹ l'annexe 12 : 1. force gravitationnelle, force normale; 2. force gravitationnelle, résistance de l'air; 3. force gravitationnelle, force de tension; 4. force gravitationnelle, force normale, force de frottement, résistance de l'air, force appliquée (texte) force gravitationnelle, force normale, force de frottement (table); 5. force gravitationnelle, force de frottement, force normale; 6. force gravitationnelle, force de frottement, force normale, résistance de l'air).

En *Physique 30S*, les élèves ont étudié de façon qualitative les forces agissant sur des objets sur un plan incliné. Les élèves ont aussi étudié le coefficient de frottement (statique et cinétique) et ont fait la résolution de problèmes reliés au coefficient de frottement sur une surface horizontale. En *Physique 40S*, les élèves doivent résoudre des problèmes reliés au coefficient de frottement sur un plan incliné et pour des systèmes de masses combinées.

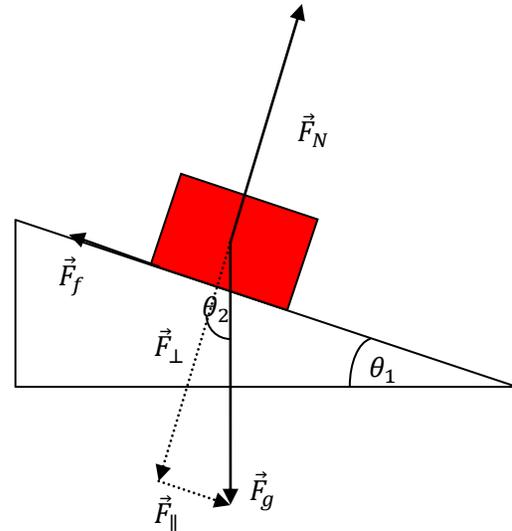


En quête

Enseignement direct – Le plan incliné

Inviter les élèves à examiner le diagramme de force qu'ils ont complété dans la section « En tête ».

Expliquer aux élèves que la situation sur un plan incliné est différente que celle lors d'une chute libre. La force gravitationnelle exercée sur l'objet est dirigée vers le centre de la Terre mais puisque l'objet repose sur une pente, seulement une partie de cette force attirera l'objet vers le bas de la pente. La force gravitationnelle (\vec{F}_g) peut être décomposée en deux composantes.



Une des composantes est parallèle à la surface du plan incliné (\vec{F}_{\parallel}) et l'autre est perpendiculaire à la surface du plan incliné (\vec{F}_{\perp}). C'est la composante de la force gravitationnelle parallèle à la surface du plan incliné (\vec{F}_{\parallel}) qui tire l'objet vers le bas de la pente. La composante de la force gravitationnelle perpendiculaire à la surface du plan incliné (\vec{F}_{\perp}) est égale à la force normale exercée par le plan incliné sur l'objet mais agit en direction opposée. Cette force est importante lorsqu'on tient compte du coefficient de frottement pour faire la résolution de problèmes (voir le site Internet *Plan incliné* <http://www.walter-fendt.de/ph14f/inclplane_f.htm>).

Proposer aux élèves de tracer des diagrammes de force et de calculer les composantes de la force gravitationnelle pour des objets sur un plan incliné (voir \textcircled{U} l'annexe 13). Le corrigé figure à \textcircled{U} l'annexe 14. Leur indiquer que la force gravitationnelle (\vec{F}_g) est perpendiculaire à la surface horizontale au bas de plan incliné et que la composante perpendiculaire de la force gravitationnelle (\vec{F}_{\perp}) est perpendiculaire à la pente du plan incliné. Les deux triangles formés sont donc pareils, ce qui veut dire que l'angle que le plan incliné forme avec la surface l'horizontale (θ_1) est identique à l'angle au haut du triangle formé par les forces agissant sur l'objet (θ_2).

Expliquer aux élèves que la force parallèle à la surface du plan incliné n'est pas la seule force qui a un effet sur le mouvement d'un objet. Le frottement entre l'objet et la surface du plan incliné s'oppose au mouvement. La composante de la force gravitationnelle perpendiculaire à la surface du plan incliné est égale mais opposée à la force normale, donc peut être utilisée dans la détermination du coefficient de frottement. Proposer aux élèves de compléter une expérience sur le coefficient de frottement d'un plan incliné (voir *Physique 12*, p. 113). Inviter les élèves à résoudre des problèmes reliés au coefficient de frottement sur une surface plane et sur un plan incliné (voir \textcircled{U} l'annexe 15). Le corrigé figure à \textcircled{U} l'annexe 16. Corriger ces problèmes en classe pour s'assurer que les élèves saisissent bien les concepts.



En fin

Inviter les élèves à consolider leur compréhension des termes suivants au moyen du procédé tripartite (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.9 et 10.10, et 10.22) : *force normale, coefficient de frottement, poids, force appliquée, force nette, frottement cinétique, frottement statique.*

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à formuler leurs propres problèmes et à se les échanger.

②

Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de  l'annexe 13.

③

Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de  l'annexe 15.



Bloc E

Expérience – Les forces

L'élève sera apte à :

P12-1-09 mener une expérience pour étudier les forces agissant sur un objet;

RAG : A2, C5

P12-0-2b mener une expérience scientifique en posant une question initiale, en énonçant des hypothèses et en planifiant, en adaptant ou en poussant plus loin une démarche expérimentale;

RAG : C5, C7

P12-0-2d estimer et mesurer avec exactitude, en utilisant les unités du Système international (SI);

RAG : C4, C6

P12-0-2e évaluer la pertinence, la fiabilité et l'adéquation de données et de méthodes de collecte de données,

entre autres les sources d'erreur et l'écart dans les résultats;

RAG : C5, C8

P12-0-4a faire preuve d'habitudes de travail qui tiennent compte de la sécurité personnelle et collective, et qui témoignent de son respect pour l'environnement.

RAG : C1, C2

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Inviter les élèves à faire un remue-méninges de comment les scientifiques du moyen âge auraient pu mesurer la force sur un objet.

Ce RAS peut être abordé au début de la section de dynamique, afin de fournir un contexte à l'étude des forces.

En quête

Activité de laboratoire – Les Forces

Proposer aux élèves de réaliser une expérience portant sur l'étude des forces agissant sur un objet, par exemple l'expérience proposée dans *Physique 12*, p. 113 ou *Physique 11-12*, p. 181 et 182. Encourager les élèves à formuler leurs propres questions et à déterminer leur propre marche à suivre. Des logiciels de simulation peuvent aussi être utilisés, tel que *La physique animée*, un CD-ROM inséré dans *Physique Mécanique, 2^e édition*. Leur indiquer qu'ils devront compléter un rapport d'expérience (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.28, 11.29, 11.38 et 11.39).



En fin

Inviter les élèves à compléter une autoévaluation de leur travail de groupe (voir  l'annexe 17).

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Évaluer le rapport d'expérience des élèves à l'aide d'une grille d'évaluation (voir  l'annexe 18). Porter une attention particulière à la question posée par les élèves, à la formulation de l'hypothèse, aux mesures des élèves et aux sources d'erreurs indiquées par les élèves.

②

Se référer aux  annexes 19 et 20 afin d'évaluer les habiletés en laboratoire des élèves.



Bloc F

L'impulsion et la quantité de mouvement

L'élève sera apte à :

P12-1-10 dériver l'équation d'impulsion à partir de la deuxième loi de Newton;

RAG : D4

P12-1-11 déterminer l'impulsion à partir de l'aire entre la courbe et l'axe horizontal d'un graphique de la force en fonction du temps, entre autres une force constante positive et négative, une force uniformément changeante;

RAG : D4

P12-0-2a employer les modes de représentation visuelle, numérique, symbolique ou graphique pour découvrir et représenter des relations tout en choisissant le mode le plus approprié;

RAG : C2, C3

P12-0-2c formuler des définitions opérationnelles de variables ou de concepts importants;

RAG : A2, C8

P12-0-2g inférer et calculer des relations directes, des relations proportionnelles au carré et des relations inversement proportionnelles entre des variables à l'aide de modèles mathématiques.

RAG : C3, C8

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Activer les connaissances antérieures des élèves en leur posant les questions suivantes :

- *Si un corps est au repos, est-ce qu'on peut dire qu'il n'y a aucune force qui agit sur lui?*
(Non, cela veut simplement dire que les forces sont équilibrées.)
- *Une caisse est poussée le long du sol sur une distance de 5 m. Qu'arrive-t-il au temps nécessaire pour pousser la caisse si on double son poids?* (Le temps va doubler.)
- *Qu'arrive-t-il à l'accélération de la caisse si on double sa masse?*
(L'accélération va être réduite à la moitié de sa valeur initiale.)
- *Qu'arrive-t-il à sa vitesse?* (La variation de vitesse sera réduite de moitié.)
- *Qu'arrive-t-il au temps nécessaire pour pousser la caisse si on double la force exercée sur elle?* (Le temps sera réduit de moitié.)
- *Qu'arrive-t-il à son accélération?* (L'accélération va doubler.)

Les élèves ont étudié la quantité de mouvement de façon qualitative en 10^e année. Ils ont étudié la deuxième loi de Newton de façon qualitative en 10^e année et de façon quantitative en Physique 11^e année.

OU



2

Activer les connaissances antérieures des élèves à l'aide de la stratégie SVA Plus (voir *l'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 9.8-9.11 et 9.23)

En quête

Enseignement direct – L'équation d'impulsion

Inviter les élèves à noter l'équation qui représente la deuxième loi de Newton ($\vec{F} = m \times \vec{a}$) dans leur carnet scientifique. Puisque $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$, l'équation devient $\vec{F} = m \times \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$. Si on multiplie chaque côté de l'équation par Δt , on obtient $\vec{F} \times \Delta t = m \times \Delta\vec{v}$. Expliquer aux élèves que cette équation représente la relation entre l'impulsion et la quantité de mouvement.

Dans la plupart des textes de physique, la 2^e loi du mouvement de Newton est représentée par l'équation ($\vec{F} = m \times \vec{a}$).

Cependant, Newton a formulé sa 2^e loi du mouvement en fonction de la variation de vitesse en citant que « la variation du mouvement est proportionnelle à la force motrice appliquée ». Le terme variation du mouvement utilisé par Newton se rapportait au concept aujourd'hui nommé **quantité de mouvement**. Donc, la force motrice fait varier la quantité de mouvement d'un objet.

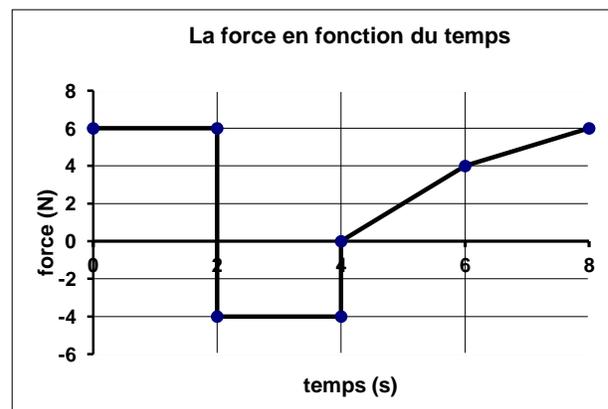
Démonstration – L'impulsion et la quantité de mouvement

Placer un marqueur à essuyage sec dans un tube puis souffler dans le tube pour le projeter vers l'extérieur. Répéter, mais avec un tube plus long (souffler avec la même force). Inviter les élèves à prédire l'effet d'un tube plus long avant d'en faire la démonstration. Puisque le tube est plus long, le temps d'application de la force sera plus long, donc le marqueur aura une quantité de mouvement plus élevée.

Représentation graphique – L'impulsion

Poser la question suivante aux élèves :

- Comment détermine-t-on le déplacement d'un objet à partir d'un graphique de la vitesse vectorielle en fonction du temps? (On la détermine en calculant la surface entre le graphique et l'axe horizontal.)



Distribuer aux élèves un graphique de la force exercée sur un objet en fonction du temps tel que celui ci-haut. Leur poser la question suivante :

- *Comment pourrait-on déterminer l'impulsion d'un objet à partir d'un graphique de la force en fonction du temps?* (On la détermine en calculant la surface entre le graphique et l'axe horizontal.)

Inviter ensuite les élèves à décrire la force dans chaque intervalle de deux secondes et à calculer l'impulsion pour chaque intervalle de temps.

0-2 s : force constante positive

$$I = \vec{F} \times \Delta t = 6 \text{ N} \times 2 \text{ s} = 12 \text{ N} \cdot \text{s}$$

2-4 s : force constante négative (direction opposée)

$$I = \vec{F} \times \Delta t = 4 \text{ N} \times 2 \text{ s} = 8 \text{ N} \cdot \text{s}$$

4-6 s : force positive qui augmente de façon constante

$$I = \frac{1}{2}(4 \times 2) = 4 \text{ N} \cdot \text{s}$$

6-8 s : force positive qui augmente de façon constante

$$I = \frac{1}{2}(2 \times 2) = 2 \text{ N} \cdot \text{s}$$

En fin

Inviter les élèves à compléter la section « J'ai appris » dans leur cadre SVA Plus.

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à compléter l'exercice de @ l'annexe 21 (Le corrigé figure à @ l'annexe 22).

②

Inviter les élèves à compléter un cadre de concept au sujet de l'impulsion (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.23, 11.24 et 11.36).



Bloc G

La loi de la conservation de la quantité de mouvement

L'élève sera apte à :

- P12-1-12** mener une expérience pour vérifier la loi de conservation de la quantité de mouvement dans une dimension et dans deux dimensions;
RAG : C5
- P12-1-13** résoudre des problèmes au moyen de l'équation d'impulsion et de la loi de conservation de la quantité de mouvement;
RAG : D4
- P12-1-14** décrire la relation entre l'équation d'impulsion et des situations réelles,
par exemple frapper ou attraper une balle;
RAG : A5, B4, C8
- P12-0-2b** mener une expérience scientifique en posant une question initiale, en énonçant des hypothèses et en planifiant, en adaptant ou en poussant plus loin une démarche expérimentale;
RAG : C5, C7
- P12-0-2d** estimer et mesurer avec exactitude, en utilisant les unités du Système international (SI).
RAG : C4, C6

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Poser la question suivante aux élèves :

- *Qu'est ce qui va rebondir plus haut, la balle de ping-pong ou la balle de tennis?*

Laisser ensuite tomber une balle de tennis et une balle de ping-pong (ne pas les laisser tomber sur du tapis) et demander aux élèves de faire des observations. Leur demander laquelle des deux balles rebondit le mieux.

En *Physique 30S*, les élèves ont additionné et soustrait des vecteurs en ligne droite et à angle droit. Ils ont aussi déterminé les composantes des vecteurs. En *Physique 40S*, les élèves doivent additionner et soustraire des vecteurs à n'importe quel angle en déterminant leurs composantes, en appliquant les rapports trigonométriques (sinus, cosinus et tangente), ou en appliquant les lois du sinus et du cosinus. Les élèves en mathématiques ont étudié les rapports trigonométriques en 10^e année et les lois du sinus et du cosinus en 11^e année (pré-calcul et mathématiques appliquées), et en 12^e année (mathématiques au quotidien).



Poser la question suivante aux élèves :

- Est-il possible de transférer la quantité de mouvement de la balle de tennis à la balle de ping-pong?

Placer la balle de ping-pong sur la balle de tennis et les laisser tomber ensemble. Inviter les élèves à faire des observations et à les expliquer. Les questions suivantes peuvent aider à guider les élèves :

- Où la balle de ping-pong a-t-elle eu l'énergie nécessaire pour rebondir si haut? (La quantité de mouvement est conservée. Quand la balle de tennis et la balle de ping-pong entrent en collision avec le sol, la quantité de mouvement de la balle de tennis est transférée à la balle de ping-pong. Puisque la masse de la balle de ping-pong est plus petite que celle de la balle de tennis, sa vitesse vectorielle doit être plus grande quand la quantité de mouvement est transférée. C'est pour cela qu'elle rebondit si haut.)
- Qu'est-ce qui est arrivé à la balle de tennis? (La balle de tennis a rebondi moins haut que lorsqu'elle est échappée seule.)

La balle de ping-pong devrait rebondir très haut car elle reçoit toute l'énergie du transfert de quantité de mouvement de la balle de tennis.

OU

2

Inviter les élèves à partager leurs idées au sujet de la loi de conservation de la quantité de mouvement dans le contexte d'une collision en plein fouet entre deux voitures. Discuter de la quantité de mouvement avant la collision, la quantité de mouvement après la collision ainsi que la vitesse des deux voitures après la collision.

Il existe plusieurs sites Internet qui présentent des simulations de collisions à une et à deux dimension. En voici deux exemples : *Chocs élastiques et inélastiques* <http://www.walter-fendt.de/ph14f/collision_f.htm> et *Two-dimensional collisions* <http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/Collision/jarapplet.html> (Cette animation propose divers choix de langues dont le français).

En quête

Activité de laboratoire – La loi de conservation de la quantité de mouvement

Proposer aux élèves de mener une expérience afin d'étudier la loi de la conservation de la quantité de mouvement. Inviter les élèves à enregistrer une collision avec un caméscope, par exemple un chariot projeté contre un obstacle. On pourrait aussi filmer des collisions sur une table de billards ou entre des pierres de curling (ces deux exemples peuvent être utilisés pour étudier des collisions dans deux dimensions). Inviter les élèves à formuler une hypothèse visant à démontrer une conception visuelle d'une collision dans une dimension et dans deux dimensions.



Inviter les élèves à visionner la bande vidéo pour mesurer le déplacement image par image ou quelques images à la fois, utilisant une grille transparente (ex. : acétate) devant l'écran. Il faudrait tracer un point pour indiquer la position de l'objet à chaque intervalle de temps. Habituellement, la bande vidéo défile à 30 images par seconde, ce qui permet aux élèves de noter le temps en question : un intervalle de 3 images consécutives correspond à 0,1 seconde. Il est possible également de donner une valeur arbitraire aux intervalles de points (par exemple 3 points représentent 1 seconde). Les élèves peuvent mesurer la distance entre les points et colliger les données dans un tableau tel que celui qui suit.

Avant la collision				Après la collision				Quantité de mouvement totale	
m_1 (kg)	\vec{v}_1 (m/s)	m_2 (kg)	\vec{v}_2 (m/s)	m_1 (kg)	\vec{v}'_1 (m/s)	m_2 (kg)	\vec{v}'_2 (m/s)	Avant la collision	Après la collision

OU

Proposer aux élèves de mener une expérience afin d'étudier la loi de la conservation de la quantité de mouvement. Inviter les élèves à compléter les expériences dans *Physique 11*, p. 210, *Physique 12*, p. 260-265, *Physique 11-12*, p. 471 et 472, p. 488 et 489 ou dans *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 321-325).

En 10^e année, les élèves ont abordé la quantité de mouvement dans le contexte de collisions de véhicules. Ils ont étudié la première collision (voiture et voiture) ainsi que la deuxième collision (conducteur avec le volant).

Résolution de problèmes

Expliquer aux élèves comment résoudre des problèmes au moyen de l'équation d'impulsion et de la loi de conservation de la quantité de mouvement (voir Ⓜ l'annexe 23, *Physique 12*, p. 239-243 et p. 254-257 ou *Physique 11-12*, p. 473-479 et p. 489-495). Les inviter à compléter l'exercice de Ⓜ l'annexe 24 (le corrigé figure à Ⓜ l'annexe 25).

Recherche – Applications de l'impulsion et la quantité de mouvement

Inviter les élèves à effectuer une recherche sur l'application de la quantité de mouvement et l'impulsion dans le sport ou dans une collision automobile. Leur demander de partager l'information recueillie selon la méthode de leur choix (p.ex., exposé oral, brochure informative, vidéo, présentation multimédia). Élaborer des critères d'évaluation avec les élèves. Les critères devraient porter sur le contenu ainsi que sur la présentation et peuvent être similaires, peu importe le type d'exercice choisi par les élèves. Chaque critère peut valoir un certain nombre de points. En 12^e année, l'accent est mis sur un modèle mathématique de l'impulsion et la quantité de mouvement. La présentation devrait donc comprendre des calculs impliqués dans le sujet choisi.

Le texte *Physique 11* comprend plusieurs exemples de situations réelles impliquant l'impulsion et la quantité de mouvement au chapitre 6.



En fin

①

Inviter les élèves à résoudre des problèmes en utilisant la technique des notes explicatives (voir *l'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 13.14 et 13.15).



Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de ① l'annexe 24.

②

Évaluer la présentation des élèves en tenant compte des critères établis.



Bloc H La chute libre

L'élève sera apte à :

P12-1-15 résoudre des problèmes sur des objets en chute libre au moyen des équations spéciales de l'accélération constante, entre autres les composantes horizontales et verticales du mouvement correspondant à la trajectoire incurvée d'un projectile (avec ou sans résistance de l'air);
RAG : D4, E3

P12-0-2a employer les modes de représentation visuelle, numérique, symbolique ou graphique pour découvrir et représenter des relations tout en choisissant le mode le plus approprié;
RAG : C2, C3

P12-0-2g inférer et calculer des relations directes, des relations proportionnelles au carré et des relations inversement proportionnelles entre des variables à l'aide de modèles mathématiques.
RAG : C3, C8

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Activer les connaissances antérieures des élèves en leur posant les questions suivantes :

- Quelles sont les forces qui agissent sur un objet en chute libre?
- Quelle est l'accélération d'un objet en chute libre?

En *Physique 30S*, les élèves ont fait la résolution de problèmes sur des objets en chute libre à l'aide des équations $\vec{v}_{moy} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2}$; $\vec{v}_{moy} = \frac{\Delta \vec{d}}{\Delta t}$ et $\vec{a}_{moy} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$. En *Physique 40S*, les élèves doivent utiliser les équations spéciales de l'accélération constante.

En quête

Résolution de problèmes – La chute libre

Démontrer aux élèves comment résoudre une variété de problèmes à l'aide des équations spéciales de l'accélération constante. Ces problèmes devraient inclure des cas où la vitesse vectorielle initiale est égale à zéro (un objet qu'on laisse tomber), où la vitesse vectorielle initiale est positive et où la vitesse vectorielle initiale est négative (voir *Physique 12*, p. 35-40 ou ① l'annexe 26). Inviter les élèves à compléter l'exercice de ① l'annexe 27 (le corrigé figure à ① l'annexe 28). Réviser les questions avec les élèves pour vérifier leur compréhension. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur (évaluation formative).

Les élèves ont souvent de la difficulté à comprendre qu'un objet à sa hauteur maximum a une accélération de $-9,8 \text{ m/s}^2$, même si sa vitesse vectorielle instantanée est égale à zéro. Ils croient aussi souvent que la vitesse vectorielle initiale d'un objet qu'on laisse tomber d'un système qui se déplace à vitesse constante (par exemple l'ascension d'une plateforme) est égale à zéro.

Cependant, la vitesse vectorielle initiale de l'objet est égale à la vitesse vectorielle du système. Finalement, lorsqu'un objet est lancé verticalement et qu'il retombe à sa position initiale, le déplacement de l'objet est égal à zéro.



En fin

①

Inviter les élèves à répondre aux questions suivantes dans leur carnet scientifique :

- *Quelle est l'accélération d'un objet lancé à la verticale lorsqu'il est au sommet de sa trajectoire?*
- *Quel est le déplacement total de l'objet lorsqu'il revient à sa position initiale?*

 Stratégies d'évaluation suggérées

Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de @ l'annexe 27.



Bloc I Le mouvement projectile

L'élève sera apte à :

P12-1-16 tracer des diagrammes de force pour un projectile à différents points le long de sa trajectoire (avec ou sans résistance de l'air);

RAG : D4

P12-1-17 calculer les composantes horizontale et verticale de la vitesse vectorielle d'un projectile à différents points le long de sa trajectoire;

RAG : D4

P12-1-18 résoudre des problèmes reliés aux projectiles lancés à l'horizontale et à des angles divers par rapport à l'horizontale afin de calculer la hauteur maximale, la distance parcourue et la durée totale du déplacement du projectile;

RAG : D4

P12-0-2a employer les modes de représentation visuelle, numérique, symbolique ou graphique pour découvrir et représenter des relations tout en choisissant le mode le plus approprié;

RAG : C2, C3

P12-0-3e soulever un problème, en rechercher une solution technologique ou autre et la réaliser.

RAG : B4, C4, C6

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Présenter les scénarios suivants aux élèves et les inviter à discuter leurs réponses :

Les élèves ont étudié les diagrammes de force ainsi que les composantes des vecteurs en Physique 11^e année.

Un lance-balles projette horizontalement une balle de baseball. Au même moment, on échappe une balle de baseball de la même hauteur. Quelle balle atteindra le sol en premier? Expliquez votre réponse. (Les deux balles atteindront le sol au même moment. La présence d'une force horizontale n'influence pas le mouvement vertical. Les deux balles auront donc une accélération identique de $9,8 \text{ m/s}^2$. La balle tirée horizontalement atteindra le sol au même moment que la balle qu'on laisse tomber, mais aura un déplacement horizontal.)

Vous visez un objet qui est placé à une certaine hauteur du sol et qui commence à tomber au même moment que l'on tire. Où devriez-vous viser : par-dessus l'objet, directement sur l'objet, ou sous l'objet? Expliquez votre réponse. (Il faudrait viser directement sur l'objet. Puisque la balle qu'on tire et l'objet qui tombe ont la même accélération due au champ gravitationnel, la balle atteindra l'objet si on le vise directement.)



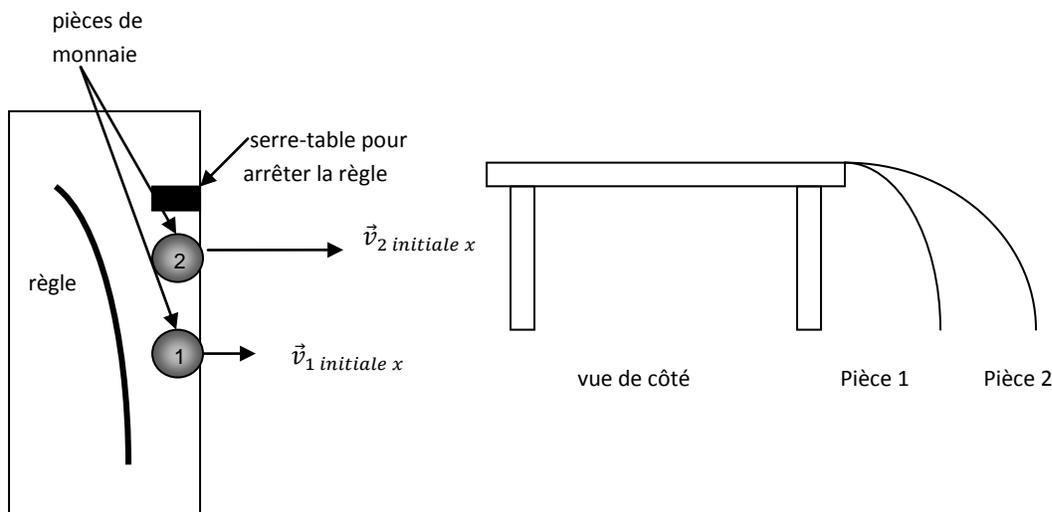
En quête

Enseignement direct – Le mouvement projectile

Expliquer aux élèves que lorsqu'on étudie le mouvement d'un projectile, son mouvement horizontal est indépendant de son mouvement vertical. La présence d'une force verticale (\vec{F}_g) n'influence pas le mouvement horizontal, et inversement, l'existence du mouvement horizontal n'affecte pas le mouvement vertical. Le mouvement horizontal est uniforme (aucune force n'agit sur l'objet) et le mouvement vertical est une accélération constante ($9,8 \text{ m/s}^2$). La force agissant sur le projectile est constante si on ne tient pas compte de la résistance de l'air. Si on tient compte de la résistance de l'air, la force de frottement sera toujours dans la direction opposée à la vitesse vectorielle. La force de frottement va réduire les composantes horizontale et verticale de la vitesse vectorielle et donc produire une trajectoire asymétrique. Les élèves devraient analyser de tels problèmes seulement de façon qualitative.

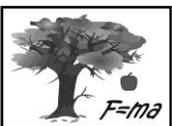
L'annexe 29 fournit des renseignements au sujet du mouvement projectile.

Afin de démontrer l'indépendance de ces deux composantes, inviter les élèves à placer deux pièces de monnaie sur le rebord d'une table (voir le diagramme ci-dessous) et à projeter les pièces de monnaie simultanément à l'aide d'une règle flexible. Leur demander d'observer de façon visuelle mais aussi d'écouter le son fait par la règle qui entre en contact avec les pièces de monnaie et le son fait par les pièces de monnaie atteignant le sol. Il est possible de filmer cette activité afin d'analyser le mouvement des pièces de monnaie. La pièce de monnaie la plus éloignée aura une plus grande vitesse vectorielle, donc son déplacement horizontal sera plus grand. Cependant, les deux pièces de monnaie vont atteindre le sol au même moment.



Activité de laboratoire – Le mouvement projectile

Proposer aux élèves d'analyser le mouvement projectile d'un corps à l'aide d'un logiciel de simulation tel que *Interactive Physics*. Il existe aussi des sites Internet avec des simulations. En voici deux exemples : *Projectile motion* <http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/ProjectileMotion/jarapplet.html> et *Mouvement d'un projectile* <http://www.walter-fendt.de/ph14f/projectile_f.htm>.



Il est également possible de filmer le mouvement d'un projectile avec un caméscope et d'analyser son mouvement en visionnant la bande vidéo pour mesurer le déplacement image par image. Sur chaque image, inviter les élèves à dessiner les forces qui agissent sur le projectile.

Résolution de problèmes

Inviter les élèves à compléter l'exercice de ⓐ l'annexe 30 (le corrigé figure à ⓐ l'annexe 31). Réviser les questions avec les élèves pour vérifier leur compréhension. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur (évaluation formative).

Processus de design – Le défi

Inviter les élèves à travailler en groupes pour concevoir, construire et mettre à l'essai un appareil pouvant projeter un objet (par exemple une guimauve ou une balle de tennis) sur une cible quelconque.

Afin de fournir l'occasion à tous les élèves de réussir, on suggère d'encadrer le problème en précisant divers critères, par exemple :

- limiter le choix de matériaux ou les dimensions du prototype;
- limiter le nombre d'élèves par groupe;
- imposer un échéancier pour chaque étape du processus de design;
- préciser les variables à contrôler pour assurer une mise à l'essai juste pour chaque groupe.

Le plan

Avec les élèves, déterminer un certain nombre de critères qui encadreront la fabrication du prototype et qui serviront à l'évaluation, par exemple la distance entre l'appareil et la cible, la hauteur de la cible, le choix de projectile, la taille de l'appareil, l'esthétique. L'intention de l'activité de design n'est pas d'avoir un groupe ou un prototype gagnant; son but est plutôt d'évaluer les prototypes selon les critères préétablis. Assurer que les élèves établissent des critères raisonnables.

Inviter les élèves à faire un remue-méninge pour développer diverses solutions au problème et à en choisir une en la justifiant.

Exiger un plan écrit avant de permettre aux élèves de passer à l'étape de fabrication. Le plan devrait comprendre le matériel requis, les mesures de sécurité, les étapes à suivre et des diagrammes étiquetés (ⓐ l'annexe 32 présente une feuille de route pour le processus de design).

La fabrication

En suivant les étapes du plan élaboré ci-dessus, les élèves fabriquent un prototype en tenant compte des critères de travail fixés au début du projet. Si, en cours de route, les élèves s'aperçoivent que le plan ne fonctionne pas, il leur faut retourner à l'étape du plan ou même à celle du choix d'une solution.

La mise à l'essai

Une fois la fabrication terminée, les élèves testent le prototype en fonction des critères établis au début. Inviter les élèves à y apporter les améliorations nécessaires. Dans le cas où le prototype s'avérerait insatisfaisant, il serait possible de reprendre les étapes de la fabrication, du plan, ou du choix d'une solution.

L'évaluation de la solution choisie

Inviter les élèves à évaluer leur produit final.



En fin

①

Inviter les élèves à revoir les scénarios de la section « En tête » et à modifier leurs réponses s'il y a lieu.

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à tracer des diagrammes d'un projectile à différents points le long de sa trajectoire et d'identifier à l'aide de vecteurs les vitesses vectorielles horizontale et verticale qui agissent sur le projectile.

②

Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de  l'annexe 30.

③

Évaluer le processus de design à l'aide de la grille de  l'annexe 33.

④

Évaluer le travail de groupe des élèves à l'aide de la grille de  l'annexe 34.



Bloc J Le mouvement circulaire

L'élève sera apte à :

P12-1-19 expliquer en termes qualitatifs pourquoi un objet se déplaçant en cercle à une vitesse constante subit une accélération vers le centre du cercle;

RAG : C2, D4

P12-0-2a employer les modes de représentation visuelle, numérique, symbolique ou graphique pour découvrir et représenter des relations tout en choisissant le mode le plus approprié.

RAG : C2, C3

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Inviter les élèves à indiquer si l'objet subit une accélération dans chacune des situations suivantes et d'expliquer leur réponse :

- *La vitesse initiale d'une balle est de 0,5 m/s vers la droite. La vitesse finale de cette balle est de 0,5 m/s vers la droite. (Il n'y a aucune accélération car la vitesse et la direction de mouvement ne changent pas.)*
- *La vitesse initiale d'une balle est de 2 m/s vers la droite. La vitesse finale de cette balle est de 1 m/s vers la droite. (Il y a une accélération vers la gauche car la balle subit une force vers la gauche qui la ralentit.)*
- *La vitesse initiale d'une balle est de 1 m/s vers la droite. La vitesse finale de cette balle est de 2 m/s vers la droite. (Il y a une accélération vers la droite car la vitesse augmente.)*
- *La vitesse initiale d'une balle est de 2 m/s vers la droite. La vitesse finale de cette balle est de 1 m/s vers la gauche. (Il y a une accélération vers la gauche. L'objet voyageant vers la droite ralentit jusqu'à ce que sa vitesse atteigne 0, puis change de direction pour atteindre une vitesse de 1 m/s vers la gauche.)*
- *La vitesse initiale d'une balle est de 2 m/s vers la droite. La vitesse finale de cette balle est de 2 m/s vers la gauche. (Il y a une accélération vers la gauche même si la vitesse ne change pas. L'objet voyageant vers la droite ralentit jusqu'à ce que sa vitesse atteigne 0, puis change de direction pour atteindre une vitesse de 2 m/s vers la gauche.)*

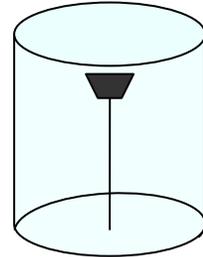


En tête

Enseignement direct – Le mouvement circulaire

Expliquer aux élèves pourquoi un objet se déplaçant en cercle à une vitesse constante subit une accélération vers le centre du cercle (Voir  l'annexe 35 pour des renseignements pour l'enseignant). Ensuite, proposer aux élèves de vérifier si l'accélération est vraiment dirigée vers le centre du cercle.

Inviter les élèves à construire un accéléromètre en plaçant un bouchon en liège attaché à une ficelle dans un bocal rempli d'eau et scellé. Leur demander de placer le bocal dans une main, étendre leur bras, puis faire subir un mouvement circulaire uniforme au bocal. Inviter les élèves à noter la position du bouchon (le bouchon penche vers le centre du cercle, ce qui indique qu'il y a une accélération vers le centre du cercle).



accéléromètre

En fin

①

Inviter les élèves à répondre à la question suivante dans leur carnet scientifique :

- *Quels sont les trois contrôles dans une voiture qui permettent de la faire accélérer?* (la pédale d'accélération, la pédale de frein et le volant)

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à répondre aux questions suivantes :

- *Pourquoi dit-on qu'un objet se déplaçant avec un mouvement circulaire uniforme subit une accélération si sa vitesse demeure constante?* (L'objet subit une accélération parce qu'il y a un changement de direction, ce qui cause une variation de la vitesse vectorielle.)
- *Pourquoi cette accélération est-elle dirigée vers le centre du cercle?* (La direction de l'objet change continuellement. Si on détermine la différence de vitesse vectorielle, cette dernière est dirigée vers le centre du cercle.)

②

Inviter les élèves à créer une vidéo de la construction d'un accéléromètre et à expliquer les observations tirées de cet outil.



Bloc K Les effets centrifuges

L'élève sera apte à :

P12-1-20 discuter des effets centrifuges en se référant aux lois de Newton;
RAG : C8, D4

P12-1-21 tracer des diagrammes de force pour un objet décrivant un mouvement circulaire uniforme;
RAG : D4

P12-0-4e manifester un intérêt soutenu et plus éclairé dans les sciences et les questions d'ordre scientifique.
RAG : B4, B5

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Inviter les élèves à répondre aux questions suivantes :

- *Qu'est-ce qui arrive aux passagers dans un véhicule lorsque ce dernier prend un virage rapide vers la droite?*
- *Décrivez la sensation lorsqu'on est sur un manège qui tourne rapidement.*

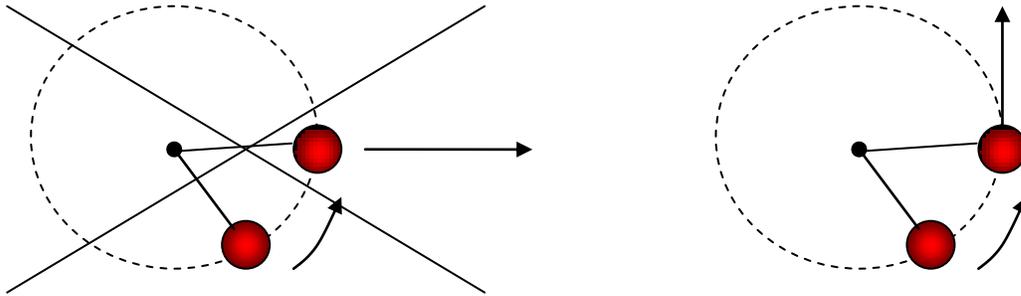
Les élèves ont étudié la deuxième loi de Newton en 10^e année et en Physique, 11^e année.

En quête

Enseignement direct – Les effets centrifuges

Expliquer aux élèves que la sensation de subir une force vers l'extérieur de la courbe dans les exemples de la section « En tête » est souvent appelée force centrifuge. Cette force semble être réelle mais ne l'est pas. C'est pour cela que les physiciens l'appellent plutôt *effet centrifuge*. Le terme centrifuge signifie « qui fuit le centre ». Lorsqu'on tourne une balle au bout d'une ficelle, on ressent une force tirant sur notre main. Cependant, il ne s'agit pas d'une force centrifuge tirant sur la balle. Afin de conserver le mouvement circulaire de la balle (la faire changer continuellement de direction), il faut tirer sur la balle vers l'intérieur de la trajectoire circulaire qu'elle effectue. La balle exerce alors une force égale et opposée sur notre main (3^e loi de Newton) et ceci est la force qu'on ressent. Si cette force centrifuge existait, la balle serait projetée vers l'extérieur du cercle si on laissait aller la corde.





Ceci n'est cependant pas ce qui se déroule. La balle est projetée de façon tangentielle, dans la direction de la vitesse vectorielle qu'elle avait au moment de libération, parce que la force vers l'intérieur du cercle n'agit plus sur elle.

Expliquer aux élèves que selon la 2^e loi du mouvement de Newton ($\vec{F} = m\vec{a}$), un objet qui accélère doit subir une force constante. Un objet se déplaçant en cercle, par exemple une balle au bout d'une corde, subit une force afin de continuer son mouvement circulaire (une force est nécessaire afin de lui donner une accélération centripète). Puisque l'accélération centripète est dirigée vers le centre du cercle, la force doit aussi agir dans cette direction. Il est évident qu'une force est nécessaire parce que s'il n'y avait aucune force, l'objet se déplacerait en ligne droite et non de façon circulaire.

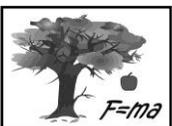
Certains sites Internet présentent des simulations de mouvement circulaire uniforme, par exemple *Mouvement circulaire uniforme* <http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/Cinematique/circ_unif.html>

Cette force dirigée vers le centre du cercle est souvent appelée **force centripète**. Cependant, la force centripète n'est pas un nouveau type de force. Le terme décrit simplement la direction de la force. Le mot centripète signifie « qui cherche le centre ». Dans le cas de la balle au bout d'une corde, c'est la force de tension exercée sur la corde qui cause le mouvement. La Lune tourne autour de la Terre avec un mouvement circulaire uniforme à cause de la force gravitationnelle. Une voiture qui prend un virage effectue un mouvement circulaire à cause de la force de frottement.

Diagrammes de force

Inviter les élèves à dessiner des diagrammes de force pour l'objet dans chacune des situations suivantes :

- une balle au bout d'une corde effectuant un mouvement circulaire uniforme;
- une voiture prenant un virage;
- un satellite tournant autour de la Terre.



En fin

①

Inviter les élèves à comparer la force centripète et l'effet centrifuge à l'aide d'un cadre de comparaison (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.24).

En plus

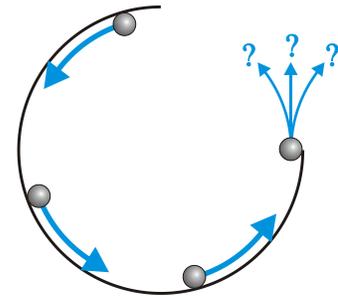
①

Inviter les élèves à faire une courte recherche sur les applications du mouvement centripète, par exemple les manèges, les centrifugeuses, le relèvement de courbes sur une piste de course.

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à prédire la direction d'un objet ayant un mouvement circulaire uniforme si on libère soudainement cet objet.



②

Inviter les élèves à dessiner des diagrammes de force pour divers objets se déplaçant avec un mouvement circulaire uniforme.

③

Inviter les élèves à compléter un cadre de concept au sujet de l'effet centrifuge (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.20-11.22 et p. 11.36).

④

Inviter les élèves à trouver des images démontrant le mouvement circulaire et à expliquer les effets centrifuges subis par l'objet qui se déplace dans chaque image. Inviter les élèves à expliquer, à l'aide des lois de Newton, pourquoi la force centrifuge n'est pas une force réelle.

⑤

Inviter les élèves à écrire une explication du mouvement circulaire en forme de lettre à un camarade de classe.

Bloc L

L'analyse du mouvement circulaire

L'élève sera apte à :

- P12-1-22** mener une expérience pour établir le rapport mathématique entre la période et la fréquence et une ou plusieurs des valeurs suivantes : la force centripète, la masse et le rayon;
RAG : C3
- P12-1-23** dériver une équation permettant de calculer la vitesse uniforme et l'accélération d'un objet décrivant un mouvement circulaire uniforme ($v = \frac{2\pi r}{T}, a_c = \frac{v^2}{r}$);
RAG : D4
- P12-1-24** résoudre au moyen des formules suivantes des problèmes pour des objets se déplaçant avec un mouvement circulaire uniforme : $a = \frac{v^2}{r}, v = \frac{2\pi r}{T}$ et $\vec{F}_{nette} = m\vec{a}$;
RAG : D4
- P12-0-1e** établir la différence entre l'explication de phénomènes naturels par les théories scientifiques, et la description des régularités et des constantes de la nature au moyen des lois scientifiques;
RAG : A2, D6
- P12-0-2g** Inférer et calculer des relations directes, des relations proportionnelles au carré et des relations inversement proportionnelles entre des variables à l'aide de modèles mathématiques.
RAG : C3, C8

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Activer les connaissances antérieures des élèves au sujet de la fréquence et la période en leur posant la question suivante :

- Les feux de circulation sont souvent programmés pour changer à des intervalles réguliers. Un élève observe 15 feux rouges pendant un intervalle de 25 minutes. Quelles en sont la période et la fréquence? (période : $1500 \text{ s} \div 15 \text{ cycles} = 100 \text{ s/cycle}$; fréquence : $15 \text{ cycles} \div 1500 \text{ s} = 0,01 \text{ cycles/s}$)



En quête

Résolution de problèmes

Démontrer aux élèves comment dériver les équations permettant de calculer la vitesse uniforme et l'accélération d'un objet décrivant un mouvement circulaire uniforme (voir  l'annexe 36). Inviter les élèves à résoudre des problèmes sur l'accélération centripète et la force centripète (voir  l'annexe 37, *Physique 12*, p. 126, 127 et 133 ou *Physique 11-12*, p. 255, 256, 267 et 268). Corriger ces problèmes avec les élèves afin de déterminer le niveau de compréhension des élèves concernant le mouvement circulaire uniforme (le corrigé figure à  l'annexe 38). Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

Expérience de laboratoire – Le mouvement circulaire

Proposer aux élèves d'effectuer une expérience de laboratoire afin d'analyser la relation qui existe entre la période et la fréquence et une ou plusieurs des valeurs suivantes : la force centripète, la masse et le rayon (voir *Physique 12*, p. 152 et 153, *Physique 11-12*, p. 245, 246, 257 et 258 ou *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 192-194). Leur indiquer qu'ils doivent compléter un rapport d'expérience (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.28, 11.29, 11.38 et 11.39).

En fin

①

Inviter les élèves à consacrer une page de leur carnet scientifique aux formules de physique et à y inscrire ces nouvelles formules.

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Évaluer le rapport d'expérience des élèves à l'aide d'une grille d'évaluation. Porter une attention particulière à leur habileté à inférer et calculer des relations proportionnelles au carré et des relations inversement proportionnelles entre des variables à l'aide de modèles mathématiques.

②

Inviter les élèves à démontrer la dérivation des équations pour la vitesse uniforme et l'accélération d'un objet décrivant un mouvement circulaire uniforme, à l'aide de notes explicatives (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 13.14 et 13.15).

③

Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de  l'annexe 37.

Bloc M Le travail et l'énergie

L'élève sera apte à :

- P12-1-25** définir le travail comme le produit du déplacement et de la composante d'une force parallèle au déplacement lorsque la force est constante;
RAG : D4, E3
- P12-1-26** déterminer le travail à partir de l'aire entre la courbe et l'axe horizontal d'un graphique de la force en fonction de la position pour n'importe quelle force, entre autres une force positive ou négative, une force uniformément changeante;
RAG : C2, D4
- P12-1-27** décrire le travail comme un transfert d'énergie, entre autres un travail positif et négatif, l'énergie cinétique, la conservation de l'énergie;
RAG : E2, E4
- P12-1-28** fournir des exemples de diverses formes d'énergie et décrire de façon qualitative de quelle manière elles peuvent exécuter un travail;
RAG : E2, E4
- P12-0-4b** travailler en coopération pour rassembler des connaissances antérieures, exprimer et échanger des idées, mener une étude scientifique, résoudre des problèmes et examiner des enjeux.
RAG : C7

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Inviter les élèves à faire un remue-méninges au sujet du mot « travail ».
Les questions suivantes pourraient servir de guide :

- À quoi pensez-vous lorsque vous entendez le mot travail?
- À quoi pensez-vous lorsque vous entendez le mot énergie?

En Physique 11^e année, les élèves ont étudié la force nette, la force de frottement, la force gravitationnelle et la force appliquée.

Noter les exemples au tableau et inviter les élèves à ressortir ceux qui pourraient être reliés à la physique.



En quête

Enseignement direct – Le mouvement relatif

Expliquer aux élèves qu'en physique, le mot travail est utilisé lorsqu'une force exercée sur un objet cause le déplacement de ce dernier. La force et le déplacement sont les deux éléments essentiels pour qu'il y ait un travail. L'équation mathématique pour le travail est la suivante : $W = (F \cos \theta)\Delta d$. On utilise le cosinus car c'est la composante de la force parallèle à son déplacement qui cause le mouvement de l'objet. Si une force est exercée sur un objet à un angle, on doit calculer la composante de la force qui est parallèle au mouvement de l'objet.

Le travail est une quantité scalaire donc comprend seulement un nombre et une unité. Une force peut cependant avoir une valeur positive ou négative pour indiquer s'il y a eu une perte ou non de travail par le système. Si la composante parallèle de la force agit dans la même direction que le déplacement de l'objet, le travail effectué a une valeur positive. Cependant, si la composante de la force agit en direction opposée au déplacement de l'objet, le travail a une valeur négative. Si la force est perpendiculaire au déplacement, cette force n'a aucune composante qui agit dans la direction du déplacement. Il n'y a donc aucun travail. Présenter les exemples suivants aux élèves afin d'expliquer ces concepts.

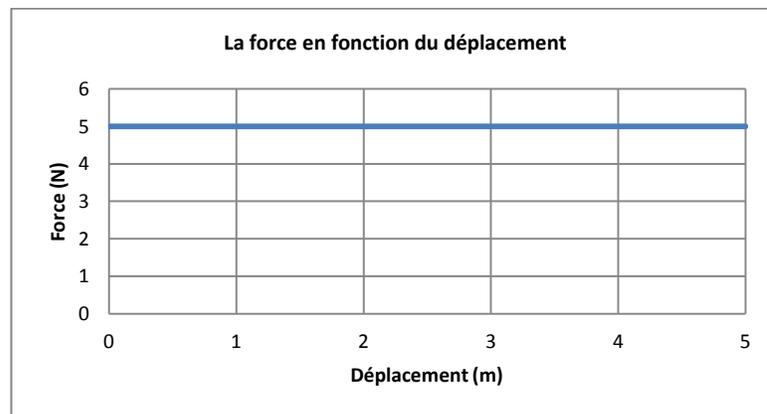
Un haltérophile soulève une barre à disques d'un poids de 500 N. S'il pousse la barre à une distance de 0,5 m par-dessus sa poitrine, le travail effectué est $W = (F \cos \theta)\Delta d = 500 \text{ N} \times 0,5 \text{ m} = 250 \text{ J}$. Lorsqu'il fait descendre la barre, il effectue quand même une force vers le haut, mais le poids se déplace vers le bas. Puisque la force et le déplacement sont en direction opposées, le travail effectué est -250 J.

L'unité du SI pour le travail est le N·m ou $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$. Cette combinaison d'unités a aussi été nommée le Joule (J) en honneur de James Prescott Joule (1818-1889) (voir *Physique 12*, p. 178-181 ou *Physique 11-12*, p. 292-294).

Résolution de problème

Distribuer aux élèves un graphique de la force en fonction du déplacement. Leur poser la question suivante :

- Comment pourrait-on déterminer le travail effectué sur un objet à partir d'un graphique de la force en fonction du déplacement? (On la détermine en calculant la surface entre le graphique et l'axe horizontal.)



Inviter les élèves à résoudre des problèmes sur le travail (voir ① l'annexe 39, *Physique 12*, p. 181-183 ou *Physique 11-12*, p. 294). Corriger ces problèmes avec les élèves afin de déterminer le niveau de compréhension des élèves concernant le travail (le corrigé de ① l'annexe 39 figure à ① l'annexe 40). Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

Recherche/présentation – Les formes d'énergie

Diviser la classe en groupes d'experts selon la stratégie Jigsaw (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 3.21). Assigner à chaque groupe une forme d'énergie (par exemple l'énergie potentielle gravitationnelle, l'énergie potentielle chimique, l'énergie cinétique, l'énergie mécanique, l'énergie thermique, l'énergie potentielle électrique, l'énergie potentielle élastique). Inviter les élèves à faire une courte recherche au sujet de leur forme d'énergie et à compléter un cadre de concept afin de décrire leur type de force avec des exemples (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.23-11.25). Vérifier les cadres de chaque groupe d'experts, faisant des corrections ou des ajouts s'il y a lieu. Pour s'assurer que chaque membre du groupe d'experts est en mesure d'expliquer son sujet, inviter les élèves à donner une explication à tour de rôle à l'intérieur du groupe d'experts. Former ensuite des groupes hétérogènes (« familles ») pour le partage des connaissances.

OU

Inviter les élèves à effectuer une courte recherche sur une forme d'énergie (par exemple l'énergie potentielle gravitationnelle, l'énergie potentielle chimique, l'énergie cinétique, l'énergie mécanique, l'énergie thermique, l'énergie potentielle électrique, l'énergie potentielle élastique) et à préparer une affiche représentant leur forme d'énergie et comment elle peut effectuer un travail. Déterminer des critères d'évaluation en collaboration avec les élèves. Les critères pourraient comprendre les éléments suivants :

- une description de la forme d'énergie est incluse;
- les illustrations représentent clairement la forme d'énergie et comment elle peut effectuer un travail;
- un vocabulaire adéquat est utilisé;
- Il y a peu de fautes d'orthographe ou d'erreurs grammaticales.



En fin

①

Inviter les élèves à répondre aux questions suivantes dans leur carnet scientifique :

- *Tu tiens un sac de pommes de terre dans ta main, sans bouger. Est-ce que tu accomplis un travail?* (Il n'y a aucun travail, car il n'y a aucun déplacement.)
- *Tu tiens un sac de pommes de terre dans ta main, et tu marches vers un comptoir. Est-ce que tu accomplis un travail?* (Il n'y a aucun travail, car la force est perpendiculaire au déplacement.)
- *Tu lèves le sac de pommes de terre pour le placer sur le comptoir. Est-ce que tu as accompli un travail?* (Oui, il y a un travail car la force cause le mouvement du sac et agit dans la même direction que son mouvement.)

OU

②

Inviter les élèves à ajouter la nouvelle formule à leur page consacrée aux formules de physique dans leur carnet scientifique.

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de  l'annexe 39.

②

Évaluer les affiches des élèves à l'aide des critères élaborés avec eux.

③

Inviter les élèves à représenter les termes suivants à l'aide du procédé tripartite : travail, énergie cinétique, énergie potentielle gravitationnelle (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.9, 10.10 et 10.22).

④

Inviter les élèves à compléter une autoévaluation de leur travail de groupe (voir  l'annexe 17).



Bloc N

L'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle

L'élève sera apte à :

- P12-1-29** dériver l'équation pour l'énergie cinétique au moyen de $W = (F \cos \theta)\Delta d$ et des équations de cinématique;
RAG : D4
- P12-1-30** dériver l'équation pour l'énergie potentielle gravitationnelle près de la surface de la Terre ($E_g = mgh$).
RAG; D4, D6

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

Poser les questions suivantes aux élèves :

Les élèves ont étudié la conservation de l'énergie dans une collision en 10^e année.

- D'où vient l'énergie cinétique quand une automobile démarre?
- Quelles sont les transformations d'énergie qui se déroulent pour chacune des situations suivantes :
 - Un sauteur à la perche;
 - Le mouvement d'un wagonnet de montagnes russes.

Expliquer aux élèves que les prochains RAS vont permettre une étude quantitative de la conservation d'énergie.

En quête

Enseignement direct – Dérivation de l'équation pour l'énergie cinétique

Démontrer aux élèves la dérivation de l'équation pour l'énergie cinétique. Lorsqu'une force nette agit sur une masse, cette dernière subit une accélération selon la deuxième loi de Newton ($\vec{F} = m\vec{a}$). Puisqu'il y a une accélération, la vitesse augmente d'une valeur initiale \vec{v}_1 à une valeur finale \vec{v}_2 . Une des équations pour le calcul de l'accélération constante est : $a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2\Delta d}$. Si on remplace l'accélération dans la seconde loi de Newton par cette formule, on obtient $F = m \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2\Delta d} \right)$. En substituant cette équation dans la formule de travail, on obtient $W = m \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2\Delta d} \right) \Delta d = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$.



Le travail est donc égal à la variation de la quantité $\frac{mv^2}{2}$. Cette quantité se nomme énergie cinétique et est exprimée en Joules.

Discussion

Poser les questions suivantes aux élèves :

- *On laisse tomber un objet d'une hauteur h . Comment pourrait-on calculer le travail exercé sur l'objet? (La force gravitationnelle près de la surface de la Terre a une valeur constante. Le travail nécessaire pour soulever un objet de masse m d'une hauteur h est $W = F\Delta d = Fh$, où F est la force nécessaire pour soulever l'objet, c'est-à-dire son poids (F_g ou mg). On peut donc exprimer le travail fait sur l'objet de cette façon: $F = mg\Delta h$).*
- *L'objet qu'on tient maintenant à une hauteur h a quelle forme d'énergie? (L'objet a une énergie potentielle gravitationnelle car il est maintenant à une distance h de la surface de la Terre. Le travail effectué pour soulever l'objet devient maintenant de l'énergie potentielle (E_g)).*
- *Si on laisse maintenant tomber cet objet, l'énergie potentielle gravitationnelle va se transformer en quel type d'énergie? (L'énergie potentielle gravitationnelle va se transformer en énergie cinétique car l'objet va tomber vers la Terre.)*

Expliquer aux élèves que puisque la hauteur qu'on déplace un objet va déterminer le montant d'énergie potentielle gravitationnelle qu'il emmagasine, on peut utiliser l'équation suivante pour le calcul de cette forme d'énergie : $E_g = mgh$ (voir *Physique 12*, p. 189-191).

Résolution de problèmes

Inviter les élèves à compléter un exercice sur l'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle (voir ④ l'annexe 41, *Physique 12*, p. 186,187, 188 et 191, *Physique 11-12*, p. 296, 298, 303 et 304 ou *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 342, 343 et p. 835-387). Le corrigé de ④ l'annexe 41 figure à ④ l'annexe 42.

En fin

①

Inviter les élèves à distinguer le concept d'énergie cinétique et travail au concept de quantité de mouvement et impulsion en complétant un cadre de comparaison.

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de ④ l'annexe 41.

②

Inviter les élèves à démontrer la dérivation des équations d'énergie cinétique et d'énergie potentielle gravitationnelle à l'aide de la stratégie des notes explicatives (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 13.14 et 13.15).



Bloc O La loi de Hooke

L'élève sera apte à :

- P12-1-31** mener une expérience pour vérifier la loi de Hooke ($\vec{F} = -K\vec{x}$);
RAG : C2, C5
- P12-1-32** dériver l'équation pour l'énergie potentielle d'un ressort à partir de la loi de Hooke et d'un graphique de la force en fonction du déplacement;
RAG : D4
- P12-0-2a** employer les modes de représentation visuelle, numérique, symbolique ou graphique pour découvrir et représenter des relations tout en choisissant le mode le plus approprié;
RAG : C2, C3
- P12-0-2g** Inférer et calculer des relations directes, des relations proportionnelles au carré et des relations inversement proportionnelles entre des variables à l'aide de modèles mathématiques.
RAG : C3, C8

Stratégies d'enseignement suggérées

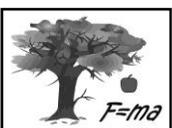
En tête

Inviter les élèves à identifier différents exemples d'énergie potentielle (par exemple, dans la nourriture, dans l'essence, quand on soulève un objet à une certaine hauteur, quand on comprime un ressort). Inviter les élèves à discuter des ressemblances et des différences entre ces formes d'énergie potentielle.

En quête

Activité de laboratoire – Allongement d'un ressort

Proposer aux élèves de mener une expérience afin de déterminer la relation entre l'allongement d'un ressort et la force exercée sur lui (voir *Physique 11*, p. 187, *Physique 12*, p. 220 et 221, *Physique 11-12*, p. 348 et 349 ou *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 397). Leur indiquer qu'ils doivent compléter un rapport d'expérience (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.28, 11.29, 11.38 et 11.39).

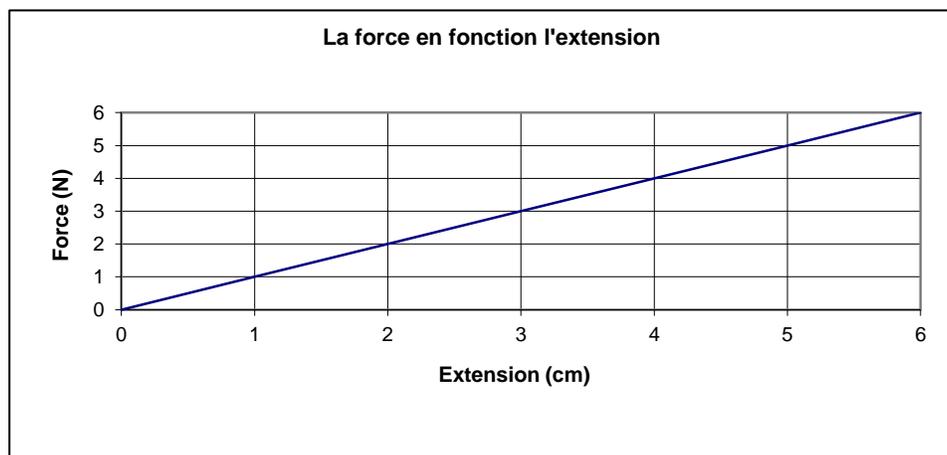


Enseignement direct – Énergie potentielle d'un ressort

Expliquer aux élèves que lorsqu'on applique une force à un ressort pour l'étirer, on fait un travail parce qu'on applique la force sur une certaine distance. Puisque le travail est un transfert d'énergie, on peut dire que l'énergie est transmise au ressort. Le travail devient une énergie potentielle emmagasinée dans le ressort. Cette énergie peut être emmagasinée lorsqu'on étire un ressort, ou lorsqu'on le comprime.

Inviter les élèves à examiner un graphique de la force en fonction de l'étirement d'un ressort. Leur poser la question suivante :

- *Comment pourrait-on calculer le travail effectué sur le ressort? (On le calcule en déterminant l'aire sous la courbe du graphique.)*



Travail = aire sous la courbe = aire du triangle = $\frac{1}{2}bh = \frac{1}{2}Fx$.

Puisque $F = kx$, on peut calculer le travail à l'aide de la formule suivante : $W = \frac{1}{2}kx^2$.

Expliquer aux élèves que l'extension qu'on donne au ressort va déterminer le montant d'énergie potentielle élastique qu'il emmagasine, donc on peut utiliser la formule suivante pour le calcul de cette forme d'énergie : $E_e = \frac{1}{2}kx^2$.

Résolution de problèmes – Énergie potentielle élastique

Inviter les élèves à résoudre des problèmes au sujet de l'énergie potentielle élastique (voir *Physique 12*, p. 211, *Physique 11-12*, p. 301 ou *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 377).

En fin

①

Inviter les élèves à répondre aux questions suivantes dans leur carnet scientifique :

- *Comment la représentation graphique aide-t-elle à déterminer les relations entre les variables lorsqu'on fait une étude scientifique? (La forme de la courbe obtenue nous permet d'identifier les relations entre les variables.)*
- *Si on continue à augmenter la force exercée sur le ressort, la proportion directe entre la force et l'extension sera-t-elle valide indéfiniment? (Non. Le ressort va atteindre une extension maximale à un moment donné et ne pourra plus s'étirer. Si on continue à augmenter la force, le ressort finira par casser.)*

②

Inviter les élèves à démontrer la dérivation de l'équation pour l'énergie potentielle d'un ressort à l'aide de notes explicatives (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 13.14 et 13.15).

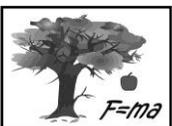
Stratégies d'évaluation suggérées

①

Évaluer le rapport d'expérience des élèves en portant une attention particulière à l'analyse des relations entre les variables.

②

Inviter les élèves à comparer l'énergie potentielle gravitationnelle et l'énergie potentielle élastique en complétant un cadre de comparaison (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.15-10.17 et p. 10.24).



Bloc P La conservation d'énergie

L'élève sera apte à :

- P12-1-33** résoudre des problèmes liés à la conservation de l'énergie, entre autres l'énergie potentielle gravitationnelle, l'énergie potentielle élastique, l'énergie cinétique.
RAG : D4

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

Inviter les élèves à décrire comment l'énergie est conservée lors d'une collision automobile, par exemple l'énergie cinétique est transformée en énergie sonore, en chaleur, etc.

En quête

Résolution de problèmes – La conservation de l'énergie

Inviter les élèves à résoudre des problèmes liés à la conservation de l'énergie (voir  l'annexe 43, *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 385-387, *Physique 12*, p. 201, 202, 211 ou *Physique 11-12*, p. 308-310). Le corrigé de  l'annexe 43 figure à  l'annexe 44.

En fin



Inviter les élèves à répondre aux questions suivantes dans leur carnet scientifique :

- *Qu'avez-vous appris au sujet de la conservation de l'énergie?*
- *Que saviez-vous déjà?*
- *Qu'aimeriez-vous apprendre davantage?*

Stratégies d'évaluation suggérées



Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de  l'annexe 43.



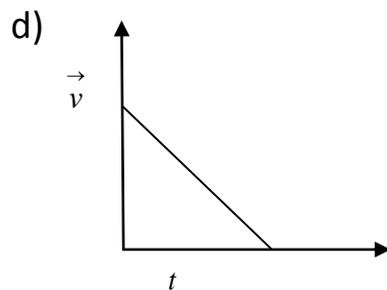
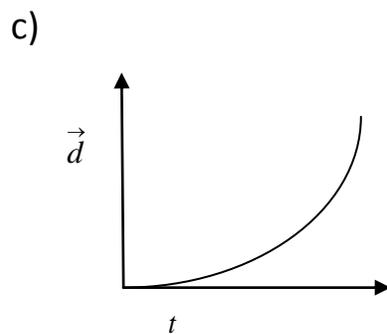
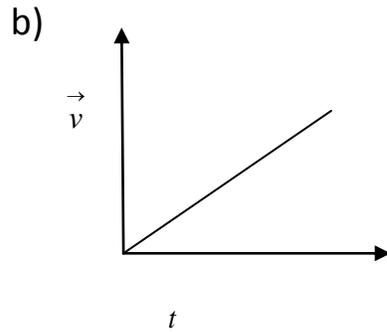
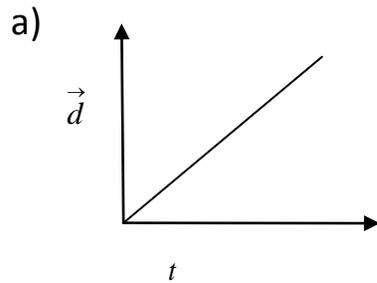
Liste des annexes

Annexe 1 :	Exercice – La cinématique	1.65
Annexe 2 :	La cinématique – Corrigé	1.68
Annexe 3 :	Exercice – Résolution de problèmes	1.72
Annexe 4 :	Résolution de problèmes – Corrigé	1.73
Annexe 5 :	Exercice – Addition et soustraction de vecteurs	1.76
Annexe 6 :	Addition et soustraction de vecteurs – Corrigé	1.77
Annexe 7 :	La vitesse vectorielle relative	1.80
Annexe 8 :	Exercice – La vitesse vectorielle relative	1.85
Annexe 9 :	La vitesse vectorielle relative – Corrigé.....	1.86
Annexe 10 :	Exercice – Corps en équilibre	1.89
Annexe 11 :	Corps en équilibre – Corrigé	1.90
Annexe 12 :	Exercice – Les forces.....	1.94
Annexe 13 :	Exercice – Forces et plans inclinés	1.95
Annexe 14 :	Forces et plans inclinés – Corrigé.....	1.96
Annexe 15 :	Exercice – Coefficient de frottement	1.99
Annexe 16 :	Coefficient de frottement – Corrigé.....	1.100
Annexe 17 :	Réflexion individuelle sur le travail en groupe.....	1.107
Annexe 18 :	Grille d'évaluation – Le rapport d'expérience.....	1.108
Annexe 19 :	Évaluation des habiletés de laboratoire – Habiletés générales	1.109
Annexe 20 :	Liste de contrôle des habiletés de laboratoire – Capacité de raisonnement	1.110
Annexe 21 :	Exercice – La quantité de mouvement et l'impulsion	1.111
Annexe 22 :	La quantité de mouvement et l'impulsion – Corrigé	1.113
Annexe 23 :	La quantité de mouvement et l'impulsion – Renseignements pour l'élève	1.116
Annexe 24 :	Exercice – La conservation de la quantité de mouvement	1.121
Annexe 25 :	La conservation de la quantité de mouvement – Corrigé.....	1.122
Annexe 26 :	La chute libre – Renseignements pour l'élève	1.128
Annexe 27 :	Exercice – La chute libre	1.132
Annexe 28 :	La chute libre – Corrigé	1.133
Annexe 29 :	Le mouvement projectile – Renseignements pour l'enseignant	1.135
Annexe 30 :	Exercice – Le mouvement projectile	1.139
Annexe 31 :	Le mouvement projectile – Corrigé.....	1.140
Annexe 32 :	Feuille de route - Processus de design	1.144
Annexe 33 :	Évaluation du processus de design	1.147
Annexe 34 :	Évaluation du processus de design	1.148
Annexe 35 :	Le mouvement circulaire – Renseignements pour l'enseignant	1.149
Annexe 36 :	L'accélération centripète – Renseignements pour l'enseignant.....	1.150
Annexe 37 :	Exercice – Mouvement circulaire	1.152
Annexe 38 :	Mouvement circulaire – Corrigé	1.153
Annexe 39 :	Exercice – Le travail	1.154
Annexe 40 :	Le travail – Corrigé.....	1.155
Annexe 41 :	Exercice – Énergie cinétique et énergie potentielle.....	1.157
Annexe 42 :	Énergie cinétique et énergie potentielle – Corrigé	1.158
Annexe 43 :	Exercice – La conservation de l'énergie	1.160
Annexe 44 :	La conservation de l'énergie – Corrigé.....	1.161



ANNEXE 1 : Exercice – La cinématique

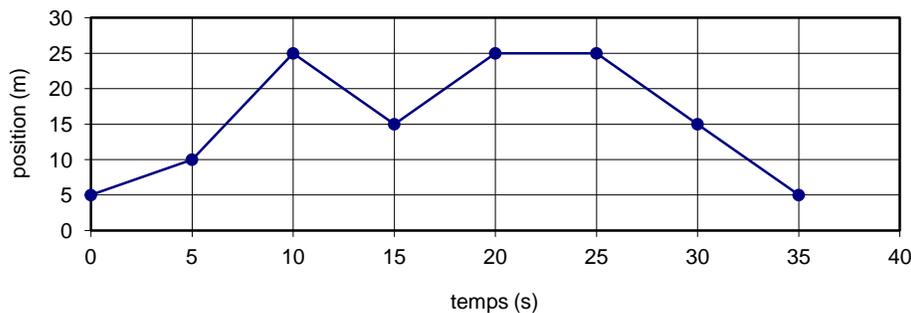
1. Décris en termes qualitatifs le mouvement représenté sur les graphiques qui suivent :



ANNEXE 1 : Exercice – La cinématique (suite)

2. Le graphique de la position en fonction du temps qui suit représente la position d'un juge de ligne lors d'un match de soccer. La position 0 se situe à la ligne des buts au bout sud du terrain. Toutes les autres positions sont marquées au nord de ce point d'origine.
- Où commence le trajet du juge de ligne?
 - À quels intervalles de temps le juge de ligne se déplace-t-il vers le nord? vers le sud? ne se déplace pas (chaque intervalle de temps est de 5 secondes)?
 - Calcule la distance parcourue par le juge ainsi que son déplacement dans l'intervalle de temps 1, 3 et 4 ainsi que la distance totale et le déplacement total. N'oublie pas d'indiquer la direction du déplacement.
 - Calcule la vitesse moyenne et la vitesse vectorielle moyenne du juge de ligne pour son trajet.

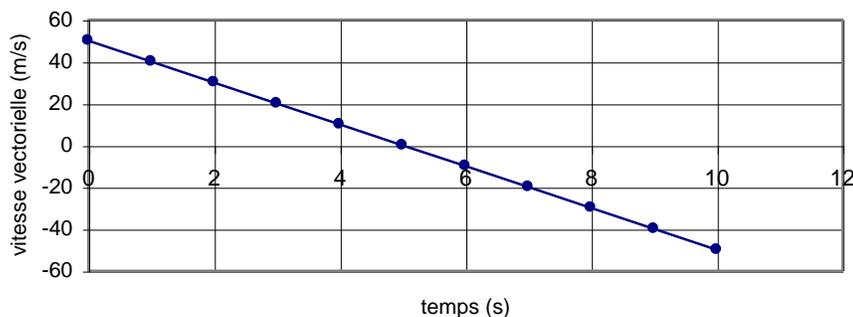
La position en fonction du temps



3. Le graphique qui suit représente le mouvement d'un objet lancé vers le haut suivi de sa chute.

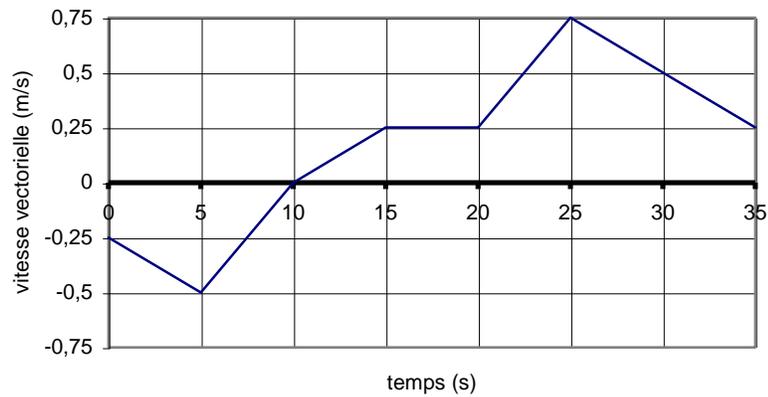
- À quel instant l'objet est-il au sommet de sa trajectoire?
- Quelle est l'accélération de l'objet quand il monte?
- Quelle est l'accélération de l'objet quand il redescend?

La vitesse vectorielle en fonction du temps



ANNEXE 1 : Exercice – La cinématique (suite)

La vitesse vectorielle en fonction du temps



- 4.
- Trace un graphique de la position en fonction du temps correspondant au graphique de la vitesse vectorielle en fonction du temps ci-dessus.
 - Trace un graphique de l'accélération en fonction du temps à partir du graphique de la vitesse vectorielle en fonction du temps.
 - Calcule l'accélération moyenne entre 5 s et 20 s.
5. Une voiture passe de 13 m/s à 25 m/s avec une accélération constante de $3,0 \text{ m/s}^2$.
Calcule son déplacement.

ANNEXE 2 : La cinématique – Corrigé

1. Décris en termes qualitatifs le mouvement représenté sur les graphiques qui suivent :

- a) *vitesse constante*
- b) *accélération constante*
- c) *mouvement accéléré*
- d) *accélération négative (décélération ou mouvement en revers à une vitesse variable)*

2. Le graphique de la position en fonction du temps qui suit représente la position d'un juge de ligne lors d'un match de soccer. La position 0 se situe à la ligne des buts au bout sud du terrain. Toutes les autres positions sont marquées au nord de ce point d'origine.

- a) Où commence le trajet du juge de ligne? *Son trajet commence à la position de 5 m.*
- b) À quels intervalles de temps le juge de ligne se déplace-t-il vers le nord? vers le sud? ne se déplace pas? *Le juge de ligne se déplace vers le nord dans le premier, le deuxième et le quatrième intervalle de temps. Il se déplace vers le sud dans le troisième, le sixième et le septième intervalle de temps. Il est immobile dans le cinquième intervalle de temps.*
- c) Calcule la distance parcourue par le juge ainsi que son déplacement dans l'intervalle de temps 1, 3 et 4 ainsi que la distance totale et le déplacement total. N'oublie pas d'indiquer la direction du déplacement.

$$\text{Intervalle 1 : } d = 5 \text{ m; } \Delta \vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 = 10 \text{ m} - 5 \text{ m} = 5 \text{ m [N]}$$

$$\text{Intervalle 3 : } d = 10 \text{ m; } \Delta \vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 = 15 \text{ m} - 25 \text{ m} = -10 \text{ m} = 10 \text{ m [S]}$$

$$\text{Intervalle 4 : } d = 10 \text{ m; } \Delta \vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 = 25 \text{ m} - 15 \text{ m} = 10 \text{ m} = 10 \text{ m [N]}$$

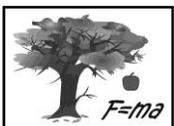
$$\text{Distance totale : } 5 \text{ m} + 15 \text{ m} + 10 \text{ m} + 10 \text{ m} + 0 \text{ m} + 10 \text{ m} + 10 \text{ m} = 60 \text{ m}$$

$$\text{Déplacement total : } \Delta \vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 = 5 \text{ m} - 5 \text{ m} = 0 \text{ m}$$

- d) Calcule la vitesse moyenne et la vitesse vectorielle moyenne du juge de ligne pour son trajet.

$$\text{Vitesse moyenne du trajet} = \frac{\text{distance totale}}{\text{temps total}} : v = \frac{d}{t} = \frac{60 \text{ m}}{35 \text{ s}} = 1,7 \text{ m/s}$$

$$\text{Vitesse vectorielle moyenne du trajet} = \frac{\text{distance totale}}{\text{temps total}} : \vec{v}_{\text{moy}} = \frac{\Delta \vec{d}}{\Delta t} = \frac{0 \text{ m}}{35 \text{ s}} = 0 \text{ m/s}$$



ANNEXE 2 : La cinématique – Corrigé (suite)

3. Le graphique qui suit représente le mouvement d'un objet lancé vers le haut suivi de sa chute.

a) À quel instant l'objet est-il au sommet de sa trajectoire? *L'objet est au sommet de sa trajectoire à 5 s, lorsque sa vitesse vectorielle a une valeur de zéro.*

b) Quelle est l'accélération de l'objet quand il monte?

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} = \frac{0 \text{ m/s} - 50 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = \frac{-50 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = -10 \text{ m/s}^2$$

c) Quelle est l'accélération de l'objet quand il redescend?

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} = \frac{-50 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = \frac{-50 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = -10 \text{ m/s}^2$$

(L'accélération négative ici ne signifie pas que l'objet ralentit. Elle indique un changement de direction.)

4.

a) Trace un graphique de la position en fonction du temps correspondant au graphique de la vitesse vectorielle en fonction du temps.

0 s à 5 s : l'aire sous la courbe = -1,9 m

5 s à 10 s : l'aire sous la courbe = -1,3 m

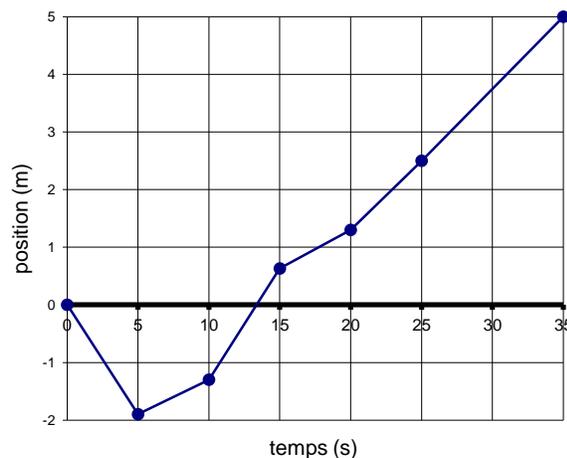
10 s à 15 s : l'aire sous la courbe = 0,63 m

15 s à 20 s : l'aire sous la courbe = 1,3 m

20 s à 25 s : l'aire sous la courbe = 2,5 m

25 s à 35 s : l'aire sous la courbe = 5,0 m

La position en fonction du temps



b) Trace un graphique de l'accélération en fonction du temps à partir du graphique de la vitesse vectorielle en fonction du temps.

$$0 \text{ s à } 5 \text{ s : pente} = -0,05 \text{ m/s}^2$$

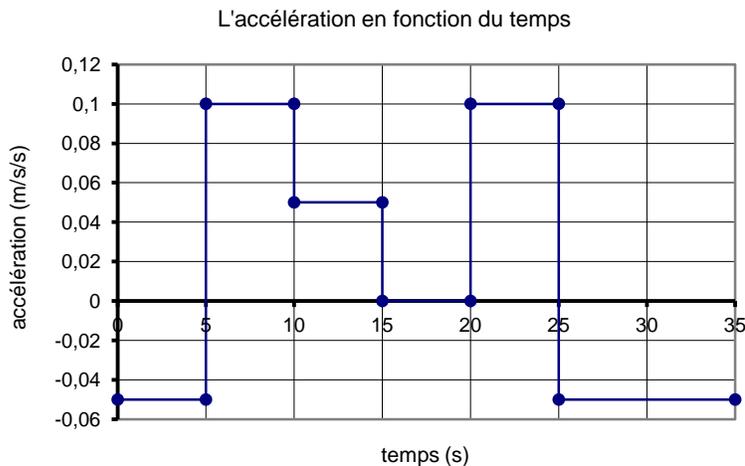
$$5 \text{ s à } 10 \text{ s : pente} = 0,1 \text{ m/s}^2$$

$$10 \text{ s à } 15 \text{ s : pente} = 0,05 \text{ m/s}^2$$

$$15 \text{ s à } 20 \text{ s : pente} = 0$$

$$20 \text{ s à } 25 \text{ s : pente} = 0,1 \text{ m/s}^2$$

$$25 \text{ s à } 35 \text{ s : pente} = -0,05 \text{ m/s}^2$$



c) Calcule l'accélération moyenne entre 5 s et 20 s.

$$\vec{a}_{\text{moy}} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} = \frac{0,25 \text{ m/s} - (-0,5 \text{ m/s})}{15 \text{ s}} = \frac{0,75 \text{ m/s}}{15 \text{ s}} = 0,05 \text{ m/s}^2$$

5. Une voiture passe de 13 m/s à 25 m/s avec une accélération constante de 3,0 m/s².

Calcule son déplacement.

$$\vec{v}_1 = 13 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_2 = 25 \text{ m/s}$$

$$\vec{a} = 3,0 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta \vec{d} = ?$$



ANNEXE 2 : La cinématique – Corrigé (suite)

On doit premièrement trouver la valeur du temps :

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{v_2 - v_1}{a}$$

$$\Delta t = \frac{25 \text{ m/s} - 13 \text{ m/s}}{3,0 \text{ m/s}^2} = 4,0 \text{ s}$$

On peut maintenant trouver le déplacement :

$$\vec{v}_{\text{moy}} = \frac{\Delta \vec{d}}{\Delta t}$$

$$\Delta \vec{d} = \left(\frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2} \right) \Delta t$$

$$\Delta \vec{d} = \left(\frac{13 \text{ m/s} + 25 \text{ m/s}}{2} \right) \times 4,0 \text{ s}$$

$$\Delta \vec{d} = 76 \text{ m}$$

Si les élèves ont déjà dérivé les autres équations spéciales de l'accélération constante :

$$v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta d$$

$$\Delta d = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} = \frac{(25 \text{ m/s})^2 - (13 \text{ m/s})^2}{2(3,0 \text{ m/s}^2)}$$

$$\Delta d = 76 \text{ m}$$



ANNEXE 3 : Exercice – Résolution de problèmes

1. Une voiture voyage à une vitesse initiale de 16,7 m/s puis accélère à $2,5 \text{ m/s}^2$ pour 8,0 secondes.
Quel est le déplacement de la voiture?
2. Une motocyclette voyage à une vitesse de 32 m/s sur une route dont la vitesse permise est de 25 m/s.
Une caméra se situe à une distance de 20 mètres. Que doit être l'accélération de la motocyclette afin qu'elle ralentisse à la vitesse permise lorsqu'elle atteint la caméra?
3. Une voiture part du repos et voyage avec une accélération constante pour parcourir une distance de 400,0 m en 8,0 s.
 - a) Calcule l'accélération de la voiture.
 - b) Calcule la vitesse vectorielle finale de la voiture.
 - c) Calcule la vitesse vectorielle moyenne de la voiture.
 - d) Calcule la vitesse vectorielle de la voiture 4,00 s après qu'elle se met à avancer.
 - e) Compare le déplacement de la voiture pour les 4,00 premières secondes et les 4,00 dernières secondes de son voyage. Explique la différence entre ces deux déplacements.



ANNEXE 4 : Résolution de problèmes – Corrigé

1. Une voiture voyage à une vitesse initiale de 16,7 m/s puis accélère à 2,5 m/s² pour 8,0 secondes.
Quel est le déplacement de la voiture?

$$\vec{v}_1 = 16,7 \text{ m/s} \quad \vec{a} = 2,5 \text{ m/s}^2 \quad \Delta t = 8,0 \text{ s} \quad \Delta \vec{d} = ?$$

$$\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2$$

$$\Delta \vec{d} = 16,7 \text{ m/s} (8,0 \text{ s}) + \frac{1}{2} (2,5 \text{ m/s}^2) (8,0 \text{ s})^2$$

$$\Delta \vec{d} = 133,6 \text{ m} + 80 \text{ m}$$

$$\Delta \vec{d} = 213,6 \text{ m} = 210 \text{ m}$$

2. Une motocyclette voyage à une vitesse de 32 m/s sur une route dont la vitesse permise est de 25 m/s.
Une caméra se situe à une distance de 20 mètres. Que doit être l'accélération de la motocyclette afin qu'elle ralentisse à la vitesse permise lorsqu'elle atteint la caméra?

$$\vec{v}_1 = 32 \text{ m/s} \quad \vec{v}_2 = 25 \text{ m/s} \quad \Delta \vec{d} = 20,0 \text{ m} \quad \vec{a} = ? \text{ m/s}^2$$

$$v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta d$$

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2\Delta d} = \frac{(25 \text{ m/s})^2 - (32 \text{ m/s})^2}{2(20,0 \text{ m})} = -10 \text{ m/s}^2$$

3. Une voiture part du repos et voyage avec une accélération constante pour parcourir une distance de 400,0 m en 8,00 s.

$$\Delta \vec{d} = 400,0 \text{ m} \quad \vec{v}_1 = 0 \text{ m/s} \quad \Delta t = 8,00 \text{ s}$$

a) Calcule l'accélération de la voiture.

$$\vec{a} = ? \text{ m/s}^2$$

$$\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2$$

$$\vec{a} = \frac{2(\Delta \vec{d} - \vec{v}_1 \Delta t)}{\Delta t^2}$$

$$\vec{a} = \frac{2(400,0 \text{ m} - (0 \text{ m/s})(8,00 \text{ s}))}{(8,00 \text{ s})^2}$$

$$\vec{a} = 12,5 \text{ m/s}^2$$



ANNEXE 4 : Résolution de problèmes – Corrigé (suite)

b) Calcule la vitesse vectorielle finale de la voiture.

$$\vec{v}_2 = ?$$

**Puisque les erreurs dues aux chiffres significatifs vont se propager dans les prochains calculs, il est mieux d'utiliser l'information donnée dans le problème plutôt que la réponse d'une première étape. Pour ce problème, on devrait utiliser une formule qui ne demande pas l'accélération. De plus, si les élèves ont fait une erreur lors de leur premier calcul, cette erreur ne va pas affecter leur prochaine réponse.*

$$\Delta \vec{d} = \left(\frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2} \right) \Delta t$$

$$\vec{v}_2 = \frac{2\Delta \vec{d}}{\Delta t} - \vec{v}_1$$

$$\vec{v}_2 = \frac{2(400,0 \text{ m})}{8,00 \text{ s}} - 0 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_2 = 100 \text{ m/s}$$

a) Calcule la vitesse moyenne de la voiture.

$$\vec{v}_{\text{moy}} = ?$$

$$\vec{v}_{\text{moy}} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2}$$

$$\vec{v}_{\text{moy}} = \frac{0 \text{ m/s} + 100,0 \text{ m/s}}{2}$$

$$\vec{v}_{\text{moy}} = 50,0 \text{ m/s}$$

d) Calcule la vitesse de la voiture 4,00 s après qu'elle se met à avancer.

$$\vec{v}_2 = ? \quad \Delta t = 4,00 \text{ s}$$

**On ne peut pas utiliser le déplacement pour résoudre ce problème puisque celui-ci a été mesuré à un temps de 8,00 s.*

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a}\Delta t$$

$$\vec{v}_2 = 0 \text{ m/s} + (12,5 \text{ m/s}^2)(4,00 \text{ s})$$

$$\vec{v}_2 = 50,0 \text{ m/s}$$



ANNEXE 4 : Résolution de problèmes – Corrigé (suite)

e) Compare le déplacement de la voiture pour les 4,00 premières secondes et les 4,00 dernières secondes de son voyage. Explique la différence entre ces deux déplacements.

$$\Delta \vec{d} = \left(\frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2} \right) \Delta t$$

$$\Delta \vec{d} = \left(\frac{0 \text{ m/s} + 50,0 \text{ m/s}}{2} \right) 4,00 \text{ s}$$

$$\Delta \vec{d} = 100,0 \text{ m après } 4,00 \text{ s}$$

$$\Delta \vec{d} = \left(\frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2} \right) \Delta t$$

$$\Delta \vec{d} = \left(\frac{50,0 \text{ m/s} + 100,0 \text{ m/s}}{2} \right) 4,00 \text{ s}$$

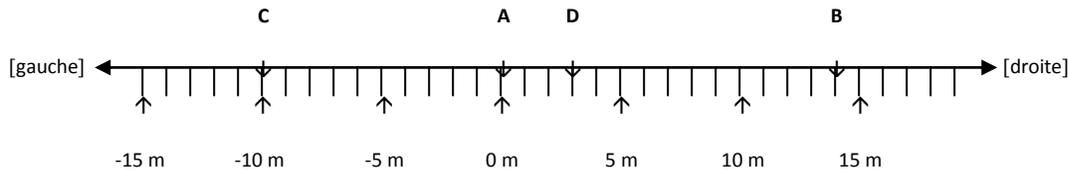
$$\Delta \vec{d} = 300,0 \text{ m de } 4,00 \text{ s à } 8,00 \text{ s}$$

Le déplacement lors du deuxième intervalle de temps est plus grand car la vitesse de la voiture augmente continuellement. La vitesse vectorielle moyenne est donc moins élevée dans le premier intervalle de temps que dans le deuxième intervalle de temps.



ANNEXE 5 : Exercice – Addition et soustraction de vecteurs

1. Une personne se déplace du point **A** jusqu'au point **D** en passant par le point **B** et le point **C**.



- Quelle est sa position au point B?
- Quelle est sa position au point C?
- Quel est son déplacement du point A au point B?
- Quel est son déplacement du point B au point C?
- Calcule la distance totale qu'elle parcourt.
- Calcule son déplacement total.

2. Une voiture voyage 50 km [N], 150 km [E], 50 km [S], puis 150 km [O].

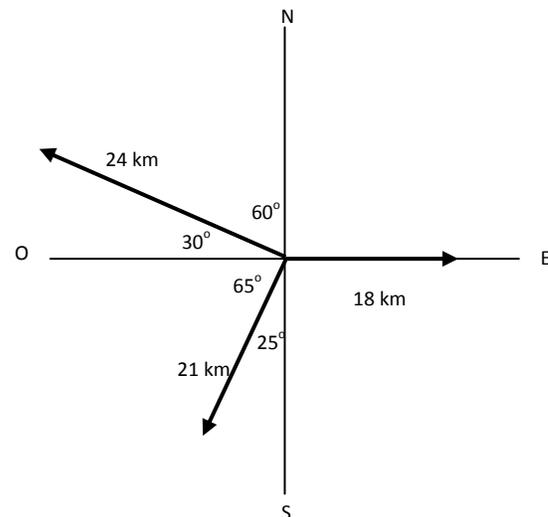
- Calcule la distance voyagée.
- Calcule le déplacement.

3. Un camion voyage 18 km vers le nord, puis 24 km vers l'ouest.

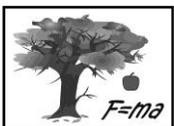
- Calcule la distance voyagée.
- Calcule le déplacement.

4. Un train fait un premier déplacement de 300 km [N] et un autre déplacement inconnu. Il finit à 150 km au sud de son point de départ. Calcule le second déplacement.

5. Détermine l'orientation des vecteurs illustrés dans le diagramme ci-contre.

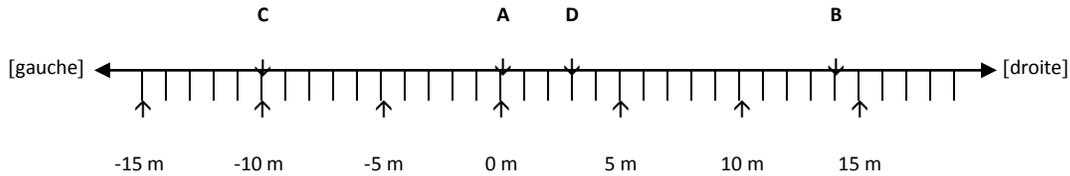


6. Une caisse de 52 kg est tirée le long d'une surface horizontale par une force constante de 65 N exercée à un angle de 35° par rapport à l'horizontale. La surface exerce une force de frottement de 45 N. Calcule la force résultante horizontale qui est exercée sur la caisse.



ANNEXE 6 : Addition et soustraction de vecteurs – Corrigé

1. Une personne se déplace du point **A** jusqu'au point **D** en passant par le point **B** et le point **C**.



a) Quelle est sa position au point B? *14 m ou 14 m [droite]*

b) Quelle est sa position au point C? *-10 m ou 10 m [gauche]*

c) Quel est son déplacement du point A au point B?
 $\Delta \vec{d} = \vec{d}_B - \vec{d}_A = 14 \text{ m} - 0 \text{ m} = 14 \text{ m ou } 14 \text{ m [droite]}$

d) Quel est son déplacement du point B au point C?
 $\Delta \vec{d} = \vec{d}_C - \vec{d}_B = -10 \text{ m} - 14 \text{ m} = -24 \text{ m ou } 24 \text{ m [gauche]}$

e) Calcule la distance qu'elle parcourt. $d_{AB} = 14 \text{ m}$, $d_{BC} = 24 \text{ m}$, $d_{CD} = 13 \text{ m}$
 $d_{totale} = 14 \text{ m} + 24 \text{ m} + 13 \text{ m} = 51 \text{ m}$

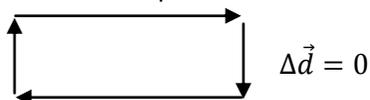
f) Calcule son déplacement total.
 $\Delta \vec{d}_{total} = \vec{d}_D - \vec{d}_A = 5 \text{ m} - 0 \text{ m} = 5 \text{ m ou } 5 \text{ m [droite]}$

2. Une voiture voyage 50 km [N], 150 km [E], 50 km [S], puis 150 km [O].

a) Calcule la distance voyagée.

$$d = 50 \text{ km} + 150 \text{ km} + 50 \text{ km} = 350 \text{ km}$$

b) Calcule le déplacement.



ANNEXE 6 : addition et soustraction de vecteurs – corrigé (suite)

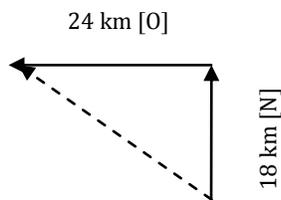
3. Un camion voyage 18 km vers le nord, puis 24 km vers l'ouest.

a) Calcule la distance voyagée.

$$d = 18 \text{ km} + 24 \text{ km} = 42 \text{ km}$$

b) Calcule le déplacement.

❶ Diagramme vectoriel



❷ Calcul de la grandeur de la résultante

$$|\Delta d| = \sqrt{(18 \text{ km})^2 + (24 \text{ km})^2} = 30 \text{ km}$$

❸ Calcul de l'angle

$$\tan \theta = \frac{24 \text{ km}}{18 \text{ km}}$$

$$\theta \approx 53^\circ$$

❹ Présentation de la réponse finale

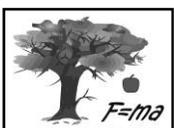
$$\Delta \vec{d} = 30 \text{ km } [N \ 53^\circ \ O] \text{ ou } 3,0 \times 10^1 \text{ km } [N \ 53^\circ \ O]$$

4. Un train fait un premier déplacement de 300 km [N] et un autre déplacement inconnu. Il finit à 150 km au sud de son point de départ. Calcule le second déplacement.

Premier déplacement : Il part de 0 km et arrive à 300 km [N].

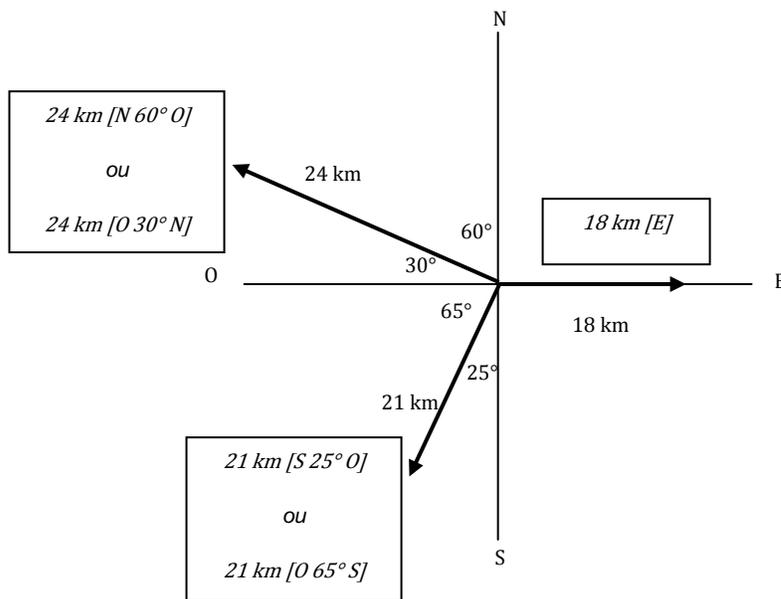
Deuxième déplacement : Il part de 300 km [N] et finit à 150 km [S]

$$\Delta \vec{d} = \vec{d}_B - \vec{d}_A = 150 \text{ km } [S] - 300 \text{ km } [N] = 450 \text{ km } [S]$$



ANNEXE 6 : addition et soustraction de vecteurs – corrigé (suite)

5. Détermine l'orientation des vecteurs illustrés dans le diagramme ci-contre.

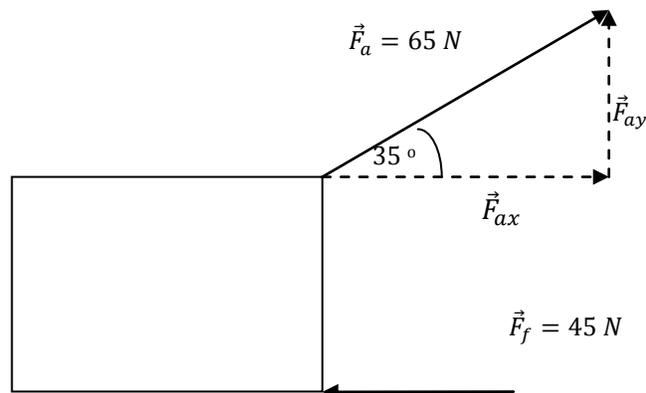


6. Une caisse de 52 kg est tirée le long d'une surface horizontale par une force constante de 65 N exercée à un angle de 35° par rapport à l'horizontale. La surface exerce une force de frottement de 45 N. Calcule la force résultante horizontale qui est exercée sur la caisse.

Puisque on veut seulement déterminer la force résultante horizontale, il n'est pas nécessaire de tenir compte des forces verticales (poids de la caisse, force normale, force appliquée verticale). La force résultante sera égale à la somme de la force de frottement et de la force appliquée horizontale.

$$\vec{F}_{ax} = \cos 35^\circ \times 65 \text{ N} = 53,2 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{rx} = \vec{F}_f + \vec{F}_{ax} = -45 \text{ N} + 53,2 \text{ N} = 8,2 \text{ N}$$



ANNEXE 7 : La vitesse vectorielle relative

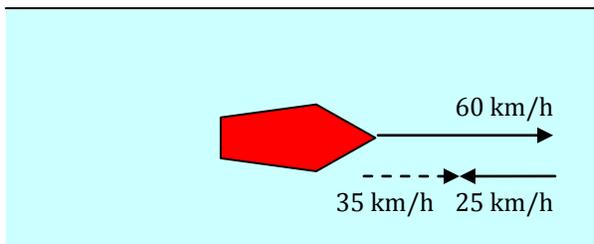
Lorsqu'un objet semble avoir un mouvement selon un premier observateur, mais un mouvement différent selon un deuxième observateur, on dit qu'il s'agit de mouvement relatif parce que les observateurs font partie de **systèmes de référence** différents. La vitesse vectorielle d'un objet en fonction d'un système de référence s'appelle la **vitesse vectorielle relative**.

La détermination de la vitesse vectorielle relative peut facilement porter à confusion. Tu devrais donc toujours tracer un diagramme de la situation et identifier chaque vitesse vectorielle avec deux indices. Le premier indice représente l'objet en mouvement et le deuxième indice représente le système de référence dans lequel l'objet a cette vitesse vectorielle.

Mouvement relatif en une dimension

Un bateau voyage à 60 km/h [E] dans une rivière qui coule vers l'ouest à une vitesse de 25 km/h. La vitesse du bateau par rapport à l'eau s'écrit \vec{v}_{be} (c'est l'effet du moteur du bateau et cette vitesse serait identique à la vitesse du bateau par rapport au sol s'il n'y avait aucun courant). La vitesse de la rivière par rapport au sol s'écrit \vec{v}_{es} . La vitesse du bateau par rapport au sol s'écrit \vec{v}_{bs} .

Tu veux déterminer la vitesse du bateau selon l'observateur sur la rive:



$$\vec{v}_{bs} = \vec{v}_{be} + \vec{v}_{es} = 60 \text{ km/h [E]} + 25 \text{ km/h [O]}$$

$$\vec{v}_{bs} = 35 \text{ km/h [E]}$$

La vitesse vectorielle d'un objet par rapport au sol est égale à la somme de la vitesse vectorielle de l'objet par rapport à son milieu et la vitesse vectorielle du milieu par rapport au sol.

Le conducteur du bateau se déplace à une vitesse de 60 km/h vers l'est. Cependant, selon l'observateur sur la rive, le bateau voyage à une vitesse de 35 km/h vers l'est car son système de référence comprend le mouvement du bateau ainsi que le mouvement de l'eau.



ANNEXE 7 : La vitesse vectorielle relative (suite)

Il y a une règle de combinaison lorsqu'on écrit l'équation vectorielle pour des problèmes de vitesse vectorielle relative. Le premier indice de la première vitesse vectorielle est identique au premier indice de la deuxième vitesse vectorielle. Le deuxième indice de la première vitesse vectorielle est identique au deuxième indice de la troisième vitesse vectorielle. Le deuxième indice de la deuxième vitesse vectorielle est identique au premier indice de la troisième vitesse vectorielle.

Mouvement relatif en 2 dimensions (vecteurs perpendiculaires)

Un bateau traverse une rivière à une vitesse vectorielle de 2,00 m/s [N]. La rivière a un courant de 2,00 m/s [E]. Quelle est la vitesse vectorielle apparente du bateau selon un observateur sur la rive?

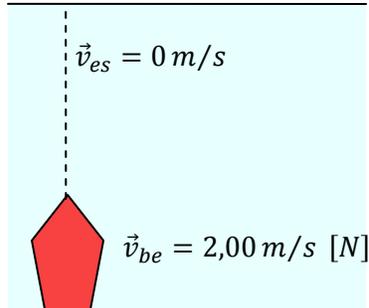
Vitesse vectorielle du bateau par rapport à l'eau : $\vec{v}_{be} = 2,0 \text{ m/s [N]}$

Vitesse vectorielle de l'eau par rapport au sol : $\vec{v}_{es} = 2,0 \text{ m/s [E]}$

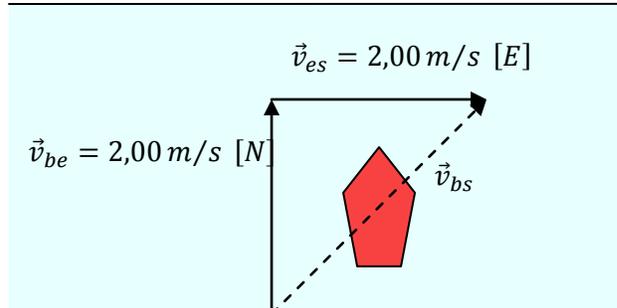
Vitesse vectorielle du bateau par rapport au sol : $\vec{v}_{bs} = ?$

$$\vec{v}_{bs} = \vec{v}_{be} + \vec{v}_{es}$$

Bateau traversant une rivière lorsqu'il n'y a pas de courant.



Bateau traversant une rivière lorsqu'il y a un courant.



On peut résoudre ce problème en créant un dessin à l'échelle ou en utilisant la trigonométrie.

$$|v_{bs}| = \sqrt{(2,0 \text{ m/s})^2 + (2,0 \text{ m/s})^2}$$

$$|v_{bs}| = 2,8 \text{ m/s}$$

Pour déterminer la direction :

$$\tan \theta = \frac{\text{opp}}{\text{adj}}$$

$$\tan \theta = \frac{2,0 \text{ m/s}}{2,0 \text{ m/s}}$$

$$\tan \theta = 1,0$$

$$\theta = 45^\circ$$

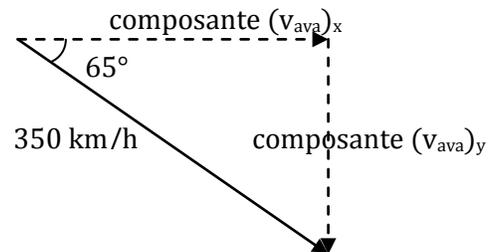
La vitesse vectorielle du bateau par rapport au sol est donc $2,8 \text{ m/s}$ $[N 45^\circ E]$

Mouvement relatif en 2 dimensions (vecteurs non perpendiculaires)

Si les vecteurs ne sont pas perpendiculaires, on peut résoudre le problème en créant un dessin à l'échelle, en calculant les composantes de chaque vecteur ou en utilisant la trigonométrie (loi du sinus et du cosinus).

Par exemple, un avion voyage à une vitesse vectorielle de 350 km/h $[E 65^\circ S]$. Un vent souffle à une vitesse vectorielle de 75 km/h $[O 42^\circ S]$. Quelle est la vitesse vectorielle de l'avion par rapport au sol?

- vitesse vectorielle de l'avion par rapport à l'air :
 $\vec{v}_{ava} = 350 \text{ km/h}$ $[E 65^\circ N]$
- vitesse vectorielle de l'air par rapport au sol :
 $\vec{v}_{as} = 75 \text{ km/h}$ $[O 42^\circ S]$
- vitesse vectorielle de l'avion par rapport au sol :
 $\vec{v}_{avs} = ?$



Calcul des composantes

Composantes sur l'axe des x :

$$\cos \theta = \frac{\text{adj}}{\text{hyp}} = \frac{(\vec{v}_{ava})_x}{350 \text{ km/h}}$$

$$(\vec{v}_{ava})_x = 350 \text{ km/h} \times \cos 65^\circ$$

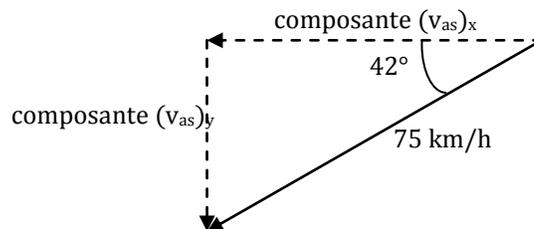
$$(\vec{v}_{ava})_x = 150 \text{ km/h} [E]$$

$$\cos \theta = \frac{\text{adj}}{\text{hyp}} = \frac{(\vec{v}_{as})_x}{75 \text{ km/h}}$$

$$(\vec{v}_{as})_x = 75 \text{ km/h} \times \cos 42^\circ$$

$$(\vec{v}_{as})_x = 56 \text{ km/h} [O]$$

$$(\vec{v}_{avs})_x = (\vec{v}_{ava})_x + (\vec{v}_{as})_x = 150 \text{ km/h} [E] + 56 \text{ km/h} [O] = 94 \text{ km/h} [E]$$



ANNEXE 7 : La vitesse vectorielle relative (suite)

Composantes sur l'axe des y :

$$\sin \theta = \frac{\text{opp}}{\text{hyp}} = \frac{(\vec{v}_{ava})_y}{350 \text{ km/h}}$$

$$(\vec{v}_{ava})_y = 350 \text{ km/h} \times \sin 65^\circ$$

$$(\vec{v}_{ava})_y = 320 \text{ km/h [S]}$$

$$\sin \theta = \frac{\text{opp}}{\text{hyp}} = \frac{(\vec{v}_{as})_y}{75 \text{ km/h}}$$

$$(\vec{v}_{as})_y = 75 \text{ km/h} \times \sin 42^\circ$$

$$(\vec{v}_{as})_y = 50 \text{ km/h [S]}$$

$$(\vec{v}_{avs})_y = (\vec{v}_{ava})_y + (\vec{v}_{as})_y = 320 \text{ km/h [S]} + 50 \text{ km/h [S]} = 370 \text{ km/h [S]}$$

Finalement, on utilise la trigonométrie pour additionner les composantes x et y :

$$|v_{avs}| = \sqrt{(v_{avs})_x^2 + (v_{avs})_y^2} = \sqrt{(94 \text{ km/h})^2 + (370 \text{ km/h})^2}$$

$$|v_{avs}| = 380 \text{ km/h}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} = \frac{370 \text{ km/h}}{94 \text{ km/h}} = 3,9$$

$$\theta = 76^\circ$$

$$\text{donc, } \vec{v}_{avs} = 380 \text{ km/h [E } 76^\circ \text{ S]}$$



ANNEXE 7 : La vitesse vectorielle relative (suite)

Calcul à l'aide des lois du cosinus et du sinus

On utilise la loi du cosinus pour calculer la vitesse de l'avion par rapport au sol (\vec{v}_{avs}).

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$$

$$|v_{avs}|^2 = |v_{ava}|^2 + |v_{as}|^2 - 2|v_{ava}||v_{as}| \cos \beta$$

$$|v_{avs}|^2 = 350^2 + 75^2 - 2(350)(75) \cos 107^\circ$$

$$|v_{avs}| = 380 \text{ km/h}$$

On utilise la loi du sinus pour déterminer la direction de la vitesse de l'avion par rapport au sol.

$$\frac{v_{as}}{\sin \alpha} = \frac{v_{avs}}{\sin \beta}$$

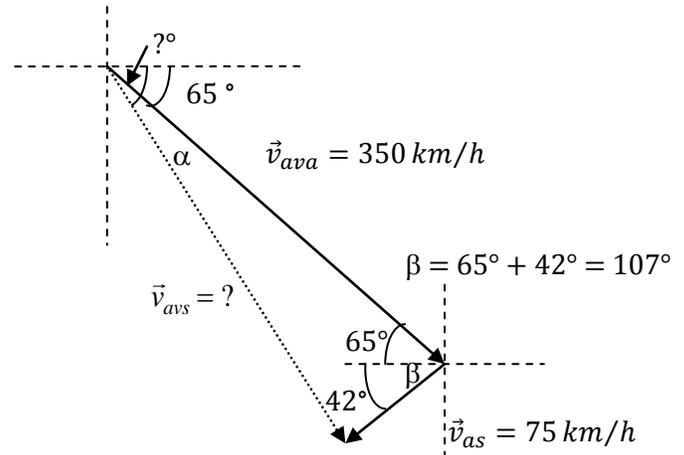
$$\frac{75}{\sin \alpha} = \frac{380}{\sin 107^\circ}$$

$$\sin \alpha = \frac{75 \times \sin 107^\circ}{380}$$

$$\alpha = 11^\circ$$

La direction de l'avion se calcule en additionnant l'angle α avec 65°

$$\vec{v}_{avs} = 380 \text{ km/h [E } 76^\circ \text{ S]}$$



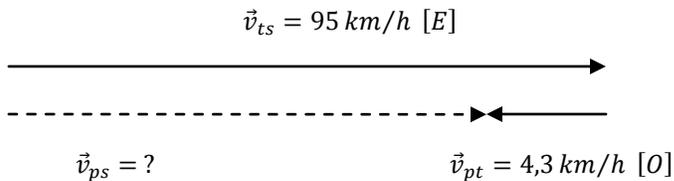
ANNEXE 8 : Exercice – La vitesse vectorielle relative

1. Un train voyage vers l'est à une vitesse de 95 km/h. Un passager sur le train marche vers l'arrière du train à une vitesse de 4,3 km/h.
 - a. Quelle est la vitesse vectorielle du train par rapport au sol?
 - b. Quelle est la vitesse vectorielle du passager par rapport au train?
 - c. Quelle est la vitesse vectorielle du passager par rapport au sol?
2. Un bateau voyage à une vitesse vectorielle de 63 km/h [N] par rapport au cours d'eau. Le courant a une vitesse vectorielle de 11 km/h [O]. Quelle est la vitesse vectorielle du bateau par rapport au sol?
3. Un avion voyage à une vitesse vectorielle de 350 km/h [S] par rapport à l'air. Un vent souffle à une vitesse vectorielle de 58 km/h [N 44° E]. Quelle est la vitesse vectorielle de l'avion par rapport au sol?



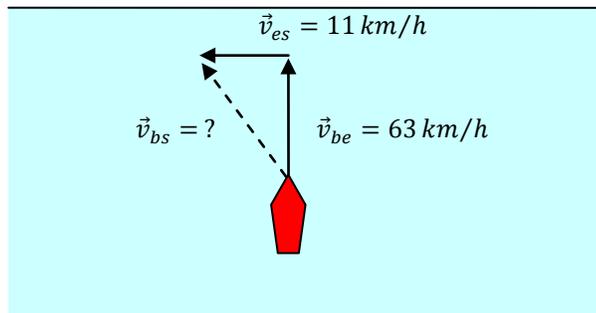
ANNEXE 9 : La vitesse vectorielle relative – Corrigé

- Un train voyage vers l'est à une vitesse de 95 km/h. Un passager sur le train marche vers l'arrière du train à une vitesse de 4,3 km/h.
 - Quelle est la vitesse vectorielle du train par rapport au sol? 95 km/h [E]
 - Quelle est la vitesse vectorielle du passager par rapport au train? $4,3 \text{ km/h [O]}$
 - Quelle est la vitesse vectorielle du passager par rapport au sol?



$$\vec{v}_{ps} = \vec{v}_{ts} + \vec{v}_{pt} = 95 \text{ km/h [E]} + 4,3 \text{ km/h [O]} = 90,7 \text{ km/h [E]} = 91 \text{ km/h [E]}$$

- Un bateau voyage à une vitesse vectorielle de 63 km/h [N] par rapport au cours d'eau. Le courant a une vitesse vectorielle de 11 km/h [O]. Quelle est la vitesse vectorielle du bateau par rapport au sol?



$$\vec{v}_{be} = 63 \text{ km/h [N]}$$

$$\vec{v}_{es} = 11 \text{ km/h [O]}$$

$$\vec{v}_{bs} = ?$$

$$v_{bs} = \sqrt{(v_{es})^2 + (v_{be})^2}$$



ANNEXE 9 : La vitesse vectorielle relative – Corrigé (suite)

$$v_{bs} = \sqrt{(11 \text{ km/h})^2 + (63 \text{ km/h})^2}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} = \frac{11 \text{ km/h}}{63 \text{ km/h}} = 0,17$$

$$v_{bs} = 64 \text{ km/h}$$

$$v_{bs} = 64 \text{ km/h [N } 9,9^\circ \text{ O]}$$

$$\theta = 9,9^\circ$$

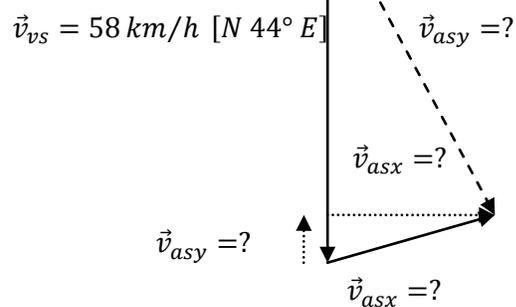
3. Un avion voyage à une vitesse vectorielle de 350 km/h [S] par rapport à l'air. Un vent souffle à une vitesse vectorielle de 58 km/h [N 44° E]. Quelle est la vitesse vectorielle de l'avion par rapport au sol?

$$\vec{v}_{av} = 350 \text{ km/h [S]}$$

$$\vec{v}_{vs} = 58 \text{ km/h [N } 44^\circ \text{ E]}$$

$$\vec{v}_{as} = ?$$

$$\vec{v}_{vs} = 58 \text{ km/h [N } 44^\circ \text{ E]}$$



Calcul des composantes

Composantes sur l'axe des y:

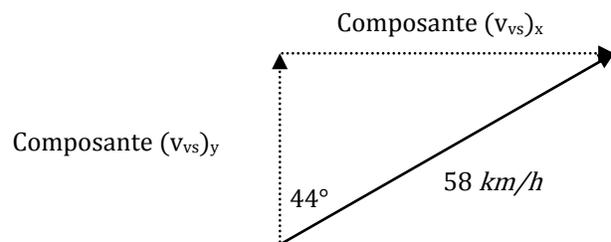
$$\cos \theta = \frac{\text{adj}}{\text{hyp}} = \frac{(\vec{v}_{vs})_y}{350 \text{ km/h}}$$

$$(\vec{v}_{vs})_y = 58 \text{ km/h} \times \cos 44^\circ$$

$$(\vec{v}_{vs})_y = 41,7 \text{ km/h [N]}$$

$$\vec{v}_{av} = 350 \text{ km/h [S]}$$

$$(\vec{v}_{as})_y = (\vec{v}_{vs})_y + (\vec{v}_{av}) = 41,7 \text{ km/h [N]} + 350 \text{ km/h [S]} = 308 \text{ km/h [S]}$$



ANNEXE 9 : La vitesse vectorielle relative - Corrigé (suite)

Composantes sur l'axe des x :

$$\sin \theta = \frac{\text{opp}}{\text{hyp}} = \frac{(\vec{v}_{av})_x}{58 \text{ km/h}}$$

$$(\vec{v}_{av})_x = 58 \text{ km/h} \times \sin 44^\circ = 40,3 \text{ km/h [E]}$$

$$(\vec{v}_{as})_x = (\vec{v}_{vs})_x + (\vec{v}_{av})_x = 40,3 \text{ km/h [E]} + 0 \text{ km/h} = 40,3 \text{ km/h [E]}$$

$$(\vec{v}_{as})_x = 40,3 \text{ km/h [E]}$$

Finalement, on utilise la trigonométrie pour additionner les composantes x et y :

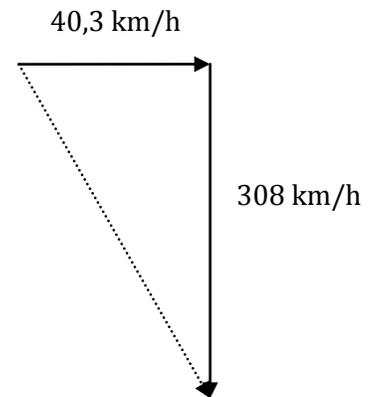
$$|v_{as}| = \sqrt{(v_{as})_x^2 + (v_{as})_y^2} = \sqrt{(40,3 \text{ km/h})^2 + (308 \text{ km/h})^2}$$

$$|v_{as}| = 310,6 \text{ km/h}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} = \frac{308 \text{ km/h}}{40,3 \text{ km/h}}$$

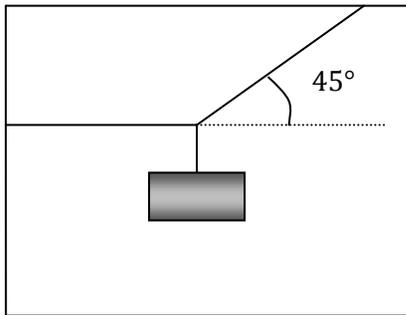
$$\theta = 83^\circ$$

$$\text{donc, } \vec{v}_{avs} = 310 \text{ km/h [E } 83^\circ \text{ S]}$$

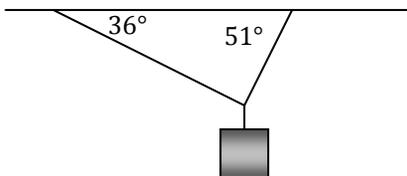


ANNEXE 10 : Exercice – Corps en équilibre

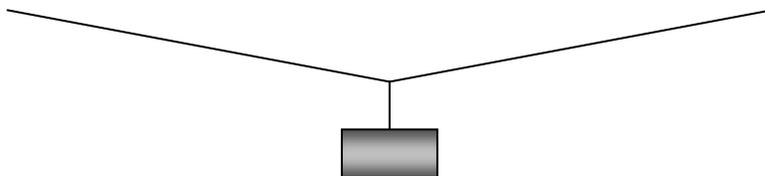
1. Une masse de 18,5 kg pend à partir d'une corde fixée horizontalement sur un mur et d'une deuxième corde à 45° de l'horizontale. Calcule la tension dans les fils.



2. Une masse de 6,3 kg est suspendue à deux câbles, le premier formant un angle de 36° avec l'horizontale et le deuxième formant un angle de 51° avec l'horizontale. Calcule la tension dans les deux câbles.

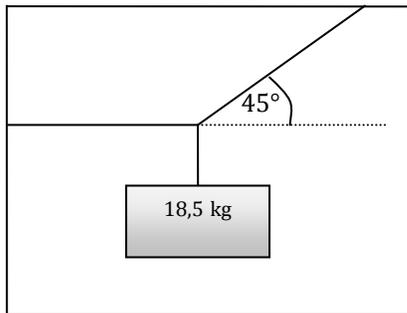


3. Une masse de 64 kg pend sur un câble dont la longueur est de 79 m. Si le centre du câble s'abaisse de 6 m, quelle est la tension dans la corde?

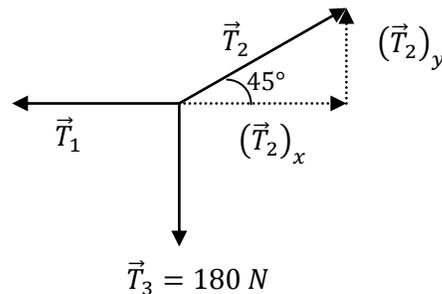


ANNEXE 11 : Corps en équilibre – Corrigé

1. Une masse de 18,5 kg pend à partir d'une corde fixée horizontalement sur un mur et d'une deuxième corde à 45° de l'horizontale. Calcule la tension dans les fils.



On devrait premièrement dessiner un diagramme de forces pour la situation.



On calcule aussi le poids de la masse ($\vec{F}_g = m \times \vec{g} = 18,5 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 180 \text{ N}$).

La masse est stationnaire donc la somme totale des forces agissant sur elle est égale à zéro.

Si on décompose les forces en leurs composantes horizontales et verticales, on peut aussi dire que la somme des forces horizontales est égale à zéro et que la somme des forces verticales est égale à zéro.

Forces verticales

$$- (\vec{T}_2)_y = \sin 45^\circ \vec{T}_2$$

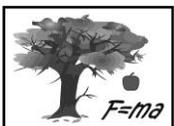
$$- \vec{T}_3$$

$$\Sigma \vec{F}_y = (\vec{T}_2)_y + \vec{T}_3 = 0 \text{ N}$$

$$\sin 45^\circ \vec{T}_2 + 180 \text{ N} = 0 \text{ N}$$

$$0,707 \vec{T}_2 = 180 \text{ N}$$

$$\vec{T}_2 = \frac{180 \text{ N}}{0,707} = 254,6 \text{ N} = 250 \text{ N}$$



ANNEXE 11 : Corps en équilibre – Corrigé (suite)

Forces horizontales

$$- \vec{T}_1$$

$$- (\vec{T}_2)_x = \cos 45^\circ \vec{T}_2$$

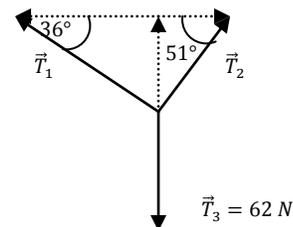
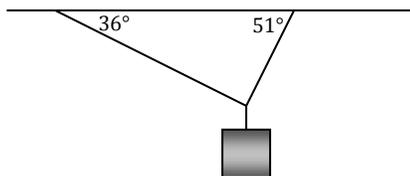
$$\Sigma \vec{F}_x = (\vec{T}_2)_x + \vec{T}_1 = 0 \text{ N}$$

$$\cos 45^\circ \vec{T}_2 + \vec{T}_1 = 0 \text{ N}$$

$$\cos 45^\circ (250 \text{ N}) = -\vec{T}_1$$

$$\vec{T}_1 = -176,8 \text{ N} = -180 \text{ N}$$

2. Une masse de 6,3 kg est suspendue à deux câbles, le premier formant un angle de 36° avec l'horizontale et le deuxième formant un angle de 51° avec l'horizontale. Calcule la tension dans les deux câbles.



$$\vec{T}_3 = m \times g = 6,3 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 61,7 \text{ N} = 62 \text{ N}$$

Forces horizontales

$$- \text{composante horizontale de } \vec{T}_1 \text{ } (-\vec{T}_1 \cos 36^\circ)$$

$$- \text{composante horizontale de } \vec{T}_2 \text{ } (\vec{T}_2 \cos 51^\circ)$$

$$\Sigma \vec{F}_x = \cos 51^\circ \vec{T}_2 - \cos 36^\circ \vec{T}_1 = 0 \text{ N}$$

$$\cos 51^\circ \vec{T}_2 = \cos 36^\circ \vec{T}_1$$

$$0,63 \vec{T}_2 = 0,81 \vec{T}_1$$

$$\vec{T}_2 = \frac{0,81 \vec{T}_1}{0,63} = 1,3 \vec{T}_1$$

(On pourra substituer cette expression pour la valeur de \vec{T}_2 dans l'équation pour les forces verticales.)



Forces verticales

- composante verticale de \vec{T}_2 ($\vec{T}_2 \sin 51^\circ$, ou $1,3\vec{T}_1$)
- composante verticale de \vec{T}_1 ($\vec{T}_1 \sin 36^\circ$)
- \vec{T}_3 (-62 N)

$$\Sigma \vec{F}_y = 1,3\vec{T}_1 + \vec{T}_1 \sin 36^\circ - \vec{T}_3 = 0 \text{ N}$$

$$1,3\vec{T}_1 + 0,59\vec{T}_1 = 62 \text{ N}$$

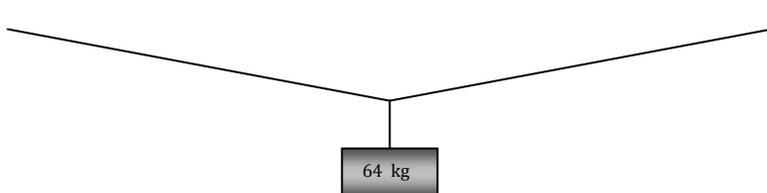
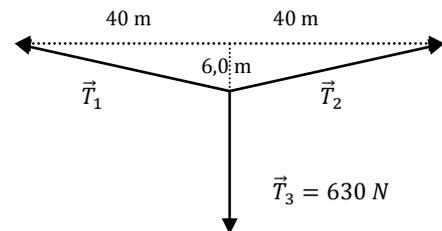
$$1,89\vec{T}_1 = 62 \text{ N}$$

$$\vec{T}_1 = \frac{62 \text{ N}}{1,89} = 32,8 \text{ N} = 33 \text{ N}$$

On peut maintenant déterminer la valeur de \vec{T}_2 .

$$\vec{T}_2 = 1,3\vec{T}_1 = 1,3 \times 33 = 42,9 = 43 \text{ N}$$

3. Une masse de 64 kg pend au centre d'un câble dont la longueur est de 80,0 m. Si le centre du câble s'abaisse de 6,0 m, quelle est la tension dans la corde?



$$\vec{T}_3 = m \times \vec{g} = 64 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 627,2 \text{ N} = 630 \text{ N}$$

Afin de déterminer la valeur de la tension dans le câble, il faut déterminer son angle par rapport à l'horizontale.

$$\tan \theta = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} = \frac{6 \text{ m}}{40 \text{ m}} = 0,15$$

$$\theta = 8,5^\circ$$



ANNEXE 11 : Corps en équilibre – Corrigé (suite)

La force totale qui agit vers le haut est égale à la force totale qui agit vers le bas, car l'objet ne bouge pas. Puisque les deux moitiés du câble tiennent la masse au même angle, la force dans chaque moitié du câble est égale à la moitié de la force totale vers le bas, donc 315 N vers le haut.

On peut calculer la tension dans le câble avec l'équation :

$$\sin 8,5^\circ = \frac{315 \text{ N}}{\vec{T}_{1 \text{ et } 2}}$$

$$\vec{T}_{1 \text{ et } 2} = \frac{315 \text{ N}}{\sin 8,5^\circ}$$

$$\vec{T}_{1 \text{ et } 2} = 2100 \text{ N}$$

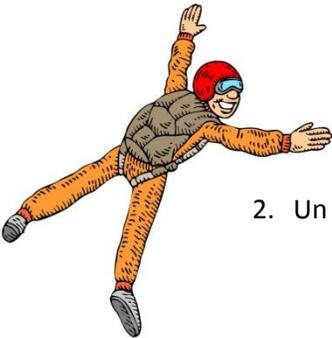
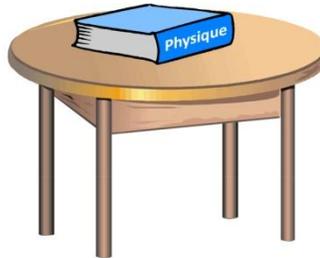


ANNEXE 12 : Exercice – Les forces

Pour chacune des situations suivantes, identifie les forces qui agissent sur l'objet.

Forces : force gravitationnelle, force normale, force appliquée, force de frottement, résistance de l'air

1. Un livre au repos sur une table

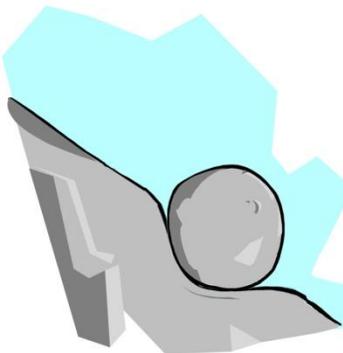
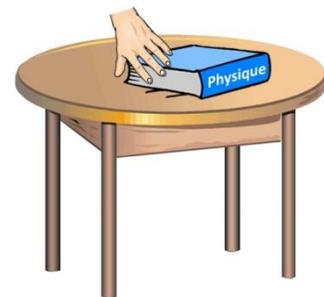


2. Un parachutiste en chute libre



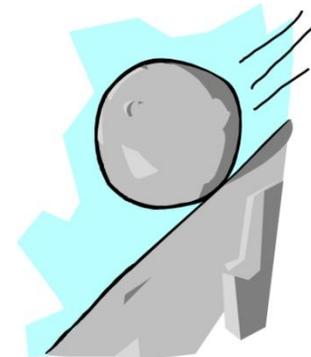
3. Un chandelier suspendu du plafond

4. Un texte de physique poussé le long d'une table
(identifie les forces agissant sur le texte
ainsi que les forces agissant sur la table)



5. Un bloc au repos sur un plan incliné

6. Un bloc glissant vers le bas d'un plan incliné



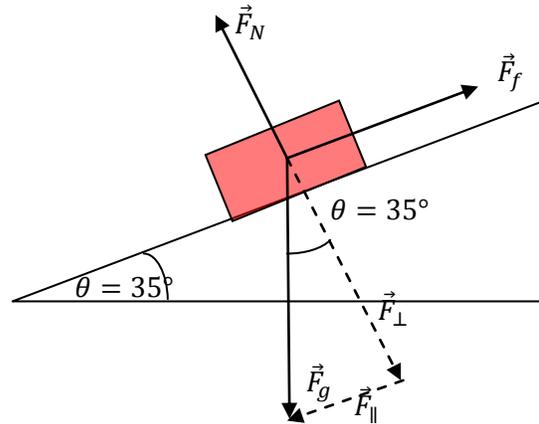
ANNEXE 13 : Exercice – Forces et plans inclinés

1. Une caisse de 25 kg repose sur un plan incliné formant un angle de 35° avec l'horizontale. Trace un diagramme de forces pour cette situation et calcule les composantes de la force gravitationnelle.
2. Un camion de 1224 kg est stationné sur une colline qui forme un angle de 25° avec l'horizontale. Quelle est l'intensité de la force qui attire le camion vers le bas de la colline?
3. Un bloc de 6 kg est placé sur un plan incliné de 37° . Trace un diagramme de forces pour cette situation et calcule les composantes de la force gravitationnelle.
4. Dessine un diagramme de force pour un objet placé sur un plan incliné de 0° . Dessine un diagramme de force pour un objet placé sur un plan incliné de 45° , et ensuite pour un plan incliné de 85° . Si on augmente l'angle d'un plan incliné, qu'est-ce qui arrive à la valeur de la force parallèle à la surface du plan incliné? Qu'est-ce qui arrive à la force perpendiculaire à la surface du plan incliné? Quel sera l'effet d'une augmentation de l'angle sur l'objet situé sur le plan incliné?



ANNEXE 14 : Forces et plans inclinés – Corrigé

1. Diagramme de forces :



Calcul des composantes :

a) Il faut premièrement calculer la force gravitationnelle qui agit sur la caisse.

$$\vec{F}_g = m\vec{g} = 25 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 245 \text{ N} = 250 \text{ N}$$

b) On peut ensuite calculer les composantes de la force gravitationnelle.

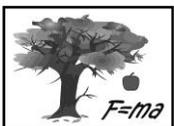
$$\vec{F}_{\parallel} = \vec{F}_g \times \sin \theta = 250 \text{ N} \times \sin 35^\circ = 143 \text{ N} = 140 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{\perp} = \vec{F}_g \times \cos \theta = 250 \text{ N} \times \cos 35^\circ = 204,8 \text{ N} = 200 \text{ N}$$

2. Force gravitationnelle : $\vec{F}_g = m\vec{g} = 1224 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 11\,995 \text{ N} = 12\,000 \text{ N}$

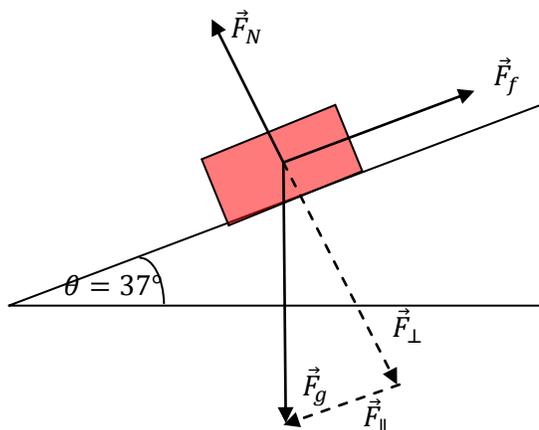
La force gravitationnelle qui attire le camion vers le bas de la colline est la composante parallèle de la force gravitationnelle agissant sur le camion.

$$\vec{F}_{\parallel} = \vec{F}_g \times \sin \theta = 12\,000 \text{ N} \times \sin 25^\circ = 5071 \text{ N} = 5100 \text{ N}$$



ANNEXE 14 : Forces et plans inclinés – Corrigé (suite)

3. Diagramme de forces :



Calcul des composantes :

a) Il faut premièrement calculer la force gravitationnelle qui agit sur la caisse.

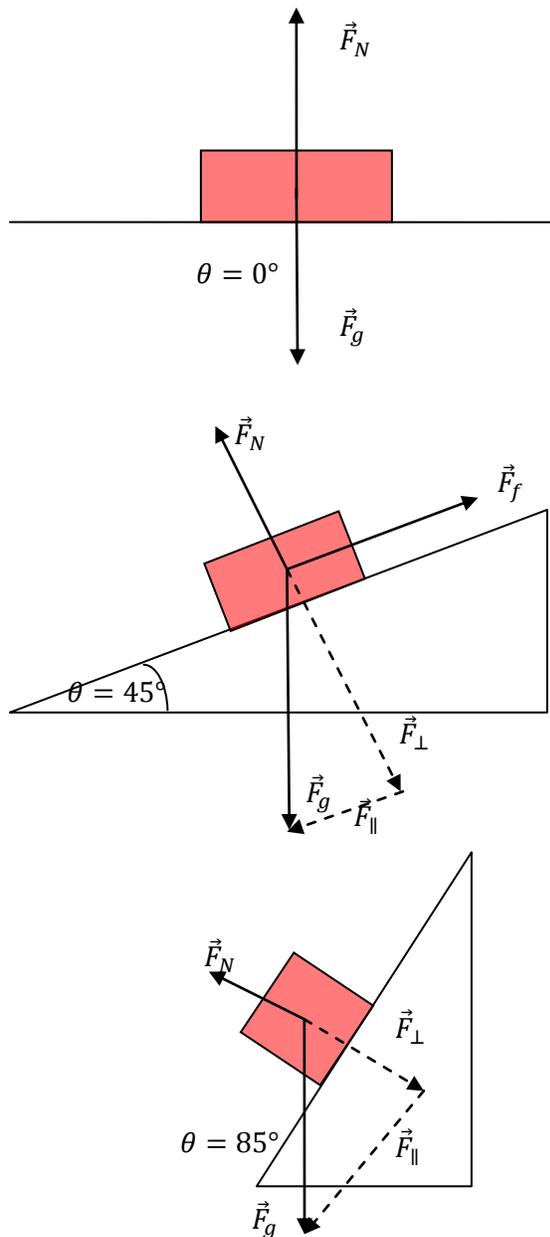
$$\vec{F}_g = m\vec{g} = 6 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 58,8 \text{ N} = 60 \text{ N}$$

b) On peut ensuite calculer les composantes de la force gravitationnelle.

$$\vec{F}_{\parallel} = \vec{F}_g \times \sin \theta = 60 \text{ N} \times \sin 37^\circ = 36 \text{ N} = 40 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{\perp} = \vec{F}_g \times \cos \theta = 60 \text{ N} \times \cos 37^\circ = 48 \text{ N} = 50 \text{ N}$$

4. Diagramme de forces :

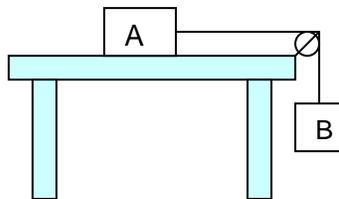


À mesure que l'angle du plan incliné augmente, la valeur de la force parallèle augmente. La force perpendiculaire diminue. C'est la composante parallèle de la force gravitationnelle qui tire l'objet vers le bas du plan incliné, donc lorsque l'angle augmente, la force attirant l'objet vers le bas du plan incliné augmente. L'objet a donc plus tendance à glisser vers le bas.



ANNEXE 15 : Exercice – Coefficient de frottement

1. On pousse une caisse afin de la déplacer le long du sol. Le coefficient de frottement cinétique entre une caisse de 35 kg et le sol est 0,31. Si la caisse a une accélération de $0,5 \text{ m/s}^2$, quelle force est appliquée sur la caisse?
2. Une personne en fauteuil roulant voyage vers le haut d'un trottoir incliné. La masse totale de la personne et du fauteuil roulant est 65,0 kg. Le coefficient de frottement du trottoir a une valeur de 0,11. Le degré d'inclinaison de la pente est $7,0^\circ$. La personne peut-elle s'arrêter et se reposer sans que le fauteuil commence à rouler vers le bas du trottoir? Si non, calcule son accélération.
3. Un skieur d'une masse de 75,0 kg descend une pente qui a un angle d'inclinaison de $30,0^\circ$. Le coefficient de frottement entre les skis et la neige est 0,150. Calcule la force de frottement nette, l'accélération du skieur, la vitesse du skieur après 8,00 s et la distance voyagée après 8,00 s.
4. Deux caisses sont reliées par une ficelle passant au-dessus d'une poulie (il n'y a aucun frottement entre la ficelle et la poulie). La caisse A a une masse de 5,0 kg. La caisse B a une masse de 3,0 kg. Le coefficient de frottement cinétique entre la caisse A et la surface de la table est 0,31. Calcule l'accélération du système.



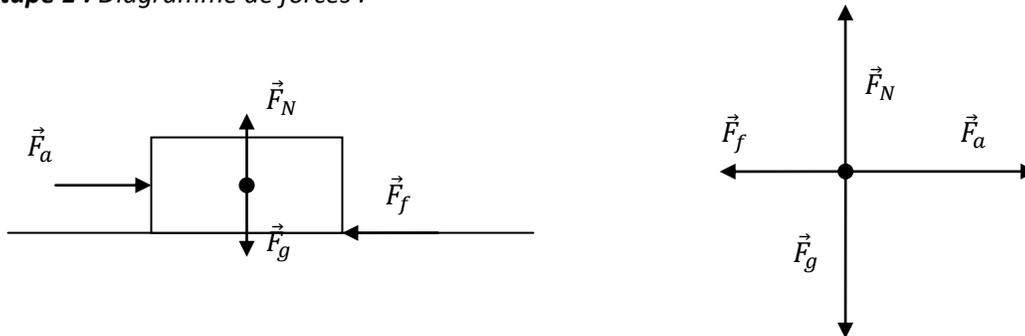
5. Mireille tire un traîneau de 55 kg. La corde qui tire le traîneau a un angle de $22,5^\circ$ au-dessus de l'horizontale. Le coefficient de frottement cinétique entre le traîneau et la neige est 0,10. Si Mireille exerce une force de 65,0 N sur la corde, quelle est l'accélération du traîneau ?

ANNEXE 16 : Coefficient de frottement – Corrigé

1. On pousse une caisse afin de la déplacer le long du sol. Le coefficient de frottement cinétique entre une caisse de 35 kg et le sol est 0,31. Si la caisse a une accélération de 0,5 m/s², quelle force est appliquée sur la caisse?

$$m = 35 \text{ kg} \quad \mu_c = 0,31 \quad \vec{a} = 0,5 \text{ m/s}^2 \quad \vec{F}_a = ?$$

Étape 1 : Diagramme de forces :



Étape 2 : Calcul de la force de frottement. Afin de calculer la force de frottement, il faut premièrement calculer la force normale, qui est égale à la force gravitationnelle mais dirigée vers le haut.

$$\vec{F}_g = m \times \vec{g} = 35 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 343 \text{ N} = 340 \text{ N [bas]}$$

$$\mu_c = \frac{\vec{F}_f}{\vec{F}_N}$$

$$\vec{F}_f = \mu_c \times \vec{F}_N = 0,31 \times 340 \text{ N} = 105,4 = 100 \text{ N}$$

Étape 3 : Calcul de la force appliquée C'est la force nette (somme de la force appliquée et de la force de frottement) qui cause l'accélération de la caisse.

$$\vec{F}_{nette} = m \times \vec{a} = 35 \text{ kg} \times 0,5 \text{ m/s}^2 = 17,5 = 18 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 18 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{nette} = \vec{F}_f + \vec{F}_a$$

$$\vec{F}_a = \vec{F}_{nette} - \vec{F}_f = 18 \text{ N} - (-100 \text{ N}) = 118 \text{ N}$$

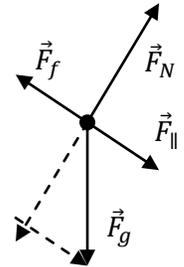
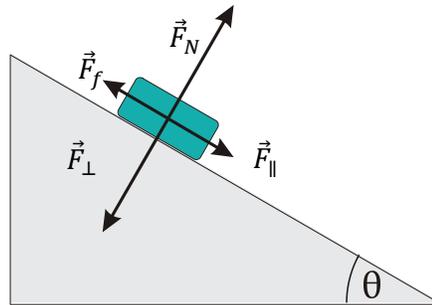


ANNEXE 16 : Coefficient de frottement – Corrigé (suite)

2. Une personne en fauteuil roulant voyage vers le haut d'un trottoir incliné. La masse totale de la personne et du fauteuil roulant est 65,0 kg. Le coefficient de frottement du trottoir a une valeur de 0,11. Le degré d'inclinaison de la pente est 7,0°. La personne peut-elle s'arrêter et se reposer sans que le fauteuil commence à rouler vers le bas du trottoir? Si non, calcule son accélération.

$$m = 65,0 \text{ kg} \quad \mu_c = 0,11 \quad \theta = 7,0^\circ$$

Étape 1 : Diagramme des forces :



Étape 2 : Calcul des composantes de la force gravitationnelle

$$\vec{F}_g = m \times \vec{g} = 65 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 637 \text{ N} = 640 \text{ N [bas]}$$

$$\vec{F}_{\parallel} = \vec{F}_g \sin \theta = 640 \text{ N} \times \sin 7,0^\circ = 77,99 = 78 \text{ N (force qui tire le fauteuil vers le bas de la colline)}$$

$$\vec{F}_{\perp} = \vec{F}_g \cos \theta = 640 \text{ N} \times \cos 7,0^\circ = 635 = 640 \text{ N} = \vec{F}_N \text{ (force normale)}$$

Étape 3 : Calcul du frottement

$$\vec{F}_f = \mu_c \times \vec{F}_N = 0,11 \times 640 \text{ N} = 70,4 = 70 \text{ N}$$

Étape 4 : Calcul de la force nette

$$\vec{F}_{nette} = \vec{F}_{\parallel} + \vec{F}_f = 78 \text{ N} + (-70 \text{ N}) = 8 \text{ N}$$

Le fauteuil roulant va donc voyager vers le bas du trottoir.

Étape 5 : Calcul de l'accélération

$$\vec{F}_{nette} = m \times a$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{nette}}{m} = \frac{8 \text{ N}}{65,0 \text{ kg}} = 0,1 \text{ m/s}^2$$



ANNEXE 16 : Coefficient de frottement – Corrigé (suite)

3. Un skieur d'une masse de 75,0 kg descend une pente qui a un angle d'inclinaison de 30,0°. Le coefficient de frottement entre les skis et la neige est 0,150. Calcule la force de frottement nette, l'accélération du skieur, la vitesse du skieur après 8,00 s et la distance voyagée après 8,00 s.

$$m = 75,0 \text{ kg} \quad \theta = 30,0^\circ \quad \mu_c = 0,150 \quad \Delta t = 8,00 \text{ s}$$

Étape 1 : Diagramme des forces

Étape 2 : Calcul des composantes de la force gravitationnelle

$$\vec{F}_g = m \times \vec{g} = 75,0 \text{ kg} \times 9,80 \text{ N/kg} = 735 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{\parallel} = \vec{F}_g \sin \theta = 735 \text{ N} \times \sin 30,0^\circ = 367,5 = 368 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{\perp} = \vec{F}_g \cos \theta = 735 \text{ N} \times \cos 30,0^\circ = 636,5 = 637 \text{ N} = \vec{F}_N$$

Étape 3 : Calcul de la force de frottement

$$\vec{F}_f = \mu_c \times \vec{F}_N = 0,150 \times 637 \text{ N} = 95,55 = 95,6 \text{ N}$$

Étape 4 : Calcul de la force nette

$$\vec{F}_{\text{nette}} = \vec{F}_{\parallel} + \vec{F}_{\perp} = 368 \text{ N} + (-95,6 \text{ N}) = 272,4 \text{ N} = 272 \text{ N}$$

Étape 5 : Calcul de l'accélération

$$\vec{F}_{\text{nette}} = m \times a$$

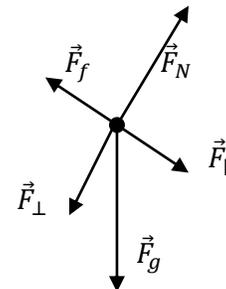
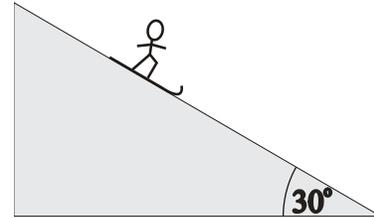
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{\text{nette}}}{m} = \frac{272 \text{ N}}{75,0 \text{ kg}} = 3,63 \text{ m/s}^2$$

Étape 6 : Calcul de la vitesse après 8,00 s

$$\vec{a}_{\text{moy}} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$$

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a}\Delta t = 0 + (3,63 \text{ m/s}^2)(8,00 \text{ s})$$

$$\vec{v}_2 = 29,0 \text{ m/s}$$



ANNEXE 16 : Coefficient de frottement – Corrigé (suite)

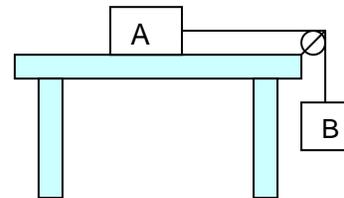
Étape 7 : Calcul de la distance voyagée en 8,00 s

$$\Delta \vec{d} = \left(\frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2} \right) \Delta t$$

$$\Delta \vec{d} = \left(\frac{0 \text{ m/s} + 29,0 \text{ m/s}}{2} \right) 8,00 \text{ s}$$

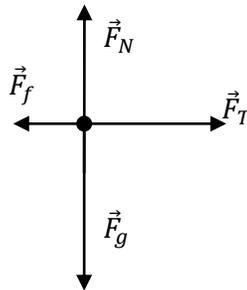
$$\Delta \vec{d} = 116 \text{ m}$$

4. Deux caisses sont reliées par une ficelle passant au-dessus d'une poulie (il n'y a aucun frottement entre la ficelle et la poulie). La caisse A a une masse de 5,0 kg. La caisse B a une masse de 3,0 kg. Le coefficient de frottement cinétique entre la caisse A et la surface de la table est 0,31. Calcule l'accélération du système.



Étape 1 : Diagramme de forces

Caisse A :



Caisse B :



***Les forces de tension sont pareilles pour les deux caisses

Étape 2 : Calcul de la force de frottement sur la caisse A

$$\vec{F}_g = m \times \vec{g} = 5,0 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 49 \text{ N} = \vec{F}_N$$

$$\vec{F}_f = \mu_c \times \vec{F}_N = 0,31 \times 49 \text{ N} = 15,19 = 15 \text{ N}$$

Étape 3 : Calcul de la force gravitationnelle de la caisse B

$$\vec{F}_g = m \times \vec{g} = 3,0 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 29 \text{ N}$$

ANNEXE 16 : Coefficient de frottement – Corrigé (suite)

Étape 4 : Détermination des forces nettes agissant sur les caisses

Caisse A – La force nette agissant sur la caisse A est égale à la somme de la force de tension sur la ficelle et de la force de frottement. On la calcule aussi en multipliant la masse de la caisse et son accélération. Puisque ces forces sont en directions opposées, on peut identifier la force de frottement comme une valeur négative.

$$\vec{F}_{nette} = \vec{F}_t + (-\vec{F}_f) = m_A \times \vec{a}$$

$$\vec{F}_{nette} = \vec{F}_t - \vec{F}_f = m_A \vec{a}$$

$$\vec{F}_t - \vec{F}_f = m_A \vec{a}$$

Puisque la force de tension est pareille pour les deux caisses, on peut isoler cette variable.

$$\vec{F}_t = m_A \vec{a} + \vec{F}_f$$

Caisse B – La force nette agissant sur la caisse B est égale à la somme de la force de tension sur la ficelle et de la force gravitationnelle de la caisse. La force de tension et la force gravitationnelle agissent en directions opposées. Puisque la force de frottement agissant vers la gauche pour la caisse A est identifiée comme valeur négative, la force de tension agissant sur la caisse B sera aussi négative.

$$\vec{F}_{nette} = \vec{F}_g + (-\vec{F}_t) = m_B \times \vec{a}$$

$$\vec{F}_g - \vec{F}_t = m_B \vec{a}$$

$$\vec{F}_g - m_B \vec{a} = \vec{F}_t$$

Étape 5 : On combine les deux équations

$$m_A \vec{a} + \vec{F}_f = \vec{F}_g - m_B \vec{a}$$

$$m_A \vec{a} + m_B \vec{a} = \vec{F}_g - \vec{F}_f$$

$$\vec{a}(m_A + m_B) = \vec{F}_g - \vec{F}_f$$

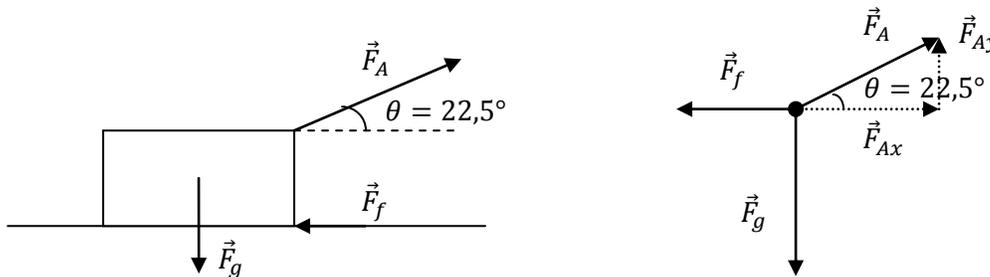
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_g - \vec{F}_f}{m_A + m_B} = \frac{29 \text{ N} - 15 \text{ N}}{5,0 \text{ kg} + 3,0 \text{ kg}} = \frac{14 \text{ N}}{8,0 \text{ kg}} = 1,75 = 1,8 \text{ N/kg}$$



ANNEXE 16 : Coefficient de frottement – Corrigé (suite)

5. Mireille tire un traîneau de 55,0 kg. La corde qui tire le traîneau a un angle de 22,5 degrés au-dessus de l'horizontale. Le coefficient de frottement cinétique entre le traîneau et la neige est 0,100. Si Mireille exerce une force de 65,0 N sur la corde, quelle est l'accélération du traîneau ?

Étape 1 : Diagramme de forces



Étape 2 : Calcul de la force gravitationnelle

$$\vec{F}_g = m \times \vec{g} = 55,0 \text{ kg} \times 9,80 \text{ N/kg} = 539 \text{ N}$$

Étape 3 : Calcul des composantes de la force appliquée

La force exercée par Mireille peut être décomposée en ses composantes horizontale et verticale.

$$\vec{F}_{Ax} = \vec{F}_A \cos \theta = 65,0 \text{ N} \times \cos 22,5^\circ = 60,1 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{Ay} = \vec{F}_A \sin \theta = 65,0 \text{ N} \times \sin 22,5^\circ = 24,87 = 24,9 \text{ N}$$

Étape 4 : Calcul de la force de frottement

Il faut calculer la force de frottement cinétique afin de déterminer la force nette qui agit sur le traîneau. Pour calculer la force de frottement, il faut déterminer la force normale. Le traîneau ne subit aucun mouvement dans le plan vertical. Ainsi, selon la deuxième loi de Newton ($F = ma$), l'accélération est égale à zéro. On peut conclure que les forces agissant dans le plan vertical ont une valeur totale égale à zéro.



ANNEXE 16 : Coefficient de frottement – Corrigé (suite)

$$\vec{F}_N + \vec{F}_g + \vec{F}_{Ay} = 0$$

$$\vec{F}_N + (-539 \text{ N}) + 24,9 \text{ N} = 0$$

$$\vec{F}_N = 539 \text{ N} - 24,9 \text{ N} = 514,1 \text{ N} = 514 \text{ N}$$

La force normale est moindre que la force gravitationnelle. Le sol ne pousse pas contre le poids total du traîneau car une partie de la force exercée par Mireille est orientée vers le haut.

$$\vec{F}_f = \mu_c \times \vec{F}_N = 0,100 \times 514 \text{ N} = 51,4 \text{ N}$$

Étape 5 : Détermination de la force nette sur le traîneau

Le traîneau se déplace horizontalement sur le sol. La force nette qui agit sur lui est donc la somme de la force de frottement et de la composante horizontale de la force appliquée par Mireille.

$$\vec{F}_{nette} = \vec{F}_{Ax} + \vec{F}_f = 60,1 \text{ N} + (-51,4 \text{ N}) = 8,7 \text{ N}$$

Étape 6 : Calcul de l'accélération

$$\vec{F}_{nette} = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{nette}}{m} = \frac{8,7 \text{ N}}{55,0 \text{ kg}} = 0,16 \text{ m/s}^2$$



ANNEXE 17 : Réflexion individuelle sur le travail en groupe

Réfléchis au travail que toi et ton groupe avez fait ensemble et évalue-le. Après ta réflexion, discute de tes réponses avec les membres de ton groupe.

Légende : 1 - peu satisfait(e) 3 - satisfait(e) 5 - très satisfait(e)

<p>J'ai bien participé.</p> <p>1 2 3 4 5</p>	<p>Le groupe s'est bien concentré sur la tâche.</p> <p>1 2 3 4 5</p>
<p>Je me suis consciemment efforcé(e) de collaborer.</p> <p>1 2 3 4 5</p>	<p>Le groupe a bien collaboré.</p> <p>1 2 3 4 5</p>
<p>J'ai écouté les autres et j'ai bien accueilli leurs contributions.</p> <p>1 2 3 4 5</p>	<p>Tout le monde a contribué.</p> <p>1 2 3 4 5</p>
<p>La prochaine fois, je pourrais...</p>	<p>La prochaine fois, le groupe pourrait...</p>



ANNEXE 18 : Grille d'évaluation – Le rapport d'expérience

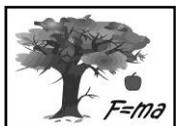
Évaluation du rapport d'expérience

Titre de l'expérience :

Membres de l'équipe :

<i>Critères</i>	Points possibles*	Auto-évaluation	Évaluation par l'enseignant
<p>Formuler une question</p> <ul style="list-style-type: none"> la question mène à l'étude et l'objet est bien ciblé (comporte une relation de cause à effet) 			
<p>Émettre une prédiction</p> <ul style="list-style-type: none"> les variables dépendante et indépendante sont définies la prédiction comporte une relation de cause à effet entre les variables dépendante et indépendante 			
<p>Élaborer le plan</p> <ul style="list-style-type: none"> le matériel nécessaire est choisi les variables à contrôler sont déterminées les étapes sont énumérées et décrites clairement les mesures de sécurité sont prises en compte l'élimination des déchets est prévue les éléments suivants sont modifiés au besoin et une justification est fournie : <ul style="list-style-type: none"> le matériel les variables les mesures de sécurité la démarche 			
<p>Réaliser le test, observer et consigner les observations</p> <ul style="list-style-type: none"> l'expérience fait l'objet d'essais répétés les données sont consignées en détail et avec les unités appropriées les données sont consignées clairement, de façon structurée et dans un format approprié 			
<p>Analyser et interpréter les résultats</p> <ul style="list-style-type: none"> les diagrammes sont utilisés au besoin les régularités, les tendances ou les écarts sont précisés les forces et les faiblesses de la méthode et les sources d'erreur possibles sont décrites toute modification au plan initial est décrite et justifiée 			
<p>Tirer une conclusion</p> <ul style="list-style-type: none"> la relation de cause à effet entre les variables dépendante et indépendante est expliquée d'autres explications sont élaborées la prédiction s'est avérée juste ou inexacte 			
Total des points			

*Remarque : L'enseignant ou les élèves de la classe attribuent des points selon les mérites particuliers de l'expérience.



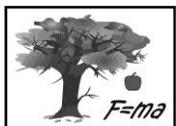
ANNEXE 19 : Évaluation des habiletés de laboratoire – Habiletés générales

Habiletés générales	Attentes	Attentes pas encore satisfaites	Attentes satisfaites
est préparé à réaliser le laboratoire	a lu d'avance le synopsis du labo, fait des tableaux, pose les questions qui précisent la tâche plutôt que demander « Qu'est-ce que je fais maintenant ? ».		
prépare et utilise l'équipement correctement	choisit le bon équipement, se prépare bien (ex., hauteur de l'anneau sur le trépied à anneau) et utilise correctement l'équipement (ex., allumer un bec Bunsen).		
suit des procédures sécuritaires	fait la démonstration de procédures générales sécuritaires aussi bien que de faits précis indiqués dans le pré-laboratoire		
note les observations	note ses observations personnelles au cours de l'action, utilise des approches quantitative et qualitative telles que demandées, note de façon organisée (ex., utilise un tableau ou une clé)		
travaille de façon indépendante (labo individuel) ou travaille en collaboration (labo de groupe)	connaît les tâches et se met tout de suite au travail OU partage les tâches et observations, sait écouter et est réceptif aux points de vue des autres élèves		
gère le temps efficacement	divise les tâches et les ordonne afin de respecter les échéances		
nettoie convenablement	laisse la table et l'évier propres, range l'équipement, lave la surface de la table, se lave les mains		



ANNEXE 20 : Liste de contrôle des habilités de laboratoire – Capacité de raisonnement

Capacité de raisonnement	Questions	Compréhension du laboratoire		
		Limité	Général	Spécifique
Connaissance – compréhension	<ul style="list-style-type: none"> • Quel est le but de ce laboratoire ? • Comment est-il relié à ce que tu étudies en classe? • Quels sont les fondements de ton hypothèse? • Pourquoi as-tu besoin de consignes spéciales relatives à la sécurité pour ce laboratoire? • Quels conseils pour disposer des produits chimiques as-tu reçu? 			
Mise en application – analyse	<ul style="list-style-type: none"> • Comment as-tu décidé de la démarche? • Cette démarche présente-t-elle des difficultés? • Obtiens-tu les résultats escomptés? • Quel graphique, diagramme ou tableau concevrais-tu pour illustrer ces résultats? • Vois-tu une tendance dans tes données? • Y a-t-il des points de données qui ne suivent pas la tendance? 			
Synthèse – évaluation	<ul style="list-style-type: none"> • Que peux-tu conclure à partir de tes résultats? • Donne une preuve précise pour appuyer ta conclusion. • Quelles sources d'erreur sont intervenues durant cet essai? • Que ferais-tu de différent dans un second essai? Que ferais-tu de pareil? • Comment tes deux essais se comparent-ils? 			

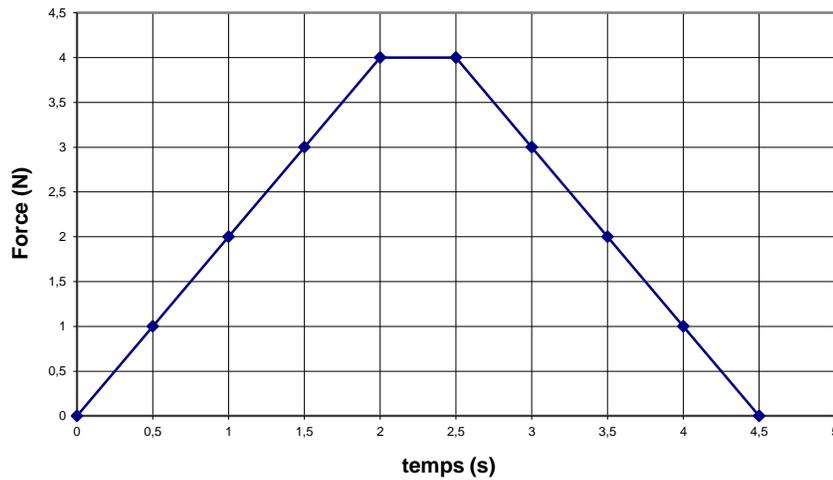


ANNEXE 21 : Exercice – La quantité de mouvement et l'impulsion

1. Dérive l'équation d'impulsion à partir de la deuxième loi de Newton.
2. Détermine l'impulsion totale de l'objet à partir des graphiques suivants :

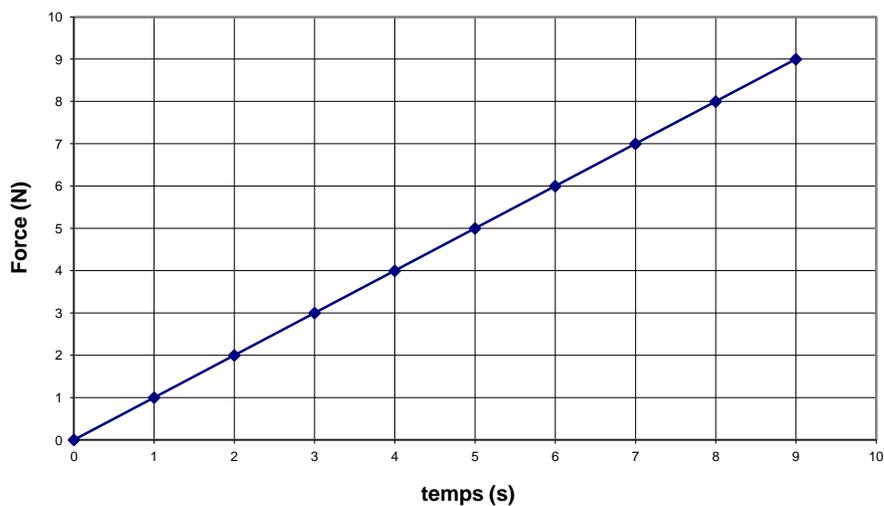
a)

La force en fonction du temps



b)

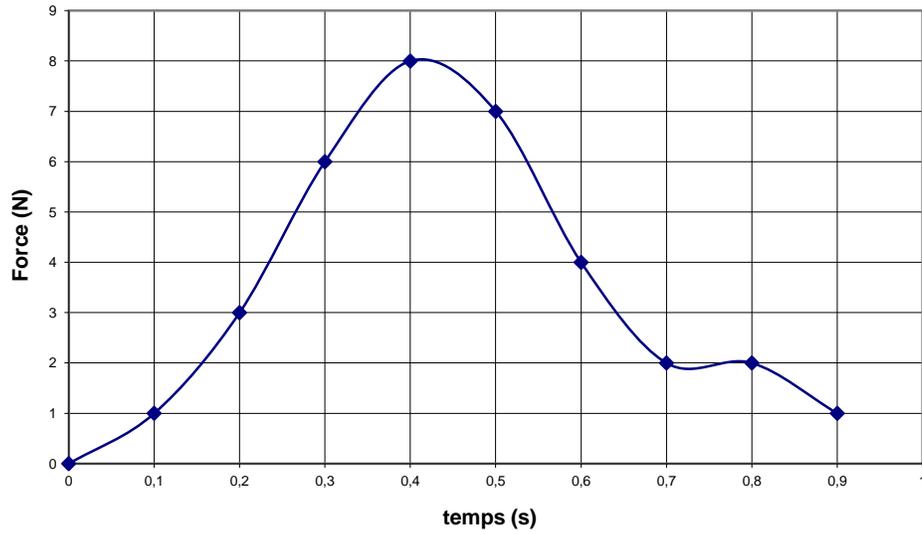
La force en fonction du temps



ANNEXE 21 : Exercice – La quantité de mouvement et l'impulsion (suite)

c)

La force en fonction du temps



ANNEXE 22 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Corrigé

1. Dérive l'équation d'impulsion à partir de la deuxième loi de Newton.

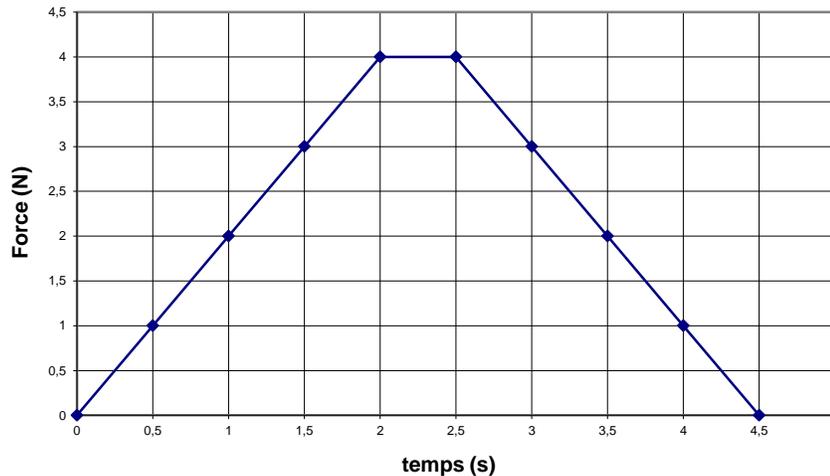
2^e loi de Newton : $(\vec{F} = m \times \vec{a})$

Puisque $\vec{a} = \Delta\vec{v}/\Delta t$, l'équation devient $\vec{F} = m \times \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$. Si on multiplie chaque côté de l'équation par Δt , on obtient $\vec{F} \times \Delta t = m \times \Delta\vec{v}$ (impulsion = quantité de mouvement).

2. Détermine l'impulsion totale de l'objet à partir des graphiques suivants :

a)

La force en fonction du temps



0 à 2 secondes: $\frac{4 \text{ N} \times 2 \text{ s}}{2} = 4 \text{ N} \cdot \text{s}$

2 à 2,5 secondes: $4 \text{ N} \times 0,5 \text{ s} = 2 \text{ N} \cdot \text{s}$

2,5 à 4,5 secondes: $\frac{4 \text{ N} \times 2 \text{ s}}{2} = 4 \text{ N} \cdot \text{s}$

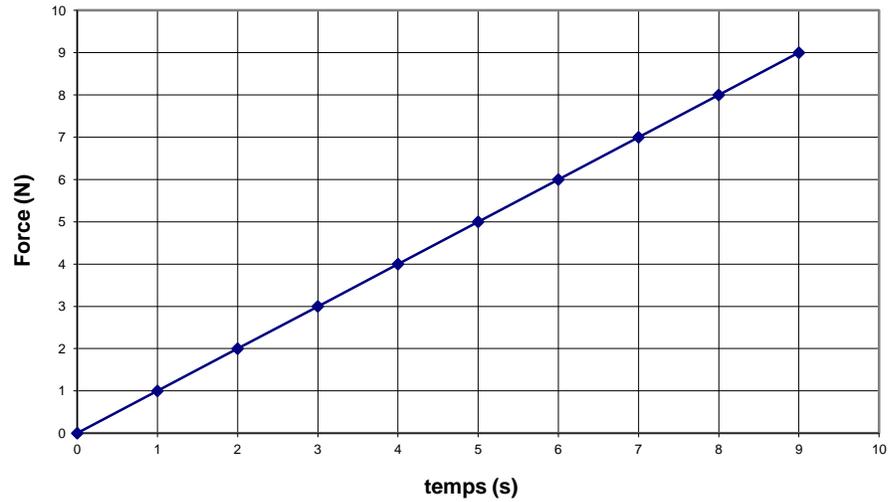
impulsion totale: $10 \text{ N} \cdot \text{s}$



ANNEXE 22 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Corrigé (suite)

b)

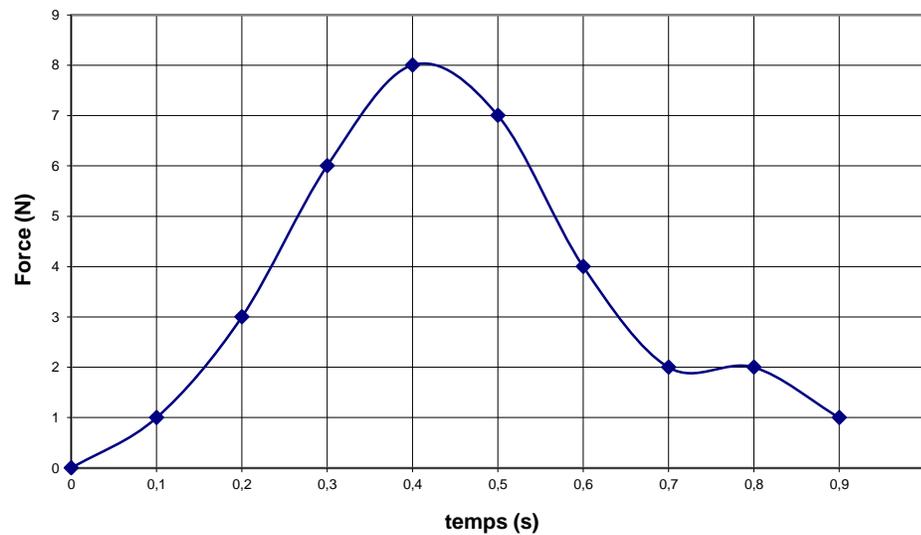
La force en fonction du temps



$$\text{impulsion totale: } \frac{9 \text{ N} \times 9 \text{ s}}{2} = 40,5 \text{ N} \cdot \text{s} = 40 \text{ N} \cdot \text{s}$$

c)

La force en fonction du temps



ANNEXE 22 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Corrigé (suite)

$$0 \text{ à } 0,1 \text{ s: } \frac{1 \text{ N} \times 0,1 \text{ s}}{2} = 0,05 \text{ s}$$

$$0,1 \text{ à } 0,2 \text{ s: } \left[\frac{(3 \text{ N} - 1 \text{ N}) \times 0,1 \text{ s}}{2} \right] + [1 \text{ N} \times (0,2 \text{ s} - 0,1 \text{ s})] = 0,1 \text{ N} \cdot \text{s} + 0,1 \text{ N} \cdot \text{s} = 0,2 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$0,2 \text{ à } 0,3 \text{ s: } \left[\frac{(6 \text{ N} - 3 \text{ N}) \times 0,1 \text{ s}}{2} \right] + [3 \text{ N} \times 0,1 \text{ s}] = 0,15 \text{ N} \cdot \text{s} + 0,3 \text{ N} \cdot \text{s} = 0,45 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$0,3 \text{ à } 0,4 \text{ s: } \left[\frac{(8 \text{ N} - 6 \text{ N}) \times 0,1 \text{ s}}{2} \right] + [6 \text{ N} \times 0,1 \text{ s}] = 0,1 \text{ N} \cdot \text{s} + 0,6 \text{ N} \cdot \text{s} = 0,7 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$0,4 \text{ à } 0,5 \text{ s: } \left[\frac{(8 \text{ N} - 7 \text{ N}) \times 0,1 \text{ s}}{2} \right] + [7 \text{ N} \times 0,1 \text{ s}] = 0,05 \text{ N} \cdot \text{s} + 0,7 \text{ N} \cdot \text{s} = 0,75 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$0,5 \text{ à } 0,6 \text{ s: } \left[\frac{(7 \text{ N} - 4 \text{ N}) \times 0,1 \text{ s}}{2} \right] + [4 \text{ N} \times 0,1 \text{ s}] = 0,15 \text{ N} \cdot \text{s} + 0,4 \text{ N} \cdot \text{s} = 0,55 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$0,6 \text{ à } 0,7 \text{ s: } \left[\frac{(4 \text{ N} - 2 \text{ N}) \times 0,1 \text{ s}}{2} \right] + [2 \text{ N} \times 0,1 \text{ s}] = 0,1 \text{ N} \cdot \text{s} + 0,2 \text{ N} \cdot \text{s} = 0,3 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$0,7 \text{ à } 0,8 \text{ s: } 2 \text{ N} \times 0,1 \text{ s} = 0,2 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$0,8 \text{ à } 0,9 \text{ s: } \left[\frac{(2 \text{ N} - 1 \text{ N}) \times 0,1 \text{ s}}{2} \right] + [1 \text{ N} \times 0,1 \text{ s}] = 0,05 \text{ N} \cdot \text{s} + 0,1 \text{ N} \cdot \text{s} = 0,15 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$\text{impulsion totale: } 3,35 \text{ N} \cdot \text{s} = 3,4 \text{ N} \cdot \text{s}$$



ANNEXE 23 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Renseignements pour l'élève

Voici des exemples de problèmes d'impulsion et de quantité de mouvement.

Exemple 1 : Collision en une dimension

Un fusil d'une masse de 3,00 kg tire une balle d'une masse de 19,4 g. La vitesse de la balle à sa sortie de la bouche du fusil est 549 m/s. Calcule :

- la vitesse vectorielle du recul du fusil;
- l'impulsion donnée à la balle;
- l'impulsion donnée au fusil;
- la force moyenne agissant sur la balle si elle voyageait le long du tube du fusil pendant $3,60 \times 10^{-3}$ s.

Solution :

- Note les données qui démontrent l'état initial et final.

état initial

état final

$$m_f = 3,00 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_{2f} = ?$$

$$m_b = 19,4 \text{ g} = 1,94 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

$$\vec{v}_{2b} = 549 \text{ m/s [droite]}$$

$$\vec{v}_{1f} = 0 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_{1b} = 0 \text{ m/s}$$

Puisque cet exemple démontre la conservation de la quantité de mouvement dans une dimension, les directions vectorielles peuvent être identifiées en utilisant les termes droite/gauche ou +/-.

Puisque la quantité de mouvement doit être conservée,

$$\vec{p}_{\text{totale initiale}} = \vec{p}_{\text{totale finale}}$$

$$\vec{p}_{1f} + \vec{p}_{1b} = \vec{p}_{2f} + \vec{p}_{2b}$$

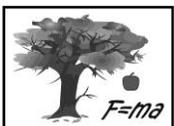
$$m_f \vec{v}_{1f} + m_b \vec{v}_{1b} = m_f \vec{v}_{2f} + m_b \vec{v}_{2b}$$

$$\vec{v}_{2f} = \frac{m_f \vec{v}_{1f} + m_b \vec{v}_{1b} - m_b \vec{v}_{2b}}{m_f}$$

$$\vec{v}_{2f} = \frac{(3,00 \text{ kg})(0 \text{ m/s}) + (1,94 \times 10^{-2} \text{ kg})(0 \text{ m/s}) - (1,94 \times 10^{-2} \text{ kg})(549 \text{ m/s})}{3,00 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{2f} = \frac{-10,7 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{3,00 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{2f} = -3,57 \text{ m/s ou } 3,57 \text{ m/s [gauche]}$$



ANNEXE 23 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Renseignements pour l'élève (suite)

- b) L'impulsion donnée à la balle est égale à la variation de quantité de mouvement.

$$\begin{aligned} \text{impulsion donnée à la balle: } m_b \Delta \vec{v}_b &= m_b (\vec{v}_{2b} - \vec{v}_{1b}) \\ &= (1,94 \times 10^{-2} \text{ kg})(549 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}) \\ &= 10,6 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [\text{droite}] \\ &= 10,6 \text{ N} \cdot \text{s} [\text{droite}] \end{aligned}$$

- c) L'impulsion donnée au fusil est égale à l'impulsion donnée à la balle, mais en direction opposée.

$$\text{impulsion donnée au fusil} = 10,6 \text{ N} \cdot \text{s} [\text{gauche}]$$

- d)

$$\begin{aligned} \vec{F}_{\text{moy}} &= \frac{\Delta \vec{p}_b}{\Delta t} \\ \vec{F}_{\text{moy}} &= \frac{10,6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{3,60 \times 10^{-3} \text{ s}} \\ \vec{F}_{\text{moy}} &= 2,94 \times 10^3 \text{ N} [\text{droite}] \end{aligned}$$

Exemple 2 : Collision en deux dimensions

Une pierre de curling de 18,8 kg glisse à une vitesse vectorielle de 1,45 m/s [E]. Elle entre en collision avec une pierre immobile. La vitesse vectorielle finale de la deuxième pierre est de 1,00 m/s [E 30,0° S].

Calcule :

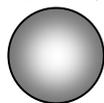
- la quantité de mouvement totale avant la collision et après la collision;
- la quantité de mouvement de la première pierre après la collision;
- la vitesse vectorielle finale de la première pierre;
- La variation de quantité de mouvement de la première pierre;
- L'impulsion donnée à la première pierre;

1. Solution :

- Note les données qui démontrent l'état initial et final.

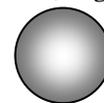
Avant la collision

pierre 1
 $m_1 = 18,8 \text{ kg}$



$$\vec{v}_{1i} = 1,45 \text{ m/s} [\text{E}]$$

pierre 2
 $m_2 = 18,8 \text{ kg}$

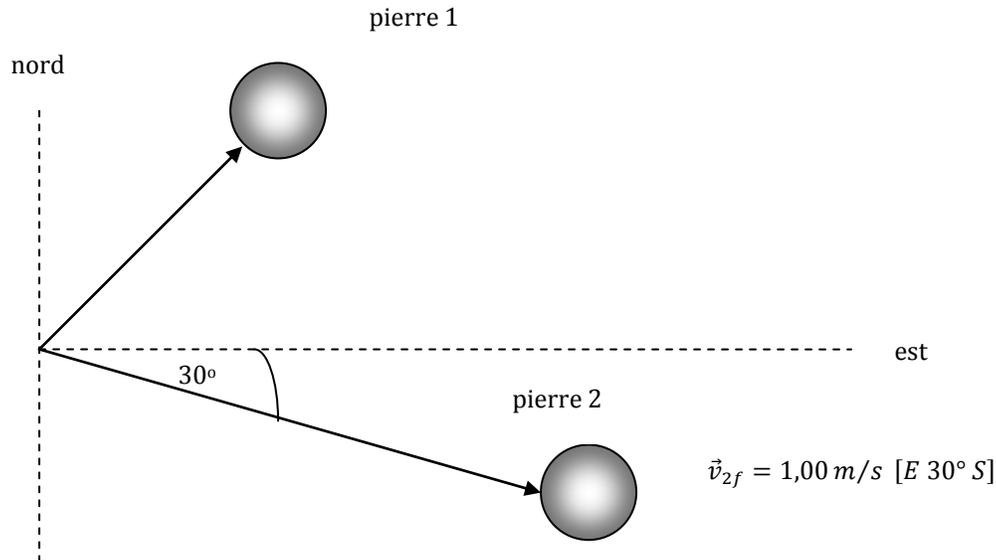


$$\vec{v}_{2i} = 0 \text{ m/s}$$



ANNEXE 23 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Renseignements pour l'élève (suite)

après la collision



$$\vec{p}_{it} = \vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i}$$

$$\vec{p}_{it} = m_1 \vec{v}_{1i} + m_2 \vec{v}_{2i}$$

$$\vec{p}_{it} = (18,8 \text{ kg})(1,45 \text{ m/s [E]}) + (18,8 \text{ kg})(0 \text{ m/s})$$

$$\vec{p}_{it} = 27,3 \text{ kg} \cdot \text{m/s [E]}$$

Puisqu'il y a conservation de quantité de mouvement, la quantité de mouvement après la collision est la même.

- b) Pour calculer la quantité de mouvement finale de la première pierre, on substitue les valeurs obtenues dans (a) dans l'équation suivante :

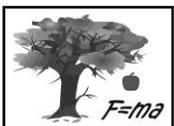
$$\vec{p}_{it} = \vec{p}_{ft}$$

$$\vec{p}_{1t} = \vec{p}_{1f} + m \vec{v}_{2f}$$

$$\vec{p}_{1f} = \vec{p}_{1t} - m \vec{v}_{2f}$$

$$\vec{p}_{1f} = 27,3 \text{ kg} \cdot \text{m/s [E]} - (18,8 \text{ kg})(1,00 \text{ m/s [E } 30,0^\circ \text{ S]})$$

$$\vec{p}_{1f} = 27,3 \text{ kg} \cdot \text{m/s [E]} - 18,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s [E } 30,0^\circ \text{ S]}$$



ANNEXE 23 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Renseignements pour l'élève (suite)

On calcule les composantes horizontale et verticale

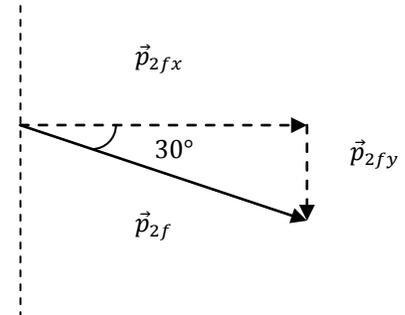
Composantes horizontales :

$$\vec{p}_{1 \text{ initiale } x} = 27,3 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E]$$

$$\vec{p}_{2 \text{ finale } x} = \cos 30^\circ \times 18,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\vec{p}_{2 \text{ finale } x} = 16,3 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E]$$

$$\begin{aligned} \vec{p}_{1 \text{ finale } x} &= 27,3 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E] - 16,3 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E] \\ &= 11,0 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E] \end{aligned}$$



Composantes verticales :

$$\vec{p}_{1 \text{ initiale } y} = 0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\vec{p}_{2 \text{ finale } y} = \sin 30^\circ \times 18,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\vec{p}_{2 \text{ finale } y} = 9,4 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [S]$$

$$\vec{p}_{1 \text{ finale } y} = 0 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 9,4 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [S] = 9,4 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [N]$$

Finalement, on utilise la trigonométrie pour additionner les composantes x et y :

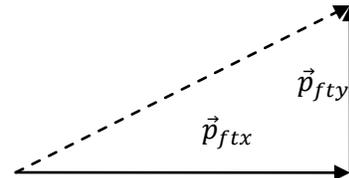
$$|p_{1 \text{ finale}}| = \sqrt{(p_{1 \text{ finale}})_x^2 + (p_{1 \text{ finale}})_y^2} = \sqrt{(11 \text{ kg} \cdot \text{m/s})^2 + (9,4 \text{ kg} \cdot \text{m/s})^2}$$

$$|p_{1 \text{ finale}}| = 14,5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} = \frac{9,4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{11 \text{ kg} \cdot \text{m/s}} = 0,85$$

$$\theta = E 40,4^\circ N$$

$$\vec{p}_{1f} = 14,5 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E 40,4^\circ N]$$



- c) Pour calculer la vitesse vectorielle finale de la première pierre, on place la valeur obtenue dans (b) dans l'équation suivante :

$$\vec{p}_{1f} = m_1 \vec{v}_{1f}$$

$$\vec{v}_{1f} = \frac{\vec{p}_{1f}}{m_1}$$

$$\vec{v}_{1f} = \frac{14,5 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E 40,4^\circ N]}{18,8 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{1f} = 0,771 \text{ m/s} [E 40,4^\circ N]$$



ANNEXE 23 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Renseignements pour l'élève (suite)

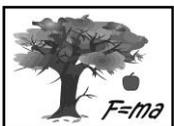
- d) La variation de quantité de mouvement de la première pierre est calculée en soustrayant la quantité de mouvement initiale de la pierre de sa quantité de mouvement finale. Ceci nécessite une soustraction vectorielle. Cependant la variation de quantité de mouvement de la première pierre est égale mais opposée à la variation de quantité de mouvement de la deuxième pierre. On peut facilement calculer cette variation, car la quantité de mouvement initiale de la deuxième pierre est égale à 0.

$$\Delta \vec{p}_1 = -\Delta \vec{p}_2 = -(\vec{p}_{2f} - \vec{p}_{2i})$$

$$\Delta \vec{p}_1 = -(18,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E 30,0^\circ S] - 0)$$

$$\Delta \vec{p}_1 = 18,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [O 30,0^\circ N]$$

L'impulsion donnée à la première pierre est égale à sa variation de quantité de mouvement, donc a une valeur de $\Delta \vec{p}_1 = 18,8 \text{ N} \cdot \text{s} [O 30,0^\circ N]$



ANNEXE 24 : Exercice – La conservation de la quantité de mouvement

1. Une masse de 20 kg voyageant à 2 m/s subit une force de 10,0 N pendant 5,0 s.
 - a) Calcule l'impulsion reçue par la masse.
 - b) Calcule la variation de quantité de mouvement.
 - c) Calcule la quantité de mouvement initiale de la masse.
 - d) Calcule la quantité de mouvement finale de la masse.
 - e) Calcule la vitesse finale de la masse.

2. Un camion de 9500 kg roulant à 0,40 m/s percute l'arrière d'une voiture immobile ayant une masse de 1500 kg. Les 2 véhicules se collent ensemble. Calcule leur vitesse après la collision.

3. Un canon de 400 kg est au repos sur une surface sans frottement. Il tire une balle de 20 kg horizontalement à 600 m/s.
 - a) Calcule la vitesse du canon quand la balle est tirée.
 - b) Calcule l'impulsion donnée à la balle.

4. Pendant une collision de plein fouet, une masse de 16 kg se déplaçant vers la droite à 10 m/s se heurte à une masse immobile de 24 kg. Après l'impact, la masse de 16 kg se déplace vers la gauche à 2 m/s.
 - a) Calcule la vitesse et la direction de la deuxième masse après la collision.
 - b) Calcule la variation de quantité de mouvement de la masse de 16 kg.
 - c) Calcule la variation de quantité de mouvement de la masse de 24 kg.

5. Une balle de billards de 0,17 kg se déplace à une vitesse vectorielle de 2,5 m/s [E]. Elle entre en collision avec une balle de 0,16 kg qui est au repos. Après la collision, la première balle se déplace à une vitesse vectorielle de 1,1 m/s [E 42° N].
 - a) Calcule la vitesse et la direction de la deuxième balle après la collision.
 - b) Calcule la variation de quantité de mouvement de la première balle.



ANNEXE 25 : La conservation de la quantité de mouvement – Corrigé

1. Une masse de 20 kg voyageant à 2 m/s subit une force de 10,0 N pendant 5,0 s.

- Calcule l'impulsion reçue par la masse.
- Calcule la variation de quantité de mouvement.
- Calcule la quantité de mouvement initiale de la masse.
- Calcule la quantité de mouvement finale de la masse.
- Calcule la vitesse finale de la masse.

a) $I = F\Delta t = 10 \text{ N} \times 5 \text{ s} = 50 \text{ N} \cdot \text{s}$
L'impulsion reçue par la masse est $50 \text{ N} \cdot \text{s}$.

b) $\Delta p = I = 50 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
La variation de quantité de mouvement $50 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$.

c) $\vec{p}_{\text{initiale}} = m\vec{v}_{\text{initiale}} = (20 \text{ kg})(2 \text{ m/s}) = 40 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
La quantité de mouvement initiale de la masse $40 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$.

d) $\vec{p}_{\text{finale}} = \vec{p}_{\text{initiale}} + \Delta\vec{p} = 40 \text{ kg} \cdot \text{m/s} + 50 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 90 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
La quantité de mouvement finale de la masse $90 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$.

e) $\vec{v}_{\text{finale}} = \frac{\vec{p}}{m} = \frac{90 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{20 \text{ kg}} = 4,5 \text{ m/s}$
La vitesse finale de la masse est $4,5 \text{ m/s}$.

2. Un camion de 9500 kg roulant à 0,40 m/s percute l'arrière d'une voiture immobile ayant une masse de 1500 kg. Les 2 véhicules se collent ensemble. Calcule leur vitesse après la collision.

Avant la collision

$$m_A = 9500 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_A = 0,40 \text{ m/s}$$

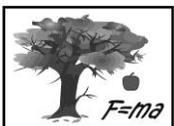
$$m_B = 1500 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_B = 0 \text{ m/s}$$

Après la collision

$$m_{AB} = 9500 \text{ kg} + 1500 \text{ kg} = 11\,000 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_{AB} = ?$$



ANNEXE 25 : La conservation de la quantité de mouvement – Corrigé (suite)

$$\vec{p}_{\text{totale initiale}} = \vec{p}_{\text{totale finale}}$$

$$\vec{p}_A + \vec{p}_B = \vec{p}_{AB}$$

$$m_A \vec{v}_{\text{initiale } A} + m_B \vec{v}_{\text{initiale } B} = m_{AB} \times \vec{v}_{AB \text{ finale}}$$

$$\vec{v}_{AB \text{ finale}} = \frac{m_A \vec{v}_{\text{initiale } A} + m_B \vec{v}_{\text{initiale } B}}{m_{AB}}$$

$$\vec{v}_{AB \text{ finale}} = \frac{(9500 \text{ kg})(0,40 \text{ m/s}) + 0}{(9500 \text{ kg} + 1500 \text{ kg})}$$

$$\vec{v}_{AB \text{ finale}} = \frac{3800 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{11\,000 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{AB \text{ finale}} = 0,34 \text{ m/s}$$

Leur vitesse après la collision est 0,34 m/s.

3. Un canon de 400 kg est au repos sur une surface sans frottement. Il tire une balle de 20 kg horizontalement à 600 m/s.

Avant

$$m_A = 400 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_A = 0 \text{ m/s}$$

$$m_B = 20 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_B = 0 \text{ m/s}$$

Après

$$m_A = 400 \text{ kg}$$

$$m_B = 20 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_A = ?$$

$$\vec{v}_B = 600 \text{ m/s}$$

- a) Calcule la vitesse du canon quand la balle est tirée.

$$\vec{p}_{\text{totale initiale}} = \vec{p}_{\text{totale finale}}$$

$$\vec{p}_A + \vec{p}_B = \vec{p}_A + \vec{p}_B$$

$$\vec{v}_{\text{finale } A} = \frac{m_A \vec{v}_{\text{initiale } A} + m_B \vec{v}_{\text{initiale } B} - m_B \vec{v}_{\text{finale } B}}{m_A}$$

$$\vec{v}_{\text{finale } A} = \frac{(400 \text{ kg} \times 0 \text{ m/s}) + (20 \text{ kg} \times 0 \text{ m/s}) - (20 \text{ kg} \times 600 \text{ m/s})}{400 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{\text{finale } A} = \frac{0 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 12\,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{400 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{\text{finale } A} = \frac{-12\,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{400 \text{ kg}}$$



ANNEXE 25 : La conservation de la quantité de mouvement – Corrigé (suite)

$$\vec{v}_{finale A} = -30 \text{ m/s}$$

La vitesse du canon quand la balle est tirée est -30 m/s.

b) Calcule l'impulsion donnée à la balle.

$$I = \Delta \vec{p}_B = m_B \Delta \vec{v}_B = m_B (\vec{v}_{finale B} - \vec{v}_{initiale B})$$

$$I = 20 \text{ kg} (600 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s})$$

$$I = 12\,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 12\,000 \text{ N} \cdot \text{s}$$

4. Pendant une collision de plein fouet, une masse de 16 kg se déplaçant vers la droite à 10 m/s se heurte à une masse immobile de 24 kg. Après l'impact, la masse de 16 kg se déplace vers la gauche à 2 m/s.

a) Calcule la vitesse et la direction de la deuxième masse après la collision.

b) Calcule la variation de quantité de mouvement de la masse de 16 kg.

c) Calcule la variation de quantité de mouvement de la masse de 24 kg.

Avant

$$m_A = 16 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_A = 10 \text{ m/s}$$

$$m_B = 24 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_B = 0 \text{ m/s}$$

Après

$$m_A = 16 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_A = 2 \text{ m/s [gauche]} \text{ ou } -2 \text{ m/s}$$

$$m_B = 24 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_B = ? \text{ m/s}$$

a)

$$\vec{p}_{totale\ initiale} = \vec{p}_{totale\ finale}$$

$$\vec{p}_A\ initiale + \vec{p}_B\ initiale = \vec{p}_A\ finale + \vec{p}_B\ finale$$

$$m_A \vec{v}_{initiale A} + m_B \vec{v}_{initiale B} = m_A \vec{v}_{finale A} + m_B \vec{v}_{finale B}$$

$$\vec{v}_{finale B} = \frac{m_A \vec{v}_{initiale A} + m_B \vec{v}_{initiale B} - m_A \vec{v}_{finale A}}{m_B}$$

$$\vec{v}_{finale B} = \frac{(16 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}) + (24 \text{ kg} \times 0 \text{ m/s}) - (16 \text{ kg} \times -2 \text{ m/s})}{24 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{finale B} = \frac{160 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - (-32 \text{ kg} \cdot \text{m/s})}{24 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{finale B} = \frac{192 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{24 \text{ kg}}$$



ANNEXE 25 : La conservation de la quantité de mouvement – Corrigé (suite)

$$\vec{v}_{finale\ B} = 8\ m/s$$

La vitesse et la direction de l'autre masse après la collision est 8 m/s (droite).

b)

$$\Delta p = \vec{p}_{A\ finale} - \vec{p}_{A\ initiale}$$

$$\Delta \vec{p}_A = m_A \vec{v}_{finale\ A} - m_A \vec{v}_{initiale\ A}$$

$$\Delta \vec{p}_A = (16\ kg \times -2\ m/s) - (16\ kg \times 10\ m/s)$$

$$\Delta \vec{p}_A = (-32\ kg \cdot m/s) - (160\ kg \cdot m/s)$$

$$\Delta \vec{p}_A = -192\ kg \cdot m/s$$

La variation de quantité de mouvement de la masse de 16 kg est -192 kg·m/s.

c)

$$\Delta p = \vec{p}_{B\ finale} - \vec{p}_{B\ initiale}$$

$$\Delta \vec{p}_B = m_B \vec{v}_{finale\ B} - m_B \vec{v}_{initiale\ B}$$

$$\Delta \vec{p}_B = (24\ kg \times 8\ m/s) - (24\ kg \times 0\ m/s)$$

$$\Delta \vec{p}_B = (192\ kg \cdot m/s) - (0\ kg \cdot m/s)$$

$$\Delta \vec{p}_B = 192\ kg \cdot m/s$$

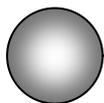
La variation de quantité de mouvement de la masse de 192 kg·m/s (la variation de quantité de mouvement de la deuxième masse est égale à celle de la première masse, mais en direction opposée).

5. Une balle de billards de 0,17 kg se déplace à une vitesse vectorielle de 2,5 m/s [E]. Elle entre en collision avec une balle de 0,16 kg qui est au repos. Après la collision, la première balle se déplace à une vitesse vectorielle de 1,1 m/s [E 42° N].

Avant la collision

balle 1

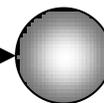
$$m_1 = 0,17\ kg$$



$$\vec{v}_{1\ initiale} = 2,5\ m/s\ [E]$$

balle 2

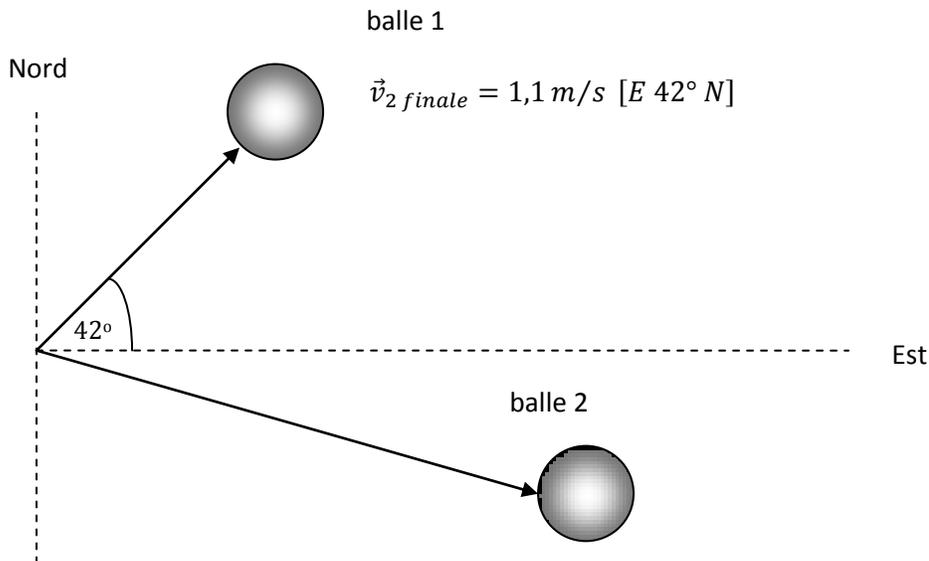
$$m_2 = 0,16\ kg$$



$$\vec{v}_{2\ initiale} = 0\ m/s$$

ANNEXE 25 : La conservation de la quantité de mouvement – Corrigé (suite)

après la collision



a) Calcule la vitesse et la direction de la deuxième balle après la collision.

$$\vec{p}_{\text{totale initiale}} = \vec{p}_{\text{totale finale}}$$

$$\vec{p}_{1\text{ initiale}} + \vec{p}_{2\text{ initiale}} = \vec{p}_{1\text{ finale}} + \vec{p}_{2\text{ finale}}$$

$$m_1 \vec{v}_{\text{initiale } 1} + m_2 \vec{v}_{\text{initiale } 2} = m_1 \vec{v}_{\text{finale } 1} + m_2 \vec{v}_{\text{finale } 2}$$

$$\vec{v}_{\text{finale } 2} = \frac{m_1 \vec{v}_{\text{initiale } 1} + m_2 \vec{v}_{\text{initiale } 2} - m_1 \vec{v}_{\text{finale } 1}}{m_2}$$

$$\vec{v}_{\text{finale } 2} = \frac{(0,17 \text{ kg} \times 2,5 \text{ m/s}) + (0,16 \text{ kg} \times 0 \text{ m/s}) - (0,17 \text{ kg} \times 1,1 \text{ m/s [E } 42^\circ \text{ N])}}{0,16 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{\text{finale } 2} = \frac{0,43 \text{ kg} \cdot \text{m/s [E]} - (0,17 \text{ kg} \times 1,1 \text{ m/s [E } 42^\circ \text{ N])}}{0,16 \text{ kg}}$$

On calcule les composantes horizontale et verticale

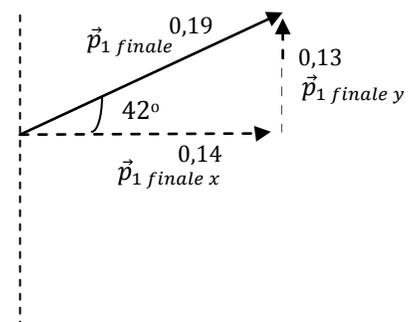
Horizontale :

$$\vec{p}_{1\text{ initiale } x} = 0,43 \text{ kg} \cdot \text{m/s [E]}$$

$$\vec{p}_{1\text{ finale } x} = \cos 42^\circ \times 0,19 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\vec{p}_{1\text{ finale } x} = 0,14 \text{ kg} \cdot \text{m/s [E]}$$

$$\vec{p}_{2\text{ finale } x} = 0,43 \text{ kg} \cdot \text{m/s [E]} - 0,14 \text{ kg} \cdot \text{m/s [E]} = 0,29 \text{ kg} \cdot \text{m/s [E]}$$



ANNEXE 25 : La conservation de la quantité de mouvement – Corrigé (suite)

verticale :

$$\vec{p}_{1 \text{ initiale } y} = 0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\vec{p}_{1 \text{ finale } y} = \sin 42^\circ \times 0,19 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0,13 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [N]$$

$$\vec{p}_{2 \text{ finale } y} = 0 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 0,13 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [N] = 0,13 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [S]$$

$$\vec{p}_{2 \text{ finale } y} = 0,13 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [S]$$

On utilise la trigonométrie pour additionner les composantes x et y :

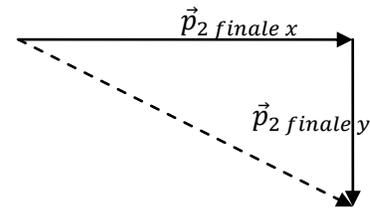
$$|p_{2 \text{ finale}}| = \sqrt{(p_{2 \text{ finale } x})^2 + (p_{2 \text{ finale } y})^2} = \sqrt{(0,29 \text{ kg} \cdot \text{m/s})^2 + (0,13 \text{ kg} \cdot \text{m/s})^2}$$

$$|p_{2 \text{ finale}}| = 0,32 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} = \frac{0,13 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{0,29 \text{ kg} \cdot \text{m/s}} = 0,45$$

$$\theta = E 24^\circ S$$

$$\vec{p}_{2 \text{ finale}} = 0,32 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E 24^\circ S]$$



Finalement, on calcule la vitesse à l'aide de la formule suivante :

$$\vec{p}_{2 \text{ finale}} = m_2 \times \vec{v}_2$$

$$\vec{v}_{2 \text{ finale}} = \frac{\vec{p}_{2 \text{ finale}}}{m_2}$$

$$\vec{v}_{2 \text{ finale}} = \frac{0,32 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E 24^\circ S]}{0,16 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{2 \text{ finale}} = 2,0 \text{ m/s} [E 24^\circ S]$$

b) Calcule la variation de quantité de mouvement de la première balle.

La variation de la quantité de mouvement peut être calculée en faisant la soustraction de la quantité de mouvement avant la collision de la quantité de mouvement après la collision. Dans ce cas, il faut faire une soustraction vectorielle. Cependant, la variation de la quantité de mouvement de la première balle est égale mais opposée à la variation de la quantité de mouvement de la deuxième balle. Ceci peut facilement être calculé car la quantité de mouvement de la deuxième balle avant la collision a une valeur de zéro.

$$\Delta \vec{p}_1 = -\Delta \vec{p}_2 = -(\vec{p}_{2 \text{ finale}} - \vec{p}_{2 \text{ initiale}})$$

$$\Delta \vec{p}_1 = -(0,32 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E 24^\circ S] - 0 \text{ kg} \cdot \text{m/s})$$

$$\Delta \vec{p}_1 = 0,32 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [O 24^\circ N]$$

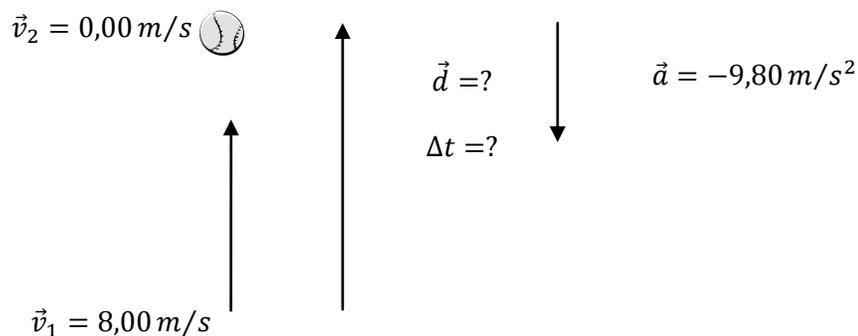


ANNEXE 26 : La chute libre – Renseignements pour l'élève

1. Tu lances une balle de baseball à la verticale avec une vitesse de 8,00 m/s. Calcule la hauteur maximale de la balle par rapport à sa position initiale, ainsi que le temps qu'elle prendra pour atteindre cette hauteur.

$$\vec{v}_{\text{initiale}} = 8,00 \text{ m/s} \quad \vec{a} = -9,80 \text{ m/s}^2$$

Lorsqu'on tente de résoudre un problème de ce genre, on devrait premièrement tracer un diagramme de la situation.



Pour calculer la hauteur maximale, on utilise l'équation suivante :

$$v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta d$$

$$d = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$$

$$d = \frac{(0,00 \text{ m/s})^2 - (8,00 \text{ m/s})^2}{2(-9,80 \text{ m/s}^2)} = \frac{-64,0 \text{ m}^2/\text{s}^2}{-19,6 \text{ m/s}^2} = 3,27 \text{ m}$$

Pour calculer le temps que prend la balle pour atteindre le sommet de sa trajectoire, on peut utiliser l'équation $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a}\Delta t$.

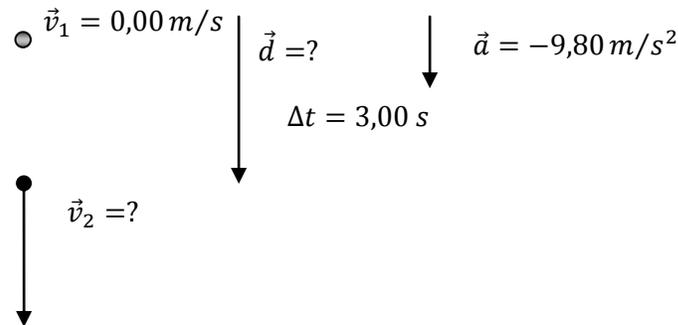
$$\Delta t = \frac{v_2 - v_1}{a} = \frac{0,00 \text{ m/s} - 8,00 \text{ m/s}}{-9,80 \text{ m/s}^2} = 0,816 \text{ s}$$



ANNEXE 26 : La chute libre – Renseignements pour l'élève (suite)

2. On laisse tomber une petite bille d'acier du haut d'un édifice. Calcule le déplacement de la bille après 3,00 s. Quelle est la vitesse de la bille à ce point?

Diagramme de la situation



On peut calculer le déplacement de la bille après trois secondes avec l'équation $\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2$.

$$\vec{d} = (0,00 \text{ m/s})(3,00 \text{ s}) + \frac{1}{2}(-9,80 \text{ m/s}^2)(3,00 \text{ s})^2 = -44,1 \text{ m}$$

*Le déplacement a une valeur négative parce que la bille tombe vers le bas.

Pour calculer la vitesse finale, on peut utiliser l'équation $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + a\Delta t$.

$$\vec{v}_2 = 0,00 \text{ m/s} + (-9,80 \text{ m/s}^2)(3,00 \text{ s}) = -29,4 \text{ m/s}$$

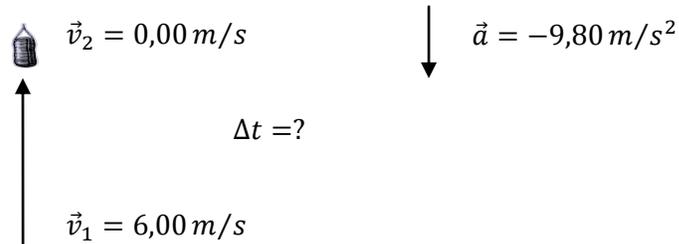
*Le signe négatif indique que la bille se déplace vers le bas.

3. Une montgolfière monte à une vitesse de 6,00 m/s. Lorsqu'elle atteint une altitude de 90,0 m, le pilote laisse tomber un sac de sable.
- Calcule le temps que prend le sac à atteindre le sommet de sa trajectoire.
 - Calcule le temps que prend le sac à atteindre le sol à partir du sommet de sa trajectoire.



ANNEXE 26 : La chute libre – Renseignements pour l'élève (suite)

a. Diagramme de la situation :

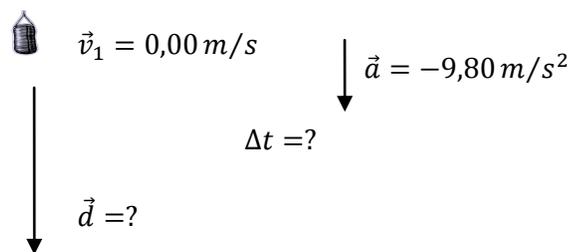


Lorsqu'on laisse tomber le sac de sable, sa vitesse initiale n'est pas égale à zéro, puisqu'il voyage avec la montgolfière à une vitesse de 6,00 m/s. Le sac va donc continuer à se déplacer vers le haut, jusqu'à ce que sa vitesse soit égale à 0,00 m/s.

On peut utiliser l'équation $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a}\Delta t$ pour calculer le temps que prendra le sac à atteindre le sommet de sa trajectoire.

$$\Delta t = \frac{v_2 - v_1}{a} = \frac{0,00 \text{ m/s} - 6,00 \text{ m/s}}{-9,80 \text{ m/s}^2} = 0,612 \text{ s}$$

b. Pour la deuxième partie du problème, la vitesse initiale du sac est égale à zéro, puisqu'il est au sommet de sa trajectoire. On ne connaît pas sa vitesse finale, ni son déplacement (on connaît la hauteur initiale de la montgolfière, mais pas le déplacement du sac de cette altitude à sa hauteur finale), donc il n'est pas possible de calculer le temps qu'il prendra à atteindre le sol.



Cependant, on peut calculer le déplacement du sac du point où il est libéré jusqu'au sommet de sa trajectoire. On peut ensuite additionner les deux déplacements pour calculer le déplacement de sac lors de sa chute.

$$\vec{d} = \vec{v}_1 \Delta t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2 = (6,00 \text{ m/s})(0,612 \text{ s}) + \frac{1}{2} (-9,80 \text{ m/s}^2)(0,612 \text{ s})^2$$

$$\vec{d} = 1,83 \text{ m}$$



ANNEXE 26 : La chute libre – Renseignements pour l'élève (suite)

Le sac cesse de monter à une hauteur maximale de $90,0 \text{ m} + 1,83 \text{ m} = 91,8 \text{ m}$.

On peut maintenant calculer le temps de chute du sac à partir de sa hauteur maximale, avec l'équation

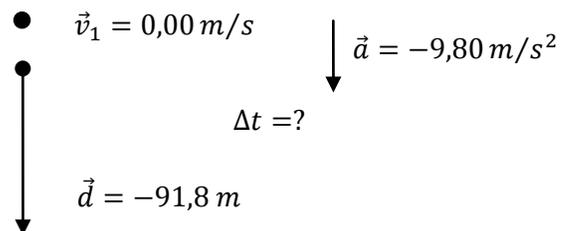
$$\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2.$$

Puisque la vitesse initiale est égale à zéro, on peut simplifier l'équation, qui devient :

$$\vec{d} = \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2.$$

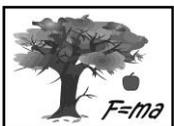
En isolant le temps, on obtient :

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2d}{a}} = \sqrt{\frac{2(-91,8 \text{ m})}{-9,80 \text{ m/s}^2}} = 4,33 \text{ s}$$



ANNEXE 27 : Exercice – La chute libre

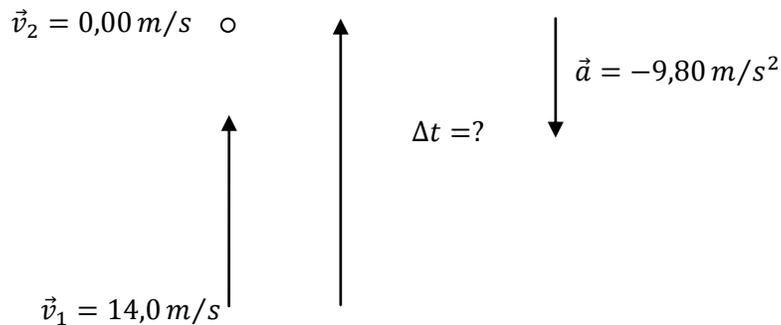
1. Une flèche est tirée à la verticale avec une vitesse initiale de 14,0 m/s. À quel instant la flèche atteint-elle le sommet de sa trajectoire? Combien de temps la flèche demeure-t-elle dans les airs?
2. Tu lances une balle de golf sur le sol pour la faire rebondir. Sa vitesse initiale lorsqu'elle rebondit est de 4,50 m/s. Quelle hauteur la balle va-t-elle atteindre lorsqu'elle rebondit?
3. Une montgolfière descend vers le sol à une vitesse de 4,00 m/s. Un sac de sable est libéré et atteint le sol 8,00 s plus tard. Calcule la hauteur de la montgolfière lorsque le sac de sable est libéré.
4. Une balle de fusil est tirée à la verticale avec une vitesse initiale de 512 m/s.
 - a) Quelle hauteur la balle atteint-elle?
 - b) Quel est le temps nécessaire pour que la balle atteigne le sommet de sa trajectoire?
 - c) Quelle est la vitesse vectorielle de la balle après 60,0 s?



ANNEXE 28 : La chute libre – Corrigé

1. Une flèche est tirée à la verticale avec une vitesse initiale de 14,0 m/s. À quel instant la flèche atteint-elle le sommet de sa trajectoire? Combien de temps la flèche demeure-t-elle dans les airs?

$$\vec{v}_{\text{initiale}} = 14,0 \text{ m/s} \quad \vec{a} = -9,8 \text{ m/s}^2$$



Pour calculer le temps que prend la flèche pour atteindre le sommet de sa trajectoire, on peut utiliser l'équation $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a}\Delta t$.

$$\Delta t = \frac{v_2 - v_1}{a} = \frac{0,00 \text{ m/s} - 14,0 \text{ m/s}}{-9,8 \text{ m/s}^2} = 1,4 \text{ s}$$

Puisque la flèche prendra le même montant de temps pour tomber du sommet de sa trajectoire qu'elle a pris pour atteindre le sommet de sa trajectoire, on peut conclure que la flèche demeurera $1,4 \text{ s} \times 2$, donc $2,8 \text{ s}$ dans les airs.

2. Tu lances une balle de golf sur le sol pour la faire rebondir. Sa vitesse initiale lorsqu'elle rebondit est de 4,50 m/s. Quelle hauteur la balle va-t-elle atteindre lorsqu'elle rebondit?

$$\vec{v}_{\text{initiale}} = 4,50 \text{ m/s} \quad \vec{a} = -9,80 \text{ m/s}^2 \quad \vec{v}_2 = 0,00 \text{ m/s} \quad \Delta d = ?$$

$$v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta d$$

$$\Delta d = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$$

$$\Delta d = \frac{(0 \text{ m/s})^2 - (4,50 \text{ m/s})^2}{2(-9,80 \text{ m/s}^2)}$$

$$\Delta d = \frac{-20,25 \text{ m/s}^2}{-19,6 \text{ m/s}^2}$$

$$\Delta d = 1,03 \text{ m}$$



3. Une montgolfière descend vers le sol à une vitesse de 4,00 m/s. Un sac de sable est libéré et atteint le sol 8,00 s plus tard. Calcule la hauteur de la montgolfière lorsque le sac de sable est libéré.

$$\vec{v}_{\text{initiale}} = 4,00 \text{ m/s} \quad \vec{a} = -9,80 \text{ m/s}^2 \quad \Delta t = 8,00 \text{ s} \quad \Delta \vec{d} = ?$$

$$\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2$$

$$\Delta \vec{d} = (4,00 \text{ m/s})(8,00 \text{ s}) + \frac{1}{2} (9,80 \text{ m/s}^2)(8,00 \text{ s})^2 = 346 \text{ m}$$

4. Une balle de fusil est tirée à la verticale avec une vitesse initiale de 512 m/s.

- a) Quelle hauteur la balle atteint-elle?

$$\vec{v}_1 = 512 \text{ m/s} \quad \vec{v}_2 = 0 \text{ m/s} \quad \vec{a} = -9,80 \text{ m/s}^2 \quad \Delta \vec{d} = ?$$

$$v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta d$$

$$\Delta d = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$$

$$\Delta d = \frac{(0 \text{ m/s})^2 - (512 \text{ m/s})^2}{2(-9,80 \text{ m/s}^2)}$$

$$\Delta d = 13\,400 \text{ m}$$

- b) Quel est le temps nécessaire pour que la balle atteigne le sommet de sa trajectoire?

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{v_2 - v_1}{a} = \frac{0,00 \text{ m/s} - 512 \text{ m/s}}{-9,80 \text{ m/s}^2} = 52,2 \text{ s}$$

- c) Quelle est la vitesse vectorielle de la balle après 60,0 s?

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$$

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a} \Delta t$$

$$\vec{v}_2 = 512 \text{ m/s} + (-9,80 \text{ m/s}^2)(60,0 \text{ s})$$

$$\vec{v}_2 = -76 \text{ m/s}$$

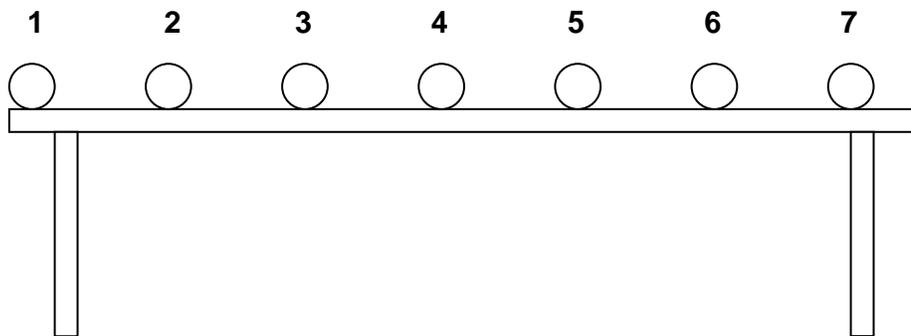


ANNEXE 29 : Le mouvement projectile – Renseignements pour l'enseignant

Galilée (1564 – 1642) est le premier scientifique à décrire de façon précise le mouvement des projectiles. Il démontre que le mouvement d'un projectile peut être compris en analysant les composantes verticale et horizontale du mouvement de façon séparée.

Projectile lancé horizontalement

Une balle se déplace à une vitesse vectorielle de 1,0 m/s vers la droite sur une table. S'il n'y a pas de frottement, la balle se déplace à une vitesse constante et avance de un mètre chaque seconde. Aucune force n'agit sur la balle donc elle va continuer à se déplacer à une vitesse constante (première loi de Newton).



Si la balle atteint le bout de la table et tombe, on peut étudier de façon séparée son mouvement vertical et son mouvement horizontal.

Mouvement vertical

Une seule force agit sur la balle. C'est la force gravitationnelle (on ne tient pas compte de la résistance de l'air). L'objet subit donc une accélération constante vers le sol.

La balle continue donc de voyager à une vitesse constante horizontale mais accélère vers le bas lorsqu'elle tombe. Ceci donne à la balle une trajectoire courbée.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

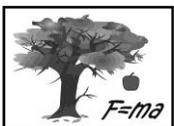
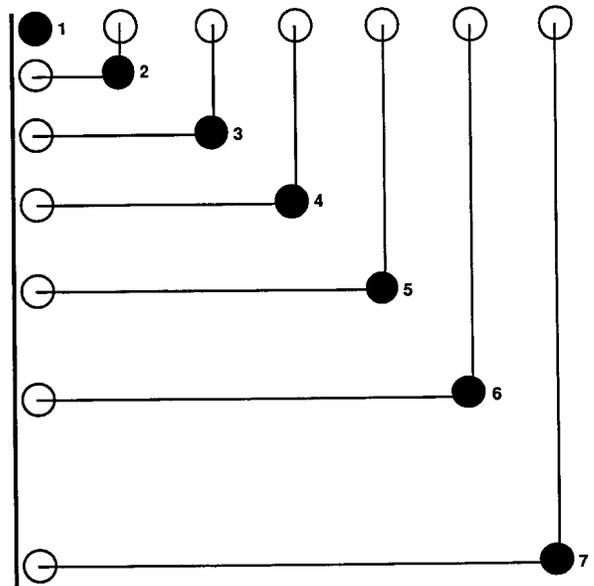


ANNEXE 29 : Le mouvement projectile – Renseignements pour l’enseignant (suite)

Voici les deux mouvements de la balle sur un même diagramme :

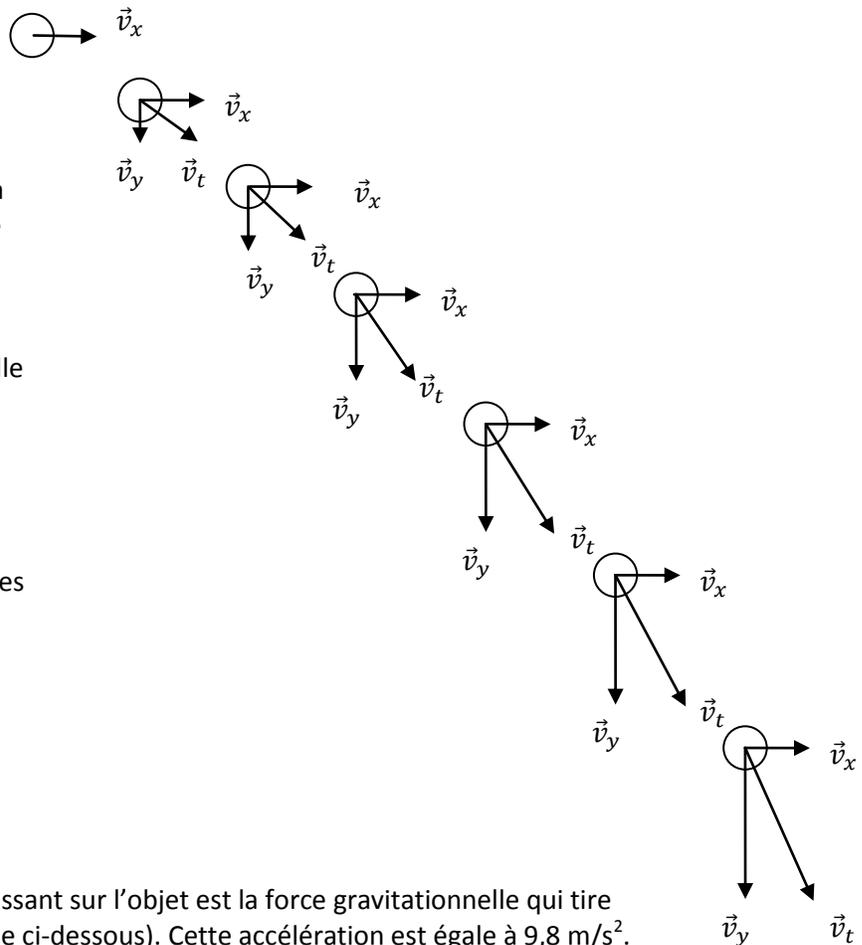
- | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | 2 | | | | | |
| <input type="radio"/> | 3 | | | | | |
| <input type="radio"/> | 4 | | | | | |
| <input type="radio"/> | 5 | | | | | |
| <input type="radio"/> | 6 | | | | | |
| <input type="radio"/> | 7 | | | | | |

En combinant ces deux mouvements, on obtient la trajectoire de la balle. Cette trajectoire courbée est le résultat de la combinaison de son mouvement horizontal à vitesse vectorielle constante et de son mouvement vertical accéléré. La **seule** force qui agit sur l’objet est la force gravitationnelle.



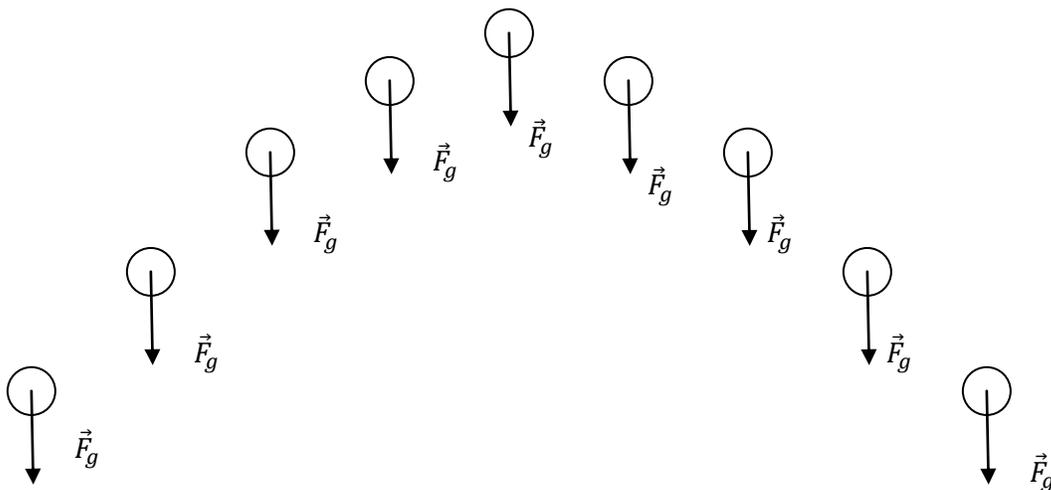
ANNEXE 29 : Le mouvement projectile – Renseignements pour l’enseignant (suite)

Ajoutons des vecteurs vitesse à la balle. La composante verticale de la vitesse vectorielle augmente graduellement à mesure que la balle tombe. La composante horizontale de la vitesse vectorielle demeure constante. La vitesse vectorielle totale pour chaque position est orientée vers la direction du mouvement du projectile à cet instant. Elle est égale à la somme des composantes horizontale et verticale.



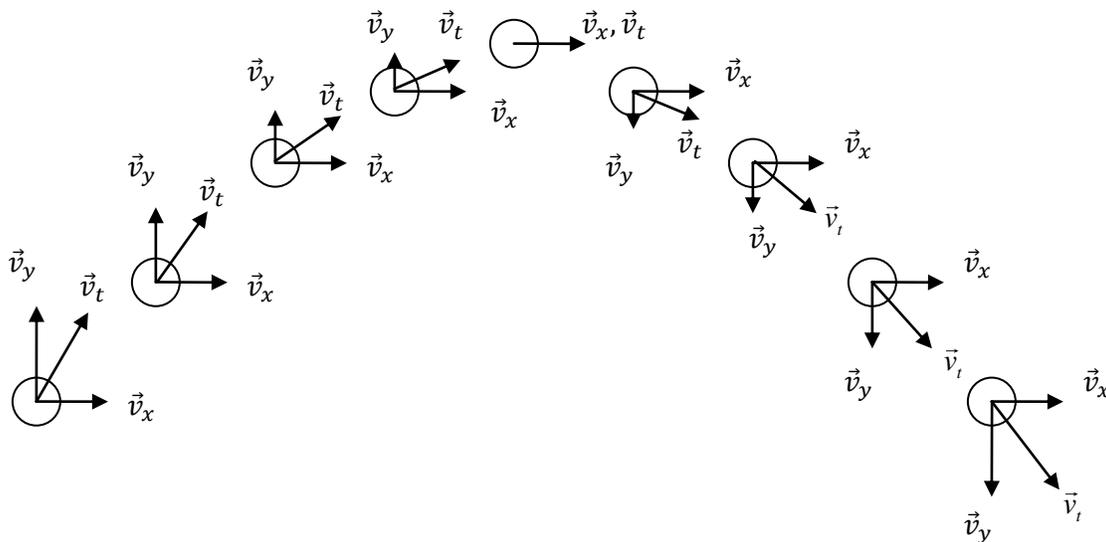
Projectile lancé à un angle

Encore une fois, la seule force agissant sur l’objet est la force gravitationnelle qui tire l’objet vers le bas (voir diagramme ci-dessous). Cette accélération est égale à $9,8 \text{ m/s}^2$.



ANNEXE 29 : Le mouvement projectile – Renseignements pour l'enseignant (suite)

Le diagramme suivant montre les vecteurs vitesse de l'objet à chaque position. La composante horizontale de la vitesse vectorielle demeure constante.



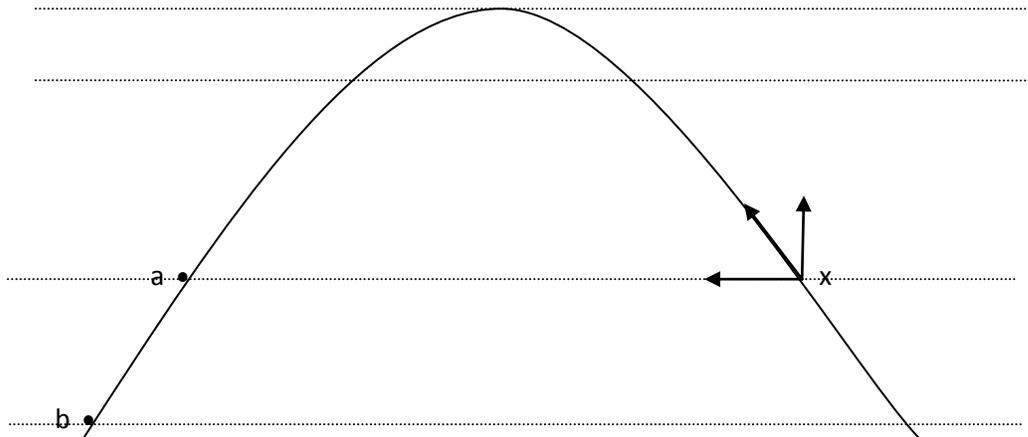
Au début de sa trajectoire, l'objet est lancé dans l'air. Sa vitesse vectorielle est à son maximum et dirigée vers le haut. Aux trois prochaines positions, l'objet continue à se déplacer vers le haut, mais sa vitesse vectorielle diminue. Au sommet de sa trajectoire la vitesse vectorielle de l'objet est égale à zéro, donc il n'y a aucun mouvement vertical. Aux trois prochaines positions, l'objet tombe donc sa vitesse vectorielle augmente. La seule force qui agit sur l'objet est la force gravitationnelle (on ne tient pas compte de la résistance de l'air), donc l'objet accélère de façon uniforme.

On peut calculer le mouvement horizontal avec l'équation pour la vitesse vectorielle constante, $\vec{d}_x = \vec{v}_x \Delta t$. On peut calculer le mouvement vertical avec les équations d'accélération constante, $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$; $\Delta \vec{d} = \left(\frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2} \right) \Delta t$; $\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2$; $v_2^2 = v_1^2 + 2a \Delta d$.



ANNEXE 30 : Exercice – Le mouvement projectile

1. Réponds aux questions suivantes à l'aide du diagramme :

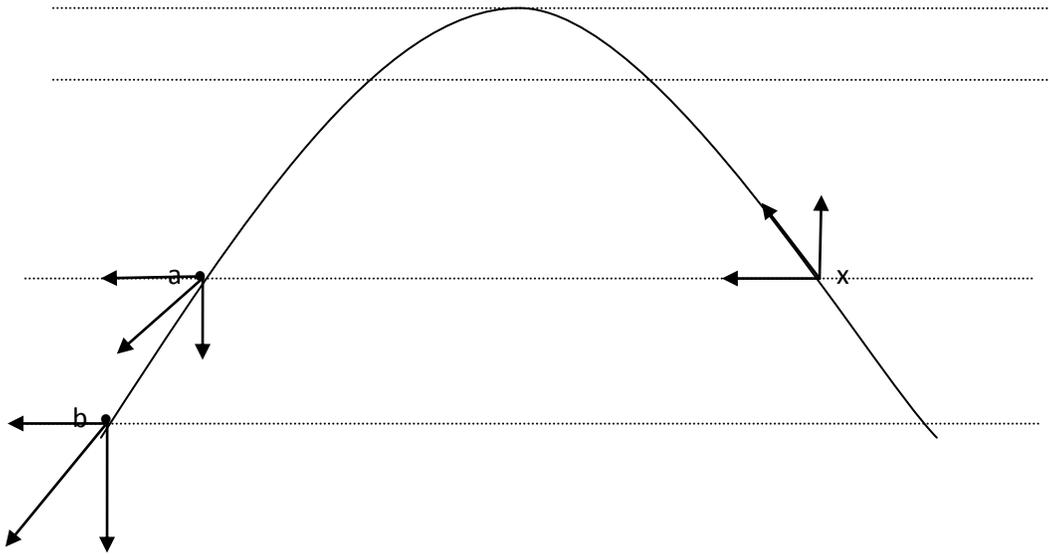


- Le point a est à la même hauteur que le point x. Dessine le vecteur vitesse horizontal, le vecteur vitesse vertical et le vecteur vitesse total pour le point a.
 - Dessine le vecteur vitesse horizontal, le vecteur vitesse vertical et le vecteur vitesse total pour le point b.
 - Dessine un vecteur représentant la force nette agissant sur l'objet aux positions x, a et b.
 - La composante verticale de la vitesse vectorielle est égale à zéro à quel point de sa trajectoire?
2. Chelsea est debout sur un balcon d'une hauteur de 26,4 m. Elle se penche et lance une balle directement vers le haut à une vitesse de 15,5 m/s. La balle monte, s'arrête, puis se remet à tomber pour finalement atteindre le sol sous le balcon.
- Calcule la vitesse de la balle au moment de l'impact avec le sol.
 - La balle est dans l'air pour combien de temps?
3. Justin lance une roche horizontalement d'une falaise de 58,4 m à une vitesse de 22,6 m/s. Calcule :
- son temps de trajet dans l'air;
 - son déplacement horizontal;
 - son vecteur vitesse au moment de l'impact.
4. Un boulet de canon est tiré selon un angle d'élévation de 50° à 125 m/s. En négligeant la résistance de l'air, détermine :
- la durée de vol de la balle;
 - sa portée.

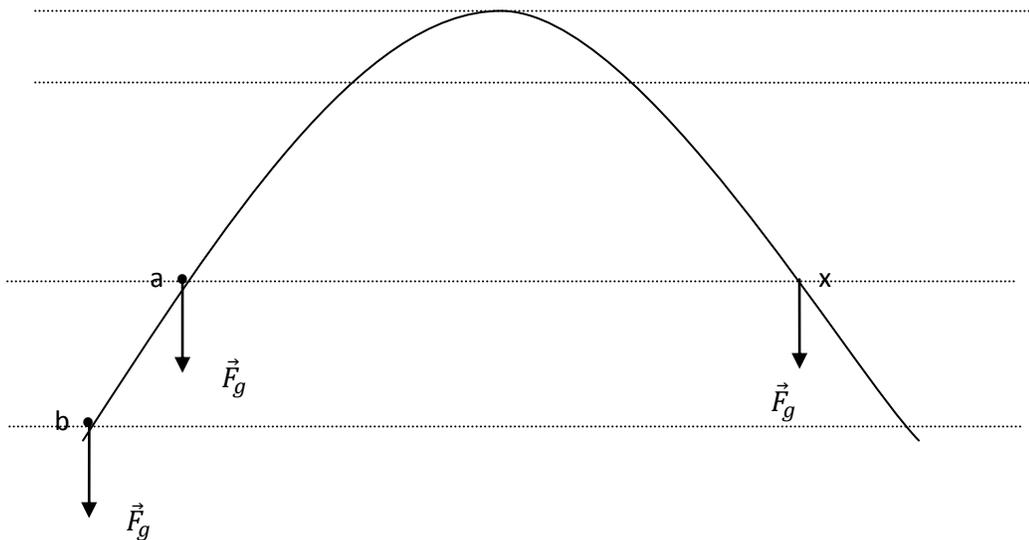


ANNEXE 31 : Le mouvement projectile – Corrigé

a) et b)



c)



d) *La composante verticale de la vitesse vectorielle est égale à zéro lorsque l'objet est au sommet de sa trajectoire.*



ANNEXE 31 : Le mouvement projectile – Corrigé (suite)

2. Chelsea est debout sur un balcon d'une hauteur de 26,4 m. Elle se penche et lance une balle directement vers le haut à une vitesse de 15,5 m/s. La balle monte, s'arrête, puis se met à tomber pour finalement atteindre le sol sous le balcon.
- Calcule la vitesse de la balle au moment de l'impact.
 - La balle est dans l'air pour combien de temps?

$$a) v_1 = 15,5 \text{ m/s} \quad \Delta d = 26,4 \text{ m}$$

$$v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta d$$

$$v_2 = \sqrt{(15,5 \text{ m/s})^2 + 2(-9,80 \text{ m/s}^2)(-26,4 \text{ m})} = 27,5 \text{ m/s [bas]}$$

La balle a une vitesse de 27,5 m/s au moment de l'impact.

b)

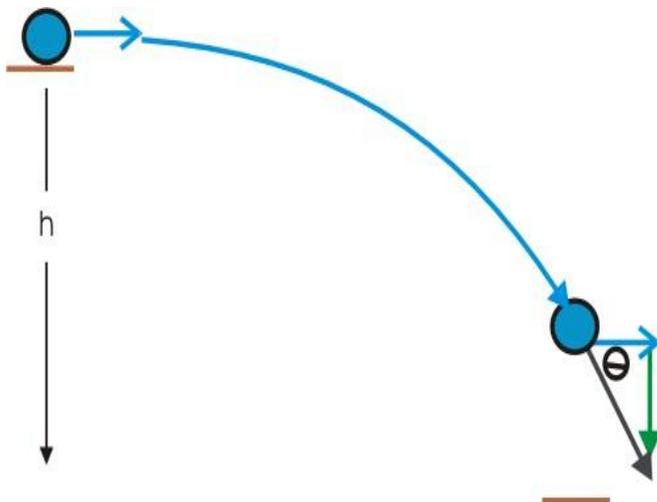
$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a}\Delta t$$

$$\Delta t = \frac{v_2 - v_1}{a}$$

$$\Delta t = \frac{-27,5 \text{ m/s} - 15,5 \text{ m/s}}{-9,8 \text{ m/s}^2} = 4,4 \text{ s}$$

La balle est dans l'air pour 4,4 s.

3. Justin lance une roche horizontalement d'une falaise de 58,4 m à une vitesse de 22,6 m/s. Calcule:
- son temps de trajet dans l'air;
 - son déplacement horizontal;
 - son vecteur vitesse au moment de l'impact.



$$\vec{v}_h = 22,6 \text{ m/s}$$

$$h = 58,4 \text{ m}$$

ANNEXE 31 : Le mouvement projectile – Corrigé (suite)

a)

$\Delta \vec{d}_v = \vec{v}_{v1} \Delta t + \frac{1}{2} \vec{a} (\Delta t)^2$ Puisque la vitesse verticale initiale est égale à zéro, l'équation peut être simplifiée.

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2(\Delta d_v)}{a}}$$

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2(-58,4 \text{ m})}{-9,8 \text{ m/s}^2}}$$

$$\Delta t = 3,5 \text{ s}$$

b)

$$\Delta \vec{d}_h = \vec{v}_h \Delta t = 22,6 \text{ m/s} \times 3,5 \text{ s} = 79,1 \text{ m}$$

c)

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_{v2} - \vec{v}_{v1}}{\Delta t}$$

$$\vec{v}_{v2} = \vec{v}_{v1} + \vec{a} \Delta t$$

$$\vec{v}_{v2} = 0 \text{ m/s} + (-9,8 \text{ m/s}^2)(3,5 \text{ s}) = -34,3 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_h = 22,6 \text{ m/s}$$

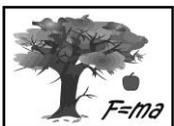
Afin de déterminer sa vitesse vectorielle au moment de l'impact, il faut déterminer la somme des composantes horizontale et verticale de la vitesse.

$$v_t = \sqrt{(v_{v2})^2 + (v_h)^2} = \sqrt{(-34,3 \text{ m/s})^2 + (22,6 \text{ m/s})^2} = 41 \text{ m/s}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} = \frac{-34,3 \text{ m/s}}{22,6 \text{ m/s}} = 1,52$$

$$\theta = 57^\circ$$

La vitesse vectorielle au moment de l'impact est de 41 m/s [57° sous l'horizontale]

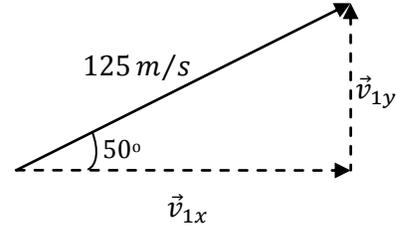


ANNEXE 31 : Le mouvement projectile – Corrigé (suite)

4. Un boulet de canon est tiré selon un angle d'élévation de 50° à 125 m/s . En négligeant la résistance de l'air, détermine:

- la durée de vol de la balle;
- sa portée.

$$\vec{v}_1 = 125 \text{ m/s}, 50^\circ \text{ de l'horizontal}$$



$$\vec{v}_{1x} = \vec{v}_1 \cos \theta$$

$$\vec{v}_{1y} = \vec{v}_1 \sin \theta$$

$$\vec{v}_{1x} = (125 \text{ m/s})(\cos 50^\circ)$$

$$\vec{v}_{1y} = (125 \text{ m/s})(\sin 50^\circ)$$

$$\vec{v}_{1x} = 80,3 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_{1y} = 95,8 \text{ m/s}$$

a) Puisque le boulet de canon revient à sa hauteur de lancement, $\Delta \vec{d}_y = 0$.

$$\Delta \vec{d}_y = \vec{v}_{1y} \Delta t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2$$

$$0 = 95,8 \text{ m/s} \Delta t + \frac{1}{2} (-9,8 \text{ m/s}^2) \Delta t^2$$

$$0 = 95,8 \text{ m/s} \Delta t - 4,9 \text{ m/s}^2 \Delta t^2$$

$$4,9 \text{ m/s}^2 \Delta t^2 = 95,8 \text{ m/s} \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{95,8 \text{ m/s}}{4,9 \text{ m/s}^2}$$

$$\Delta t = 19,5 \text{ s} = 20 \text{ s}$$

b)

$$\Delta \vec{d}_x = \vec{v}_{1x} \Delta t$$

$$\Delta \vec{d}_x = (80,3 \text{ m/s})(20 \text{ s})$$

$$\Delta \vec{d}_x = 1606 \text{ m}$$

$$\Delta \vec{d}_x = 2000 \text{ m}$$



ANNEXE 32 : Feuille de route – Processus de design

Nom: _____

Date: _____

Le défi :

Les critères :

Le remue-méninges (Comment pourrait-on...?) :

Le plan :

Marche à suivre :

Matériel :

Consignes de sécurité :



La mise à l'essai :

Critères

Test utilisé

Résultats des tests: joindre les données pertinentes à la feuille de route

Évaluation et Réflexion :

- Justification des modifications faites au prototype :

- Ce qui a bien fonctionné :

- Ce qui n'a pas bien fonctionné :

- La prochaine fois je :



Schéma du prototype :



ANNEXE 33 : Évaluation du processus de design

Noms : _____ Date : _____

	très bien	assez bien	pas encore
Identification du défi et des critères <ul style="list-style-type: none"> Le défi est clairement identifié. Les critères sont clairement identifiés. 			
Planification <ul style="list-style-type: none"> La marche à suivre est incluse et suit une séquence logique. Le matériel est identifié. Les consignes de sécurité sont identifiées. Un schéma du prototype est inclus. 			
La mise à l'essai <ul style="list-style-type: none"> Les tests sont décrits et correspondent aux critères. Les résultats des tests sont présentés dans un format approprié. 			
L'évaluation du prototype et la réflexion <ul style="list-style-type: none"> Les modifications au plan initial sont justifiées. Les forces et faiblesses du prototype final sont présentées. Des suggestions pour « la prochaine fois » sont incluses. 			
Commentaires			



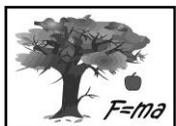
ANNEXE 34 : Évaluation du processus de design

Noms : _____ Date : _____

	très bien	assez bien	pas encore
1. comprend le problème			
2. participe activement au remue-méninges			
3. participe activement à l'élaboration du plan			
4. communique ses idées			
5. est attentif aux autres			
6. participe activement à la fabrication du prototype			
7. respecte les consignes de sécurité			
8. peut justifier les changements apportés au prototype			
9. a réfléchi sérieusement à son apprentissage			

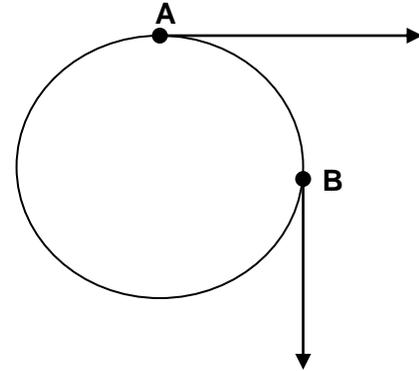
Noms : _____ Date : _____

	très bien	assez bien	pas encore
1. comprend le problème			
2. participe activement au remue-méninges			
3. participe activement à l'élaboration du plan			
4. communique ses idées			
5. est attentif aux autres			
6. participe activement à la fabrication du prototype			
7. respecte les consignes de sécurité			
8. peut justifier les changements apportés au prototype			
9. a réfléchi sérieusement à son apprentissage			



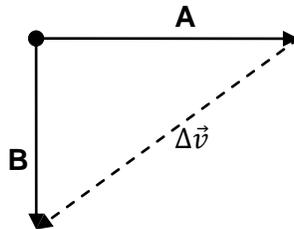
ANNEXE 35 : Le mouvement circulaire – Renseignements pour l’enseignant

Lorsqu’un objet se déplaçant à vitesse constante change de direction, il se produit une variation de vitesse vectorielle. Prenons l’exemple d’une balle retenue par une corde que l’on fait tourner. À la position **A**, la balle se déplace vers la droite. À la position **B**, elle se déplace vers le bas. Puisque la vitesse vectorielle change constamment de direction, l’objet doit accélérer, même si la vitesse demeure constante. On nomme ce type d’accélération, l’**accélération centripète**.

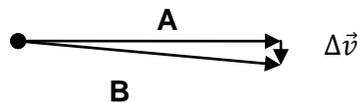


L’équation pour le calcul de l’accélération est $\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$.

Disons que la balle se déplace de la position **A** à la position **B** durant un certain intervalle de temps. La vitesse vectorielle instantanée à ces deux points est calculée en traçant une tangente. Ces vitesses ont la même grandeur, mais ont des directions différentes. Pour calculer la variation de vitesse vectorielle, on doit soustraire les deux vecteurs.



L’accélération change continuellement car la direction du mouvement change continuellement. Si on diminue l’intervalle de temps pour que les points **A** et **B** se rapprochent, l’angle entre les vecteurs diminue. Éventuellement, l’angle devient si petit que les vecteurs sont presque parallèles et leur différence ($\Delta\vec{v}$) est presque perpendiculaire aux deux vecteurs.

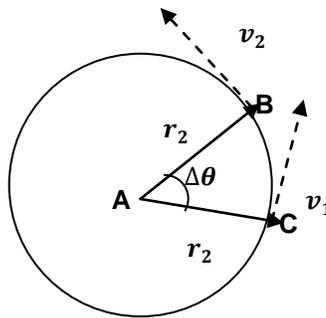


Donc, l’accélération instantanée, qui est dans la même direction que $\Delta\vec{v}$, est dirigée vers le centre du cercle.

ANNEXE 36 : L'accélération centripète – Renseignements pour l'enseignant

Il y a plusieurs façons de dériver l'équation pour calculer l'accélération centripète. Cette annexe présente une méthode.

Un objet qui se déplace à vitesse constante sur une trajectoire circulaire accélère même si sa vitesse demeure constante, car sa direction change continuellement. Si un objet se déplace du point A au point B pendant un intervalle de temps, l'équation pour le calcul de l'accélération moyenne entre ces points est $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ ou $\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$. Si cet intervalle de temps s'approche de zéro, l'accélération moyenne se rapproche de l'accélération instantanée.



Puisque AB est perpendiculaire à v_2 et que AC est perpendiculaire à v_1 , l'angle entre AB et AC ($\Delta\theta$) a la même valeur que l'angle entre v_2 et v_1 . Puisque les rayons ont la même longueur et les vecteurs vitesse ont la même valeur (la vitesse est constante), les triangles sont semblables. On peut donc conclure que

$$\frac{|\Delta\vec{v}|}{v} = \frac{|\Delta\vec{r}|}{r} \text{ car le rapport entre les côtés correspondants de 2 triangles semblables sont égaux.}$$

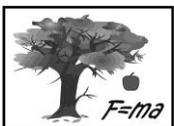
On utilise les symboles v et r car $v_1 = v_2$ et $r_1 = r_2$.

Pour des intervalles de temps très courtes, l'angle ($\Delta\theta$) est très petit et la longueur du vecteur Δr est très proche de la longueur de l'arc circulaire qui rejoint les deux bouts des vecteurs de rayon (r_1 et r_2).

On peut dire que cet arc est une ligne droite car il s'agit d'une très petite distance. La longueur de cet arc est égale à la distance parcourue par l'objet lors de l'intervalle de temps ($d = v\Delta t$). On peut donc

conclure que $|\Delta r| \approx v\Delta t$. En substituant cette valeur dans l'équation $\frac{|\Delta\vec{v}|}{v} = \frac{|\Delta\vec{r}|}{r}$, on obtient $\frac{|\Delta\vec{v}|}{v} = \frac{v\Delta t}{r}$.

Si on isole $\Delta\vec{v}$, on obtient $|\Delta\vec{v}| = \frac{v^2\Delta t}{r}$.



ANNEXE 36 : L'accélération centripète – Renseignements pour l'enseignant (suite)

Puisque l'équation pour l'accélération est $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$, en substituant la valeur de $\Delta\vec{v}$, on obtient la formule suivante: $\vec{a} = \frac{v^2\Delta t}{r\Delta t}$, donc $a = \frac{v^2}{r}$. Le vecteur de l'accélération centripète est toujours orienté vers le centre du cercle et change continuellement de direction lors du mouvement de l'objet. Un objet qui se déplace avec un mouvement circulaire uniforme a une vitesse constante. L'équation pour le calcul d'une vitesse constante est $v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$.

Puisque l'objet se déplace autour d'un cercle, la distance parcourue par l'objet lors d'une révolution peut être déterminée en calculant la circonférence du cercle ($2\pi r$).

L'intervalle de temps nécessaire pour compléter un tour du cercle (cycle) se nomme la période. Son symbole est T. L'équation pour calculer la vitesse d'un objet qui se déplace avec un mouvement circulaire uniforme peut donc être écrite de cette façon : $\vec{v} = \frac{2\pi r}{T}$. En substituant cette valeur dans

l'équation $a = \frac{v^2}{r}$, on obtient $a = \frac{\left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$.

Selon la deuxième loi de Newton, un objet qui accélère doit subir une force nette. Pour le mouvement circulaire, cette force se nomme force centripète et est orientée vers le centre du cercle, comme l'accélération centripète. Puisque $F = ma$ et que $a = \frac{v^2}{r}$, l'équation pour la force centripète peut être écrite de cette façon : $\vec{F}_c = \frac{m\vec{v}^2}{r}$.



ANNEXE 37 : Exercice – Mouvement circulaire

- 1) Cabrel a une masse de 30,0 kg. Sur un manège, il subit une force centripète de 75 N. Le rayon du manège mesure 1,2 m. Calcule :
 - a) son accélération centripète;
 - b) sa vitesse;
 - c) la période de la révolution du manège;
 - d) la fréquence de la révolution du manège.

- 2) Un satellite orbite la Terre (qui a un rayon de $6,4 \times 10^6$ m) à une altitude de 600 km. L'accélération gravitationnelle à ce niveau n'est que 8,2 N/kg. Si sa vitesse de rotation est $7,6 \times 10^3$ m/s, calcule :
 - a) la période de l'orbite;
 - b) la vitesse du satellite.

- 3) Calcule l'accélération centripète d'une roche au bout d'un fil de 1,5 m, tournant dans un cercle sur la glace à une fréquence de 1,25 Hz.

- 4) La planète Mercure est à une distance moyenne de $5,8 \times 10^{10}$ m du Soleil et effectue une orbite circulaire autour de ce dernier. Elle a une accélération centripète de $0,04 \text{ m/s}^2$. Calcule sa période de révolution autour du soleil.



ANNEXE 38 : Mouvement circulaire – Corrigé

1) $F_c = 75 \text{ N}$ $R = 1,2 \text{ m}$ $m = 30,0 \text{ kg}$

a) $F_c = ma_c$ $a_c = \frac{F_c}{m} = \frac{75 \text{ N}}{30,0 \text{ kg}} = 2,5 \text{ m/s}^2$

Son accélération centripète est $2,5 \text{ m/s}^2$.

b) $a_c = \frac{v^2}{R}$ $v = \sqrt{a_c R} = \sqrt{(2,5 \text{ m/s}^2)(1,2 \text{ m})} = 1,7 \text{ m/s}$

Sa vitesse est $1,7 \text{ m/s}$.

c) $v = \frac{2\pi R}{T}$ $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi(1,2 \text{ m})}{1,7 \text{ m/s}} = 4,4 \text{ s}$

d) $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4,4 \text{ s}} = 0,23 \text{ Hz}$

La fréquence de révolution est $0,23 \text{ Hz}$

2) $R = 6,4 \times 10^6 \text{ m}$ altitude = 600 km $a_g = a_c = 8,2 \text{ N/kg}$ $v = 7,6 \times 10^3 \text{ m/s}$

$\text{rayon}_{\text{total}} = \text{rayon}_{\text{Terre}} + \text{altitude} = 7,0 \times 10^6 \text{ m}$

$v = \frac{2\pi R}{T}$ $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi(7,0 \times 10^6 \text{ m})}{7,6 \times 10^3 \text{ m/s}} = 5,8 \times 10^3 \text{ s}$

La période de l'orbite est $5,8 \times 10^3 \text{ s}$.

b) $a_c = \frac{v^2}{R}$ $v = \sqrt{a_c R} = \sqrt{(8,2 \text{ N/kg})(7,0 \times 10^6 \text{ m})} = 7576 \text{ m/s}$

Sa vitesse est $7,6 \times 10^3 \text{ m/s}$

3) $R = 1,5 \text{ m}$ $f = 1,25 \text{ Hz}$

$a_c = 4\pi^2 R f^2 = 4\pi^2 (1,5 \text{ m})(1,25 \text{ Hz})^2 = 92,5 \text{ m/s}^2 = 93 \text{ m/s}^2$

L'accélération centripète est 93 m/s^2 .

4) $R = 5,8 \times 10^{10} \text{ m}$ $a_c = 0,04 \text{ m/s}^2$

$a_c = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$ $T = \sqrt{\frac{4\pi^2(5,8 \times 10^{10} \text{ m})}{0,04 \text{ m/s}^2}} = 7,6 \times 10^6 \text{ s}$

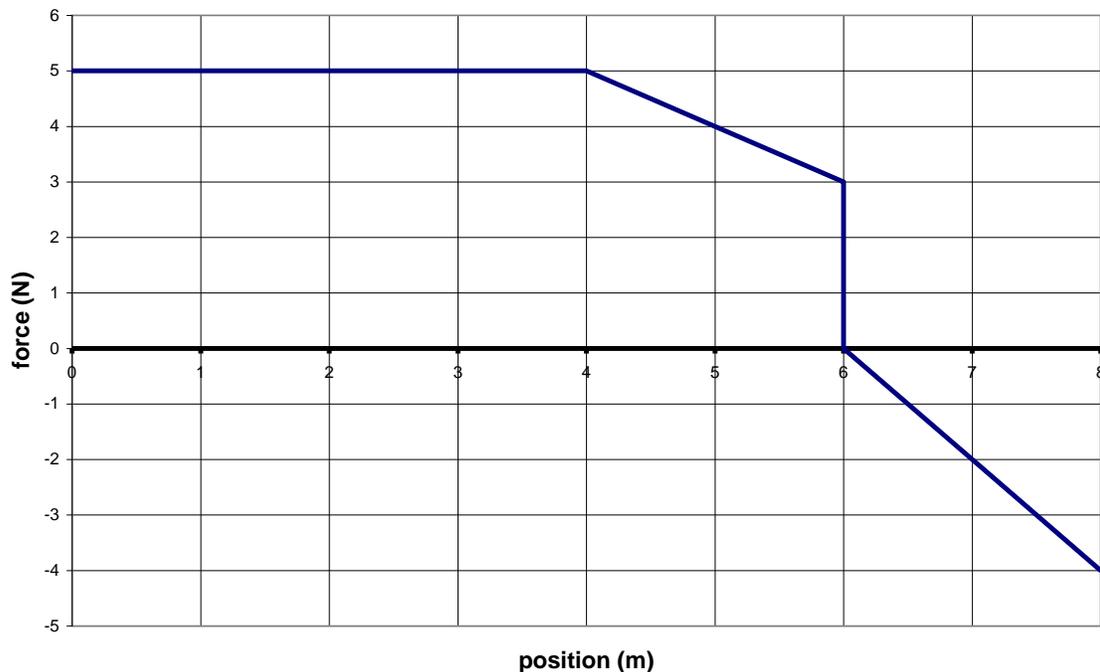
Sa période de révolution autour du soleil est $7,6 \times 10^6 \text{ s}$.



ANNEXE 39 : Exercice – Le travail

1. Colette tire un traîneau sur une distance de 35,0 m. La corde fait un angle de $25,0^\circ$ par rapport au sol. La tension dans la corde est de 94,0 N. Calcule le travail effectué par Colette.
2. Une caisse de 20,0 kg est poussée le long d'une surface horizontale sur une distance de 50,0 m. La force exercée sur la caisse est de $1,00 \times 10^2$ N. Cette force agit à un angle de $20,0^\circ$ par rapport à l'horizontale. La surface est rugueuse et exerce une force de frottement de 15,0 N sur la caisse. Calcule le travail effectué par chaque force agissant sur la caisse ainsi que le travail net effectué sur la caisse.
3. Le graphique suivant représente la force exercée sur un objet en fonction de son déplacement. Calcule :
 - a) le travail effectué après 4 mètres;
 - b) le travail effectué entre 4 et 6 mètres;
 - c) le travail effectué entre 6 et 8 mètres;
 - d) le travail total effectué sur l'objet.

La force en fonction de la position



ANNEXE 40 : Le travail – Corrigé

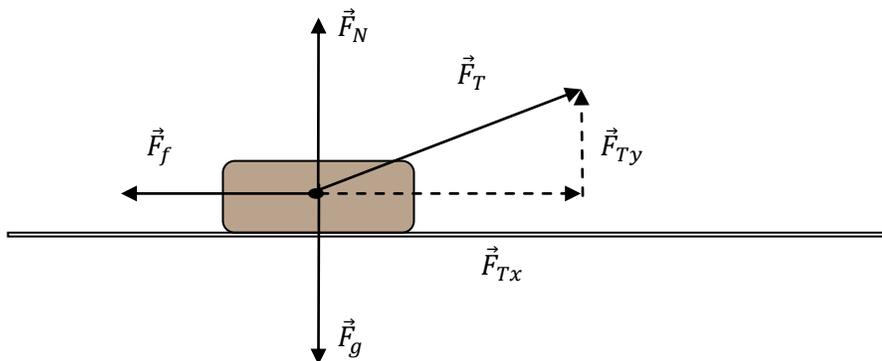
1. Colette tire un traîneau sur une distance de 35,0 m. La corde fait un angle de 25,0° par rapport au sol. La tension dans la corde est de 94,0 N. Calcule le travail effectué par Colette.

$$W = (F \cos \theta) \Delta d = (94,0 \text{ N})(\cos 25^\circ)(35,0 \text{ m})$$

$$W = 2982 \text{ J} = 2980 \text{ J}$$

2. Une caisse de 20,0 kg est tirée le long d'une surface horizontale sur une distance de 50,0 m. La force exercée sur la caisse est de $1,00 \times 10^2 \text{ N}$. Cette force agit à un angle de 20,0° par rapport à l'horizontale. La surface est rugueuse et exerce une force de frottement de 15,0 N sur la caisse. Calcule le travail effectué par chaque force agissant sur la caisse ainsi que le travail net effectué sur la caisse.

Afin de mieux identifier les forces agissant sur la caisse, on devrait dessiner un diagramme de forces.



La force gravitationnelle et la force normale n'effectuent aucun travail car elles ne sont pas parallèles au mouvement de la caisse.

Travail effectué par la personne tirant la caisse :

$$W = F_T \cos \theta \Delta d$$

$$W = 1,0 \times 10^2 \text{ N} \times \cos 20,0^\circ \times 50,0 \text{ m}$$

$$W = 4698 \text{ J} = 4,70 \times 10^3 \text{ J}$$

Travail effectué par le frottement :

$$W = F_f \cos \theta \Delta d$$

$$W = 15,0 \text{ N} \times \cos 180^\circ \times 50,0 \text{ m}$$

$$W = -750 \text{ J} \text{ (Le signe négatif signifie que le travail effectué s'oppose au mouvement de la caisse.)}$$

Travail net :

$$W_{net} = W_T + W_f = 4,70 \times 10^3 + (-7,50 \times 10^2 \text{ J}) = 3950 \text{ J}$$



3. Le graphique suivant représente la force exercée sur un objet en fonction de son déplacement.
Calcule :

1) le travail effectué après 4 mètres;

$$5 \text{ N} \times 4 \text{ m} = 20 \text{ J}$$

2) le travail effectué entre 4 et 6 mètres;

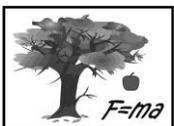
$$(3 \text{ N} \times 2 \text{ m}) + \left(\frac{2 \text{ N} \times 2 \text{ m}}{2} \right) = 8 \text{ J}$$

3) le travail effectué entre 6 et 8 mètres;

$$\frac{-4 \text{ N} \times 2 \text{ m}}{2} = -4 \text{ J}$$

4) le travail total effectué sur l'objet.

$$W_t = 20 \text{ J} + 8 \text{ J} + (-4 \text{ J}) = 24 \text{ J}$$



ANNEXE 41 : Exercice – Énergie cinétique et énergie potentielle

1. Calcule l'énergie cinétique des objets suivants :
 - a) une voiture de 800 kg qui se déplace à 15 m/s.
 - b) une roche de 0,25 kg attachée au bout d'un fil d'une longueur de 2,0 m qui fait un trajet circulaire avec une période de $\pi / 4s$.
2. Deux petits jouets, le premier ayant une masse de 3,2 kg et l'autre une vitesse de 2,4 m/s, ont tous deux une énergie cinétique de 16 J. Détermine la vitesse du premier jouet et la masse du deuxième jouet.
3. Une balle de baseball de 250 g est lancée à une vitesse de 40 m/s. Elle est attrapée par le receveur. Le gant du receveur recule de 0,25 m à cause de la balle de baseball.
 - a) Calcule l'énergie cinétique de la balle.
 - b) Combien de travail le gant du receveur a-t-il effectué sur la balle de baseball ?
 - c) Quelle force a été appliquée sur la balle de baseball pour l'arrêter ?
4. Andrea, qui a une masse de 50,0 kg, monte un escalier de 15 marches. Chaque marche a une hauteur de 20,0 cm. Détermine l'énergie potentielle gravitationnelle d'Andréa au sommet de l'escalier.



ANNEXE 42 : Énergie cinétique et énergie potentielle – Corrigé

1. Calcule l'énergie cinétique des objets suivants :

a. une voiture de 800 kg qui se déplace à 15 m/s.

$$m = 800 \text{ kg} \quad v = 15 \text{ m/s}$$

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(800 \text{ kg})(15 \text{ m/s})^2 = 90\,000 \text{ J}$$

L'énergie cinétique de la voiture est 90 000 J.

b. une roche de 0,25 kg attachée au bout d'un fil d'une longueur de 2,0 m qui fait un trajet circulaire avec une période de $\pi/4$ s.

$$m = 0,25 \text{ kg} \quad R = 2,0 \text{ m} \quad T = \frac{\pi}{4 \text{ s}}$$

$$v = \frac{2\pi R}{T} = \frac{2\pi(2,0 \text{ m})}{\frac{\pi}{4 \text{ s}}} = 16 \text{ m/s}$$

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(0,25 \text{ kg})(16 \text{ m/s})^2 = 32 \text{ J}$$

L'énergie cinétique de la roche est 32 J.

2. Deux petits jouets, le premier ayant une masse de 3,2 kg et l'autre une vitesse de 2,4 m/s, ont tous deux une énergie cinétique de 16 J. Détermine la vitesse du premier jouet et la masse du deuxième jouet.

$$m_1 = 3,2 \text{ kg} \quad v_2 = 2,4 \text{ m/s} \quad E_{c1} = 16 \text{ J} \quad E_{c2} = 16 \text{ J}$$

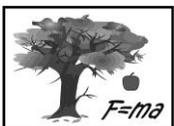
Premier jouet:

$$v = \sqrt{\frac{2(E_c)}{m}} = \sqrt{\frac{2(16 \text{ J})}{3,2 \text{ kg}}} = 3,2 \text{ m/s}$$

Deuxième jouet:

$$m = \frac{2(E_c)}{v^2} = \frac{2(16 \text{ J})}{(2,4 \text{ m/s})^2} = 5,6 \text{ kg}$$

La vitesse du premier jouet est 3,2 m/s et la masse du deuxième jouet est 5,6 kg



ANNEXE 42 : Énergie cinétique et énergie potentielle – Corrigé (suite)

3. Une balle de baseball de 250 g est lancée à une vitesse de 40 m/s. Elle est attrapée par le receveur. Le gant du receveur recule 0,25 m à cause de la balle de baseball.

$$m = 250 \text{ g} = 0,250 \text{ kg} \quad v = 40 \text{ m/s} \quad \Delta d = 0,25 \text{ m}$$

- a. Calcule l'énergie cinétique de la balle.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(0,250 \text{ kg})(40 \text{ m/s})^2 = 200 \text{ J}$$

L'énergie cinétique de la balle est 200 J.

- b. Combien de travail le gant du receveur a-t-il effectué sur la balle de baseball?

$$W = \Delta E_c = E_{c2} - E_{c1} = 0 - 200 \text{ J} = -200 \text{ J}$$

Le gant du receveur a effectué -200 J de travail.

- c. Quelle force a été appliquée sur la balle de baseball pour l'arrêter?

$$W = F\Delta d$$

$$F = \frac{W}{\Delta d} = \frac{-200 \text{ J}}{0,25 \text{ m}} = -800 \text{ N}$$

La force est -800 N.

4. Andréa, qui a une masse de 50,0 kg, monte un escalier de 15 marches. Chaque marche a une hauteur de 20,0 cm. Détermine l'énergie potentielle gravitationnelle d'Andréa au sommet de l'escalier.

$$m = 50,0 \text{ kg} \quad \Delta h = 15(0,20 \text{ m}) = 3,0 \text{ m}$$

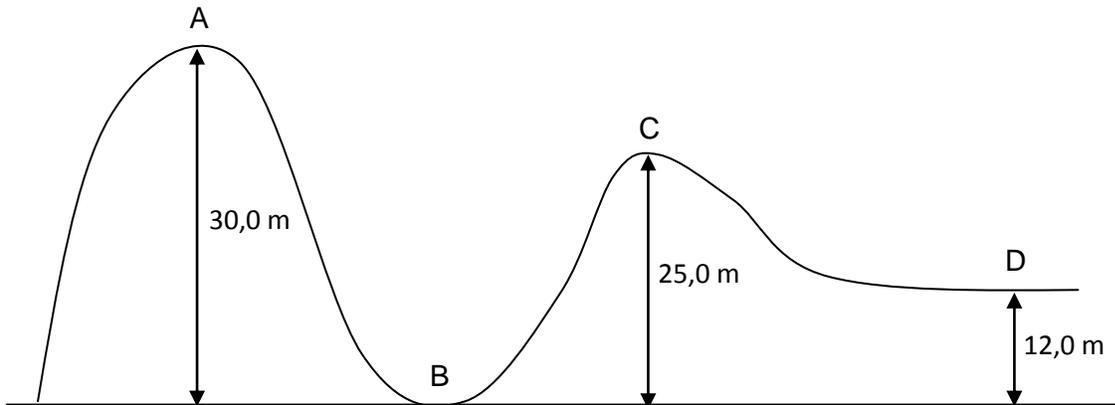
$$\Delta E_g = mg\Delta h = (50,0 \text{ kg})(9,8 \text{ N/kg})(3,0 \text{ m}) = 1470 \text{ J} = 1500 \text{ J}$$

Sa variation d'énergie potentielle gravitationnelle est 1500 J.

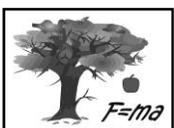


ANNEXE 43 : Exercice – La conservation de l'énergie

1. Un chariot de montagne russe voyage du point A jusqu'au point D. Le chariot a une masse de 1000,0 kg et une vitesse de 1,80 m/s au point A.



- a) Quelle est l'énergie mécanique (énergie totale) du chariot au point A?
b) Quelle est la vitesse du chariot au point B?
c) Quelle est l'énergie potentielle et l'énergie cinétique du chariot au point C?
e) Quelle est la vitesse du chariot au point D?
2. Une bille ($m = 50,0$ g) repose sur un ressort vertical dont la constante de force est égale à 120,0 N/m. La position initiale du ressort est à 0,00 m.
- a) Le ressort est comprimé de 0,200 m vers le bas. Comment haut la bille sera-t-elle projetée à partir de cette position?
b) Quelle est l'énergie cinétique de la bille lorsqu'elle est projetée? (Suppose que toute l'énergie est convertie en énergie cinétique.)
c) Quelle est la vitesse maximale de la bille?
d) Quel sera l'effet sur la vitesse maximale de la bille si le ressort est comprimé deux fois plus?
e) Quel sera l'effet sur la hauteur atteinte par la bille si le ressort est comprimé deux fois plus?



ANNEXE 44 : La conservation de l'énergie – Corrigé

1. Un chariot de montagne russe voyage du point A jusqu'au point D. Le chariot a une masse de 1000,0 kg et a une vitesse de 1,80 m/s au point A.

- a) Quelle est l'énergie mécanique (énergie totale) du chariot au point A?

L'énergie mécanique est la somme de l'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle.

$$E_m = E_g + E_c = mgh + \frac{1}{2}mv^2 = (1000,0 \text{ kg})(9,80 \text{ N/kg})(30,0 \text{ m}) + \frac{1}{2}(1000,0 \text{ kg})(1,80 \text{ m/s})^2$$

$$E_m = 2,96 \times 10^5 \text{ J}$$

- b) Quelle est la vitesse du chariot au point B?

Au point B, toute l'énergie est transformée en énergie cinétique. On peut donc calculer la vitesse du chariot avec la formule $E_c = \frac{1}{2}mv^2$.

$$v = \sqrt{\frac{2(E_c)}{m}} = \sqrt{\frac{2(2,96 \times 10^5 \text{ J})}{1000,0 \text{ kg}}} = 24,3 \text{ m/s}$$

- c) Quelle est l'énergie potentielle et l'énergie cinétique du chariot au point C?
On peut calculer l'énergie potentielle du chariot au point C de cette façon :

$$E_g = mgh = (1000,0 \text{ kg})(9,80 \text{ N/kg})(25,0 \text{ m}) = 2,45 \times 10^5 \text{ J}$$

Selon le principe de la conservation de l'énergie, $E_m = E_g + E_c$.

$$E_c = E_m - E_g = 2,96 \times 10^5 \text{ J} - 2,45 \times 10^5 \text{ J} = 5,10 \times 10^5 \text{ J}$$

- d) Quelle est la vitesse du chariot au point D?

$$E_c = E_m - E_g = E_m - mgh = 2,96 \times 10^5 \text{ J} - (1000,0 \text{ kg})(9,80 \text{ N/kg})(12,0 \text{ m}) \\ = 2,96 \times 10^5 \text{ J} - 1,18 \times 10^5 \text{ J} = 1,78 \times 10^5 \text{ J}$$

$$v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2(1,78 \times 10^5 \text{ J})}{1000,0 \text{ kg}}} = 18,9 \text{ m/s}$$



ANNEXE 44 : La conservation de l'énergie – Corrigé (suite)

2. Une bille ($m = 50,0 \text{ g}$) repose sur un ressort vertical dont la constante de force est égale à $120,0 \text{ N/m}$. La position initiale du ressort est à $0,00 \text{ m}$.
- a) Le ressort est comprimé de $0,200 \text{ m}$ vers le bas. Comment haut la bille sera-t-elle projetée à partir de cette position?

L'énergie mécanique totale du système est égale à l'énergie potentielle du ressort lorsqu'il est comprimé. Cette énergie potentielle élastique est totalement convertie en énergie potentielle gravitationnelle lorsque la balle atteint sa hauteur maximale.

$$\frac{1}{2}kx^2 = mgh$$

$$h = \frac{kx^2}{2mg} = \frac{120,0 \text{ N/m} (0,200 \text{ m})^2}{2(0,0500 \text{ kg})(9,80 \text{ N/kg})} = 4,90 \text{ m}$$

- b) Quelle est l'énergie cinétique de la bille lorsqu'elle est projetée? (Suppose que toute l'énergie est convertie en énergie cinétique.)

L'énergie cinétique de la bille est égale à l'énergie potentielle du ressort lorsqu'il est comprimé.

$$E_c = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}(120,0 \text{ N/m})(0,200 \text{ m})^2 = 2,40 \text{ J}$$

- c) Quelle est la vitesse maximale de la bille?

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2(2,40 \text{ J})}{0,0500 \text{ kg}}} = 9,80 \text{ m/s}$$

- d) Quel sera l'effet sur la vitesse maximale de la bille si le ressort est comprimé deux fois plus?

Si on compare les équations pour l'énergie cinétique est l'énergie potentielle élastique, $\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv^2$, on peut voir que la compression du ressort est directement reliés à la vitesse de la bille. Donc, si on comprime le ressort deux fois plus, la vitesse sera deux fois plus grande.

- e) Quel sera l'effet sur la hauteur atteinte par la bille si le ressort est comprimé deux fois plus?

Encore une fois on peut comparer les équations, cette fois d'énergie potentielle élastique et d'énergie potentielle gravitationnelle : $\frac{1}{2}kx^2 = mgh$. La hauteur est proportionnelle au carré de la distance de compression ($h \propto x^2$). Si le ressort est comprimé deux fois plus, la hauteur sera donc quatre fois plus grande.



LES CHAMPS

APERÇU DU REGROUPEMENT

Dans ce regroupement les élèves poursuivront leur étude des champs gravitationnels, électriques et magnétiques amorcée en Physique 11^e année. Les champs gravitationnels seront étudiés par l'entremise d'un contexte d'exploration spatiale. L'intention du contexte d'exploration spatiale est de stimuler l'imagination des élèves en étudiant un sujet d'actualité.

CONSEILS D'ORDRE GÉNÉRAL

Les concepts de travail et d'énergie potentielle gravitationnelle près de la surface de la terre ont été étudiés dans le regroupement précédent. Au regroupement 2, on veut étendre ce concept pour tout système de deux masses séparées d'une distance finie.

En physique 11^e, les élèves ont tracé des diagrammes de champ électrique entre deux plaques parallèles dont les charges sont de signes opposés. En 12^e année, les élèves déterminent de façon quantitative pourquoi le champ est uniforme. L'étude quantitative du champ électrique entre deux plaques parallèles permet d'introduire le concept de différence de potentiel, qui sera utilisé au regroupement 3.

Les satellites autour de la Terre, les sondes spatiales et l'exploration planétaire sont souvent dans les reportages faits par les médias, donc l'accès des élèves à Internet est fortement recommandé afin qu'ils puissent y poursuivre leurs recherches.



BLOCS D'ENSEIGNEMENT SUGGÉRÉS

Afin de faciliter la présentation des renseignements et des stratégies d'enseignement et d'évaluation, les RAS de ce regroupement ont été disposés en **blocs d'enseignement**. À souligner que, tout comme le regroupement lui-même, les blocs d'enseignement ne sont que des pistes suggérées pour le déroulement du cours de physique. L'enseignant peut choisir de structurer son cours et ses leçons en privilégiant une autre approche. Quoi qu'il en soit, les élèves doivent réussir les RAS prescrits par le Ministère pour la physique 12^e année.

Outre les RAS propres à ce regroupement, plusieurs RAS transversaux de la physique 12^e année ont été rattachés aux blocs afin d'illustrer comment ils peuvent s'enseigner pendant l'année scolaire.

	Titre du bloc	RAS inclus dans le bloc	Durée suggérée
Bloc A	Les enjeux reliés à l'exploration spatiale	P12-2-01, P12-0-3a, P12-0-3c, P12-0-3d, P12-0-4d	140 à 160 min
Bloc B	Les lois de Kepler et la loi de la gravitation universelle	P12-2-02, P12-2-03, P12-0-1a, P12-0-1d, P12-0-1e	120 à 140 min
Bloc C	L'énergie potentielle gravitationnelle	P12-2-04, P12-2-05, P12-0-2g	60 à 90 min
Bloc D	La loi de la gravitation universelle et le poids	P12-2-06, P12-0-2g	60 à 90 min
Bloc E	Les satellites	P12-2-07, P12-2-08, P12-0-1c	60 à 90 min
Bloc F	La microgravité	P12-2-09, P12-2-10, P12-0-2c, P12-0-4c, P12-0-4e	100 à 120 min
Bloc G	La rentrée d'un objet dans l'atmosphère de la Terre	P12-2-11, P12-0-3a, P12-0-3c, P12-0-4e	60 à 90 min
Bloc H	L'exploration spatiale	P12-2-12, P12-0-3b, P12-0-4e	120 à 140 min
Bloc I	Les champs électriques	P12-2-13, P12-2-14, P12-0-2c, P12-0-2g, P12-0-2h	120 à 140 min
Bloc J	Le champ électrique entre deux plaques parallèles	P12-2-15, P12-0-2f	60 à 90 min
Bloc K	L'énergie potentielle électrique	P12-2-16, P12-2-17, P12-2-18, P12-2-19, P12-2-20, P12-0-2c, P12-0-2g	120 à 140 min
Bloc L	Les champs électriques et magnétiques	P12-2-21, P12-2-22, P12-0-2f, P12-0-3b	100 à 120 min
	<i>Récapitulation et objectivation pour le regroupement en entier</i>		100 à 120 min
	Nombre d'heures suggérées pour ce regroupement		24 à 32 h



Ressources éducatives pour l'enseignant

Vous trouverez ci-dessous une liste de ressources éducatives qui se prêtent bien à ce regroupement. Il est possible de se procurer la plupart de ces ressources à la Direction des ressources éducatives françaises (DREF) ou de les commander auprès du Centre des manuels scolaires du Manitoba (CMSM).

[R] indique une ressource recommandée

LIVRES

Éléments de physique: cours d'introduction, de David G. Martindale et Lise Malo, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (1992). ISBN 2-89310-085-6. DREF 530/M384e.

Éléments de physique: cours d'introduction – Guide d'enseignement, de David G. Martindale, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (1994). ISBN 2-89310-173-9. DREF 530/M384e.

[R] L'enseignement des sciences de la nature au secondaire : Une ressource didactique, d'Éducation et Formation professionnelle Manitoba (2000). ISBN 0-7711-2139-3. DREF P.D. 507.12 E59. CMSM 93965. [Stratégies de pédagogie différenciée]

Neurolab pour les élèves, de l'Agence spatiale canadienne (1997). ISBN 0662827813. DREF 629.40971 N494 Sec. 1-4.

Physique 1 – Mécanique, de Benson et autres, Éd. du Renouveau pédagogique (1999). ISBN 2-7613-1040-3. DREF 530 B474p.

[R] Physique 11 – Guide d'enseignement (avec réponses sur cédérom), d'Igor Nowikow et Brian Heimbecker, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (2002). ISBN 2-89310-873-3. DREF 530 N948p. CMSM 92898.

[R] Physique 11 – Manuel de l'élève, d'Igor Nowikow et Brian Heimbecker, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (2002). ISBN 2-89310-872-5. DREF 530 N948p. CMSM 92303.

[R] Physique 11-12 – Banque d'évaluation informatisée, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2009). ISBN 978-2-7650-2451-4. DREF 530 A82p.

[R] Physique 11-12 – Banque d'images, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2009). ISBN 978-2-7650-2452-1. DREF 530 A82p. CMSM 96138.

[R] Physique 11-12 – Guide d'enseignement 11^e année, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2007). ISBN 978-2-7650-1702-8. DREF 530 A82p. CMSM 96135.

[R] Physique 11-12 – Guide d'enseignement 12^e année, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2007). ISBN 978-2-7650-1975-6. DREF 530 A82p. CMSM 96136



- [R] **Physique 11-12 – Manuel de l'élève**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2008). ISBN 978-2-7650-1703-5. DREF 530 A82p. CMSM 97717.
- [R] **Physique 11-12 – Recueil de solutions**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2009). ISBN 978-2-7650-2453-8. DREF 530 A82p. CMSM 96137.
- [R] **Physique 12 – Guide d'enseignement**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615488. DREF 530 H669p 12. CMSM 92899.
- [R] **Physique 12 – Manuel de l'élève**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615341. DREF 530 H669p 12. CMSM 92681.
- [R] **Physique 12 – Matériel reproductible**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615495. DREF 530 H669p 12. CMSM 92863.
- [R] **Physique 12 – Solutionnaire**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615501. DREF 530 H669p 12. CMSM 92864.
- La physique et le monde moderne**, d'Alan Hirsch et Michèle Lemaître, Éd. Guérin (1991). ISBN 2-7601-2400-2. DREF 530.0202/H669p.
- Principes fondamentaux de la physique: un cours avancé**, de Martindale, Heath et Eastman, Éd. Guérin (1992). ISBN 2-7601-2445-2. DREF 530 M384p.

AUTRES IMPRIMÉS

- L'Actualité**, Éditions Rogers Media, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE. [revue publiée 20 fois l'an; articles d'actualité canadienne et internationale]
- Ça m'intéresse**, Prisma Presse, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; beaucoup de contenu STSE; excellentes illustrations]
- Découvrir : la revue de la recherche**, Association francophone pour le savoir, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE [revue bimestrielle de vulgarisation scientifique; recherches canadiennes]
- Pour la science**, Éd. Bélin, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE [revue mensuelle; version française de la revue américaine *Scientific American*]
- [R] **Québec Science**, La Revue Québec Science, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE. [revue publiée 10 fois l'an]
- [R] **Science et vie junior**, Excelsior Publications, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; excellente présentation de divers dossiers scientifiques; explications logiques avec beaucoup de diagrammes]



[R] **Science et vie**, Excelsior Publications, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; articles plus techniques]

Sciences et avenir, La Revue Sciences et avenir, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE.
[revue mensuelle; articles détaillés]

VIDÉOCASSETTES ET DVD

Les catastrophes spatiales, collection La conquête de l'espace (2007). DREF 629.4/09 C753.
[80 min, trois reportages sur les trois catastrophes qui ont marqué les vols spatiaux habités états-uniens: Le sauvetage d'Apollo 13, l'accident de Challenger et la catastrophe de Columbia]

La construction de Mir, collection La conquête de l'espace (2007). DREF 629.4/09 C753. [65 min, La genèse et la réalisation de la station spatiale soviétique Mir et son déploiement dans l'espace extra-atmosphérique]

Copernic et Kepler changent notre vision du monde, collection Tous sur orbite! (1996).
DREF 48831 / V7137. [10 min]

L'électricité et le magnétisme, collection Science physique (1985). DREF JHCR/V7561. [15 min, applications pratiques de la relation entre l'électricité et le magnétisme]

L'espace 2, collection Omni science (1989). DREF JGOO / V8260 + G. [26 min]

L'espace russe, collection La conquête de l'espace (2007). DREF 629.4/09 C753. [100 min, deux reportages sur l'évolution du programme spatial de la Russie]

L'exploration du système solaire, collection La conquête de l'espace (2007). DREF 629.4/09 C753.
[100 min, quatre documentaires sur diverses missions d'exploration des planètes du système solaire au moyen de sondes spatiale]

La gravité – Du poids et de la masse, collection Eurêka, Prod. TVOntario (1980). DREF 54898/V8339+G. Service de doublage VIDEO 530.07 E89 03 [10 min]

Mir, la datcha de l'espace, collection La conquête de l'espace (2007). DREF 629.4/09 C753. [80 min, Trois documentaires sur les séjours dans l'espace effectués par des astronautes européens à bord de la station spatiale russe Mir]

La station spatiale internationale, collection La conquête de l'espace (2007). DREF 629.4/09 C753.
[80 min, histoire de la station spatiale internationale, les objectifs qu'elle poursuit, les défis qu'elle représente, l'entraînement et le travail des astronautes qui s'y rendent, y habitent et y travaillent]



DISQUES NUMÉRISÉS ET LOGICIELS

Au-delà de la planète Terre, de Bethesda, MD (1994). DREF CD-ROM/523.2/A899.

Physique 12 – Banque de questions informatisées, Éditions Beauchemin (2002).
ISBN 9782761615518. DREF 530 H669p 12.

Évalutel Sciences Physiques. Électricité, de Charles Chahine et autres, Prod. Evalutel Multimédia (1997). ISBN 291229102X. DREF CD-ROM 537 E92.

La physique par l'expérience : simulations, Prod. Sciensoft (1998), DREF CD-ROM 530 S416.

SITES WEB

[R] **À la découverte des champs électriques**. <http://w3.gel.ulaval.ca/~mbusque/elec/main_f.html> (juillet 2009). [permet de visualiser les effets des champs électriques]

Accélération bidimensionnelle. <http://www.learnalberta.ca/content/sfp20/html/java/acceleration_2D/applet_fr.html> (juillet 2009). [animation avec plan de leçon]

Agence Science-Press. <<http://www.sciencepresse.qc.ca>> (novembre 2000). [excellent répertoire des actualités scientifiques issues de nombreuses sources internationales; dossiers très informatifs]

Agence spatiale canadienne. <<http://www.asc-csa.gc.ca/fra/default.asp>> (juillet 2012).

[R] **Applet orbit**. <<http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/kap7/orbiter/orbit.htm>> (juillet 2009). [site anglais qui présente une simulation du lancement d'un satellite].

L'art du freinage. <<http://www.onera.fr/coupezoom/03-rentree-atmospherique-engins-spatiaux.php>> (juillet 2009). [site qui présente des renseignements sur la rentrée atmosphérique d'un engin spatial]

Assistance gravitationnelle. <http://www.esa.int/esaKIDSfr/SEMJNXXDE2E_Liftoff_0.html> (juillet 2009). [explication simple de l'assistance gravitationnelle]

Assistance gravitationnelle. <http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/Planetes/assist_grav.html> (juillet 2009). [animation sur l'assistance gravitationnelle]

Assistance gravitationnelle. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Assistance_gravitationnelle> (juillet 2009).

L'assistance gravitationnelle. <http://xp.hauduroy.free.fr/assistance_gravit.html> (juillet 2009). [renseignements sur la technique d'assistance gravitationnelle]



Champ magnétique des aimants droits. <http://www.walter-fendt.de/ph14f/mfbar_f.htm> (juillet 2012). [animation]

[R] **Chronologie shuttle.** <http://www.capcomespace.net/dossiers/espace_US/shuttle/index.htm> (juillet 2009). [présente des renseignements sur l'accident de Columbia, y inclus des vidéos de la rentrée]

Collision planétaire. <http://www.learnalberta.ca/content/sfp20/html/java/planet_collision/applet_fr.html> (juillet 2009). [animation et plan de leçon – quantité de mouvement, loi de la gravitation universelle]

Électromagnétisme. <http://www.learnalberta.ca/content/sfp30/html/authorware/Web/EM_Web/index.html> (juillet 2009). [champ magnétique autour d'un conducteur rectiligne]

En route vers Mars. <<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/Planetes/mars.html>> (juillet 2012). [animation - orbite de transfert Hohmann]

Entraînement <<http://www.asc-csa.gc.ca/fra/missions/sts-078/entraînement.asp>> (juillet 2009). [site de l'Agence spatiale canadienne qui présente des informations sur les vols paraboliques]

Expérience conceptuelle de Newton <http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/newt/newtmtn.html> (juillet 2012). [animation]

Exploration spatiale. <http://archives.radio-canada.ca/sciences_technologies/exploration_spatiale/> (juillet 2009). [dossiers de Radio Canada sur la thématique de l'exploration spatiale]

Explosion de Columbia. <http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/science_actualites/sitesactu/question_actu.php?id_article=543&langue=fr> (juillet 2009). [renseignements sur l'explosion de la navette spatiale Columbia]

Force agissant sur un fil. <http://www.learnalberta.ca/content/sfp30/html/authorware/Web/FoW_Web/index.html> (juillet 2009). [force électromagnétique]

Force s'exerçant sur une charge. <http://www.learnalberta.ca/content/sfp30/html/authorware/Web/FoC_Web/index.html> (juillet 2009). [En utilisant les règles de la main, permet d'explorer la direction de la force qui agit sur une particule chargée lorsqu'elle passe dans un champ magnétique]

Loi de Coulomb. <<http://subaru.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/electri/coulomb.html>> (juillet 2009). [animation de la loi de Coulomb]

Loi de Kepler (loi n° 1). <<http://dmentrard.free.fr/GEOGEBRA/Sciences/Physique/Astronomie/Kepler1.html>> (juillet 2009). [animation de la première loi de Kepler]



Loi de Kepler (loi n° 2 ou loi des aires). <<http://dmentrard.free.fr/GEOGEBRA/Sciences/Physique/Astronomie/Kepler2.html>> (juillet 2009). [animation de la deuxième loi de Kepler]

Loi de Kepler (loi n° 3). <<http://dmentrard.free.fr/GEOGEBRA/Sciences/Physique/Astronomie/Kepler3.html>> (juillet 2009). [animation de la troisième loi de Kepler]

[R] **Lois de Kepler.** <<http://subaru.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/meca/planete.html>> (juillet 2009). [simulation des lois de Kepler]

Mise en orbite d'un satellite. <<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/Planetes/Satellisation.html>> (juillet 2012). [animation]

Moteur électrique. <http://www.walter-fendt.de/ph14f/electricmotor_f.htm> (juillet 2009). [animation – fonctionnement d'un moteur électrique]

[R] **Orbite de transfert.** <<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/Planetes/transfert.html>> (juillet 2009). [animation représentant une orbite de transfert]

Première loi de Kepler. <http://www.walter-fendt.de/ph14f/keplerlaw1_f.htm> (juillet 2012). [animation]

Rendez-vous orbital. <<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/Planetes/rendezvous.html>> (juillet 2012). [animation]

Rentrée atmosphérique. <http://pagesperso-orange.fr/merlay/columbia/rentree_atmospherique.html> (juillet 2009). [site qui présente des renseignements sur la rentrée atmosphérique d'une navette spatiale]

Satellite artificiel. <<http://subaru2.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/meca/satellit.html>> (juillet 2009). [animation - satellite géostationnaire]

Satellites artificiels. <<http://www.astrosurf.com/astrospace/satellitesartificiels.htm>> (juillet 2009).

[R] **La science en apesanteur.** <<http://www.asc-csa.gc.ca/fra/sciences/apesanteur.asp>> (février 2009).

Sciences et avenir quotidien. <<http://tempsreel.nouvelobs.com/actualites/sciences/>> (janvier 2010). [revue française qui traite des actualités scientifiques]

Seconde loi de Kepler. <http://www.walter-fendt.de/ph14f/keplerlaw2_f.htm> (janvier 2010). [animation]

[R] **Vivre et travailler à bord de la Station spatiale internationale.** <http://www.asc-csa.gc.ca/pdf/educator-liv_wor_iss_f.pdf> (février 2013).

[R] **Le voyage dans l'espace et les effets de l'apesanteur sur le corps humain.** <http://www.asc-csa.gc.ca/pdf/educator-microgravity_science_stu_f.pdf> (février 2013).



LES CHAMPS



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES THÉMATIQUES

L'élève sera apte à :

- P12-2-01 identifier et examiner des enjeux liés à l'exploration spatiale,
par exemple la taille de l'univers, les progrès technologiques, la promotion de la coopération mondiale, les avantages sociaux et économiques, l'allocation de ressources aux dépens d'autres activités, les désastres possibles;
RAG : A3, A4, B1
- P12-2-02 décrire le mouvement planétaire au moyen des lois de Kepler;
RAG : A4, B1
- P12-2-03 résumer la loi de la gravitation universelle de Newton et résoudre des problèmes au moyen de l'équation $\vec{F}_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$;
RAG : D6
- P12-2-04 décrire l'énergie potentielle gravitationnelle comme l'aire entre la courbe et l'axe horizontale d'un graphique de la force en fonction de la distance de séparation et résoudre des problèmes au moyen de l'équation $E_g = -\frac{Gm_1m_2}{r}$;
RAG : D4
- P12-2-05 résoudre des problèmes sur la vitesse de libération d'un engin spatial,
entre autres la loi de la conservation de l'énergie, l'énergie de liaison;
RAG : D4, D6
- P12-2-06 comparer la loi de la gravitation universelle avec le poids (mg) d'un objet à diverses distances de la surface de la Terre et décrire l'intensité du champ gravitationnel au moyen de l'équation $\vec{g} = \frac{Gm_{Terre}}{r^2}$;
RAG : D6, E2
- P12-2-07 résumer l'expérience conceptuelle de Newton démontrant qu'un satellite artificiel pourrait être mis en orbite autour de la Terre;
RAG : A4, B1
- P12-2-08 appliquer la loi de la gravitation universelle et les équations de mouvement circulaire pour calculer les caractéristiques du mouvement d'un satellite,
entre autres la période de l'orbite, la vitesse, l'altitude au-dessus de la surface de la Terre, la masse du corps central, la position de satellites géostationnaires;
RAG : D4, D6



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES THÉMATIQUES (SUITE)

- P12-2-09 définir la microgravité comme un milieu où le poids apparent d'un corps est inférieur à son poids réel;
RAG : D4, E2
- P12-2-10 décrire des conditions dans lesquelles la microgravité peut se produire,
par exemple le saut à partir d'un plongeur, la chute libre dans un avion, le vaisseau spatial en orbite;
RAG : A3, E2
- P12-2-11 nommer des facteurs influant sur le retour d'un objet dans l'atmosphère terrestre,
entre autres la force de frottement, les forces g ;
RAG : D4
- P12-2-12 décrire de façon qualitative des défis technologiques reliés à l'exploration de l'espace,
par exemple la communication, la gravicélération et l'effet « lance-pierre », les orbites de transfert de Hohmann (orbites à énergie minimale);
RAG : A5, B2
- P12-2-13 comparer les champs gravitationnels et électriques, et la loi du carré de la distance qui les lie;
RAG : D4
- P12-2-14 énoncer la loi de Coulomb et résoudre des problèmes concernant plusieurs forces électriques agissant sur une charge,
entre autres des forces en une et deux dimensions;
RAG : D4
- P12-2-15 tracer des diagrammes illustrant de quelle façon la distribution de charges sur deux plaques parallèles de charge opposée se traduit par un champ uniforme;
RAG : D4
- P12-2-16 dériver l'équation pour l'énergie potentielle électrique entre deux plaques parallèles de charge opposée ($E_p = pE\Delta d$);
RAG : D3
- P12-2-17 décrire le potentiel électrique comme l'énergie potentielle électrique par unité de charge;
RAG : D4
- P12-2-18 définir l'unité de potentiel électrique (volt);
RAG : D4



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES THÉMATIQUES (SUITE)

- P12-2-19 définir la différence de potentiel électrique (tension) et décrire le champ électrique entre deux plaques parallèles de charge opposée en termes de la tension et de la séparation entre les plaques ($E = \frac{\Delta V}{d}$);
RAG : D4
- P12-2-20 résoudre des problèmes sur des charges se déplaçant entre ou à travers des plaques parallèles;
RAG : D4
- P12-2-21 utiliser les règles de la main pour décrire les rapports directionnels entre les champs électriques et magnétiques et le déplacement de charges;
RAG : D4
- P12-2-22 décrire des technologies qui utilisent des champs électriques et magnétiques, *par exemple les dispositifs électromagnétiques (solénoïde, moteur, cloche, relais), le tube cathodique, le spectromètre de masse, l'antenne.*
RAG : B1, B2



Bloc A

Les enjeux liés à l'exploration spatiale

L'élève sera apte à :

- P12-2-01** identifier et examiner des enjeux liés à l'exploration spatiale, *par exemple la taille de l'univers, les progrès technologiques, la promotion de la coopération mondiale, les avantages sociaux et économiques, l'allocation de ressources aux dépens d'autres activités, les désastres possibles;*
RAG : A3, A4, B1
- P12-0-3a** analyser, selon diverses perspectives, des avantages et des inconvénients pour la société et l'environnement lorsqu'on applique des connaissances scientifiques ou on introduit une technologie particulière;
RAG : B1, B2
- P12-0-3c** relever des enjeux d'ordre social liés aux sciences et à la technologie, en tenant compte des besoins humains et environnementaux et des considérations éthiques;
RAG : B3, B5
- P12-0-3d** appliquer le processus de prise de décisions à un enjeu STSE;
RAG : B5, C4
- P12-0-4d** acquérir un sens de responsabilité personnelle et collective au regard de l'impact des êtres humains sur l'environnement, et prendre en considération les conséquences d'actions prévues sur la société et l'environnement.
RAG : B1, B2

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Inviter les élèves à participer à une séance de remue-méninges pour identifier des enjeux courants liés à l'exploration spatiale. Les propositions de tous les élèves peuvent être compilées. Les élèves peuvent utiliser cette liste de propositions pour déterminer les enjeux qu'ils (ou la classe) souhaitent examiner dans l'activité suivante sur la prise de décisions.

OU

Les élèves ont pris connaissance du processus de prise de décisions en 9^e année. Ce RAS est placé au début de la section sur les champs gravitationnels pour donner un certain contexte à l'étude des champs. On recommande d'étaler ce projet sur plusieurs semaines.  L'annexe1 fournit des renseignements sur le comment et le pourquoi du processus de prise de décisions.



②

Inviter les élèves à compléter un guide d'anticipation (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 9.19 et 9.20). Voici des suggestions d'énoncés :

- *On devrait tenter d'envoyer des astronautes à la planète Mars.*
- *Le Canada devrait participer au programme Space-Based Infrared System des Etats-Unis.*
- *On devrait permettre au secteur privé de développer des systèmes de transport à la station spatiale internationale.*
- *Le gouvernement canadien ne devrait pas subventionner l'exploration spatiale.*

En quête

Prise de décisions – L'exploration spatiale

Inviter les élèves à entreprendre un projet en groupe dans lequel ils abordent un enjeu concret lié à l'exploration spatiale. Préciser que le projet sera réalisé sur plusieurs semaines et nécessitera de la recherche indépendante de leur part. Établir un échéancier à long terme et afficher les dates de tombée dans la classe. Encourager les élèves à inscrire ces dates dans leur agenda.

Inviter les élèves à choisir une approche pour entamer le processus de prise de décisions, par exemple un débat, une conférence, un exposé de position, un exposé en classe (si les élèves n'ont pas beaucoup d'expérience avec le processus de prise de décisions, on peut leur assigner une approche spécifique). Élaborer des critères d'évaluation avec les élèves (voir @ l'annexe 1 pour des suggestions de critères).

En fin

①

Inviter les élèves à compléter une autoévaluation de leur travail de groupe. Les questions suivantes peuvent servir de guide :

- *As-tu aidé ton équipe à prendre une décision?*
- *A-t-il été difficile pour ton équipe d'en arriver à cette décision? Pourquoi ou pourquoi pas?*
- *Les membres de ton équipe ont-ils eu l'impression d'avoir assez d'information pour prendre une décision informée?*
- *Étais-tu d'accord ou non avec la décision de ton groupe?*

OU

②

Revoir les énoncés du guide d'anticipation de la section « En tête » et demander aux élèves si leur opinion a changé. Discuter au besoin de certains enjeux qui suscitent beaucoup d'intérêt auprès des élèves.



Stratégies d'évaluation suggérées

①

Évaluer le travail des élèves selon les critères élaborés dans la section « En quête ». Le type d'évaluation utilisée variera selon l'approche adoptée, mais l'évaluation devrait mettre l'accent sur la capacité des élèves à démontrer les habiletés indiquées dans le regroupement 0.

②

Inviter les élèves à analyser un article traitant d'un enjeu courant lié à l'exploration spatiale. Un cadre d'analyse d'articles de nature factuelle ou un cadre d'analyse d'articles qui prêtent à discussion peut faciliter ce travail (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.40 et 11.41).



Bloc B

Les lois de Kepler et la loi de la gravitation universelle

L'élève sera apte à :

- P12-2-02** décrire le mouvement planétaire au moyen des lois de Kepler;
RAG : A4, B1
- P12-2-03** résumer la loi de la gravitation universelle de Newton et résoudre des problèmes au moyen de l'équation $\vec{F}_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$
RAG : D6
- P12-0-1a** expliquer le rôle que jouent les théories, les données et les modèles dans l'élaboration de connaissances scientifiques;
RAG : A2
- P12-0-1d** décrire comment des connaissances scientifiques évoluent à la lumière de nouvelles données et à mesure que de nouvelles idées et de nouvelles interprétations sont avancées;
RAG : A1, A2
- P12-0-1e** établir la différence entre l'explication des phénomènes naturels par les théories scientifiques, et la description des régularités et des constantes de la nature au moyen des lois scientifiques.
RAG : A2, D6

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Inviter les élèves à construire une liste de scientifiques qui ont contribué à notre compréhension de l'univers. Réviser les deux modèles: le point de vue géocentrique et le point de vue héliocentrique. (Ces concepts sont à l'étude en Sciences de la nature 9^e année). Réviser la contribution de Kepler (voir *Physique 11-12*, p. 214 ou *Physique 12*, p. 279).

OU

Le site Internet *Lois de Kepler* <<http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/meca/planete.html>> contient une simulation qui permet de visualiser les lois de Kepler.



2

Poser les questions suivantes aux élèves :

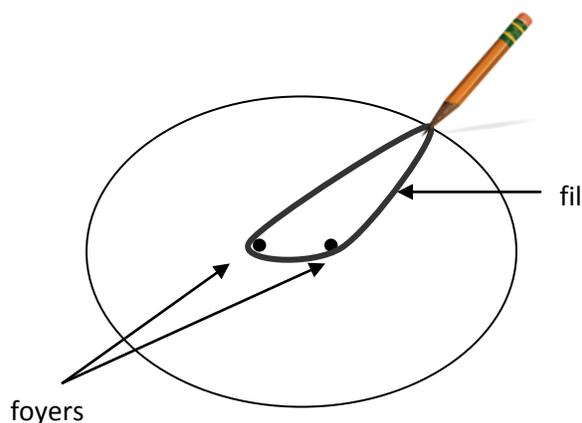
- *C'est quoi une orbite?*
- *Nommez des objets qui font des orbites.*
- *Quelle est la forme d'une orbite?*
- *Toutes les orbites ont-elles la même forme?*
- *Pourquoi les planètes ne voyagent-elles pas en ligne droite?*
- *Qu'est-ce qu'il y a au milieu d'une orbite?*

En quête

Activité – La première loi de Kepler

Inviter les élèves à faire une activité pour illustrer la première loi de Kepler (voir *Physique 12*, p. 273 ou effectuer la marche à suivre suivante) :

- Placer une feuille de papier graphique sur un morceau de carton.
- Enfoncer deux punaises à travers le papier et le carton.
- Enfiler une boucle de fil autour des deux punaises.
- Placer un crayon dans la boucle de fil et, en tirant toujours la boucle de fil vers l'extérieur au moyen du crayon, tracer graduellement une ellipse. Faire remarquer aux élèves que pour chaque point sur l'ellipse, on obtient la même valeur si on additionne la distance à un des foyers avec la distance à l'autre foyer.



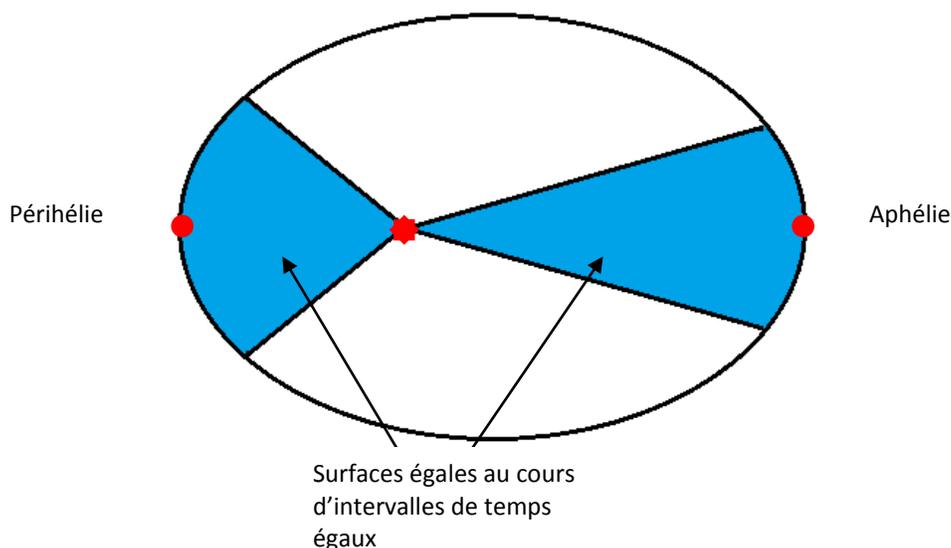
Inviter les élèves à ralentir lorsqu'ils sont plus éloignés du « Soleil » et à accélérer lorsqu'ils en sont plus proches.

Présenter aux élèves la première loi de Kepler (voir  l'annexe 2, *Physique 12*, p. 280 ou *Physique 11-12*, p. 269).



Enseignement direct – La deuxième loi de Kepler

Présenter aux élèves la deuxième loi de Kepler (voir @ l'annexe 2, *Physique 12*, p. 281 ou *Physique 11-12*, p. 270). Inviter les élèves à employer les diagrammes d'ellipse préparés à l'étape précédente pour illustrer cette loi.



Représentation graphique – La troisième loi de Kepler

Inviter les élèves à trouver le rayon orbital moyen et la période de révolution de chaque planète du système solaire, et à tracer un graphique du cube du rayon orbital moyen en fonction du carré de la période de révolution moyenne. Les inviter à tirer une conclusion basée sur le graphique. Énoncer la troisième loi de Kepler (voir @ l'annexe 2, *Physique 12*, p. 281 ou *Physique 11-12*, p. 271).

Enseignement direct – La loi de la gravitation universelle

Expliquer comment Newton a développé la loi de la gravitation universelle (voir @ l'annexe 2, *Physique 12*, p. 139-143 ou *Physique 11-12*, p. 203-207). Présenter la formule $\vec{F}_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$.

Inviter les élèves à préparer un tableau de données présentant la masse de chaque planète, son rayon orbital moyen et sa période de révolution moyenne. Inviter les élèves à calculer la force centripète et la force gravitationnelle agissant sur chaque planète et de les comparer l'une à l'autre.

On peut se servir d'un tableur pour faciliter le traitement des données.

Résolution de problèmes

Inviter les élèves à résoudre des problèmes avec la formule $\vec{F}_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ (voir *Physique 12*, p. 143 ou *Physique 11-12*, p. 207-209).



En fin

①

Inviter les élèves à écrire une lettre que Newton aurait pu écrire à Kepler à propos de son travail ou une développer une présentation que soit Newton ou Kepler aurait pu préparer pour convaincre aux gens de la validité de son travail.

OU

②

Inviter les élèves à résumer les trois lois de Kepler ainsi que la loi de la gravitation universelle dans leur carnet scientifique.

OU

③

Inviter les élèves à proposer comment on pourrait appliquer les techniques de proportionnalité aux problèmes basés sur la force gravitationnelle

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Revoir les diagrammes, le graphique et le tableau de données préparés par les élèves à l'aide des critères suivants :

- Les diagrammes sont bien tracés et étiquetés.
- L'élève respecte les critères établis pour la préparation d'un graphique (titre, axes étiquetés, unités de mesure, échelle appropriée, droite de meilleur ajustement).
- L'élève a bien calculé les forces centripète et gravitationnelle, a présenté un nombre de chiffres significatifs raisonnable basé sur la précision des données de base et a intitulé chaque colonne du tableau de données avec des unités de mesure une seule fois en haut.

②

Inviter les élèves à formuler des questions avec leurs réponses pour la formule $\vec{F}_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ et à échanger ces questions.

③

Inviter les élèves à calculer le poids (force gravitationnelle) d'un objet près de la surface de la Terre et de comparer ce poids à la force gravitationnelle telle que calculée à l'aide de la loi de la gravitation universelle.

④

Inviter les élèves à résoudre des problèmes de la loi de la gravitation universelle à l'aide de la stratégie des notes explicatives (voir *L'enseignement des sciences de la nature*, p. 13.14 et 13.15).



Bloc C

L'énergie potentielle gravitationnelle

L'élève sera apte à :

- P12-2-04** décrire l'énergie potentielle gravitationnelle comme l'aire entre la courbe et l'axe horizontale d'un graphique de la force en fonction de la distance de séparation et résoudre des problèmes au moyen de l'équation $E_g = -\frac{Gm_1m_2}{r}$;
RAG : D4
- P12-2-05** résoudre des problèmes sur la vitesse de libération d'un engin spatial, entre autres la loi de la conservation de l'énergie, l'énergie de liaison;
RAG : D4, D6
- P12-0-2g** Inférer et calculer des relations directes, des relations proportionnelles au carré et des relations inversement proportionnelles entre des variables à l'aide de modèles mathématiques.
RAG : C3, C8

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Proposer aux élèves d'examiner les transformations d'énergie lorsqu'on lance un objet à la verticale. Les questions suivantes peuvent servir de guide:

- *Décrivez le mouvement d'un objet qu'on lance à la verticale.* (L'objet monte en ralentissant à cause de la force gravitationnelle de la Terre. Il finit par s'arrêter à son point le plus haut puis retombe en accélérant vers la surface de la Terre.)
- *Quel type d'énergie a l'objet immédiatement après qu'on le libère?* (L'objet a une énergie cinétique.)
- *Qu'est-ce qui arrive à l'énergie à mesure que l'objet ralentit?* (L'énergie cinétique se transforme graduellement en énergie potentielle gravitationnelle.)
- *À son point le plus haut, l'objet a quel type d'énergie?* (À son point le plus haut, l'objet atteint un maximum d'énergie potentielle, tandis que son énergie cinétique est égale à zéro.)
- *Qu'arrive-t-il à l'énergie à mesure que l'objet tombe vers la Terre?* (L'énergie potentielle se transforme graduellement en énergie cinétique.)
- *L'énergie totale de l'objet varie-t-elle?* (À tous les points de sa trajectoire, l'énergie totale est constante et est égale à la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle gravitationnelle.)

Les concepts de travail et d'énergie potentielle gravitationnelle près de la surface de la terre ont été étudiés dans le regroupement précédent. Au regroupement 2, on veut étendre ce concept pour tout système de deux masses séparées d'une distance finie.



En quête

Enseignement direct – L'énergie potentielle gravitationnelle

Présenter aux élèves l'équation générale de l'énergie potentielle gravitationnelle (Ⓜ l'annexe 3 présente des renseignements pour l'enseignant). Inviter les élèves à résoudre des problèmes d'énergie potentielle gravitationnelle au moyen de la formule $E_g = -\frac{Gm_1m_2}{r}$ (voir *Physique 12*, p. 287 et 288 ou *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 390 et 391). Corriger ces problèmes en classe afin de vérifier la compréhension des élèves. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

Résolution de problèmes – La vitesse de libération

Expliquer aux élèves le concept de vitesse de libération (voir Ⓜ l'annexe 3). Les inviter à résoudre des problèmes sur la vitesse de libération (voir Ⓜ l'annexe 4, *Physique 12*, p. 293 et 294 ou *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 396). Le corrigé de Ⓜ l'annexe 4 figure à Ⓜ l'annexe 5.

En fin

❶

Inviter les élèves à consacrer une page de leur carnet scientifique aux formules de physique et à y inscrire les formules suivantes : $W = \Delta E$, $\vec{F}_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$, $\vec{F}_c = \frac{4\pi^2 Rm}{T^2}$, $\vec{F}_g = m\vec{g}$, $g = \frac{Gm}{r^2}$, $E_g = -\frac{Gm_1m_2}{r}$, $v = \sqrt{\frac{2Gm}{r}}$. Indiquer aux élèves qu'ils devraient indiquer la signification et les unités de mesure de chaque variable ainsi qu'une courte explication quant à l'usage de la formule, par exemple dans quels contextes elle s'applique.

OU

❷

Inviter les élèves à analyser un tableau de données sur les planètes du système solaire et à identifier les planètes dont la vitesse de libération et l'énergie de liaison seraient les plus élevées et les moins élevées. Les inviter à expliquer leurs prédictions.

Stratégies d'évaluation suggérées

❶

Inviter les élèves à expliquer le graphique de la force en fonction de la distance de séparation de Ⓜ l'annexe 3 sans utiliser des formules.

❷

Inviter les élèves à résoudre des problèmes d'énergie potentielle gravitationnelle et de vitesse de libération.



3

Inviter les élèves à calculer la vitesse de libération ainsi que l'énergie de liaison pour une fusée qui décolle de chacune des planètes du système solaire.

4

Inviter les élèves à expliquer pourquoi il est si difficile de mettre un satellite en orbite. On peut évaluer la réponse écrite en se fondant sur les critères suivants :

- clarté de la réponse;
- exhaustivité de la réponse;
- formulation d'une réponse logique;
- utilisation des connaissances acquises dans le regroupement pour justifier la réponse.

5

Inviter les élèves à continuer le tableau de données amorcé au Bloc A en calculant l'énergie potentielle gravitationnelle qui existe entre chaque planète et le Soleil.

On peut se servir d'un tableur pour faciliter le traitement des données.



Bloc D

La loi de la gravitation universelle et le poids

L'élève sera apte à :

P12-2-06 comparer la loi de la gravitation universelle avec le poids (mg) d'un objet à diverses distances de la surface de la Terre et décrire l'intensité du champ gravitationnel au moyen de l'équation $\vec{g} = \frac{Gm_{\text{terre}}}{r^2}$.

RAG : D6, E2

P12-0-2g Inférer et calculer des relations directes, des relations proportionnelles au carré et des relations inversement proportionnelles entre des variables à l'aide de modèles mathématiques.

RAG : C3, C8

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Activer les connaissances antérieures des élèves en leur posant les questions suivantes :

Les élèves ont étudié la loi de la gravitation universelle au bloc A de ce regroupement.

- *Quelle est la différence entre la masse et le poids?* (La masse est la quantité de matière dans un objet tandis que le poids est la valeur de la force gravitationnelle exercée sur un objet.)
- *Comment calcule-t-on la force gravitationnelle d'un objet près de la surface de la Terre?*
($\vec{F}_g = m\vec{g}$)
- *C'est quoi un champ gravitationnel?* (Un champ gravitationnel est la région de l'espace autour d'une masse où une autre masse ponctuelle subit une force.)
- *L'intensité du champ gravitationnel est-il pareil sur une montagne que dans une vallée? Expliquez votre réponse.* (L'attraction gravitationnelle entre deux corps est inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. Le champ gravitationnel sur une montagne sera donc légèrement plus petit que dans une vallée car la distance entre le centre de la Terre et le sommet de la montagne est plus élevé.)
- *L'intensité du champ gravitationnel est-elle pareille aux pôles et à l'équateur? Expliquez votre réponse.* (La Terre est légèrement aplatie aux pôles donc la distance au centre de la Terre est plus petite qu'à l'équateur. Le champ gravitationnel a donc une valeur plus élevée aux pôles qu'à l'équateur.)



En quête

Enseignement direct – La loi de la gravitation universelle et le poids

Expliquer aux élèves la différence entre g et G (voir @ l'annexe 6). Leur démontrer comment résoudre des problèmes à l'aide de l'équation $\vec{g} = \frac{Gm_{terre}}{r^2}$ et à l'aide des techniques de proportionnalité (voir *Physique 11*, p. 158-161, *Physique 12*, p. 274-277 ou *Physique 11-12*, p. 216-221). Voici un exemple de problème qu'on peut résoudre à l'aide de technique de proportionnalité :

L'intensité du champ gravitationnel d'une planète est de 3,6 N/kg à une certaine distance du centre de la planète. Qu'elle serait sa valeur à trois fois cette distance?

L'intensité du champ gravitationnel est inversement proportionnelle au carré de la distance qui sépare deux objets. Puisque la distance est trois fois plus grande, l'intensité du champ gravitationnel sera 3^2 fois plus petite, donc 9 fois plus petite.

$$g \propto \frac{1}{r^2}$$

$$xg \propto \frac{1}{(3r)^2}$$

$$\frac{1}{9}g \propto \frac{1}{9r^2}$$

$$\frac{1}{9}(3,6 \text{ N/kg}) = 0,40 \text{ N/kg}$$

OU

$$g_1 = 3,6 \text{ N/kg} \quad R_1 = 1 \quad R_2 = 3$$

$$g \propto \frac{1}{r^2}$$

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{1}{(R_1)^2}$$

$$g_2 = \frac{1}{(R_2)^2}$$

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{(R_2)^2}{(R_1)^2}$$

$$g_2 = g_1 \frac{(R_2)^2}{(R_1)^2} = 3,6 \text{ N/kg} \frac{1^2}{3^2} = 0,40 \text{ N/kg}$$

Donc, l'intensité du champ gravitationnel à trois fois la distance est de 0,40 N/kg.



En fin

❶

Inviter les élèves à revoir leurs réponses de la section « En tête ».

Stratégies d'évaluation suggérées

❶

Inviter les élèves à faire la distinction entre G et g en complétant un cadre de comparaison (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p.10.15-10.17 et p. 10.24).

❷

Inviter les élèves à résoudre des problèmes à l'aide de la formule $\vec{g} = \frac{Gm_{terre}}{r^2}$ ainsi que des techniques de proportionnalité.



Bloc E Les satellites

L'élève sera apte à :

- P12-2-07** résumer l'expérience conceptuelle de Newton démontrant qu'un satellite artificiel pourrait être mis en orbite autour de la Terre;
RAG : A4, B1
- P12-2-08** appliquer la loi de la gravitation universelle et les équations de mouvement circulaire pour calculer les caractéristiques du mouvement d'un satellite, entre autres la période de l'orbite, la vitesse, l'altitude au-dessus de la surface de la Terre, la masse du corps central, la position de satellites géostationnaires;
RAG : D4, D6
- S4P-0-1c** rattacher l'historique des idées scientifiques et de la technologie à la forme et à la fonction du savoir scientifique actuel.
RAG : B1

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Activer les connaissances antérieures des élèves en les invitant à compléter un cadre SVA ou à faire une chaîne de graffitis coopératifs (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 3.16 et 3.17). Les questions suivantes pourraient servir de guide :

- *Qu'arrive-t-il si on augmente la vitesse d'un projectile lancé horizontalement?*
- *Est-ce qu'un projectile peut être mis en orbite?*
- *Le projectile ne retomberait-il pas sur la Terre?*
- *Un satellite se déplace à quelle vitesse?*
- *Un satellite retombe-t-il éventuellement à la surface de la Terre?*
- *Les satellites font leur orbite à quelle altitude?*
- *Y a-t-il de la gravité dans l'espace?*
- *Le mouvement d'un satellite est-il ralenti par le frottement?*

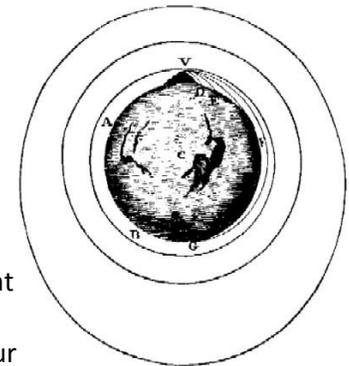
L'intention de ce bloc d'enseignement est de stimuler l'imagination des élèves en étudiant un sujet d'actualité. Les satellites autour de la Terre, les sondes spatiales et l'exploration planétaire sont souvent dans les reportages faits par les médias.



En quête

Enseignement direct – L'expérience conceptuelle de Newton

Présenter aux élèves l'expérience conceptuelle de Newton. Il est le premier à prédire qu'on pourrait mettre un satellite artificiel en orbite autour de la Terre. Newton a imaginé le sommet d'une haute montagne est s'est posé la question suivante : « Qu'arriverait-il si on montait un gros canon au sommet de cette montagne et on tirait des projectiles horizontalement? ». Newton savait que le champ gravitationnel de la Terre attirerait le projectile vers le sol, mais il se dit que si le projectile était tiré à une vitesse suffisamment élevée, il tomberait autour de la Terre (serait en orbite). Les satellites de la Terre font leur orbite à une altitude plus élevée que l'atmosphère, afin que leur mouvement ne soit pas affecté par la résistance de l'air. Les satellites sont des projectiles, car la seule force qui agit sur eux est la force gravitationnelle. Sans cette force, le satellite poursuivrait son mouvement sur une trajectoire en ligne droite et tangentielle à la Terre (première loi de Newton). En effet, un satellite tombe vers la Terre. Cependant, il n'atterrit jamais sur la Terre. La Terre n'est pas plate; elle est ronde et fait un arc d'environ 5 m vers le bas à tous les 8 km. Un satellite qui fait une orbite autour de la Terre doit donc voyager une distance horizontale de 8 km avant de tomber d'une distance verticale de 5 m. Inviter les élèves à résoudre le problème suivant :

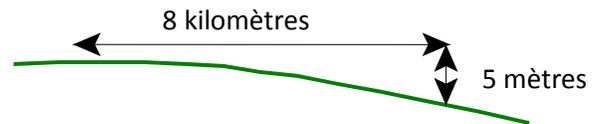


Un projectile lancé horizontalement tomberait quelle distance dans sa première seconde de mouvement?

$$\Delta d_y = v_y t + \frac{1}{2} a \Delta t^2$$

Puisque la vitesse verticale initiale a une valeur de zéro, $\Delta d_y = \frac{1}{2} a \Delta t^2$.

$$\Delta d_y = \frac{1}{2} (10)(1)^2 = 5 \text{ m.}$$



Le site
<<http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/kap7/orbiter/orbit.htm>>
présente une simulation du
lancement d'un satellite.

Un projectile lancé avec une vitesse horizontale de 8000 m/s va tomber vers la Terre avec une trajectoire qui s'agence avec la courbure de la Terre. Le projectile « tombe » donc autour de la Terre, accélérant toujours vers la Terre à cause de son attraction gravitationnelle, mais n'atteignant jamais le sol. Un tel projectile devient un satellite en orbite.

Enseignement direct – Le mouvement des satellites

Expliquer aux élèves que la plupart des satellites ont une orbite circulaire ou presque circulaire. La force gravitationnelle agit comme une force centripète, maintenant le satellite dans son orbite. On peut donc dire que $F_g = F_c$.

$$\frac{G m_{\text{Terre}} m_{\text{satellite}}}{r^2} = \frac{m_{\text{satellite}} v^2}{r}$$

m_{Terre} est la masse de la Terre

$m_{\text{satellite}}$ est la masse du satellite

G est la constante gravitationnelle ($6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$)

Un satellite en orbite géostationnaire demeure au même point par-dessus la surface de la Terre lorsque cette dernière subit sa rotation. La période d'un objet en orbite géostationnaire est donc 24 heures.



r est la séparation entre la Terre et le satellite (rayon de la Terre plus l'altitude du satellite à partir de la surface de la Terre). On peut aussi calculer la période de l'orbite du satellite avec les équations $a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ et $v = \frac{2\pi r}{T}$.

Résolution de problèmes

Inviter les élèves à résoudre des problèmes de mouvement d'un satellite (voir  l'annexe 7). Corriger ces problèmes en classe afin d'évaluer la compréhension des élèves (le corrigé figure à  l'annexe 8).

En fin

❶

Inviter les élèves à discuter de la question suivante :

- Puisque Newton avait déterminé qu'il était possible de mettre un satellite en orbite dès le XVII^e siècle, pourquoi cela a-t-il pris jusqu'à 1957 à en lancer?

Stratégies d'évaluation suggérées

❶

Inviter les élèves à résoudre des problèmes semblables à ceux de  l'annexe 7.

❷

Inviter les élèves à rédiger un court texte au sujet de l'expérience conceptuelle de Newton, par exemple :

- une lettre de Newton à un collègue;
- un article rédigé par un journaliste;



Bloc F La microgravité

L'élève sera apte à :

- P12-2-09** définir la microgravité comme un milieu où le poids apparent d'un corps est inférieur à son poids réel;
RAG : D4, E2
- P12-2-10** décrire des conditions dans lesquelles la microgravité peut se produire,
par exemple le saut à partir d'un plongeur, la chute libre dans un avion, le vaisseau spatial en orbite;
RAG : A3, E2
- P12-0-2c** formuler des définitions opérationnelles de variables ou de concepts importants;
RAG : A2, C8
- P12-0-4c** faire preuve de confiance dans sa capacité de mener une étude scientifique, de résoudre des problèmes et d'examiner en enjeu STSE;
RAG : C3, C5
- P12-0-4e** manifester un intérêt soutenu et plus éclairé dans les sciences et les questions d'ordre scientifique.
RAG : B4, B5

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Poser les questions suivantes aux élèves :

- *Avez-vous déjà été sur une montagne russe? Quelle sensation avez-vous lorsque le wagon arrive au haut d'une colline et se met à descendre rapidement? Pourquoi?*
- *Quelle sensation ressentez-vous lorsqu'un ascenseur se met à descendre?*
- *Pourquoi les astronautes flottent-ils dans la navette spatiale?*



En quête

Recherche – La microgravité

L'Internet représente une excellente ressource pour une exploration de la microgravité. Inviter les élèves à faire une recherche dans Internet sur la microgravité. Les sites Web, *vivre et travailler à bord de la Station spatiale internationale*, *Le voyage dans l'espace et les effets de l'apesanteur sur le corps humain* et *La science en apesanteur* fournissent la plupart des renseignements. Les questions suivantes peuvent servir de guide:

Des renseignements pour l'enseignant figurent à l'annexe 9.

- Expliquez ce qu'est la microgravité.
- Décrivez des situations dans lesquelles la microgravité peut se produire.
- Quels sont les effets de la microgravité sur le corps humain?
- Pourquoi étudie-t-on la microgravité?

Présentation visuelle – La microgravité

À l'aide des renseignements recueillis lors de leur recherche dans Internet, inviter les élèves à préparer une affiche qui représente la microgravité et ses applications. Déterminer des critères d'évaluation en collaboration avec les élèves. Les critères devraient comprendre des éléments portant à la fois sur le contenu et la présentation, par exemple :

- L'information présentée est claire et bien organisée;
- Les applications de la microgravité sont bien expliquées et présentent les détails voulus;
- Les illustrations sont attrayantes et facilitent la compréhension de l'information écrite;
- Il n'y a aucune erreur grammaticale ni faute d'orthographe.

En fin

❶

Inviter les élèves à compléter l'activité de l'annexe 10.

Stratégies d'évaluation suggérées

❶

Inviter les élèves à compléter un cadre de concept pour représenter la microgravité (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.23-11.26 et p. 11.36).

❷

Évaluer les affiches des élèves selon les critères développés avec les élèves.



Bloc G

La rentrée d'un objet dans l'atmosphère de la Terre

L'élève sera apte à :

P12-2-11 nommer des facteurs influant sur le retour d'un objet dans l'atmosphère terrestre, entre autres la force de frottement, les forces g ;
RAG : D4

P12-0-3a analyser, selon diverses perspectives, des avantages et des inconvénients pour la société et l'environnement lorsqu'on applique des connaissances scientifiques ou on introduit une technologie particulière;
RAG : B1, B2

P12-0-3c relever des enjeux d'ordre social liés aux sciences et à la technologie, en tenant compte des besoins humains et environnementaux et des considérations éthiques;
RAG : B3, B5

P12-0-4e manifester un intérêt soutenu et plus éclairé dans les sciences et les questions d'ordre scientifique.
RAG : B4, B5

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Discuter avec les élèves d'un sujet d'actualité portant sur la rentrée dans l'atmosphère d'un vaisseau spatial, d'un satellite ou d'une sonde, par exemple l'accident lors du retour dans l'atmosphère de la navette Columbia en février 2003. Les questions suivantes peuvent servir de guide :

Le site Internet *Chronologie shuttle* <(http://www.capcomespace.net/dossiers/espace_US/shuttle/index.htm)> présente des renseignements sur l'accident de Columbia, y inclus des vidéos de la rentrée.

- Pourquoi la navette s'est-elle désintégrée lors de la rentrée?
- Quels sont des facteurs qui influent la rentrée dans l'atmosphère?

En quête

Prise de notes – Le retour d'objets dans l'atmosphère

Inviter les élèves à se renseigner sur le retour d'objets dans l'atmosphère terrestre (voir ① l'annexe 11) et de noter les concepts clés. Cela peut se faire par de simples notes ou en utilisant une structure de schéma conceptuel.



En fin

❶

Inviter les élèves à identifier des modifications effectuées aux futures missions spatiales afin d'assurer un atterrissage réussi.

OU

❷

Inviter les élèves à discuter de la question suivante :

- *Que doit-on faire lorsqu'on veut laisser retomber sur la Terre un satellite ou une station spatiale?*

Stratégies d'évaluation suggérées

❶

Inviter les élèves à :

- raconter une histoire décrivant une rentrée non réussie;
- rédiger un témoignage de la part d'un astronaute qui craint la rentrée et qui justifie ses inquiétudes;
- rédiger une interview entre un journaliste et un ingénieur qui se vante des dispositifs de sécurité qui assurent la rentrée sécuritaire de son vaisseau spatial.



Bloc H L'exploration spatiale

L'élève sera apte à :

P12-2-12 Décrire de façon qualitative des défis technologiques reliés à l'exploration de l'espace, *par exemple la communication, la gravicélération et l'effet « lance-pierre », les orbites de transfert de Hohmann (orbites à énergie minimale);*
RAG : A5, B2

P12-0-3b décrire des exemples d'évolution de la technologie à la suite de progrès dans le savoir scientifique, et des exemples d'évolution du savoir scientifique résultant d'innovations technologiques;
RAG : A2, B2

P12-0-4e manifester un intérêt soutenu et plus éclairé dans les sciences et les questions d'ordre scientifique.
RAG : B4, B5

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Inviter les élèves à faire un remue-méninge sur les défis technologiques reliés à l'exploration de l'espace. Les questions suivantes pourraient servir de guide:

- *Comment peut-on communiquer avec une sonde spatiale qui est dans l'espace lointain?*
- *Quels seraient des défis si on envoyait des humains vers Mars?*
- *Comment peut-on envoyer un engin spatial sur une planète lointaine?*

Des renseignements pour l'enseignant sur les défis technologiques reliés à l'exploration spatiale figurent à l'annexe 12.

OU

②

Visionner des extraits de films populaires traitant de l'exploration spatiale, par exemple *Star Trek* ou *La guerre des étoiles*. Inviter les élèves à évaluer si les situations sont vraisemblables.



En quête

Recherche – L'exploration spatiale

Proposer aux élèves d'effectuer une recherche sur les défis liés à l'exploration spatiale et des nouvelles technologies qui pourraient permettre l'exploration de l'espace lointain. Élaborer des critères d'évaluation avec les élèves. Les critères devraient porter aussi bien sur le contenu que sur les éléments de la présentation, par exemple :

- une description des défis liés à l'exploration spatiale est incluse;
- des descriptions de technologies qui pourraient résoudre certains défis sont incluses;
- des schémas sont inclus et facilitent la compréhension de l'information écrite;
- l'information présentée est claire et bien organisée;
- un vocabulaire adéquat est utilisé;
- il y a peu de fautes d'orthographe ou d'erreurs grammaticales.

Une animation représentant une orbite de transfert peut être accédée au site <<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/Planetes/transfert.html>>

En fin

1

Inviter les élèves à répondre aux questions suivantes dans leur carnet scientifique :

- *Est-ce que votre compréhension de l'exploration de l'espace lointain a changé?*
- *Est-ce que vous avez de nouvelles questions par rapport à l'exploration spatiale?*
- *Croyez-vous qu'il sera possible d'envoyer des humains vers d'autres planètes?*

Stratégies d'évaluation suggérées

1

Évaluer le travail de recherche des élèves en fonction des critères établis avec eux.



Bloc I Les champs électriques

L'élève sera apte à :

- P12-2-13** comparer les champs gravitationnels et électriques, et la loi du carré de la distance qui les lie;
RAG : D4
- P12-2-14** énoncer la loi de Coulomb et résoudre des problèmes concernant plusieurs forces électriques agissant sur une charge,
entre autres des forces en une et deux dimensions;
RAG : D4
- P12-0-2c** formuler des définitions opérationnelles de variables ou de concepts importants;
RAG : A2, C8
- P12-0-2g** Inférer et calculer des relations directes, des relations proportionnelles au carré et des relations inversement proportionnelles entre des variables à l'aide de modèles mathématiques;
RAG : C3, C8
- P12-0-2h** analyser des problèmes au moyen de vecteurs,
entre autres l'addition et la soustraction de vecteurs à n'importe quel angle.
RAG : C2, C3

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Activer les connaissances antérieures des élèves en ce qui a trait à la définition quantitative de l'intensité du champ gravitationnel et du champ électrique.

En 11^e année, les élèves ont défini l'intensité du champ gravitationnel en termes quantitatifs ($\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m}$) et ont tracé des diagrammes du champ gravitationnel. Les élèves ont aussi défini l'intensité du champ électrique en termes quantitatifs ($E = \frac{F_e}{q}$) et ont tracé des diagrammes de champs électriques.

La nature inversement proportionnelle du champ gravitationnel a été étudiée au bloc d'enseignement D.



En quête

Activité – La relation entre la force électrique et la distance

Proposer aux élèves de faire une activité pour déterminer la relation entre la force électrique et la distance entre les charges (voir *Physique 12*, p. 372 et 373 ou *Physique 11-12*, p. 524-527). Demander aux élèves de préparer un rapport d'expérience.

Enseignement direct – La loi de Coulomb

Présenter aux élèves la loi de Coulomb (voir *Physique 12*, p. 327-331, *Physique 11-12*, p. 524-530 ou *Principes fondamentaux de la physique: un cours avancé*, p. 579-586) en faisant le lien avec la loi de gravitation universelle. Inviter les élèves à mettre la formule en application en faisant la résolution de problèmes (voir *Physique 12*, p. 330 et 331, *Physique 11-12*, p. 530-538 ou *Principes fondamentaux de la physique: un cours avancé*, p. 583 et 586). S'assurer de donner des problèmes incluant des forces agissant à n'importe quel angle. Revoir les problèmes en classe pour s'assurer que les élèves saisissent bien les concepts.

Un exemple de problème sur la loi de Coulomb figure à l'annexe 13.

En fin

❶

Inviter les élèves à résoudre des problèmes sur la loi de Coulomb en utilisant la technique des notes explicatives (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 13.14 et 13.15)

Stratégies d'évaluation suggérées

❶

Inviter les élèves à comparer les champs gravitationnel et électrique en complétant un cadre de comparaison (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.15-10.18 et 10.24)

❷

Évaluer le rapport d'expérience des élèves à l'aide d'une grille d'évaluation (voir l'annexe 18 du regroupement 1). Porter une attention particulière à la formulation d'une hypothèse, à l'analyse des données et à la conclusion.

❸

Se référer aux annexes 19 et 20 du regroupement 1 afin d'évaluer les habiletés en laboratoire des élèves.

❹

Inviter les élèves à résoudre des problèmes sur la loi de Coulomb.



Bloc J

Le champ électrique entre deux plaques parallèles

L'élève sera apte à :

P12-2-15 tracer des diagrammes illustrant de quelle façon la distribution de charges sur deux plaques parallèles de charge opposée se traduit par un champ uniforme;

RAG : D4

P12-0-2f enregistrer, organiser et présenter des données dans un format approprié, entre autres des diagrammes avec légendes, des tableaux, des graphiques.

RAG : C6, C7

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Activer les connaissances antérieures des élèves en les invitant à tracer des diagrammes de champs électriques pour une charge d'essai positive dans les situations ci-dessous :

En physique 11^e, les élèves ont tracé des diagrammes de champ électrique entre deux plaques parallèles dont les charges sont de signes opposés. En 12^e année, Les élèves déterminent de façon quantitative pourquoi le champ est uniforme. La nature vectorielle de la force électrique a été présentée au bloc I.

- à proximité d'une autre charge (positive ou négative);
- à proximité de deux charges de même signe;
- entre deux plaques parallèles dont les charges sont de signes opposés.

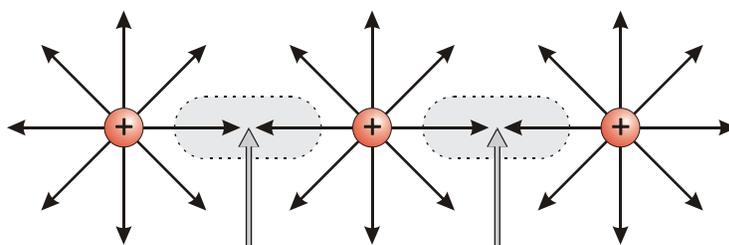


En quête

Enseignement direct – La distribution de charges

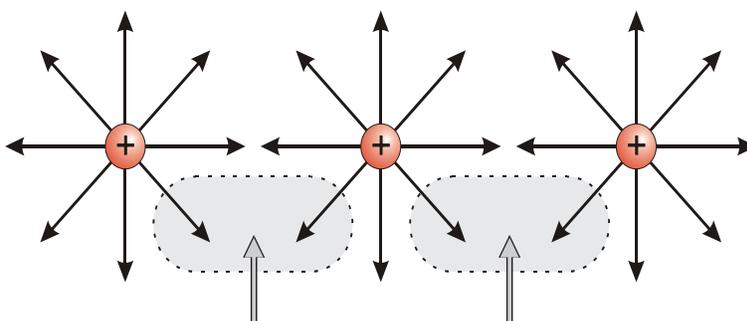
Expliquer aux élèves de quelle façon la distribution de charges sur deux plaques parallèles de charge opposée se traduit par un champ uniforme. Pour une plaque parallèle, imagine des charges positives placées dans un plan sur la plaque du haut. Chaque charge ponctuelle crée un champ électrique égal autour d'elle-même. Les charges voisines ont des champs ayant la même intensité mais une direction opposée, donc s'annulent. Dans les régions par-dessus et par-dessous le plan, toutes les composantes du champ qui sont parallèles au plan vont s'annuler.

Le site internet *À la découverte des champs électriques* <http://www.gel.ulaval.ca/~mbusque/elec/main_f.html> permet de visualiser les effets des champs électriques.



Les lignes de champ horizontales s'annulent.

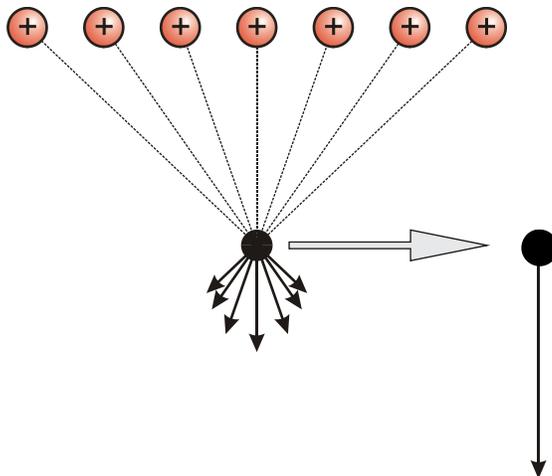
Les composantes du champ qui sont perpendiculaire au plan vont augmenter le champ électrique perpendiculaire au plan. Pour une plaque chargée positivement, le champ s'éloigne de la plaque. Pour une plaque chargée négativement, le champ se dirige vers la plaque.



Les composantes horizontales s'annulent et les composantes verticales s'additionnent.



Si on place une plaque négative parallèlement à une plaque positive, le champ entre les deux plaques augmentera et sera orienté de la plaque positive vers la plaque négative.



En fin

❶

Inviter les élèves à reproduire le champ électrique entre deux plaques parallèles à l'aide de la visualisation du site internet *À la découverte des champs électriques*.

Stratégies d'évaluation suggérées

❶

Inviter les élèves à dessiner des diagrammes de champ électrique pour deux plaques parallèles et à expliquer pourquoi le champ est uniforme.



Bloc K L'énergie potentielle électrique

L'élève sera apte à :

- P12-2-16** dériver l'équation pour l'énergie potentielle électrique entre deux plaques parallèles de charge opposée ($E_p = qE\Delta d$);
RAG : D3
- P12-2-17** décrire le potentiel électrique comme l'énergie potentielle électrique par unité de charge;
RAG : D4
- P12-2-18** définir l'unité de potentiel électrique (volt);
RAG : D4
- P12-2-19** définir la différence de potentiel électrique (tension) et décrire le champ électrique entre deux plaques parallèles de charge opposée en termes de la tension et de la séparation entre les plaques ($E = \frac{\Delta V}{d}$);
RAG : D4
- P12-2-20** résoudre des problèmes sur des charges se déplaçant entre ou à travers des plaques parallèles;
RAG : D4
- P12-0-2c** formuler des définitions opérationnelles de variables ou de concepts importants;
RAG : A2, C8
- P12-0-2g** Inférer et calculer des relations directes, des relations proportionnelles au carré et des relations inversement proportionnelles entre des variables à l'aide de modèles mathématiques.
RAG : C3, C8



Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Activer les connaissances antérieures des élèves sur les champs électriques et sur l'énergie potentielle gravitationnelle. Les questions suivantes peuvent servir de guide :

Au premier regroupement, les élèves ont vu que le travail effectué sur un objet est égal à la variation d'énergie potentielle.

- *Comment l'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle varient-elles quand on lance un objet vers le haut?* (Lorsqu'on lance un objet, l'énergie cinétique est convertie en énergie potentielle gravitationnelle, qui donc va augmenter).
- *Comment l'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle varient-elles quand on laisse tomber un objet?* (Quand on laisse tomber un objet, l'énergie potentielle gravitationnelle est convertie en énergie cinétique. L'énergie potentielle gravitationnelle diminue tandis que l'énergie cinétique augmente.)
- *Que signifie l'expression intensité du champ électrique?* (L'intensité du champ électrique est la force par unité de charge, c'est-à-dire la force qu'une charge d'un coulomb subirait à un point donné.)
- *Quelle formule permet de calculer l'intensité d'un champ électrique?* ($\vec{F}_e = q\vec{E}$)

📖 L'annexe 14 comprend des renseignements pour l'enseignant sur l'énergie potentielle électrique.

En quête

Dérivation – L'équation pour l'énergie potentielle électrique

Amener les élèves à dériver l'équation pour l'énergie potentielle électrique. Les questions suivantes peuvent servir de guide:

- *Comment calcule-t-on le travail effectué sur un objet?* ($W = \vec{F}\Delta\vec{d}$)
- *Comment calcule-t-on la force électrique?* ($\vec{F}_e = q\vec{E}$)
- *À partir des formules de travail et de force électrique, comment pourrait-on calculer le travail effectué sur une charge électrique?* ($W = q\vec{E}\Delta\vec{d}$)
- *Le travail effectué sur un objet est toujours égal à la variation d'énergie de l'objet ($W = \Delta E$). Si on veut déplacer une charge à partir d'un point où son énergie initiale est égale à zéro, comment pourrait-on calculer l'énergie potentielle électrique emmagasinée dans la charge?* ($E_p = q\vec{E}\Delta\vec{d}$)

Résolution de problèmes – L'énergie potentielle électrique

Expliquer aux élèves le concept de potentiel électrique (voir 📖 l'annexe 14) et les inviter à résoudre des problèmes sur l'énergie potentielle électrique et sur le mouvement de charges entre ou à travers des plaques chargées (voir 📖 l'annexe 15). Réviser les problèmes avec les élèves pour vérifier leur compréhension (le corrigé figure à 📖 l'annexe 16). Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.



En fin

❶

Inviter les élèves à consolider leur compréhension des termes suivants au moyen du procédé tripartite (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.9, 10.10 et 10.22) : *énergie potentielle électrique, potentiel électrique, différence de potentiel électrique*.

Stratégies d'évaluation suggérées

❶

Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de @ l'annexe 15.

❷

Inviter les élèves à comparer l'énergie potentielle électrique et l'énergie potentielle gravitationnelle au moyen d'un cadre de comparaison (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.15 à 10.18 et p. 10. 24.



Bloc L

Les champs électriques et magnétiques

L'élève sera apte à :

P12-2-21 utiliser les règles de la main pour décrire les rapports directionnels entre les champs électriques et magnétiques et le déplacement de charges;

RAG : D4

P12-2-22 décrire des technologies qui utilisent des champs électriques et magnétiques, *par exemple les dispositifs électromagnétiques (solénoïde, moteur, cloche, relais), le tube cathodique, le spectromètre de masse, l'antenne;*

RAG : B1, B2

P12-0-2f enregistrer, organiser et présenter des données dans un format approprié, entre autres des diagrammes avec légendes, des tableaux, des graphiques;

RAG : C6, C7

P12-0-3b décrire des exemples d'évolution de la technologie à la suite de progrès dans le savoir scientifique, et des exemples d'évolution du savoir scientifique résultant d'innovations technologiques.

RAG : A2, B2

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Activer les connaissances antérieures des élèves en ce qui concerne les règles de la main droite. Les questions suivantes pourraient servir de guide:

- *Tracez le champ magnétique entourant un fil conducteur si le courant circule de gauche à droite.*
- *Tracez le champ magnétique entourant un fil conducteur si le courant circule de droite à gauche.*

Les élèves ont étudié le champ magnétique autour d'un fil conducteur et le champ magnétique d'un solénoïde en physique, 11^e année.



En quête

Enseignement direct – L'orientation de la force magnétique

Présenter aux élèves la règle de la main droite ou de la main gauche pour déterminer l'orientation de la force magnétique pour une charge qui se déplace (voir *Physique 12*, p. 404-407 ou *Physique 11-12*, p. 594 et 595).

Recherche

Inviter les élèves à effectuer une recherche sur une technologie qui utilise des champs électriques et magnétiques. Leur demander de partager l'information recueillie selon la méthode de leur choix (p. ex., exposé oral, brochure informative, affiche). Peu importe la méthode choisie, le travail des élèves devrait contenir les renseignements suivants :

- une explication du fonctionnement de la technologie;
- l'utilité de la technologie;
- un diagramme ou dessin.

En fin

①

Inviter les élèves à inscrire les règles de la main droite ou de la main gauche pour les conducteurs rectilignes, les solénoïdes et pour déterminer l'orientation de la force magnétique.

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Déterminer des critères d'évaluation pour la recherche en collaboration avec les élèves. La liste de renseignements nécessaires pourrait être à la base des critères d'évaluation portant sur le « contenu ». Les critères additionnels peuvent comprendre des éléments portant sur l'efficacité de la présentation.

②

Inviter les élèves à utiliser les règles de la main pour décrire les rapports directionnels entre les champs électriques et magnétiques et le déplacement de charges (voir *Physique 11*, p. 591, 592, 601 et 602 ou *Physique 11-12*, p. 595).



Liste des annexes

Annexe 1 :	Le processus de prise de décisions	2.47
Annexe 2 :	De Kepler à Newton – Renseignements pour l’enseignant	2.50
Annexe 3 :	L’énergie potentielle gravitationnelle – Renseignements pour l’enseignant.....	2.54
Annexe 4 :	Exercice – La vitesse de libération	2.56
Annexe 5 :	La vitesse de libération – Corrigé.....	2.57
Annexe 6 :	Le champ gravitationnel – Renseignements pour l’enseignant.....	2.59
Annexe 7 :	Exercice – Les satellites.....	2.60
Annexe 8 :	Les satellites – Corrigé	2.61
Annexe 9 :	La microgravité – Renseignements pour l’enseignant.....	2.63
Annexe 10 :	Exercice de pointage	2.66
Annexe 11 :	La rentrée dans l’atmosphère – Renseignements pour l’élève	2.69
Annexe 12 :	Défis technologiques reliés à l’exploration spatiale – Renseignements pour l’enseignant.....	2.70
Annexe 13 :	Résolution de problèmes sur la loi de Coulomb – Renseignements pour l’enseignant ...	2.72
Annexe 14 :	L’énergie potentielle électrique.....	2.75
Annexe 15 :	Exercice – L’énergie potentielle électrique.....	2.77
Annexe 16 :	L’énergie potentielle électrique – Corrigé	2.78



ANNEXE 1 : Le processus de prise de décisions

Le processus de prise de décision est un moyen d'analyser des questions et de faire un choix parmi différentes mesures. Les questions sont souvent complexes et ne donnent pas lieu à une réponse unique. Elles peuvent aussi susciter de la controverse lorsqu'elles portent sur des valeurs individuelles et collectives. Par leur nature, les enjeux suscitent des opinions diverses. Chacun doit, individuellement, mettre en balance le bien et le mal, les coûts et les avantages, la justice et l'injustice, et parvenir à une interprétation équitable et tolérante. Certains de ces enjeux provoquent des désaccords sincères entre des gens pourtant raisonnables. Pour prendre une décision informée, les élèves doivent maîtriser les concepts scientifiques liés à la question et aussi être sensibilisés aux valeurs à l'origine d'une décision. Le processus comporte une série d'étapes, notamment :

- Cerner et clarifier la question
- Connaître les différents points de vue et/ou les personnes concernées par la question
- Évaluer d'un regard critique l'information disponible
- Déterminer les options possibles ou les positions adoptées sur le sujet
- Évaluer les répercussions liées aux options possibles ou aux positions adoptées sur le sujet
- Être sensibilisé aux valeurs pouvant orienter une décision
- Prendre une décision réfléchie et fournir des justifications
- Donner suite à une décision
- Réfléchir au processus

Les élèves ont pris connaissance du processus de prise de décisions dans les cours de sciences de la 9^e année. Si les élèves ne possèdent pas beaucoup d'expérience en matière de prise de décisions, l'enseignant peut aborder le processus avec plus d'encadrement, donnant ainsi aux élèves la chance d'utiliser cette approche dans un environnement structuré. On peut ainsi choisir de leur présenter un scénario précis ou une question particulière à étudier. Les élèves prendront éventuellement une part active dans le processus en choisissant leurs propres questions, en effectuant leurs propres recherches, en prenant leurs propres décisions et en donnant suite à ces décisions.

On peut aborder le processus de prise de décisions sous divers angles. Par exemple, les élèves peuvent jouer le rôle de différentes personnes concernées par une question, travailler en équipes pour discuter d'une question ou prendre une décision en se fondant sur leurs propres recherches et valeurs personnelles. On peut demander aux élèves de prendre position et de débattre d'une question ou les placer dans une situation les obligeant à en venir à un consensus. Peu importe la méthode utilisée, les questions suivantes peuvent orienter les élèves dans le processus de prise de décisions :

- Quelle est la question?
- Quelles sont les données scientifiques importantes nécessaires pour comprendre cette question? Où puis-je trouver ces renseignements?
- Qui a des intérêts dans cette affaire et pourquoi?



ANNEXE 1 : Le processus de prise de décisions (suite)

- Quelles sont les options possibles?
- Quel est le pour et le contre de chacune des options éventuelles?
- Quelle est ma décision? Quels critères ont mené à la prise de cette décision?

Évaluation

Puisqu'il existe de multiples façons d'aborder une question, divers résultats ou événements culminants peuvent découler du processus de prise de décisions, par exemple, une assemblée locale, une table ronde, une conférence, un débat, une étude de cas, un exposé de principe, un exposé en classe, une discussion en classe, etc. Peu importe le résultat ou l'événement, l'évaluation devrait mettre l'accent sur les compétences précisées dans le regroupement 0, ainsi que sur la compréhension et l'utilisation des concepts scientifiques.

Exemples de critères

Pour les jeux de rôles, comme les assemblées locales, les tables rondes ou les conférences, les critères d'évaluation devraient porter sur la capacité des élèves à entrer dans la peau de l'intervenant personnifié. Ils pourraient comprendre les critères suivants :

- Les opinions sont clairement définies
- Des preuves à l'appui des arguments sont présentées
- Les réponses aux questions sont claires et conformes à l'opinion de l'intervenant
- L'exposé est clair et organisé
- L'opinion de l'intervenant est présentée avec précision
- Absence de parti pris personnel
- Le langage et l'attitude sont appropriés

Pour un travail demandant une décision personnelle, tel qu'un exposé de principe, des critères d'évaluation pourraient comprendre :

- La position est clairement définie
- Bonne compréhension des connaissances scientifiques impliquées
- Des preuves à l'appui des arguments sont présentées
- Les arguments opposés sont présentés ainsi que des preuves à l'appui de ces arguments
- Des raisons sont présentées expliquant pourquoi les arguments opposés n'ont pas été acceptés
- Les sources ont été citées dans un format acceptable



ANNEXE 1 : Le processus de prise de décisions (suite)

Pour un débat, des critères d'évaluation pourraient comprendre :

- L'introduction est organisée et reste concentrée sur le sujet
- Des preuves à l'appui des arguments sont présentées
- Les arguments sont clairs et convaincants
- Tous les membres de l'équipe participent de façon équitable et efficace
- Les éléments présentés dans l'observation finale sont directement liés au sujet



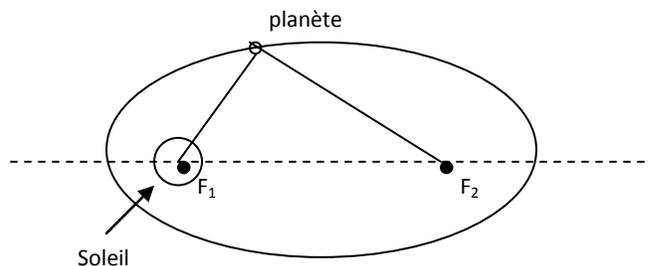
ANNEXE 2 : De Kepler à Newton – Renseignements pour l'enseignant

Au 16^e siècle, la plupart des gens croient à un modèle géocentrique du système solaire, selon le modèle de Ptolémée. En 1543, Nicolas Copernic remet en question le modèle de Ptolémée et propose que la Terre tourne autour du Soleil. Cependant, sa théorie ne permet pas de prédire avec plus de précision la position des planètes dans le ciel que le modèle géocentrique de Ptolémée.

Tycho Brahé (1546-1601) est passionné de l'astronomie et effectue une grande quantité d'observations scientifiques. Il ne propose cependant aucune nouvelle explication pour le mouvement des planètes. C'est Johannes Kepler (1571-1630) qui développe des explications pour les observations de Tycho Brahé. Johannes Kepler est embauché par Tycho Brahé qui lui donne l'orbite de Mars à calculer. Tycho meurt en 1601, un an après avoir embauché Kepler. Kepler continue ses travaux à l'aide des données de Tycho Brahé. Cela lui prend six ans et des milliers de pages de calculs avant de résoudre le problème de l'orbite de Mars! Il constate que l'erreur de ses premiers essais était de demeurer accroché au concept des orbites parfaitement circulaires. Il propose en 1609 un modèle dans lequel les planètes tournent autour du Soleil dans une orbite elliptique et non circulaire. Le modèle de Kepler n'est pas beaucoup plus précis que celui de Ptolémée, mais finit par être adopté par les scientifiques à cause de sa simplicité. Il prédit aussi bien que le modèle de Ptolémée, mais est beaucoup plus facile à utiliser. Les lois de Kepler sur le mouvement orbital sont encore utilisées aujourd'hui pour calculer, par exemple, la trajectoire des sondes spatiales.

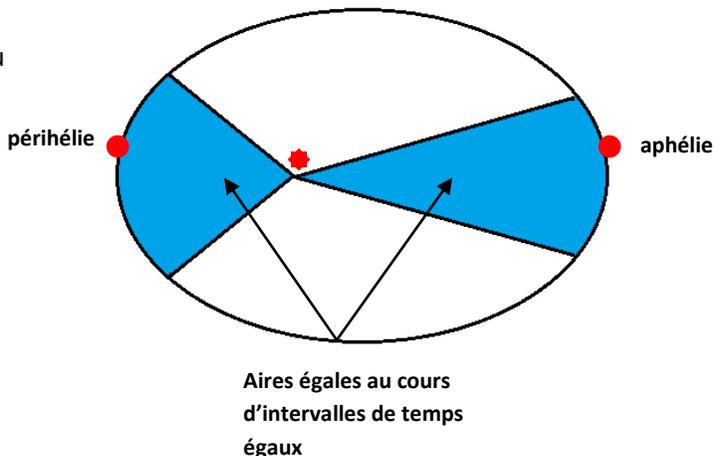
Kepler publie ses deux premières lois en 1609, la loi des ellipses et la loi des aires égales. Dix ans plus tard, il publie une troisième loi, la loi des périodes. Voici les trois lois de Kepler :

Première loi : Chaque planète se déplace autour du Soleil dans une orbite elliptique, le Soleil occupant un des foyers de l'ellipse.



ANNEXE 2 : De Kepler à Newton – Renseignements pour l’enseignant (suite)

Deuxième loi : la droite reliant une planète au Soleil balaie des aires égales pendant des durées égales (chaque planète se déplace plus rapidement lorsqu’elle est plus proche du Soleil et moins rapidement lorsqu’elle est plus éloignée).



Troisième loi : le carré de la période orbitale d’une planète autour du Soleil est proportionnel au cube du rayon moyen de l’orbite.

$$\left(K_s = \frac{R^3}{T^2} \right)$$

Les lois de Kepler permettent de décrire comment les planètes tournent autour du Soleil, mais ne peuvent expliquer *pourquoi* elles effectuent ce mouvement. C’est Newton qui donnera cette explication vers la fin du 17^e siècle.

Newton veut découvrir ce qui cause le mouvement des corps célestes. Il porte son attention en premier lieu sur le mouvement de la Lune. La Lune décrit une orbite presque circulaire autour de la Terre. Si aucune force n’agissait sur elle, elle effectuerait un mouvement en ligne droite, à vitesse constante. Elle doit donc subir une accélération dirigée vers la Terre (accélération centripète) et il doit y avoir une force qui cause cette accélération. Mais quelle est la nature de cette force?

Selon la légende populaire, une pomme tombant d’un arbre sur la tête d’Isaac Newton aurait catalysé sa plus grande idée, celle de la force gravitationnelle. La pomme devait subir une accélération parce que sa vitesse initiale sur la branche avait une valeur de zéro et que cette vitesse augmentait le long de sa chute. Il devait donc y avoir une force exercée sur la pomme. Puisque cette force s’étendait à la cime d’un arbre, ne pourrait-elle pas s’étendre encore plus loin? Cette force ne pourrait-elle pas se rendre jusqu’à la Lune? Il conclut qu’on pourrait comparer le mouvement de la Lune à la chute d’une pomme. L’orbite lunaire serait donc la conséquence d’une force exercée par la Terre sur la Lune.



ANNEXE 2 : De Kepler à Newton – Renseignements pour l'enseignant (suite)

Newton calcule ensuite l'accélération de la Lune, essentiellement de la même façon que nous calculons l'accélération centripète.

$$a_c = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = \frac{4\pi^2 (3,8 \times 10^8 \text{ m})}{27,3 \text{ jours}} = \frac{4\pi^2 (3,8 \times 10^8 \text{ m})}{2,3 \times 10^6 \text{ s}} = 2,7 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

Newton se pose ensuite la question suivante : Pourquoi l'accélération de la Lune est-elle tellement plus petite que l'accélération de la pomme à la surface de la Terre ($9,8 \text{ m/s}^2$) si c'est la même force qui cause leur mouvement? Cette force doit diminuer, mais quelle est la relation entre la force et la distance de séparation?

En utilisant les concepts du mouvement circulaire uniforme des planètes autour du Soleil (Kepler avait déterminé que ces orbites étaient elliptiques, mais les calculs pour les orbites circulaires sont plus simples.) et de la troisième loi de Kepler, Newton finit par déterminer cette relation.

Voici son raisonnement :

L'équation pour l'accélération centripète d'un objet ayant un mouvement circulaire uniforme est

$a_c = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$. La force centripète pour cet objet est donc $F = ma = \frac{m4\pi^2 R}{T^2}$. La masse en question est la

masse de la planète. Newton cherche la relation entre la force et la distance de séparation ainsi que la masse. Il élimine donc la période (T) à l'aide de la troisième loi de Kepler ($K = \frac{R^3}{T^2}$, donc $T^2 = \frac{R^3}{K}$).

L'équation devient donc $F = \frac{m4\pi^2 R}{\frac{R^3}{K}} = m4\pi^2 R \times \frac{K}{R^3} = \frac{m4\pi^2 K}{R^2}$. Puisque l'expression $4\pi^2 K$ est une

valeur constante, la force d'attraction gravitationnelle sur une planète est directement proportionnelle à la masse de la planète et inversement proportionnelle au carré de la distance qui la sépare du Soleil. Newton parvient aussi à démontrer que les trois lois de Kepler découlent de la loi de la force gravitationnelle.

Newton finit par conclure que tous les objets dans l'Univers exercent une attraction gravitationnelle les uns sur les autres.

Deux corps dans l'univers s'attirent l'un l'autre avec une force directement proportionnelle à la masse de chacun et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

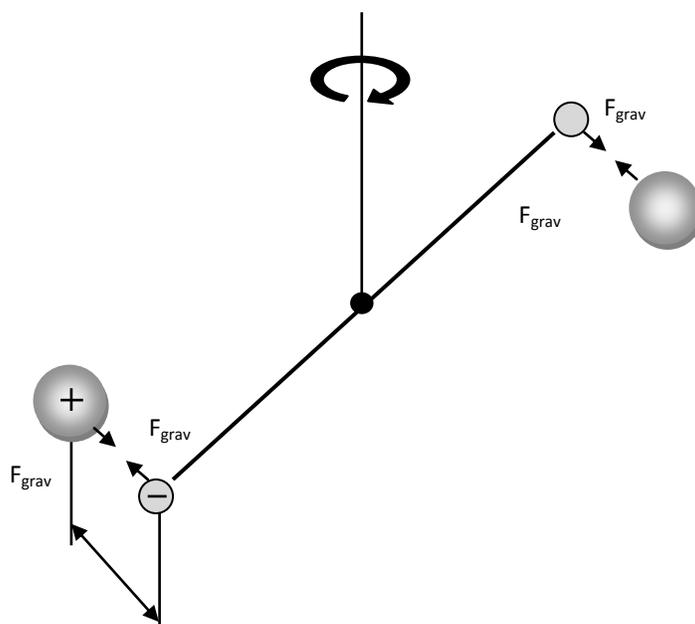
Sa loi de la gravitation universelle peut être exprimée de cette façon : $\vec{F}_g = \frac{Gm_1 m_2}{r^2}$.



ANNEXE 2 : De Kepler à Newton – Renseignements pour l'enseignant (suite)

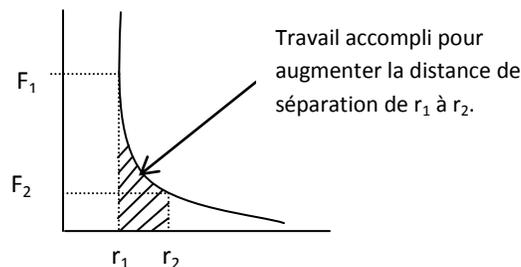
La valeur de la constante G a été calculée pour la première fois en 1798 par Henry Cavendish à l'aide d'une balance de torsion. Cavendish fixe deux petites sphères aux bouts d'une tige suspendue à un fil mince. La force gravitationnelle exercée par deux grandes masses placées près des sphères les attire et le fil subit une torsion. L'angle de torsion est proportionnel à la force gravitationnelle exercée par les deux masses. Cavendish réussit donc à déterminer la force d'attraction entre les masses et donc la valeur de G . La valeur acceptée aujourd'hui est $6,67259 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$. Cette valeur est très petite, indiquant que la force gravitationnelle entre deux masses est seulement appréciable pour des objets ayant une masse importante. Deux élèves exercent une force gravitationnelle l'un sur l'autre, mais cette force est trop petite pour être ressentie. Cependant, la force gravitationnelle entre la planète Terre et les élèves peut être ressentie.

Balance de Torsion de Cavendish



ANNEXE 3 : L'énergie potentielle gravitationnelle – Renseignements pour l'enseignant

Près de la surface de la Terre, le travail effectué pour soulever un objet est emmagasiné sous forme d'énergie potentielle gravitationnelle. L'équation pour calculer l'énergie potentielle gravitationnelle ($\Delta E_g = mg\Delta h$) n'est utile que pour des objets près de la surface de la Terre, où on peut supposer que l'accélération gravitationnelle, g , est une valeur constante. Mais comment calculer l'énergie potentielle gravitationnelle pour un cas plus général, par exemple l'énergie potentielle gravitationnelle entre une planète et un satellite? Lorsque la distance entre deux masses varie grandement, la force gravitationnelle entre ces masses n'est pas constante. Elle est inversement proportionnelle au carré du rayon qui les sépare. Au bloc précédent, nous avons vu que la force gravitationnelle universelle est donnée par l'équation $\frac{Gm_1m_2}{r}$. Le graphique suivant démontre cette relation. Pour passer de r_1 à r_2 , il faut faire un travail qui surmonte la force d'attraction entre les deux objets. Ce travail fait que l'énergie potentielle gravitationnelle du système augmente.



L'aire sous la courbe du graphique ci-dessus est égale au travail effectué pour séparer les deux objets, tout comme l'aire sous la courbe d'un graphique de la force en fonction de la distance, étudié au premier regroupement. La zone rayée représente le travail nécessaire pour séparer deux objets de r_1 à r_2 . Pour calculer l'aire sous la courbe de façon précise, il serait nécessaire d'utiliser des formules de calcul, mais ceci dépasse les attentes du cours de *Physique 40S*. On peut calculer sa valeur avec $-\frac{Gm_1m_2}{r}$. Au fur et à mesure que la distance de séparation augmente, l'énergie potentielle gravitationnelle augmente. L'énergie potentielle gravitationnelle a une valeur de zéro lorsque la distance de séparation est infinie. Puisqu'on a donné de l'énergie pour arriver à une valeur de zéro, la valeur initiale de l'énergie potentielle gravitationnelle devait avoir une valeur négative. Le travail effectué pour séparer les masses est égal à la variation d'énergie potentielle gravitationnelle ($W = \Delta E_g = E_{g2} - E_{g1}$). Les élèves ont souvent de la difficulté à comprendre que l'énergie potentielle initiale a une valeur négative. Ce signe négatif indique qu'il y a une force d'attraction entre les deux masses et qu'il faut de l'énergie pour arriver à un potentiel de zéro. On appelle souvent ce type de relation d'énergie potentielle un « puits de potentiel ».



ANNEXE 3 : L'énergie potentielle gravitationnelle – Renseignements pour l'enseignant (suite)

Libération du champ gravitationnel de la Terre

Inviter les élèves à considérer la question suivante :

- Avec combien d'énergie doit-on lancer une fusée pour qu'elle puisse échapper à l'attraction gravitationnelle de la Terre?

À la surface de la Terre, une fusée possède une énergie potentielle gravitationnelle de $-\frac{Gm_{\text{Terre}}m_{\text{fusée}}}{r}$. À une distance infinie, la fusée posséderait une énergie potentielle gravitationnelle nulle. Il faut donc lui fournir une énergie de $+\frac{Gm_{\text{Terre}}m_{\text{fusée}}}{r_T}$ pour qu'elle s'échappe du champ gravitationnel de la Terre. Le montant d'énergie nécessaire pour surmonter les effets du champ gravitationnel de la Terre se nomme **énergie de liaison**. Si on veut lancer une fusée de la surface de la Terre avec assez d'énergie pour qu'elle puisse juste s'échapper du champ gravitationnel de la Terre, on doit lui donner une énergie cinétique égale à l'énergie potentielle gravitationnelle ($E_c = +\frac{Gm_{\text{Terre}}m_{\text{fusée}}}{r_T}$), donc $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{Gm_{\text{Terre}}m_{\text{fusée}}}{r_T}$.

La **vitesse de libération** est la vitesse vectorielle minimum qu'un objet doit avoir pour surmonter les effets du champ gravitationnel de la Terre. On doit donner à l'objet assez d'énergie cinétique pour surmonter l'énergie de liaison de la Terre. Pour calculer la vitesse de libération, on obtient

$v = \sqrt{\frac{2Gm_{\text{Terre}}}{r}}$. À la surface d'autres planètes ou satellites, on utilise la masse de ces astres au lieu de celle de la Terre.

vitesse de la fusée > vitesse de libération	La fusée s'échappe avec de l'énergie cinétique en excès.
vitesse de la fusée = vitesse de libération	La fusée arrive tout juste à s'échapper au champ gravitationnel de la Terre.
vitesse de la fusée < vitesse de libération	La fusée reste prise en orbite terrestre ou retombe à la surface de la Terre.

Près de la surface de la Terre, la vitesse de libération a une valeur d'environ 11 km/s. La vitesse de libération est indépendante de la masse de l'objet. Cependant, une fusée très lourde aurait besoin de plus de carburant pour atteindre cette vitesse qu'une fusée plus légère.



ANNEXE 4 : Exercice – La vitesse de libération

1. Calcule la vitesse de libération à la surface de :
 - a) Mars;
 - b) Jupiter;
 - c) la Lune.
 2. Calcule la vitesse de libération pour un satellite situé aux altitudes suivantes par-dessus la Terre :
 - a) 1000 km;
 - b) 2500 km;
 - c) 4000 km.
 3. Si la masse d'une planète augmente, qu'arrive-t-il à la valeur de la vitesse de libération? Explique ta réponse.
 4. Si la distance entre un objet et une planète augmente, qu'arrive-t-il à la valeur de la vitesse de libération? Explique ta réponse.
 5. Si deux planètes ont la même masse mais des rayons différents, la vitesse de libération sera-t-elle la même? Explique ta réponse.
 6. Si deux planètes ont des rayons identiques mais une masse différente, la vitesse de libération sera-t-elle la même? Explique ta réponse.
-



ANNEXE 5 : La vitesse de libération – Corrigé

1. Calcule la vitesse de libération à la surface de :

a) Mars;

$$m_{Mars} = 6,37 \times 10^{23} \text{ kg} \quad r = 3,40 \times 10^6 \text{ m} \quad G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2Gm_{Mars}}{r}} = \sqrt{\frac{2(6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)(6,37 \times 10^{23} \text{ kg})}{3,40 \times 10^6 \text{ m}}}$$

$$v = 5,00 \times 10^3 \text{ m/s}$$

b) Jupiter;

$$m_{Jupiter} = 1,90 \times 10^{27} \text{ kg} \quad r = 7,15 \times 10^7 \text{ m} \quad G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2Gm_{Jupiter}}{r}} = \sqrt{\frac{2(6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)(1,90 \times 10^{27} \text{ kg})}{7,15 \times 10^7 \text{ m}}}$$

$$v = 5,95 \times 10^4 \text{ m/s}$$

c) la Lune.

$$m_{Lune} = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg} \quad r = 1,74 \times 10^6 \text{ m} \quad G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2Gm_{Lune}}{r}} = \sqrt{\frac{2(6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)(7,35 \times 10^{22} \text{ kg})}{1,74 \times 10^6 \text{ m}}}$$

$$v = 2,37 \times 10^3 \text{ m/s}$$

2. Calcule la vitesse de libération pour un satellite situé aux altitudes suivantes par-dessus la Terre :

a) 1000 km;

$$m_{Terre} = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg} \quad r_{Terre} = 6,38 \times 10^6 \text{ m} \quad G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

$$r_{total} = r_{Terre} + \text{altitude} = (6,38 \times 10^6 \text{ m}) + (1,00 \times 10^6) = 7,38 \times 10^6 \text{ m}$$

$$v = \sqrt{\frac{2Gm_{Terre}}{r}} = \sqrt{\frac{2(6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)(5,98 \times 10^{24} \text{ kg})}{7,38 \times 10^6 \text{ m}}}$$

$$v = 1,04 \times 10^4 \text{ m/s}$$



ANNEXE 5 : La vitesse de libération – Corrigé (suite)

b) 2500 km;

$$r_{total} = r_{Terre} + altitude = (6,38 \times 10^6 \text{ m}) + (2,50 \times 10^6) = 8,88 \times 10^6 \text{ m}$$

$$v = \sqrt{\frac{2Gm_{Terre}}{r}} = \sqrt{\frac{2(6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)(5,98 \times 10^{24} \text{ kg})}{8,88 \times 10^6 \text{ m}}}$$

$$v = 9,48 \times 10^3 \text{ m/s}$$

c) 4000 km.

$$r_{total} = r_{Terre} + altitude = (6,38 \times 10^6 \text{ m}) + (4,00 \times 10^6) = 1,04 \times 10^7 \text{ m}$$

$$v = \sqrt{\frac{2Gm_{Terre}}{r}} = \sqrt{\frac{2(6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)(5,98 \times 10^{24} \text{ kg})}{1,04 \times 10^7 \text{ m}}}$$

$$v = 8,76 \times 10^3 \text{ m/s}$$

- Si la masse d'une planète augmente, qu'arrive-t-il à la valeur de la vitesse de libération? Explique ta réponse.
Lorsque la masse d'une planète augmente, la vitesse de libération augmente aussi. L'attraction gravitationnelle est plus forte à cause de la valeur plus importante de la masse, donc cela prend plus d'énergie pour surmonter les effets du champ gravitationnel.
- Si la distance entre un objet et une planète augmente, qu'arrive-t-il à la valeur de la vitesse de libération? Explique ta réponse.
Si la distance entre un objet et une planète augmente, la vitesse de libération diminue car la force gravitationnelle exercée par la planète diminue.
- Si deux planètes ont la même masse mais des rayons différents, la vitesse de libération sera-t-elle la même? Explique ta réponse.
Si deux planètes ont la même masse mais des rayons différents, la vitesse de libération de la planète avec le rayon le plus élevé sera plus petite car l'attraction gravitationnelle exercée par cette planète sera moins grande.
- Si deux planètes ont des rayons identiques mais une masse différente, la vitesse de libération sera-t-elle la même? Explique ta réponse.
Si deux planètes ont des rayons identiques mais une masse différente, la vitesse de libération pour la planète avec la masse plus élevée sera plus grande, à cause de l'augmentation de l'attraction gravitationnelle.



ANNEXE 6 : Le champ gravitationnel – Renseignements pour l'enseignant

La force gravitationnelle sur un objet près de la surface de la Terre est calculée avec l'équation $\vec{F}_g = m\vec{g}$. Le concept de constante du champ gravitationnel porte souvent à confusion. L'intensité d'un champ gravitationnel ne consiste pas en une force mais plutôt une force par unité de masse. L'intensité du champ gravitationnel près de la surface de la Terre est de 9,8 N/kg et se dirige vers le centre de la Terre. Ceci veut dire que chaque kilogramme de masse près de la Terre subit une force de 9,8 N. Ce champ est constant à condition que l'on soit près de la surface de la Terre. À mesure qu'on s'éloigne de la surface de la Terre, la force gravitationnelle diminue donc la constante (g) va changer. On peut comparer la loi de la gravitation universelle avec le poids d'un objet à différentes distances de la surface de la Terre afin de déterminer la valeur de g n'importe où dans l'espace.

$$\vec{F}_g = \vec{F}_G$$
$$m_g = \frac{Gm_1m_{Terre}}{r^2}$$
$$\vec{g} = \frac{Gm_{Terre}}{r^2}$$

Cette équation est valable non seulement pour des objets à la surface de la Terre mais aussi pour des objets au-dessus de la surface de la Terre. Pour des objets plus haut que la surface de la Terre, r représente la distance entre l'objet et le centre de la Terre. Cette même équation peut être utilisée pour d'autres planètes et étoiles en utilisant leur masse au lieu de celle de la Terre.

Rappel : g est une constante locale, G est une constante universelle.



ANNEXE 7 : Exercice – Les satellites

1. Calcule la période d'un satellite mis en orbite autour de la Terre à une altitude de 500 km.
 2. Un satellite de télécommunication est en orbite géostationnaire autour de la Terre. Calcule :
 - a) l'altitude du satellite;
 - b) la vitesse du satellite.
 3. Un satellite d'une masse de $2,00 \times 10^4$ kg est placé en orbite à une altitude de $6,00 \times 10^5$ m de la surface de Jupiter.
 - a) Calcule la force d'attraction gravitationnelle entre le satellite et Jupiter.
 - b) Calcule la vitesse du satellite.
 - c) Calcule la valeur de g à l'altitude du satellite.
 - d) Une des lunes de Jupiter, Europe, à une période de $3,07 \times 10^5$ s. Calcule le rayon de son orbite.
-



ANNEXE 8 : Les satellites – Corrigé

1. Calcule la période d'un satellite mis en orbite autour de la Terre à une altitude de 500 km.
altitude = 500 km = $5,00 \times 10^5$ m $r_T = 6,38 \times 10^6$ m $G = 6,67 \times 10^{-11}$ Nm²/kg²

$$m_T = 5,98 \times 10^{24}$$

$$r_{total} = 5,00 \times 10^5 + 6,38 \times 10^6$$

$$r_{total} = 0,500 \times 10^6 + 6,38 \times 10^6 = 6,88 \times 10^6$$

$$v = \sqrt{\frac{Gm_T}{r}} = \sqrt{\frac{(6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)(5,98 \times 10^{24} \text{ kg})}{6,88 \times 10^6}} = 7,61 \times 10^3 \text{ m/s}$$

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi(6,88 \times 10^6 \text{ m})}{7,61 \times 10^3 \text{ m/s}} = 5,67 \times 10^3 \text{ s}$$

2. Un satellite de télécommunication est en orbite géostationnaire autour de la Terre. Calcule :

- a) l'altitude du satellite;

$$T = 24 \text{ h} = 86\,400 \text{ s} \quad m_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg} \quad G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \quad r = ?$$

Pour calculer l'altitude du satellite, il faudrait qu'on connaisse sa vitesse, valeur que nous n'avons pas. Il est cependant possible de combiner des formules afin d'éliminer la

vitesse. Puisque $v = \sqrt{\frac{Gm_T}{r}}$ et $v = \frac{2\pi r}{T}$, on peut dire que $\sqrt{\frac{Gm_T}{r}} = \frac{2\pi r}{T}$.

$$\left(\sqrt{\frac{Gm_T}{r}}\right)^2 = \left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2$$

$$\frac{Gm_T}{r} = \frac{2^2\pi^2 r^2}{T^2} = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2}$$

$$r^3 = \frac{Gm_T T^2}{4\pi^2}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{Gm_T T^2}{4\pi^2}}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{(6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)(5,98 \times 10^{24} \text{ kg})(86\,400 \text{ s})^2}{4\pi^2}}$$

$$r = 4,23 \times 10^7 \text{ m}$$



ANNEXE 8 : Les satellites – Corrigé (suite)

Ce rayon est la valeur du rayon de la Terre et l'altitude du satellite. Pour déterminer l'altitude du satellite, on doit soustraire le rayon de la Terre.

$$\text{altitude} = 4,23 \times 10^7 \text{ m} - 6,38 \times 10^6 \text{ m}$$

$$\text{altitude} = 4,23 \times 10^7 \text{ m} - 0,638 \times 10^7 \text{ m} = 3,59 \times 10^7 \text{ m}$$

b) la vitesse du satellite.

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi(4,23 \times 10^7 \text{ m})}{86\,400 \text{ s}} = 3,07 \times 10^3 \text{ m/s}$$

3. Un satellite d'une masse de $2,00 \times 10^4 \text{ kg}$ est placé en orbite à une altitude de $6,00 \times 10^5 \text{ m}$ de la surface de Jupiter.

a) Calcule la force d'attraction gravitationnelle entre le satellite et Jupiter.

$$m_{\text{sat}} = 2,00 \times 10^4 \text{ kg} \quad \text{altitude} = 6,00 \times 10^5 \text{ m}$$

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \quad m_{\text{Jup}} = 1,90 \times 10^{27} \text{ kg} \quad r_{\text{Jup}} = 7,15 \times 10^7 \text{ m}$$

$$\text{rayon total } (r_t) = \text{altitude} + \text{rayon de Jupiter } (r_{\text{Jup}})$$

$$r_t = 6,00 \times 10^5 \text{ m} + 7,15 \times 10^7 \text{ m} = 0,0600 \times 10^7 \text{ m} + 7,15 \times 10^7 \text{ m}$$

$$r_t = 7,21 \times 10^7 \text{ m}$$

$$F_g = \frac{Gm_{\text{Jup}}m_{\text{sat}}}{r^2} = \frac{(6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)(1,90 \times 10^{27} \text{ kg})(2,00 \times 10^4 \text{ kg})}{(7,21 \times 10^7 \text{ m})^2}$$

$$F_g = 4,88 \times 10^5 \text{ N}$$

b) Calcule la vitesse du satellite.

$$v = \sqrt{\frac{Gm_{\text{Jup}}}{r}} = \sqrt{\frac{(6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)(1,90 \times 10^{27} \text{ kg})}{7,21 \times 10^7 \text{ m}}} = 4,19 \times 10^4 \text{ m/s}$$

c) Calcule la valeur de g à l'altitude du satellite.

$$g = \frac{Gm_{\text{Jup}}}{r^2} = \frac{(6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)(1,90 \times 10^{27} \text{ kg})}{(7,21 \times 10^7 \text{ m})^2} = 24,4 \text{ N/kg}$$

d) Une des lunes de Jupiter, Europe, a une période de $3,07 \times 10^5 \text{ s}$. Calcule le rayon de son orbite.

$$T = 3,07 \times 10^5 \text{ s} \quad m_{\text{Jup}} = 1,90 \times 10^{27} \text{ kg} \quad G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \quad r = ?$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{Gm_{\text{Jup}}T^2}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{(6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)(1,90 \times 10^{27} \text{ kg})(3,07 \times 10^5 \text{ s})^2}{4\pi^2}}$$

$$r = 6,72 \times 10^8 \text{ m}$$



ANNEXE 9 : La microgravité – Renseignements pour l'enseignant

La gravité est une force qui contrôle tout mouvement partout dans l'univers. Elle nous tient sur la Terre, elle fait tourner la Lune et les satellites artificiels autour de la Terre et elle fait tourner la Terre autour du Soleil. Les élèves croient souvent qu'il n'y a aucune force gravitationnelle à l'extérieur de l'atmosphère terrestre (en espace) puisque les astronautes « flottent » dans leur navette spatiale. L'altitude typique d'une navette spatiale est d'environ 500 km au-dessus de la surface terrestre. On peut facilement calculer la valeur de la constante du champ gravitationnel (g) à cette altitude.

$$mg = \frac{GMm}{r^2}$$

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

$$g = \frac{6,67 \times 10^{-11}(5,98 \times 10^{24})}{(6,38 \times 10^6)^2}$$

$$g = 8,7 \text{ N/kg}$$

L'intensité du champ gravitationnel à cette altitude a 89% de l'intensité du champ à la surface de la Terre. Il n'y a certainement pas une absence de force gravitationnelle!

La **microgravité** se manifeste lorsque le poids apparent d'un objet est petit comparé à son poids actuel. Il n'y a aucune sensation de poids. Tout objet en chute libre est en condition de microgravité. L'astronaute est en chute libre quand il se retrouve en orbite autour de la Terre. Il flotte dans le vaisseau spatial, car il tombe en même temps que celui-ci. Si on laisse tomber une pomme près de la surface de la Terre, elle tombe vers le sol. Si on laisse tomber une pomme dans un vaisseau spatial qui orbite la Terre, la pomme tombe aussi, mais elle semble flotter car le vaisseau tombe à la même vitesse que la pomme. Cependant, la pomme et le vaisseau spatial ne tombent pas vers la Terre, mais autour de la Terre, tel que décrit dans le RAS précédent.

Le phénomène de flottaison causée par la chute libre est aussi possible sur la Terre. Prenons l'exemple d'une personne dans un ascenseur. La force que le plancher de l'ascenseur exerce sur la personne est le poids apparent. Lorsque l'ascenseur est immobile, la force gravitationnelle est exercée vers le bas, et la force exercée par l'ascenseur sur la personne (force normale) agit vers le haut. La somme de ces deux forces donne une force nette égale à zéro. Elle ne subit aucune variation de vitesse et ne bouge pas. Quand l'ascenseur monte, la force nette n'est pas égale à zéro. Puisque l'ascenseur accélère vers le haut, il y a une force nette vers le haut. La personne a donc la sensation d'être plus pesante car une plus grande force est exercée sur ses pieds. Si une personne était à l'intérieur d'un ascenseur et que le câble cédait, elle tomberait vers le bas à la même vitesse que celle de l'ascenseur. Il n'y aurait aucune force exercée par l'ascenseur sur la personne donc celle-ci aurait l'impression de flotter.



ANNEXE 9 : La microgravité – Renseignements pour l'enseignant (suite)

On obtient l'état de microgravité en plaçant des objets en chute libre. Littéralement, la chute libre signifie que le mouvement d'un objet vers le bas est libre, c'est-à-dire que rien ne s'oppose à sa chute. Sur Terre, le sol annule ce mouvement. Lorsqu'un parachutiste saute, sa chute est contrariée par la résistance de l'air sur son corps. La résistance de l'air n'empêche pas une chute, mais elle la ralentit. Cette résistance s'exerce même en orbite. L'air y est quand même présent, mais en très faible quantité. Le degré d'inhibition de la pesanteur, ou la qualité de l'état de microgravité obtenu, est fonction du degré avec lequel les forces qui s'opposent à une chute sont éliminées. Si ces forces étaient éliminées complètement, vous seriez en état d'impesanteur parfaite. Dans le cas de la chute libre ou de la microgravité, les forces de résistance sont infimes.

Comment reproduire la microgravité

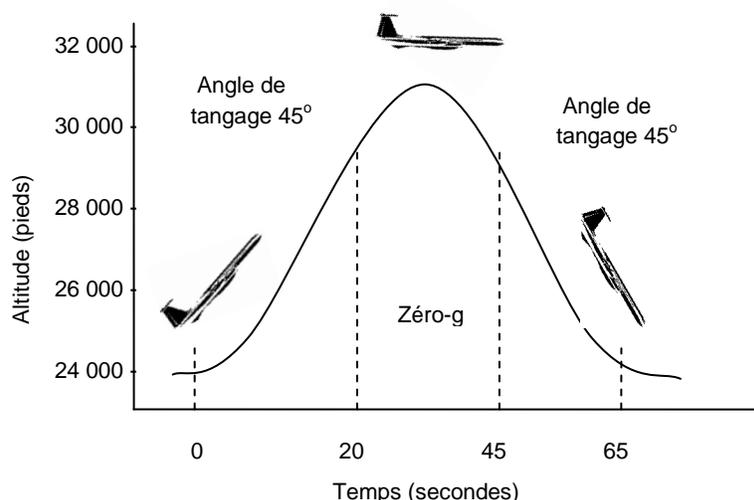
La microgravité peut être reproduite de plusieurs différentes façons. Premièrement, on pourrait s'aventurer dans l'espace lointain afin que la force gravitationnelle de la Terre soit effectivement nulle. Cependant, il faudrait voyager des millions de kilomètres pour accomplir ceci. Il est aussi possible de reproduire la microgravité avec la chute libre. On peut connaître des conditions de microgravité pour de très courts intervalles de temps en sautant sur un tremplin ou sur des manèges dans les parcs d'attractions.

Les tours d'impesanteur sont utilisées pour créer des conditions de microgravité pour de plus longues périodes de temps. Le Centre Lewis de la Nasa a une tour d'impesanteur de 132 mètres. Un état de microgravité peut être maintenu pour environ 5 secondes. Le plus long état de microgravité peut être obtenu au Japon dans un puits de mine d'une profondeur de 490 mètres.

On peut recréer des conditions de chute libre de courte durée à bord d'avions en vol parabolique. Durant l'arc ascendant de la parabole décrite par l'avion, on règle la poussée des moteurs de sorte à annuler la portance. L'appareil est alors en chute libre puisque rien ne s'oppose à la force de pesanteur. L'avion est en chute libre lorsqu'il atteint le sommet de la parabole et pendant une partie de l'arc descendant. On peut ainsi obtenir des conditions de microgravité d'environ 0,02 g pendant 15 à 20 secondes. L'effet est semblable à celui sur une montagne russe. On surnomme l'avion qui crée cet état un « vomit comet ».



ANNEXE 9 : La microgravité – Renseignements pour l'enseignant (suite)



L'avion doit premièrement atteindre une altitude de 30 000 pieds (environ 10 000 m) avec une vitesse Mach 1 (300 m/s). L'avion descend ensuite en suivant une courbe parabolique, monte à nouveau, et peut compléter plusieurs paraboles. Les gens dans la cabine sont en chute libre pour environ 23 secondes durant chaque descente, suivie d'une accélération de 2 g. Un vol typique peut durer plusieurs heures et parvient à réaliser quelque 40 paraboles pour permettre à l'équipage de mener des expériences.

La Station spatiale internationale orbite autour de la Terre et offre des conditions de microgravité de grande qualité pendant des périodes pratiquement illimitées. Les installations de la Station consistent en des modules d'habitation et des modules de laboratoire.

Dans le film *Apollo 13* (1995), les réalisateurs ont eu la permission d'utiliser l'avion KC-135 de la NASA pour filmer la séquence « anti-gravité » dans laquelle les acteurs semblent flotter dans la cabine.



ANNEXE 10 : Exercice de pointage*

Matériel

Ce qu'il faut pour chaque groupe

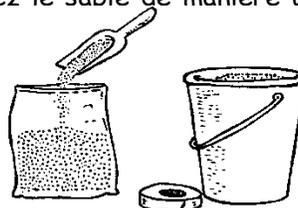
- Cible, élève 3
- Des marqueurs
- Un simulateur 2 g
- Un chronomètre ou une minuterie
- Fiche de consignation – exercice de pointage, élève 4

Que faire?

- Travaillez par équipe de quatre : un lecteur, un chronométreur, un rapporteur et un pointeur. Le chronométrage commence quand le lecteur donne le premier nombre de la série et se termine quand la main du pointeur revient à la position de départ après avoir touché le dernier nombre.
- Le rapporteur consigne les nombres qui ont été touchés à mesure qu'ils ont été énoncés.
- À la position de départ, le pointeur doit garder l'avant-bras parallèle au plancher, le coude le long du corps.
- Le lecteur énonce à haute voix une série de nombres, en faisant une pause entre chacun, jusqu'à ce que le pointeur touche la cible et ramène son bras à la position de départ.
ESSAI 1 125, 82, 142, 65, 113, 96, 172, 143, 160, 72
- Reprenez l'activité, avec le simulateur 2 g fixé à l'avant-bras.
ESSAI 2 65, 143, 113, 82, 160, 125, 172, 142, 96, 72
- Enlevez le simulateur 2 g et répétez immédiatement l'activité.
ESSAI 3 72, 113, 160, 96, 125, 65, 143, 82, 142, 172
- En groupe, analyser la fiche de consignation et tirez des conclusions.

Comment fabriquer un simulateur 2 g

- Remplissez un sac auto-scellant avec 2 ou 3 kg de sable humide.
- Scellez le sac en évacuant le plus d'air possible.
- Répartissez le sable de manière uniforme dans le sac.



ANNEXE 10 : Exercice de pointage (suite)

Discussion

- Quelle influence la présence ou l'absence de poids sur votre bras a-t-elle eu sur votre précision de pointage?
- Les résultats de l'essai 3 étaient-ils les mêmes que ceux de l'essai 1? Pourquoi?
- Faites le lien entre les adaptations que vous avez dû faire et celles auxquelles sont confrontés les astronautes en microgravité à bord de la navette.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135
136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165
166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195
196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225



ANNEXE 10 : Exercice de pointage (suite)

Le rapporteur indique au tableau les nombres que le pointeur a touchés à chaque essai.

Essai 1 – Sans le simulateur 2 g

Nombres annoncés	Nombres touchés
125	
82	
142	
65	
113	
96	
172	
143	
160	
72	

Essai 2 – Avec le simulateur 2 g

Nombres annoncés	Nombres touchés
65	
143	
113	
82	
160	
125	
172	
142	
96	
72	

Essai 3 – Sans le simulateur 2 g

Nombres annoncés	Nombres touchés
72	
113	
160	
96	
125	
65	
143	
82	
142	
172	

*Agence spatiale canadienne, « Neurolab pour les élèves », 1998,
<www.asc-csa.gc.ca/pdf/educator-neurolab_stu9-12_f.pdf> (Consulté le 20 février 2013).



ANNEXE 11 : La rentrée dans l'atmosphère – Renseignements pour l'élève

Quand un vaisseau spatial veut retourner vers la Terre, il doit premièrement ralentir. Une navette spatiale, telle que la *Discovery*, orbite la Terre à une vitesse d'environ 8000 m/s. Des rétrofusées la font ralentir et descendre à une orbite plus basse et éventuellement rentrer dans l'atmosphère terrestre. À mesure que le vaisseau spatial s'approche de la Terre, la densité de l'atmosphère terrestre augmente. Plusieurs problèmes peuvent subvenir lors de la rentrée dans l'atmosphère :

- Les astronautes doivent être protégés contre la chaleur extrêmement élevée produite lors de la rentrée dans l'atmosphère. Un bouclier thermique formé de briques en céramiques avec une conductivité de chaleur extrêmement petite protège les occupants du vaisseau. La chaleur créée par l'objet n'est pas seulement due au frottement, mais aussi à l'onde de pression créée devant l'objet qui se déplace à une vitesse élevée dans l'atmosphère. À mesure que la pression augmente, la température augmente aussi. La température peut atteindre plus de 2000 °C.
- Si l'angle de pénétration est trop plat, le vaisseau va « rebondir » sur les couches denses de l'atmosphère et sera propulsé à nouveau dans l'espace.
- Si l'angle est trop aigu, la vitesse ne sera pas assez réduite et le frottement de l'air contre le vaisseau causerait tellement de chaleur que le vaisseau brûlerait malgré le bouclier thermique. Les forces g seraient aussi trop élevées pour les astronautes.
- La chaleur extrême cause aussi l'ionisation des molécules de gaz autour du vaisseau spatial. Toute communication avec le sol est donc impossible pour une dizaine de minutes.

Un vaisseau spatial doit utiliser le frottement sur les couches de l'atmosphère pour ralentir et diminuer assez sa vitesse pour atterrir en douceur (une navette doit passer de 8000 m/s à environ 100 m/s). En théorie, un vaisseau pourrait utiliser ses rétrofusées pour ralentir et éviter la chaleur extrême de la rentrée dans l'atmosphère. En réalité, cela n'est pas possible car il faudrait un montant énorme de carburant pour accomplir cette manœuvre. Ce carburant devrait être placé dans le vaisseau au décollage, ce qui augmenterait trop son poids. Il faut donc effectuer des calculs précis pour déterminer comment ralentir au maximum le vaisseau sans créer un réchauffement trop important mais aussi maintenir la stabilité du vaisseau.



ANNEXE 12 : Défis technologiques reliés à l'exploration spatiale – Renseignements pour l'enseignant

L'énergie nécessaire pour qu'un vaisseau spatial surmonte l'attraction gravitationnelle de la Terre provient de la propulsion chimique du propulseur-fusée. Cependant, les fusées à propulsion chimique ont des limites si l'on veut envoyer un vaisseau spatial au-delà de la Lune. Même pour se rendre à la planète Mars, la prochaine destination logique dans l'espace, un vaisseau spatial nécessiterait tellement de carburant qu'il faudrait en produire de grandes quantités sur la planète-même pour assurer le retour à la Terre. Les scientifiques doivent donc trouver des moyens alternatifs de propulsion.

Sans dépense d'énergie supplémentaire, une sonde peut modifier sa trajectoire, sa vitesse et même son inclinaison par rapport au *plan de l'écliptique*. Elle utilise pour cela un principe directement lié aux lois de la *gravitation universelle* qu'on appelle *l'assistance gravitationnelle* ou *l'effet lance-pierre*.

Lorsque l'engin passe à proximité d'une planète, il entre dans sa zone d'influence. L'attraction qu'il subit a pour conséquence de le faire "tomber" vers l'astre : sa trajectoire se courbe et sa vitesse augmente. La sonde contourne la planète et s'en éloigne en perdant autant de vitesse qu'elle en a gagné à l'arrivée. La manœuvre n'est pas nulle pour autant : la planète, en se déplaçant autour du Soleil, a communiqué une partie de sa vitesse à la sonde.

La modification de vitesse et la déviation de la trajectoire de l'engin dépendent de la masse de l'astre survolé, de l'altitude du survol et de la vitesse relative à laquelle la manœuvre s'effectue. Si le survol s'effectue dans le sens de déplacement de la planète autour du Soleil, la sonde gagne de la vitesse. Si le survol s'effectue dans le sens inverse, la sonde perd de la vitesse. La trajectoire est à l'évidence calculée très précisément à l'avance afin que l'engin survole les planètes qu'il rencontre sans s'y écraser.

Cette technique est utilisée dans la plupart des missions planétaires. À titre d'exemple, sans l'assistance gravitationnelle de Jupiter, la sonde VOYAGER n'aurait jamais pu rencontrer Saturne puis Uranus et Neptune. La sonde GALILEO a quant à elle utilisé l'assistance gravitationnelle de Io, satellite de Jupiter, pour décélérer et pouvoir ainsi s'insérer en orbite jovienne. Jusqu'ici, une dizaine de sondes interplanétaires ont ainsi utilisé l'assistance gravitationnelle, ce qui leur a permis d'atteindre leurs objectifs plus rapidement et d'économiser du carburant.



ANNEXE 12 : Défis technologiques reliés à l'exploration spatiale – Renseignements pour l'enseignant (suite)

Les orbites de transfert de Hohmann

Pour passer d'une orbite circulaire à une autre, un engin spatial doit activer ses fusées afin de modifier l'intensité ou la direction de sa vitesse vectorielle. Si la vitesse vectorielle de l'engin spatial augmente, le rayon de son orbite augmente aussi. L'activation des fusées nécessite du carburant donc le trajet qui nécessite le plus petit montant de carburant est critique dans toute manœuvre spatiale. Un transfert de Hohmann est une façon de passer d'une orbite circulaire à une autre dans un même plan en économisant du carburant. Pour passer d'une orbite plus basse à une orbite plus haute, les fusées de l'engin spatial sont activées afin d'augmenter la vitesse vectorielle. Lorsque l'orbite désirée est atteinte, les fusées sont à nouveau activées afin de ralentir l'engin spatial pour qu'il puisse avoir une orbite stable. Walter Hohmann a découvert en 1925 que la trajectoire la plus efficace pour transférer un objet entre deux planètes est une ellipse dont l'une des extrémités touche la première planète et l'autre la deuxième planète.

Lorsque vous vous déplacez sur la Terre, vous suivez en général une trajectoire qui vous amène droit vers votre destination, une destination qui demeure dans la même position relative vis-à-vis de votre point de départ. Ce n'est pas du tout le cas pour les sondes interplanétaires. La trajectoire que l'on imprime à un vaisseau spatial pointe dans une direction qui est totalement inoccupée au moment du départ. Ce n'est qu'au terme du voyage que le point d'arrivée sera occupé par la planète que l'on désire atteindre. C'est cette mobilité de la cible à atteindre et la ronde perpétuelle des planètes autour du Soleil qui explique que les lancements ne peuvent avoir lieu qu'à l'intérieur de périodes bien déterminées dans le temps. On désigne ces périodes propices aux lancements sous le nom de fenêtre de tir.



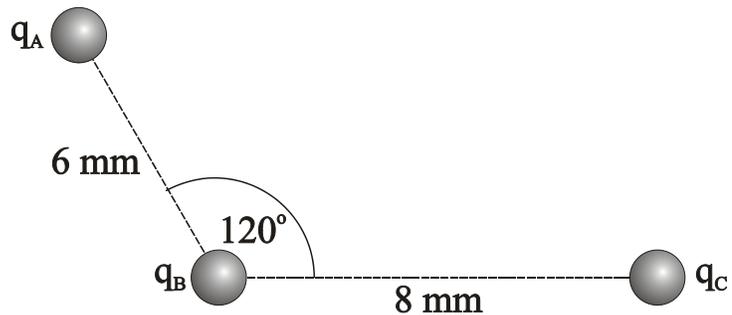
ANNEXE 13 : Résolution de problèmes sur la loi de Coulomb – Renseignements pour l’enseignant

Trois charges sont placées tel que l’indique le diagramme suivant. Calcule la force nette qui agit sur la sphère B.

$$q_A = -4,0 \text{ nC } (-4,0 \times 10^{-9} \text{ C})$$

$$q_B = -10,0 \text{ nC } (-10,0 \times 10^{-9} \text{ C})$$

$$q_C = 6,0 \text{ nC } (6,0 \times 10^{-9} \text{ C})$$



Il faut premièrement reconnaître que la force exercée par la charge A sur la charge C n’a aucun effet sur la force exercée sur la charge B. Nous pouvons aussi ignorer la force exercée par la charge C sur la charge A.

La prochaine étape serait de faire un diagramme pour démontrer la direction des forces sur la charge B. La force entre A et B est une force de répulsion (voir la figure 1). La force entre A et B est une force d’attraction (voir la figure 2). Il faut ensuite calculer les composantes de \vec{F}_{AB} (voir la figure 3).

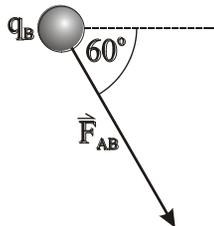


figure 1

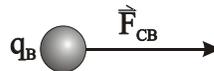


figure 2

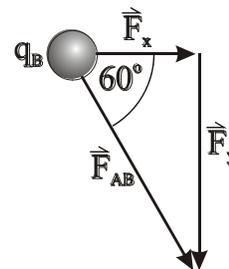


figure 3



ANNEXE 13 : Résolution de problèmes sur la loi de Coulomb – Renseignements pour l'enseignant (suite)

On peut maintenant calculer les forces.

$F_e = \frac{kq_1q_2}{d^2}$ où $k =$ constante de Coulomb ($9,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$), $q_1 =$ charge 1, $q_2 =$ charge 2, et $d =$ distance entre les deux charges

$$\vec{F}_{AB} = \frac{(9,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2)(4,0 \times 10^{-9} \text{ C})(10 \times 10^{-9} \text{ C})}{(6,0 \times 10^{-3} \text{ m})^2}$$

$$\vec{F}_{AB} = 1,00 \times 10^{-2} \text{ N } 60^\circ \text{ sous l'horizontale}$$

Ensuite, on doit décomposer \vec{F}_{AB} en ses composantes x et y :

$$\vec{F}_{ABx} = (\cos 60^\circ)(1,00 \times 10^{-2} \text{ N}) = 5,0 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\vec{F}_{ABy} = (\sin 60^\circ)(1,00 \times 10^{-2} \text{ N}) = -8,7 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\vec{F}_{CB} = \frac{(9,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2)(6,0 \times 10^{-9} \text{ C})(10 \times 10^{-9} \text{ C})}{(8,0 \times 10^{-3} \text{ m})^2}$$

$$\vec{F}_{CB} = 8,4 \times 10^{-3} \text{ N} \text{ (Le vecteur } \vec{F}_{CB} \text{ a seulement une composante horizontale.)}$$

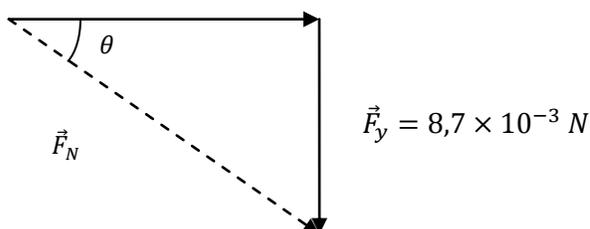
On peut maintenant calculer la somme vectorielle de ces trois composantes.

$$\vec{F}_x = \vec{F}_{ABx} + \vec{F}_{CB} = 5,0 \times 10^{-3} \text{ N} + 8,4 \times 10^{-3} \text{ N} = 13,4 \times 10^{-3} \text{ N} = 1,34 \times 10^{-2} \text{ N}$$

$$\vec{F}_y = \vec{F}_{ABy} = -8,7 \times 10^{-3} \text{ N}$$

Ensuite, on peut utiliser la trigonométrie pour trouver la force électrostatique nette sur la charge B.

$$\vec{F}_x = 1,34 \times 10^{-2} \text{ N}$$



ANNEXE 13 : Résolution de problèmes sur la loi de Coulomb –
Renseignements pour l'enseignant (suite)

$$F_N = \sqrt{(1,34 \times 10^{-2} \text{ N})^2 + (8,7 \times 10^{-3} \text{ N})^2} = 1,6 \times 10^{-2} \text{ N}$$

On utilise la formule pour la tangente afin de trouver l'angle :

$$\tan \theta = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} = \frac{8,7 \times 10^{-3} \text{ N}}{1,34 \times 10^{-2} \text{ N}}$$

$$\theta = 33^\circ$$

La force nette est donc $1,6 \times 10^{-2} \text{ N}$ 33° sous l'horizontale.



ANNEXE 14 : L'énergie potentielle électrique

Si on place une charge positive entre deux plaques parallèles de charges opposées, elle est attirée vers la plaque négative. Déplacer la charge vers la plaque positive est comme soulever un objet; il faut effectuer un travail sur cette charge (appliquer une force sur une certaine distance). On calcule ce travail à l'aide de l'équation $W = \vec{F} \Delta \vec{d}$. Puisque la force exercée sur une charge électrique est donnée par $\vec{F} = q\vec{E}$, on obtient $W = q\vec{E} \Delta \vec{d}$ où \vec{E} représente le champ électrique (certains textes utilisent le symbole \vec{e} pour représenter le champ électrique). Le travail effectué sur un objet est toujours égal à la variation d'énergie de l'objet ($W = \Delta E$). Dans ce cas, le travail effectué sur la charge est égal à **l'énergie potentielle électrique** emmagasinée par la charge. On peut comparer ceci à l'énergie potentielle gravitationnelle emmagasinée par un objet lorsqu'on le soulève. Si on déplace une charge d'un point où l'énergie initiale est égale à zéro, l'énergie potentielle électrique entre les plaques est égale à $E_p = q\vec{E} \Delta \vec{d}$ où E_p représente l'énergie potentielle électrique (on voit aussi les symboles E_e et U pour représenter l'énergie potentielle électrique). L'énergie potentielle électrique est une quantité scalaire. Si une force externe déplace la charge contre la force électrique, le travail effectué aura une valeur positive et l'énergie potentielle va augmenter. Si le champ électrique déplace la charge, le travail aura une valeur négative et l'énergie potentielle électrique va diminuer.

Le concept de **potentiel électrique** facilite les calculs de travail et d'énergie dans un champ électrique. On ne considère pas seulement l'énergie potentielle électrique d'une charge quelconque (charge a), mais aussi celle d'une charge unitaire positive qui se retrouve dans le champ de la charge a . Le potentiel électrique (V) se définit comme l'énergie potentielle électrique par unité de charge positive et peut être calculé avec l'équation $V = \frac{E_p}{q}$. Il représente le montant de travail nécessaire pour déplacer la charge unitaire positive d'un point situé à l'infini (où le champ est égal à zéro) jusqu'à un point quelconque dans le champ de la charge a . Habituellement, on veut calculer le travail nécessaire pour déplacer une charge d'un point à un autre dans un champ plutôt que de l'infini jusqu'à un point précis. On utilise donc la **différence de potentiel électrique** (ΔV) dans nos calculs.

Le langage d'énergie peut facilement porter à confusion. Voici un résumé des termes importants:

- Champ électrique (\vec{E}) : région de l'espace autour d'une charge où une charge d'essai positive subit une force
- Intensité du champ électrique (\vec{F}_e) : la force par unité de charge, c'est-à-dire la force qu'une charge d'un coulomb subirait à un point donné
- Énergie potentielle électrique (E_p) : l'énergie entre deux charges
- Potentiel électrique (V) : l'énergie potentielle électrique par unité de charge
- Différence de potentiel électrique (ΔV) : la différence du potentiel électrique entre deux points (par exemple, dans un circuit électrique)



ANNEXE 14 : L'énergie potentielle électrique (suite)

Puisque le potentiel électrique est l'énergie potentielle électrique par unité de charge, on le mesure en joules/coulomb ou volt. Une valeur de 1 joule par coulomb est appelée le **volt**.

Pour dériver l'expression du champ entre des plaques parallèles, on combine les équations $E_p = q\vec{E}\Delta\vec{d}$ et $V = \frac{E_p}{q}$.

$$E_p = q\vec{E}\Delta\vec{d}$$

$$\frac{E_p}{q} = \vec{E}\Delta\vec{d}$$

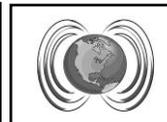
$$V = \vec{E}\Delta\vec{d}$$

$$\vec{E} = \frac{V}{\Delta\vec{d}}$$



ANNEXE 15 : Exercice – L'énergie potentielle électrique

1. L'intensité du champ électrique entre deux plaques parallèles est de 13 000 N/C. Calcule l'énergie potentielle électrique si on déplace une charge de $5,6 \times 10^{-6}$ C d'une distance de 0,50 m.
2. Deux plaques parallèles sont séparées d'une distance de 15 cm. La différence de potentiel entre les plaques est de 75 V. Calcule l'intensité du champ électrique entre les plaques.
3. La distance entre deux plaques parallèles est de 0,050 m. Un électron ($m = 9,1 \times 10^{-31}$ kg) est au repos à la surface de la plaque négative. Calcule la vitesse à laquelle il atteindra la plaque positive si on applique un potentiel de 55 V entre les plaques.
4. Deux plaques parallèles sont séparées d'une distance de 0,0060 m. Le potentiel entre les plaques est de 655 V. Si une charge de $5,0 \times 10^{-9}$ C se déplace d'une plaque à l'autre, quelle est la valeur de l'énergie transférée à la charge?
5. Deux plaques parallèles sont séparées d'une distance de 0,20 m. Une charge placée entre les plaques subit une force de 0,46 N. Le champ électrique entre les plaques a une valeur de $1,9 \times 10^3$ N/C. Calcule l'intensité de la charge.
6. Le champ électrique entre deux plaques parallèles a une valeur de $2,8 \times 10^5$ N/C. Si la distance entre les plaques est de 0,50 cm,
 - a. quelle est la différence de potentiel entre les deux plaques?
 - b. quel est le travail nécessaire pour déplacer une charge de $4,6 \times 10^{-4}$ C d'une plaque à l'autre?
7. Une particule de $6,70 \times 10^{-27}$ kg avec une charge négative de $3,2 \times 10^{-19}$ C est envoyée horizontalement entre deux plaques parallèles. Le champ entre les plaques a une valeur de $8,0 \times 10^3$ N/C. La distance entre les plaques est de 0,020 m. La vitesse initiale de la particule est de $6,0 \times 10^6$ m/s. Si la charge est envoyée juste par-dessus la plaque négative, quelle distance horizontale va-t-elle parcourir avant d'entrer en collision avec la plaque positive?
8. Deux plaques parallèles de charges opposées ont toutes deux une longueur de 0,007 m. Le champ électrique entre les plaques a une valeur de 111 N/C. Un électron est tiré entre les deux plaques avec une vitesse de $1,1 \times 10^6$ m/s. Quelle distance vers le haut aura-t-il parcouru lorsqu'il atteint le bout des plaques?



ANNEXE 16 : L'énergie potentielle électrique – Corrigé

1. L'intensité du champ électrique entre deux plaques parallèles est de 13 000 N/C. Calcule l'énergie potentielle électrique si on déplace une charge de $5,6 \times 10^{-6} \text{ C}$ d'une distance de 0,50 m.

$$\vec{E} = 13\,000 \text{ N/C} \quad q = 5,6 \times 10^{-6} \text{ C} \quad d = 0,50 \text{ m} \quad E_p = ?$$

$$E_p = q\vec{E}\Delta\vec{d} = (5,6 \times 10^{-6} \text{ C})(13\,000 \text{ N/C})(0,50 \text{ m})$$

$$E_p = 3,6 \times 10^{-2} \text{ J}$$

2. Deux plaques parallèles sont séparées d'une distance de 15 cm. La différence de potentiel entre les plaques est de 75 V. Calcule l'intensité du champ électrique entre les plaques.

$$\Delta d = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m} \quad V = 75 \text{ V} \quad \vec{E} = ?$$

$$\vec{E} = \frac{V}{\Delta\vec{d}} = \frac{75 \text{ V}}{0,15 \text{ m}} = 500 \text{ V/m} = 500 \text{ N/C}$$

3. La distance entre deux plaques parallèles est de 0,050 m. Un électron ($m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$) est au repos à la surface de la plaque négative. Calcule la vitesse à laquelle il atteindra la plaque positive si on applique un potentiel de 55 V entre les plaques.

$$\Delta d = 0,050 \text{ m} \quad m_{\text{électron}} = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg} \quad V = 55 \text{ V} \quad q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \quad v_1 = 0 \text{ m/s} \quad v_2 = ?$$

Il y a plus qu'une façon de résoudre ce problème. On peut utiliser les concepts de conservation d'énergie en calculant premièrement l'énergie potentielle électrique de l'électron.

$$E_p = Vq = (55 \text{ V})(1,6 \times 10^{-19} \text{ C}) = 8,8 \times 10^{-18} \text{ J}$$

Toute cette énergie potentielle est convertie en énergie cinétique lorsque l'électron atteint la plaque positive, donc :

$$E_p = E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v^2 = \frac{2E_c}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2(8,8 \times 10^{-18} \text{ J})}{9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}}} = 4,4 \times 10^6 \text{ m/s}$$



ANNEXE 16 : L'énergie potentielle électrique – Corrigé (suite)

Il est aussi possible d'utiliser les équations de dynamique et de cinématique afin de résoudre le problème.

$$\vec{E} = \frac{V}{\Delta d} = \frac{55 \text{ V}}{0,050 \text{ m}} = 1100 \text{ N/C}$$

$$F = q\vec{E} = (1,6 \times 10^{-19} \text{ C})(1100 \text{ N/C}) = 1,8 \times 10^{-16} \text{ N}$$

$$F = ma$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1,8 \times 10^{-16} \text{ N}}{9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}} = 1,9 \times 10^{14} \text{ N/kg} = 1,9 \times 10^{14} \text{ m/s}^2$$

$$v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta d$$

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2a\Delta d} = \sqrt{0 \text{ m/s} + 2(1,9 \times 10^{14} \text{ m/s}^2)(0,050 \text{ m})}$$

$$v_2 = 4,4 \times 10^6 \text{ m/s}$$

4. Deux plaques parallèles sont séparées d'une distance de 0,0060 m. Le potentiel entre les plaques est de 655 V. Si une charge de $5,0 \times 10^{-9} \text{ C}$ se déplace d'une plaque à l'autre, quelle est la valeur de l'énergie transférée à la charge?

$$\Delta d = 0,0060 \text{ m} \quad V = 655 \text{ V} \quad q = 5,0 \times 10^{-9} \text{ C} \quad E_p = ?$$

$$E_p = Vq = (655 \text{ V})(5,0 \times 10^{-9} \text{ C}) = 3,3 \times 10^{-6} \text{ J}$$

5. Deux plaques parallèles sont séparées d'une distance de 0,20 m. Une charge placée entre les plaques subit une force de 0,46 N. Le champ électrique entre les plaques a une valeur de $1,9 \times 10^3 \text{ N/C}$. Calcule l'intensité de la charge.

$$\Delta d = 0,20 \text{ m} \quad \vec{F} = 0,46 \text{ N} \quad \vec{E} = 1,9 \times 10^3 \text{ N/C} \quad q = ?$$

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

$$q = \frac{\vec{F}}{\vec{E}} = \frac{0,46 \text{ N}}{1,9 \times 10^3 \text{ N/C}} = 2,4 \times 10^{-4} \text{ C}$$

6. Le champ électrique entre deux plaques parallèles a une valeur de $2,8 \times 10^5 \text{ N/C}$. Si la distance entre les plaques est de 0,50 cm,

$$\vec{E} = 2,8 \times 10^5 \text{ N/C} \quad \Delta d = 0,50 \text{ cm} = 0,0050 \text{ m}$$

- a. quelle est la différence de potentiel entre les deux plaques?

$$V = \vec{E}\Delta d = (2,8 \times 10^5 \text{ N/C})(0,0050 \text{ m}) = 1,4 \times 10^3 \text{ V}$$



ANNEXE 16 : L'énergie potentielle électrique – Corrigé (suite)

- b. quel est le travail nécessaire pour déplacer une charge de $4,6 \times 10^{-4} \text{ C}$ d'une plaque à l'autre?

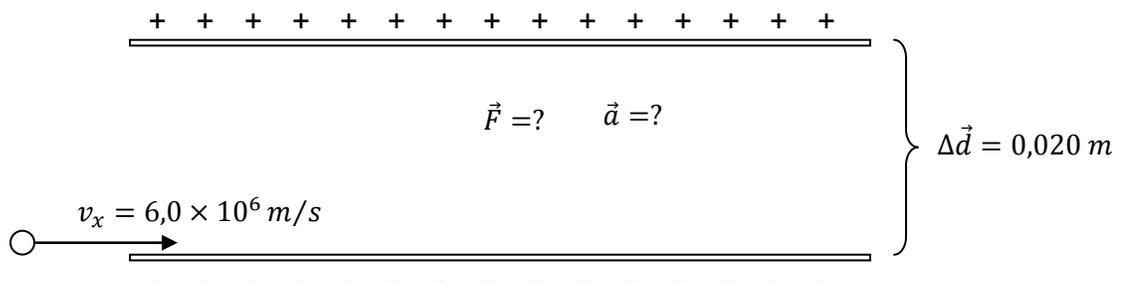
$$W = q\vec{E}\Delta d = qV = (4,6 \times 10^{-4} \text{ C})(1,4 \times 10^3 \text{ V}) = 6,4 \times 10^{-1} \text{ J}$$

7. Une particule de $6,70 \times 10^{-27} \text{ kg}$ avec une charge négative de $3,2 \times 10^{-19} \text{ C}$ est envoyée horizontalement entre deux plaques parallèles. Le champ entre les plaques a une valeur de $8,0 \times 10^3 \text{ N/C}$. La distance entre les plaques est de $0,020 \text{ m}$. La vitesse initiale de la particule est de $6,0 \times 10^6 \text{ m/s}$. Si la charge est envoyée juste par-dessus la plaque négative, quelle distance horizontale va-t-elle parcourir avant d'entrer en collision avec la plaque positive?

$$m = 6,70 \times 10^{-27} \text{ kg} \quad q = 3,2 \times 10^{-19} \text{ C} \quad \vec{E} = 8,0 \times 10^3 \text{ N/C} \quad \Delta d = 0,020 \text{ m}$$

$$v_x = 6,0 \times 10^6 \text{ m/s}$$

Pour mieux comprendre le problème, il serait utile d'en dessiner un diagramme. La particule négative pénètre le champ électrique et subit une force vers la plaque positive. Son mouvement est perpendiculaire au champ donc la force qui agit sur elle n'a aucun effet sur sa vitesse horizontale. On peut donc résoudre le problème comme s'il s'agissait d'un mouvement projectile.



Aucune force horizontale n'agit sur la particule, donc sa vitesse horizontale est constante. Afin de calculer sa distance horizontale, on peut utiliser l'équation $\Delta d = v\Delta t$. Le temps peut être calculé avec le mouvement horizontal de la particule. Cette dernière subit une force due au champ électrique et donc accélère vers la plaque positive. Pour calculer la force appliquée par le champ électrique, on peut utiliser l'équation $\vec{F} = q\vec{E}$.

$$\vec{F} = q\vec{E} = (3,2 \times 10^{-19} \text{ C})(8,0 \times 10^3 \text{ N/C}) = 2,6 \times 10^{-15} \text{ N}$$

Il est maintenant possible de calculer l'accélération de la particule.

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{2,6 \times 10^{-15} \text{ N}}{6,70 \times 10^{-27} \text{ kg}} = 3,9 \times 10^{11} \text{ m/s}^2$$



ANNEXE 16 : L'énergie potentielle électrique – Corrigé (suite)

On peut maintenant calculer le temps que prend la particule pour se rendre de la plaque négative à la plaque positive.

$$\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2$$

Puisque la vitesse verticale initiale est égale à zéro, on peut simplifier l'équation.

$$\Delta \vec{d} = \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2\Delta \vec{d}}{\vec{a}}} = \sqrt{\frac{2(0,020 \text{ m})}{3,9 \times 10^{11} \text{ m/s}^2}} = 1,0 \times 10^{-13} \text{ s}$$

Finalement, on peut calculer la distance horizontale de la particule.

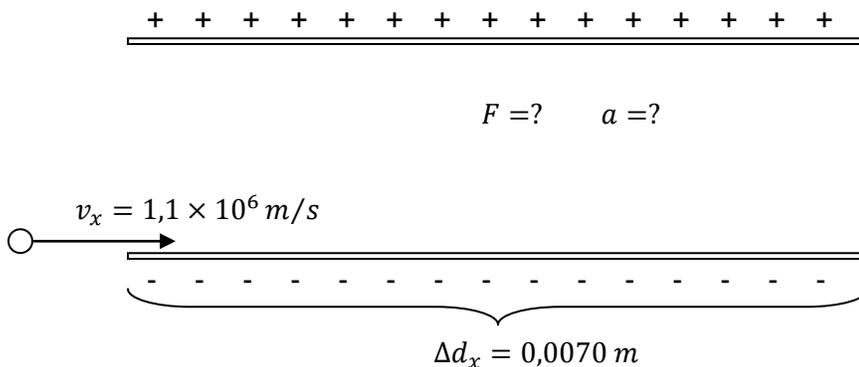
$$d = v \Delta t = (6,0 \times 10^6 \text{ m/s})(1,0 \times 10^{-13} \text{ s}) = 6,0 \times 10^{-7} \text{ m}$$

8. Deux plaques parallèles de charges opposées ont toutes deux une longueur de 0,007 m. Le champ électrique entre les plaques a une valeur de 111 N/C. Un électron est tiré horizontalement entre les deux plaques avec une vitesse de $1,1 \times 10^6 \text{ m/s}$. Quelle distance vers le haut aura-t-il parcouru lorsqu'il atteint le bout des plaques?

$$\Delta d_x = 0,0070 \text{ m} \quad \vec{E} = 111 \text{ N/C} \quad v_x = 1,1 \times 10^6 \text{ m/s} \quad q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg} \quad \Delta d_y = ?$$

Faire un diagramme du problème peut aider à mieux le comprendre.



ANNEXE 16 : L'énergie potentielle électrique – Corrigé (suite)

L'électron voyage à une vitesse horizontale constante. Puisqu'on connaît la longueur des plaques, on peut calculer le temps nécessaire à atteindre le bout des plaques.

$$\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{0,0070 \text{ m}}{1,1 \times 10^6 \text{ m/s}} = 6,4 \times 10^{-9} \text{ s}$$

Le temps nous permettra de déterminer la distance verticale parcourue par l'électron, mais nous devons déterminer la force qui agit sur l'électron afin de calculer son accélération. On peut calculer la force à l'aide de l'équation :

$$\vec{F} = q\vec{E} = (1,6 \times 10^{-19} \text{ C})(111 \text{ N/C}) = 1,8 \times 10^{-17} \text{ N}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{1,8 \times 10^{-17} \text{ N}}{9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}} = 2,0 \times 10^{13} \text{ m/s}^2$$

La distance verticale parcourue par l'électron peut ensuite être calculée avec l'équation

$$\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 \Delta t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2.$$

$$\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 \Delta t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2 = (0 \text{ m/s})(6,4 \times 10^{-9} \text{ s}) + \frac{1}{2} (2,0 \times 10^{13} \text{ m/s}^2)(6,4 \times 10^{-9} \text{ s})^2$$

$$\Delta \vec{d} = 4,1 \times 10^6 \text{ m}$$



L'ÉLECTRICITÉ

APERÇU DU REGROUPEMENT

Dans le présent regroupement, l'élève approfondit son étude des circuits électriques, amorcée en 9^e année. L'induction d'un courant électrique sera aussi étudiée, ainsi que la production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba.

CONSEILS D'ORDRE GÉNÉRAL

En 9^e année, les élèves ont conceptualisé la résistance à l'aide du modèle particulaire de l'électricité. Ils ont décrit qualitativement la relation entre le courant, la tension et la résistance dans un circuit électrique simple, sans toutefois effectuer des calculs à partir de la loi d'Ohm. Les élèves ont aussi étudié le concept de différence de potentiel électrique. En physique 12^e, on s'attend que les élèves puissent effectuer des calculs avec la loi d'Ohm.

En 9^e année, les élèves ont construit des circuits simples en parallèle et en série. Ils ont aussi mesuré la différence de potentiel, le courant et la résistance à l'aide d'instruments. En physique 12^e, on s'attend que les élèves puissent construire des circuits plus complexes et faire une analyse quantitative de ces circuits.

En physique 11^e année, les élèves ont tracé des diagrammes de champs magnétiques. Ils ont aussi décrit de façon qualitative le champ magnétique autour d'un conducteur ainsi que le champ magnétique produit par un solénoïde. Au regroupement 2, on a introduit quantitativement le concept de différence de potentiel, qui sera approfondi lors de ce regroupement.



BLOCS D'ENSEIGNEMENT SUGGÉRÉS

Afin de faciliter la présentation des renseignements et des stratégies d'enseignement et d'évaluation, les RAS de ce regroupement ont été disposés en **blocs d'enseignement**. À souligner que, tout comme le regroupement lui-même, les blocs d'enseignement ne sont que des pistes suggérées pour le déroulement du cours de physique. L'enseignant peut choisir de structurer son cours et ses leçons en privilégiant une autre approche. Quoi qu'il en soit, les élèves doivent réussir les RAS prescrits par le Ministère pour la physique 12^e année.

Outre les RAS propres à ce regroupement, plusieurs RAS transversaux de la physique 12^e année ont été rattachés aux blocs afin d'illustrer comment ils peuvent s'enseigner pendant l'année scolaire.

	Titre du bloc	RAS inclus dans le bloc	Durée suggérée
Bloc A	Le courant électrique	P12-3-01, P12-0-2c,	60 à 90 min
Bloc B	La loi d'Ohm	P12-3-02, P12-0-1a, P-12-0-1b, P12-0-1c, P12-0-1d	140 à 160 min
Bloc C	La résistance	P12-3-03, P12-0-2e, P12-0-2g	120 à 140 min
Bloc D	Les circuits électriques	P12-3-04, P12-3-05, P12-3-06, P12-0-2d, P12-0-4a	120 à 140 min
Bloc E	L'induction électromagnétique	P12-3-07, P12-3-08, P12-3-09, P12-3-10, P12-0-2c	120 à 140 min
Bloc F	Les génératrices à courant alternatif	P12-3-11, P12-3-12, P12-0-3b	60 à 90 min
Bloc G	Les transformateurs	P12-3-13, P12-3-14	60 à 90 min
Bloc H	L'électricité au Manitoba	P12-3-15, P12-0-2i, P12-0-3c, P12-0-4d	120 à 140 min
	<i>Récapitulation et objectivation pour le regroupement en entier</i>		100 à 120 min
	Nombre d'heures suggérées pour ce regroupement		24 à 32 h



Ressources éducatives pour l'enseignant

Vous trouverez ci-dessous une liste de ressources éducatives qui se prêtent bien à ce regroupement. Il est possible de se procurer la plupart de ces ressources à la Direction des ressources éducatives françaises (DREF) ou de les commander auprès du Centre des manuels scolaires du Manitoba (CMSM).

[R] indique une ressource recommandée

LIVRES

Éléments de physique: cours d'introduction, de David G. Martindale et Lise Malo, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (1992). ISBN 2-89310-085-6. DREF 530/M384e.

Éléments de physique: cours d'introduction – Guide d'enseignement, de David G. Martindale, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (1994). ISBN 2-89310-173-9. DREF 530/M384e.

En quête des phénomènes électriques (Module 2), de Louis Daigle, collection Sciences physiques 416-436, Éd. HRW (1991). ISBN 0-03-926757-1. DREF 530 D827e 02.

En quête – Guide d'enseignement, Module 2, de Louis Daigle, Éd. HRW(1992). ISBN 0-03-926758-X. DREF 530 G827e 02. [beaucoup d'articles et d'activités]

[R] **L'enseignement des sciences de la nature au secondaire : Une ressource didactique**, d'Éducation et Formation professionnelle Manitoba (2000). ISBN 0-7711-2139-3. DREF PD. CMSM 93965. [stratégies de pédagogie différenciée]

Physique 2 – Électricité et magnétisme, de Harris Benson et autres, Éd. du Renouveau pédagogique (1999). ISBN 2-7613-1041-2. DREF 530 B474p 02.

[R] **Physique 11 – Guide d'enseignement (avec réponses sur cédérom)**, d'Igor Nowikow et Brian Heimbecker, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (2002). ISBN 2-89310-873-3. DREF 530 N948p. CMSM 92898.

[R] **Physique 11 – Manuel de l'élève**, d'Igor Nowikow et Brian Heimbecker, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (2002). ISBN 2-89310-872-5. DREF 530 N948p. CMSM 92303.

[R] **Physique 11-12 – Banque d'évaluation informatisée**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2009). ISBN 978-2-7650-2451-4. DREF 530 A82p.

[R] **Physique 11-12 – Banque d'images**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2009). ISBN 978-2-7650-2452-1. DREF 530 A82p. CMSM 96138.

[R] **Physique 11-12 – Guide d'enseignement 11^e année**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2007). ISBN 978-2-7650-1702-8. DREF 530 A82p. CMSM 96135.

[R] **Physique 11-12 – Guide d'enseignement 12^e année**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2007). ISBN 978-2-7650-1975-6. DREF 530 A82p. CMSM 96136.



- [R] **Physique 11-12 – Manuel de l'élève**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2008). ISBN 978-2-7650-1703-5. DREF 530 A82p. CMSM 97717.
- [R] **Physique 11-12 – Recueil de solutions**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2009). ISBN 978-2-7650-2453-8. DREF 530 A82p. CMSM 96137.
- [R] **Physique 12 – Guide d'enseignement**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615488. DREF 530 H669p 12. CMSM 92899.
- [R] **Physique 12 – Manuel de l'élève**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615341. DREF 530 H669p 12. CMSM 92681.
- [R] **Physique 12 – Matériel reproductible**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615495. DREF 530 H669p 12. CMSM 92863.
- [R] **Physique 12 – Solutionnaire**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615501. DREF 530 H669p 12. CMSM 92864.
- La physique et le monde moderne**, d'Alan Hirsch et Michèle Lemaître, Éd. Guérin (1991). ISBN 2-7601-2400-2. DREF 530.0202/H669p.
- Principes fondamentaux de la physique: un cours avancé**, de Martindale, Heath et Eastman, Éd. Guérin (1992). ISBN 2-7601-2445-2. DREF 530 M384p.
- L'histoire de l'électricité au Manitoba**, de Manitoba Hydro. DREF 354.49097127 E38.
[50 pages illustrées; gratuit]
- [R] **La sécurité en sciences de la nature : Un manuel ressource**, d'Éducation et Formation professionnelle Manitoba (1999). ISBN 0-7711-2136-9. DREF P.D. CMSM 91719.

AUTRES IMPRIMÉS

L'Actualité, Éditions Rogers Media, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE. [revue publiée 20 fois l'an; articles d'actualité canadienne et internationale]

Ça m'intéresse, Prisma Presse, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; beaucoup de contenu STSE; excellentes illustrations]

Découvrir : la revue de la recherche, Association francophone pour le savoir, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE [revue bimestrielle de vulgarisation scientifique; recherches canadiennes]

Fiches de renseignements sur les centrales de Manitoba Hydro, Manitoba Hydro. [Brandon, Dorsey, Grand Rapids, Great Falls, Jenpeg, Kelsey, Kettle, Limestone, Long Spruce, McArthur, Fleuve Nelson, Pine Falls, Radisson, Seven Sisters, Selkirk, rivière Winnipeg; distribution gratuite]



Pour la science, Éd. Bélin, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE [revue mensuelle; version française de la revue américaine *Scientific American*]

La production de l'électricité, Manitoba Hydro. [brochure gratuite de 12 pages]

La province de l'hydroélectricité, Manitoba Hydro. [brochure au sujet de réseaux de production, de transport et de distribution de l'électricité; distribué gratuitement]

[R] **Québec Science**, La Revue Québec Science, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE. [revue publiée 10 fois l'an]

[R] **Science et vie junior**, Excelsior Publications, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; excellente présentation de divers dossiers scientifiques; explications logiques avec beaucoup de diagrammes]

[R] **Science et vie**, Excelsior Publications, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; articles plus techniques]

Sciences et avenir, La Revue Sciences et avenir, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; articles détaillés] <www.sciences-et-avenir.com>

VIDÉOCASSETTES ET DVD

Cas d'urgence à Manitoba Hydro : lignes CCHT, Manitoba Hydro (1996). [35 min; description de la tempête du 5 septembre 1996 dans les environs de Grosse Isle et des dommages encourus par le réseau de transmission en courant continu à haute tension de Manitoba Hydro; comprend des entrevues avec des employés de Manitoba Hydro qui ont su maîtriser la situation]

Électricité, TVOntario (1988). [6 épisodes de 10 min; cette série aborde les principes essentiels de l'électrostatique et de l'électricité dynamique par le biais du dessin animé. Les trois premières émissions sur l'électrostatique examinent les concepts de charge par contact et par induction. Les trois dernières, portant sur l'électricité dynamique, illustrent des notions telles que la charge électrique, le courant, la différence de potentiel et la résistance.]

L'électricité et le magnétisme, collection Science physique (1985). DREF JHCR/V7561. [15 min, applications pratiques de la relation entre l'électricité et le magnétisme]

Électricité courante et statique, collection Science physique, Prod. Coronet (1985). DREF JHDR / V7560. [16 min; charges par induction; applications électrostatiques; comparaisons entre charges statiques et courant électrique]

Énergie, collection In situ (2002). DREF 67248/V0868. [50 min; 13 films de courte durée : Réfrigérateur, Moteur à explosion, Turboréacteur, Four à micro-ondes. Combustion et chaleur, Biocarburant, Transformation d'énergie, Énergie renouvelable, Panneau solaire, Centrale électrique, Fission thermonucléaire, Fusion thermonucléaire, Combustible nucléaire]



L'histoire de Limestone : l'énergie venant du nord, Manitoba Hydro (1993). [18 min; planification et construction de l'un des plus importants projets hydroélectriques entrepris au Manitoba – comprend des illustrations et des séquences animées]

Pour électrons seulement, Prod. Hydro-Québec (1986). ISBN 255017223X. DREF 42890 / V8775. [24 min; nature et production de l'électricité; courant, centrales et turbines, champ magnétique, électroaimants; guide pédagogique]

Pour en savoir plus sur l'hydroélectricité, Hydro-Québec (1993). DREF 42889 / V4111. [17 min; construction d'un barrage, assemblage d'un groupe turbine, alternateur; montre la construction d'un barrage et la production de l'électricité]

La production de l'électricité, Manitoba Hydro (1998). DREF 47072 / V6612. [28 min; 1^{re} partie : la production de l'électricité à partir du monde subatomique jusqu'à la centrale hydro-électrique; 2^e partie : acheminement de l'électricité grâce au réseau de lignes de Manitoba Hydro]

MATÉRIEL DIVERS

Multimètre économique. DREF M.-M. 621.37 M961.

Multimètre de luxe. DREF M.-M. 621.37 M961.

DISQUES NUMÉRISÉS ET LOGICIELS

Physique 12 – Banque de questions informatisées, Éditions Beauchemin (2002). ISBN 9782761615518. DREF 530 H669p 12.

Évalutel Sciences Physiques. Électricité, de Charles Chahine et autres, Prod. Evalutel Multimédia (1997). ISBN 291229102X. DREF CD-ROM 537 E92.

La physique par l'expérience : simulations, Prod. Sciensoft (1998), DREF CD-ROM 530 S416.

SITES WEB

Agence Science-Press. <<http://www.sciencepresse.qc.ca>> (novembre 2000). [excellent répertoire des actualités scientifiques issues de nombreuses sources internationales; dossiers très informatifs]

Analogies sur les circuits électriques. <<http://mendeleiev.cyberscol.qc.ca/carrefour/rescol2000/circuits/alb1-analogies.html>> (juillet 2009). [site qui comprend plusieurs analogies conçues par des élèves]



Animations en sciences physiques – électromagnétisme.

<<http://dmentrard.free.fr/GEOGEBRA/Sciences/accueilsctie.htm>> (juillet 2009). [série d'animation sur les concepts d'électromagnétisme]

Animations en sciences physiques – électrostatique, électricité et électronique.

<<http://dmentrard.free.fr/GEOGEBRA/Sciences/accueilsctie.htm>> (juillet 2009). [série d'animations sur les circuits électriques]

Association canadienne de l'électricité. <<http://www.electricity.ca/accueil.php?lang=fr>> (juillet 2009). [site Web; actualités, technologies, enjeux environnementaux, entreprises membres]

Calculs d'intensité et de tension.

http://www.sciences.univnantes.fr/physique/perso/gtulloue/Elec/Circuits/calcul_circuit.html> (juillet 2009). [exercices - circuits électriques]

Champ magnétique d'un courant électrique. <http://www.walter-fendt.de/ph14f/mfwire_f.htm> (juillet 2009). [animation]

Les circuits électriques. <<http://www.fsg.ulaval.ca/opus/scphys4/module2/obj3.shtml>> (juillet 2009). [information et exercices]

Circuits simples en courant alternatif. <http://www.walter-fendt.de/ph14f/accircuit_f.htm> (juillet 2009). [animation]

Effets macroscopiques de la loi de Lenz. <<http://rleb07.free.fr/culture/lenz.html>> (juillet 2009).

Électromagnétisme.

<http://www.learnalberta.ca/content/sfp30/html/authorware/Web/EM_Web/index.html> (juillet 2009). [animation, règles de la main gauche et de la main droite].

Force agissant sur un fil.

<http://www.learnalberta.ca/content/sfp30/html/authorware/Web/FoW_Web/index.html> (juillet 2009). [force électromagnétique]

Force s'exerçant sur une charge.

<http://www.learnalberta.ca/content/sfp30/html/authorware/Web/FoC_Web/index.html> (juillet 2009). [En utilisant les règles de la main, permet d'explorer la direction de la force qui agit sur une particule chargée lorsqu'elle passe dans un champ magnétique].

Générateur. <http://www.walter-fendt.de/ph14f/generator_f.htm> (juillet 2009). [animation]

[R] **Hydro Manitoba.** <<http://www.hydro.mb.ca/francais/>> (juillet 2009).

L'intensité. <<http://olical.free.fr/intintro.swf>> (juillet 2009). Explication du courant électrique à l'aide d'une analogie. Exercices]



L'intensité du courant électrique. <<http://phys.free.fr/intensi.htm>> (juillet 2009). [animations et exercices]

[R] **Loi d'Ohm.** <http://www.walter-fendt.de/ph14f/ohmslaw_f.htm> (juillet 2009). [animation]

[R] **Loi de Lenz.** <<http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/electri/lenz.html>> (juillet 2009). [animation]

Loi de Lenz : Phénomène d'induction.

<http://www.educnet.education.fr/rnchimie/phys/electros_m/lenz/lenz.htm> (juillet 2009).

Moteur électrique. <http://www.walter-fendt.de/ph14f/electricmotor_f.htm> (juillet 2009). [animation]

La production de l'électricité.

<http://www.hydro.mb.ca/francais/corporate/facilities/gi_producing_electricity.shtml#howdoes> (juillet 2009).

Quelles sont les lampes allumées? <<http://olical.free.fr/allouet.swf>> (juillet 2012). [exercices sur les circuits électriques]

Schématisation. <<http://olical.free.fr/index2.htm>> (juillet 2012). [exercices de schématisation de circuits électriques]

La tension. <<http://olical.free.fr/tenintro.swf>> (juillet 2009). [Explication de la tension (différence de potentiel) à l'aide d'une analogie]

La tension électrique. <<http://phys.free.fr/tension.htm>> (juillet 2009). [animations, analogies et exercices]

Utiliser un multimètre. <<http://www.ideesmaison.com/Bricolage/Electricite/Appareils-de-mesure/Utiliser-un-multimetre.html>> (juillet 2009).

Volta électricité. <<http://www.volta-electricite.info/index.php?lng=fr>> (juillet 2009).

LIEUX ET ÉVÉNEMENTS

Manitoba Hydro, Winnipeg et autres endroits (Manitoba). [société d'état qui produit de l'hydroélectricité; visites guidées à diverses centrales]





RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES THÉMATIQUES

L'élève sera apte à :

- P12-3-01 décrire l'origine du courant conventionnel et comparer sa direction à la direction du flux d'électrons dans un conducteur;
RAG : C8
- P12-3-02 décrire des découvertes historiques ayant mené à la loi d'Ohm, entre autres la contribution de Gray, d'Ohm, de Joule et de Kirchhoff;
RAG : A4, B1
- P12-3-03 étudier la relation entre la résistance et la résistivité, la longueur, la coupe transversale et la température,
entre autres $R = \frac{\rho L}{A}$;
RAG : C2, C3, D4
- P12-3-04 construire des circuits électriques à partir de schémas pour des circuits en série, des circuits en parallèle et des circuits combinés,
entre autres le placement correct des ampèremètres et des voltmètres;
RAG : C3, D4, E4
- P12-3-05 calculer la résistance totale de résistances en série et en parallèle;
RAG : C2, D4
- P12-3-06 calculer la résistance, le courant, la tension et la puissance de circuits en série, de circuits en parallèle et de circuits combinés,
entre autres $P = IV$, $P = I^2R$, et $P = \frac{V^2}{R}$;
RAG : C2, D4
- P12-3-07 définir le flux magnétique ($\Phi = \vec{B}A$);
RAG : D4
- P12-3-08 démontrer de quelle façon une variation du flux magnétique induit une différence de potentiel électrique;
RAG : D4
- P12-3-09 calculer l'intensité du potentiel électrique induit dans des bobines au moyen de l'équation $V = \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t}$;
RAG : D4
- P12-3-10 énoncer la loi de Lenz et l'appliquer à des problèmes connexes;
RAG : C2, D4



- P12-3-11 décrire le fonctionnement d'une génératrice à courant alternatif;
RAG : D4
- P12-3-12 tracer un graphique du potentiel électrique en fonction de l'angle pour le cycle de courant alternatif;
RAG : C6, D4
- P12-3-13 décrire le fonctionnement d'un transformateur;
RAG : A5, D4
- P12-3-14 résoudre des problèmes au moyen du rapport de transformation de $\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$;
RAG : D4
- P12-3-15 décrire la production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba, entre autres les transformateurs survolteurs et dévolteurs, le transfert d'alimentation, le courant continu à haute tension.
RAG : A3, D4



Bloc A Le courant électrique

L'élève sera apte à :

P12-3-01 décrire l'origine du courant conventionnel et comparer sa direction à la direction du flux d'électrons dans un conducteur;

RAG : C8

P12-0-2c formuler des définitions opérationnelles de variables ou de concepts importants.

RAG : A2, C8

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Activer les connaissances antérieures des élèves sur le courant électrique en leur posant les questions suivantes:

- *Quel est le modèle du fluide unique de l'électricité?* (Un objet neutre est doté d'une quantité naturelle de fluide électrique. Un objet chargé contient soit trop de fluide ou pas assez.)
- *Quel est le modèle des deux fluides de l'électricité?* (Un objet neutre contient une quantité égale de chaque fluide, l'un étant positif, l'autre étant négatif. Un objet chargé contient plus de l'un ou de l'autre des deux fluides.)
- *Quel est le modèle particulière de l'électricité?* (Il existe deux types de particules : positives et négatives. Un objet chargé contient des particules de plus de l'un ou de l'autre des deux types.)
- *C'est quoi un courant électrique?* (Un courant électrique est un transfert continu de charges électriques.)

En 9^e année, les élèves ont étudié l'électrostatique ainsi que le modèle particulaire de l'électricité. Selon ce modèle, seules les charges négatives se déplacent dans un conducteur.

En quête

Enseignement direct – Le courant conventionnel et le courant électronique

Expliquer aux élèves que lorsque Benjamin Franklin propose son modèle de l'électricité à un fluide, il explique que le « fluide » électrique se déplace d'une région où il y a trop de fluide vers une région où il n'y a pas assez de fluide. Il appelle la région où il y a un excès de fluide la région positive, et celle où il y a un manque de fluide, la région négative. Selon cette théorie, l'électricité se déplace d'une région positive vers une région négative. On appelle ceci le « courant conventionnel ». Ce n'est que plusieurs années plus tard qu'on découvre que ce sont les électrons qui se déplacent dans les conducteurs métalliques. Ce mouvement se nomme « courant électronique » ou « flux d'électrons ». Plusieurs textes de physique utilisent encore le courant conventionnel et un ensemble correspondant de règles de la main droite. Chaque système permet d'expliquer la relation entre l'électricité et le magnétisme.



En fin



Inviter les élèves à consolider leur compréhension des termes suivants au moyen du procédé tripartite (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.9, 10.10 et 10.22): *courant électronique, courant conventionnel*.



Stratégies d'évaluation suggérées



Inviter les élèves à relever, à l'aide d'un cadre de comparaison, les ressemblances et les différences entre le courant conventionnel et le courant électrique (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.15-10.18 et p. 10.24).



Bloc B La loi d'Ohm

L'élève sera apte à :

- P12-3-02** décrire des découvertes historiques ayant mené à la loi d'Ohm, entre autres la contribution de Gray, d'Ohm, de Joule et de Kirchhoff;
RAG : A4, B1
- P12-0-1a** expliquer le rôle que jouent les théories, les données et les modèles dans l'élaboration de connaissances scientifiques;
RAG : A2
- P12-0-1b** décrire l'importance de la revue par des pairs dans l'évaluation et l'acceptation de théories, de données et d'affirmations;
RAG : A4, B1
- P12-0-1c** rattacher l'historique des idées scientifiques et de la technologie à la forme et à la fonction du savoir scientifique actuel;
RAG : B1
- P12-0-1d** décrire comment des connaissances scientifiques évoluent à la lumière de nouvelles données et à mesure que de nouvelles idées et de nouvelles interprétations sont avancées.
RAG : A1, A2

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Activer les connaissances antérieures des élèves sur la résistance en les invitant à répondre aux questions à choix multiples suivantes :

- a) *Dans un circuit où la résistance est la même, le courant augmente si...*
- la tension augmente*
 - la tension diminue*
 - l'énergie est la même*
- b) *Dans un circuit où la tension est la même, le courant augmente si...*
- la résistance augmente*
 - la résistance diminue*
 - la résistance est la même*

En 9^e année, les élèves ont conceptualisé la résistance à l'aide du modèle particulière de l'électricité. Ils ont décrit qualitativement la relation entre le courant, la tension et la résistance dans un circuit électrique simple, sans toutefois effectuer des calculs à partir de la loi d'Ohm. Les élèves ont aussi étudié le concept de différence de potentiel électrique. En physique 12^e, on s'attend que les élèves puissent effectuer des calculs avec la loi d'Ohm.



- c) Dans un circuit, la luminosité des ampoules est un indice de...
- l'énergie électrique produite par les ampoules qui perdent leurs électrons.
 - l'énergie produite par les ampoules à partir de l'énergie potentielle des électrons
 - l'énergie chimique que les ampoules transforment en énergie électrique

OU

2

Construire des circuits qui contiennent les éléments suivants :

- a) une ampoule et une pile;
- b) une ampoule et deux piles;
- c) deux ampoules et une pile.

Inviter les élèves à formuler des questions ou des énoncés sur ces circuits en utilisant les termes suivants : *intensité du courant, tension, résistance et énergie potentielle.*

En quête

Recherche – Les travaux de Gray et de Cavendish

Inviter les élèves à s'informer sur les contributions de divers scientifiques qui ont contribué à notre compréhension de l'électricité (voir ☞ l'annexe 1). Mener des démonstrations ou inviter les élèves à poursuivre quelques-unes des expériences de Stephen Gray (voir ☞ l'annexe 2).

Expérience – La loi d'Ohm et de Joule

Proposer aux élèves de reprendre les expériences d'Ohm et de Joule (voir ☞ l'annexe 3 et ☞ l'annexe 4). Leur indiquer qu'ils doivent compléter un rapport d'expérience (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.28, 11.29, 11.38 et 11.39).

Enseignement direct – les travaux de Kirchhoff

Présenter aux élèves les travaux de Kirchhoff. Des renseignements pour l'enseignant figurent à ☞ l'annexe 5. Inviter les élèves à expliquer le raisonnement de Kirchhoff dans leurs propres mots.

On aborde souvent la loi d'Ohm en effectuant des expériences où l'on trace des graphiques de la différence de potentiel en fonction du courant. La pente de la droite donne la résistance et on peut donc établir la loi d'Ohm. Il s'agit ici d'un raisonnement circulaire puisque le voltmètre est calibré en fonction de la loi d'Ohm. Une représentation plus précise est l'approche historique qui débute avec la démonstration de Gray de la conduction électrique. Elle continue avec la découverte d'Ohm que le courant est inversement proportionnel à la résistance, le lien que fait Joule entre la puissance électrique et le courant et la résistance, et se termine avec la synthèse de Kirchhoff de l'électrostatique et des travaux d'Ohm et de Joule. Une fois que le développement historique de la loi d'Ohm est terminé, on peut effectuer les expériences traditionnelles de la loi d'Ohm, qui ne sont pas une preuve de cette loi, mais qui sont utiles car les élèves pratiquent la construction de circuits et l'utilisation de voltmètres et d'ampèremètres. Il est possible aussi d'utiliser une simulation telle que celle sur le site Internet : http://www.walter-fendt.de/ph14f/ohmslaw_f.htm

Résolution de problèmes – la loi d'Ohm

Inviter les élèves à résoudre des problèmes reliés à la loi d'Ohm (voir *Physique 11*, p. 576). Réviser les problèmes avec les élèves pour vérifier leur compréhension. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.



En fin

❶

Inviter les élèves à expliquer la relation entre la différence de potentiel, le courant et la résistance dans leur carnet scientifique.

OU

❷

Inviter les élèves à consacrer une page de leur carnet scientifique aux formules de physique et à y inscrire la formule : $R = \frac{V}{I}$

Stratégies d'évaluation suggérées

❶

Évaluer le rapport d'expérience des élèves à l'aide d'une grille d'évaluation (voir  l'annexe 18 du regroupement 1). Porter une attention particulière à la présentation des données et à l'interprétation des régularités et des tendances dans les données.

❷

Évaluer les habiletés en laboratoire des élèves (voir les  annexes 19 et 20 du regroupement 1).

❸

Inviter les élèves à compléter le tableau de  l'annexe 6.



Bloc C La résistance

L'élève sera apte à :

P12-3-03 étudier la relation entre la résistance et la résistivité, la longueur, la coupe transversale et la température,

$$\text{entre autres } R = \frac{\rho L}{A},$$

RAG : C2, C3, D4

P12-0-2e évaluer la pertinence, la fiabilité et l'adéquation de données et de méthodes de collecte de données,

entre autres les sources d'erreur et l'écart dans les résultats;

RAG : C5, C8

P12-0-2g Inférer et calculer des relations directes, des relations proportionnelles au carré et des relations inversement proportionnelles entre des variables à l'aide de modèles mathématiques.

RAG : C3, C8

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

1

Inviter les élèves à comparer un tuyau d'eau à un circuit électrique. Les questions suivantes peuvent servir de guide :

- *Dans un tuyau, qu'est-ce qui cause le débit de l'eau? Dans un circuit électrique, qu'est-ce qui cause le débit des électrons?*
- *Quel serait l'effet d'une augmentation de la longueur d'un tuyau sur le débit de l'eau? Quel serait l'effet d'une augmentation de la longueur d'un conducteur sur le mouvement des électrons?*
- *Quel serait l'effet d'une augmentation du diamètre du tuyau sur le débit de l'eau? Quel serait l'effet d'une augmentation de la section transversale d'un conducteur sur le mouvement des électrons?*

La résistance d'un conducteur électrique dépend de plusieurs facteurs :

- la résistivité : La résistivité, représentée par la lettre grecque ρ , dépend du type de matière ainsi que de la température. À des températures plus élevées, les atomes se déplacent plus rapidement, donc causent plus d'interférence au mouvement des charges.
La résistivité est une indication de la résistance de la matière au mouvement de charges. On la représente par l'unité $\Omega \cdot m$.
- La longueur : la résistance est directement proportionnelle à la longueur d'un conducteur. Les charges doivent se déplacer à travers une plus grande quantité de matière si le conducteur est plus long. La longueur est mesurée en mètres.
- La section transversale : Un conducteur avec une plus grande section transversale est moins résistant au mouvement de la charge qu'un conducteur avec une section transversale moins grande. Il y a plus d'espace pour permettre aux charges de se déplacer. La section est mesurée en m^2 .

On combine ces facteurs pour déterminer la résistance de tout conducteur: $R = \frac{\rho L}{A}$.



En quête

Expérience – La relation entre la longueur d'un conducteur et sa résistance

Proposer aux élèves de concevoir et mener une expérience de laboratoire afin de déterminer la relation entre la longueur d'un conducteur et sa résistance ou la relation entre la section transversale d'un conducteur et sa résistance (voir  l'annexe 7). Des renseignements pour l'enseignant figurent à  l'annexe 8. On peut déterminer la résistance à l'aide de la loi d'Ohm ($R = \frac{V}{I}$).

En fin

①

Inviter les élèves à inscrire la formule de résistivité dans leur carnet scientifique.

OU

②

Inviter les élèves à essayer les expériences conçues par d'autres élèves afin de vérifier leur démarche, leurs allégations et leurs preuves.

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à résoudre des problèmes à l'aide de la formule de résistivité (voir *Physique 11*, p. 558).

②

Afin de fournir des observations aux élèves en ce qui concerne leur méthodologie expérimentale, utiliser *l'échelle d'évaluation de la méthodologie expérimentale* (voir  l'annexe 9).

③

Évaluer les habiletés de laboratoire des élèves à l'aide des  annexes 19 et 20 du regroupement 1.



Bloc D Les circuits électriques

L'élève sera apte à :

- P12-3-04** construire des circuits électriques à partir de schémas pour des circuits en série, des circuits en parallèle et des circuits combinés,
entre autres le placement correct des ampèremètres et des voltmètres;
RAG : C3, D4, E4
- P12-3-05** calculer la résistance totale de résistances en série et en parallèle;
RAG : C2, D4
- P12-3-06** calculer la résistance, le courant, la tension et la puissance de circuits en série, de circuits en parallèle et de circuits combinés,
entre autres $P = IV$, $P = I^2R$, et $P = \frac{V^2}{R}$;
RAG : C2, D4
- P12-0-2d** estimer et mesurer avec exactitude, en utilisant les unités du Système international (SI);
RAG : C4, C6
- P12-0-4a** faire preuve d'habitudes de travail qui tiennent compte de la sécurité personnelle et collective, et qui témoignent de son respect pour l'environnement.
RAG : C1, C2

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Activer les connaissances antérieures des élèves sur les circuits électriques en les invitant à compléter l'exercice de ① l'annexe 10 (le corrigé figure à ① l'annexe 11). Réviser les problèmes avec les élèves pour vérifier leur compréhension. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

En 9^e année, les élèves ont construit des circuits simples en parallèle et en série. Ils ont aussi mesuré la différence de potentiel, le courant et la résistance à l'aide d'instruments. La formule pour la puissance ($P = VI$) a été introduite en 9^e année. En physique 12^e, on s'attend que les élèves puissent construire des circuits plus complexes et faire une analyse quantitative de ces circuits.



En quête

Construction de circuits

Inviter les élèves à construire une variété de circuits à partir de schémas. Des renseignements au sujet des appareils de mesure figurent à  l'annexe 12. Lorsqu'ils sont confortables avec la construction de circuits, proposer aux élèves d'effectuer des expériences afin de déterminer les rapports entre le courant, la différence de potentiel et la résistance pour des circuits en série et en parallèle (voir  l'annexe 13 et  l'annexe 14, *Physique 11*, p. 579, *Éléments de physique*, p. 560-563 ou *Omnisciences 9*, p. 366 et 367). Demander aux élèves de préparer un rapport d'expérience qui présente un tableau de données et une analyse de leurs données.

Exercice – analyse de circuits

Inviter les élèves à faire des calculs pour le courant, la différence de potentiel, la résistance et la puissance de circuits en série, de circuits en parallèle et de circuits combinés (voir *Physique 11*, p. 559-569). Un exemple d'analyse de circuit figure à  l'annexe 15. Expliquer aux élèves que la loi de la puissance électrique ($P = VI$) peut être combinée avec la loi d'Ohm pour produire deux autres équations ($P = I^2R$, $P = \frac{V^2}{R}$) qui sont très utiles lorsqu'on fait l'analyse de circuits. Réviser les problèmes avec les élèves pour vérifier leur compréhension. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

En fin

1

Inviter les élèves à relever, à l'aide d'un cadre de comparaison, les ressemblances et les différences entre les circuits en série et les circuits en parallèle (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.15-10.18 et 10.24).

OU

2

Inviter les élèves à créer leurs propres problèmes pour le courant, la différence de potentiel, la résistance et la puissance de circuits en série, de circuits en parallèle et de circuits combinés. Inviter les élèves à s'échanger leurs problèmes.

Stratégies d'évaluation suggérées

1

Évaluer le rapport d'expérience des élèves à l'aide d'une grille d'évaluation (voir  l'annexe 18 du regroupement 1). Porter une attention particulière à l'organisation, à la présentation et à l'analyse des données.

2

Évaluer les habiletés en laboratoire des élèves (voir les  annexes 19 et 20 du regroupement 1).

3

Inviter les élèves à compléter le test de  l'annexe 16. Le corrigé figure à  l'annexe 17.



Bloc E L'induction électromagnétique

L'élève sera apte à :

- P12-3-07** définir le flux magnétique ($\Phi = \vec{B}A$);
RAG : D4
- P12-3-08** démontrer de quelle façon une variation du flux magnétique induit une différence de potentiel électrique;
RAG : D4
- P12-3-09** calculer l'intensité du potentiel électrique induit dans des bobines au moyen de l'équation
$$V = \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t};$$

RAG : D4
- P12-3-10** énoncer la loi de Lenz et l'appliquer à des problèmes connexes;
RAG : C2, D4
- P12-0-2c** formuler des définitions opérationnelles de variables ou de concepts importants.
RAG : A2, C8

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Inviter les élèves à discuter la question suivante :

Nous avons vu en Physique 11^e année qu'un courant électrique produit un champ magnétique et qu'un champ magnétique exerce une force sur un courant électrique ou sur une charge électrique en mouvement. Serait-il donc possible de produire un courant électrique à l'aide d'un champ magnétique? Comment?

En physique 11^e année, les élèves ont tracé des diagrammes de champs magnétiques.

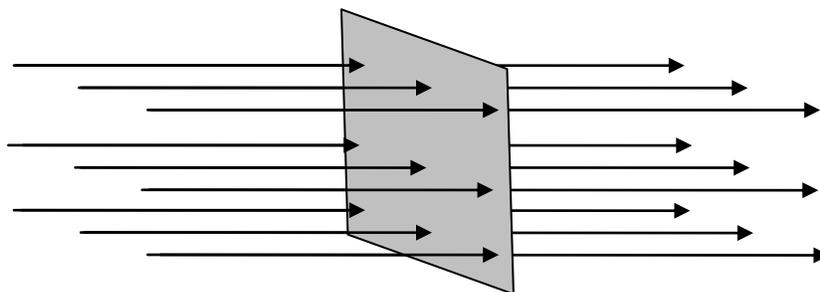


En quête

Enseignement direct – Le flux magnétique

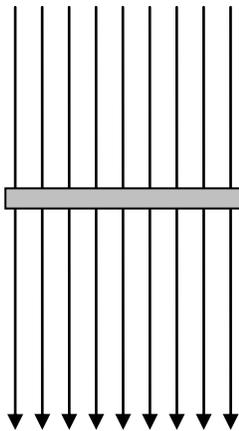
Expliquer aux élèves que le flux magnétique (Φ) représente le nombre de lignes de force magnétique qui traversent une surface donnée. Le nombre de lignes de force augmente si le champ augmente en intensité ou si la surface traversée par les lignes augmente en superficie. En termes mathématiques, on peut dire que $\Phi = B \perp A$ (B est mesuré en tesla et A en mètres carré) lorsque les lignes de champ traversent une surface à un angle de 90° . L'unité du SI pour le flux magnétique est le weber (Wb).

Dans le diagramme suivant, 9 lignes de champ magnétique traversent la surface à un angle de 90° .



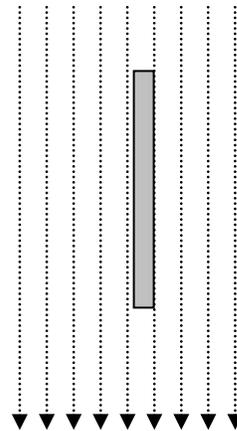
Voyons ce diagramme d'un autre angle. Lorsque le rectangle est perpendiculaire au champ magnétique, on voit clairement les 9 lignes de champ qui le traversent. Lorsqu'il est placé à un angle, le nombre de lignes de champ qui le traversent diminue. Lorsque le rectangle est parallèle au champ magnétique, aucune ligne de champ ne le traverse.

**lignes de force
perpendiculaires
à la surface**

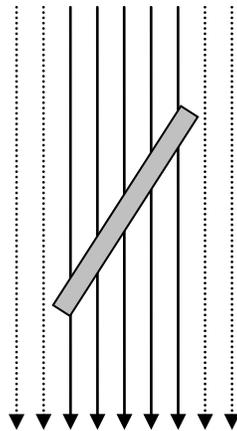


**9 lignes traversent
la surface**

**lignes de force
parallèles
à la surface**

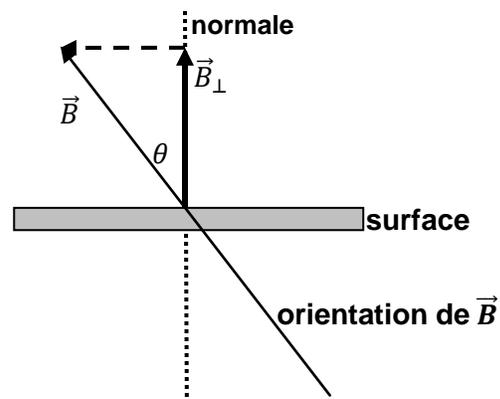
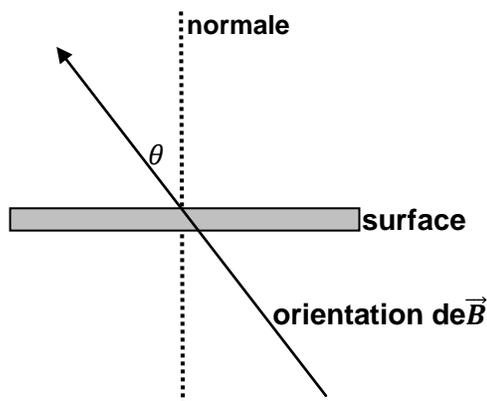


**0 lignes traversent
la surface**



**5 lignes traversent
la surface**

Lorsque les lignes de champ magnétique ne traversent pas une surface à un angle de 90° , seulement une partie du champ magnétique contribue au flux magnétique.



Dans la figure ci-haut, on peut voir la composante du champ magnétique qui est perpendiculaire à la surface. En utilisant la fonction du cosinus, on peut calculer la valeur du champ magnétique qui contribue au flux magnétique. On peut donc utiliser la formule $\Phi = BA \cos \theta$ (θ est l'angle entre le champ magnétique et la normale de la surface) pour calculer le flux magnétique.



Activité – L'induction électromagnétique

Inviter les élèves à brancher un solénoïde à un galvanomètre et à faire glisser un aimant droit à l'intérieur et à l'extérieur du solénoïde. Le potentiel électrique induit crée un courant qui peut être détecté avec le galvanomètre. Inviter les élèves à observer le résultat de différents mouvements avec l'aimant, par exemple déplacer l'aimant plus rapidement, placer le pôle sud en premier dans le solénoïde, sortir l'aimant, faire pénétrer l'aimant, déplacer le solénoïde au lieu de l'aimant, etc. (voir *Physique 11*, p. 629-630 ou *Physique 11-12*, p. 612). Demander aux élèves de noter leurs observations dans leur carnet scientifique. On peut aussi faire des observations à partir de simulations, par exemple celle sur le site *Web Loi de Lenz*:

<<http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/electri/lenz.html>> (Si l'aimant ne bouge pas, aucun courant n'est produit. Plus l'aimant se déplace rapidement, plus le courant induit est élevé. Inverser le pôle de l'aimant inverse aussi la direction du courant induit. Un courant est induit si on déplace l'aimant ou si on déplace le solénoïde.). Expliquer aux élèves qu'un courant est induit lorsqu'il y a une variation du flux magnétique. Il y a trois façons de faire varier le flux magnétique (voir ☺ l'annexe 18 pour des renseignements supplémentaires) :

1. faire varier le champ magnétique;
2. faire varier l'aire de la boucle;
3. changer l'angle entre le champ magnétique et la boucle.

Inviter les élèves à compléter l'exercice de ☺ l'annexe 19 (le corrigé figure à ☺ l'annexe 20). Réviser les problèmes avec les élèves pour vérifier leur compréhension. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

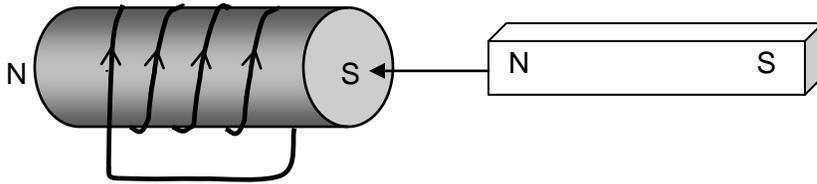
Enseignement direct – La loi de Faraday

Introduire la loi de Faraday aux élèves : *la différence de potentiel induite dans une bobine est directement proportionnelle au taux de variation du flux magnétique*. Pour un tour de bobine, $V = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

Si la bobine comprend N nombre de tours, $V = \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t}$. Si le taux de variation du flux est mesuré en webers/seconde, la différence de potentiel est mesurée en volts.

Expliquer aux élèves que la loi de Faraday permet de calculer la différence de potentiel induite dans une bobine. Cependant, elle ne nous permet pas de déterminer la direction de ce courant induit. La loi de Lenz nous permet de déterminer la direction d'un courant induit : *Le champ magnétique produit par un courant induit s'oppose toujours à la variation de flux qui le produit*. Ce phénomène est dû à la loi de conservation de l'énergie et signifie qu'un travail doit être effectué pour produire de l'énergie électrique dans un circuit. Si le champ magnétique était induit de façon à attirer l'aimant vers l'intérieur du solénoïde (voir l'illustration à la page qui suit), la vitesse de l'aimant augmenterait, ce qui créerait un courant plus intense, ce qui accroîtrait le champ magnétique induit, ce qui augmenterait la vitesse de l'aimant, et ainsi de suite. On pourrait donc produire de l'électricité sans travail, ce qui est impossible.



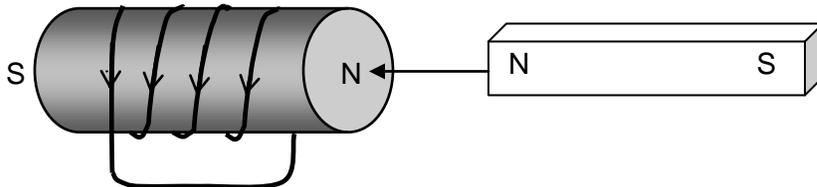


Le courant induit doit donc circuler de façon à créer un champ magnétique qui s'oppose au mouvement de l'aimant. Il faut donc effectuer un travail pour induire un courant. L'aimant perd de l'énergie en s'approchant du solénoïde et cette énergie est gagnée par le courant induit. Il n'y a donc ni perte, ni gain d'énergie.

C'est pour cela que l'on place un signe négatif devant la formule $\mathcal{V} = - \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t}$. On

peut ensuite déterminer la direction du courant induit en utilisant la règle de la main gauche (courant électronique) ou de la main droite (courant conventionnel).

Des exemples de problèmes sur la loi de Faraday et de Lenz figurent à l'annexe 21.



Inviter les élèves à compléter l'exercice de l'annexe 22 sur la loi de Faraday et la loi de Lenz (le corrigé figure à l'annexe 23). Réviser les problèmes avec les élèves pour vérifier leur compréhension. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

En fin

1

Inviter les élèves à ajouter les nouvelles formules à leur page consacrée aux formules de physique dans leur carnet scientifique.

OU

2

Inviter les élèves à utiliser le procédé tripartite (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.9, 10.10 et p. 10.22) afin de définir le flux magnétique.



Stratégies d'évaluation suggérées

❶

Ramasser les carnets scientifiques des élèves afin de vérifier leur compréhension des facteurs qui ont un effet sur un courant induit.

❷

Inviter les élèves à expliquer, à l'aide des lois de Faraday et de Lenz, leurs observations de l'activité avec le solénoïde et le galvanomètre.

❸

Inviter les élèves à compléter un test semblable aux exercices des  annexes 19 et 22.



Bloc F

Les génératrices à courant alternatif

L'élève sera apte à :

P12-3-11 décrire le fonctionnement d'une génératrice à courant alternatif;
RAG : D4

P12-3-12 tracer un graphique du potentiel électrique en fonction de l'angle pour le cycle de courant alternatif;
RAG : C6, D4

P12-0-3b décrire des exemples d'évolution de la technologie à la suite de progrès dans le savoir scientifique, et des exemples d'évolution du savoir scientifique résultant d'innovations technologiques.
RAG : A2, B2

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête



Faire allumer une ampoule à l'aide d'une génératrice manuelle. Poser les questions suivantes aux élèves :

- *Qu'arrive-t-il à l'ampoule si on tourne la manivelle plus rapidement? (L'intensité de la lumière augmente.)*
- *Quelle sorte d'énergie est convertie en énergie électrique? (L'énergie cinétique est convertie en énergie électrique.)*

S'il y a deux génératrices disponibles, les relier et inviter les élèves à expliquer pourquoi la manivelle d'une des génératrices tourne lorsqu'on tourne la manivelle de l'autre.

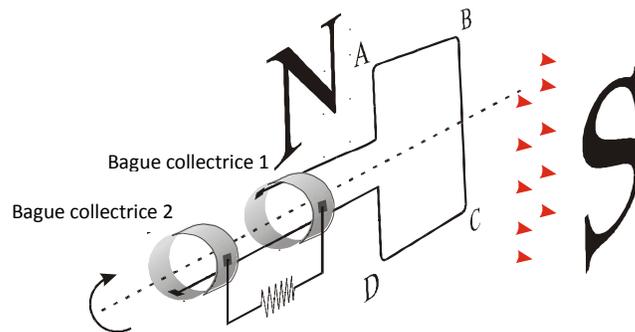


En quête

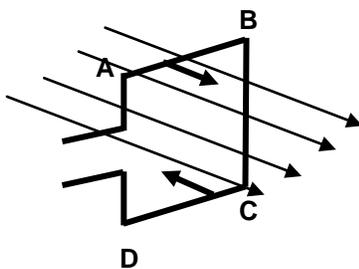
Enseignement direct – la génératrice à courant alternatif

Expliquer aux élèves comment fonctionne une génératrice à courant alternatif. Lorsqu'une bobine est en rotation dans un champ magnétique, elle « coupe » les lignes de champ à des angles différents et donc subit une variation de flux magnétique. Puisque la bobine est en rotation, son mouvement circulaire induit un courant électrique. Dans le diagramme ci-bas, l'armature (bobine de fil avec un noyau de fer doux) d'une génératrice à courant alternatif est représentée par une bobine rectangulaire aux côtés ABCD. Le côté AB est relié à la bague collectrice 1 et le côté CD est relié à la bague collectrice 2. Les bagues collectrices sont en contact avec des balais. Le circuit externe est connecté aux balais.

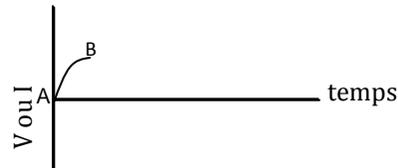
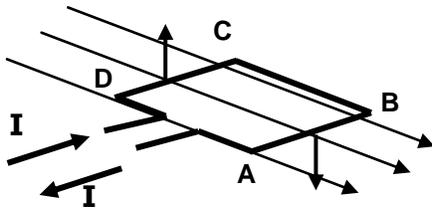
En général, les génératrices modernes tournent grâce à une action mécanique telle qu'une chute d'eau, le vent ou la vapeur.



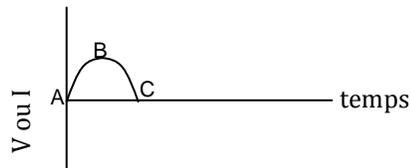
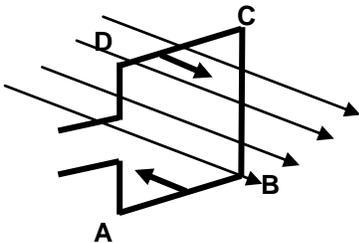
Lorsque la boucle est verticale comme sur l'illustration suivante, le courant est nul car le mouvement de la boucle est parallèle au champ magnétique. Aucune ligne de champ n'est coupée donc il n'y a pas de variation de flux magnétique.



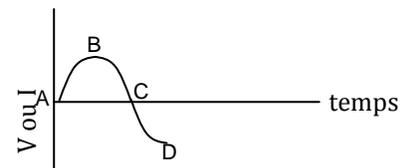
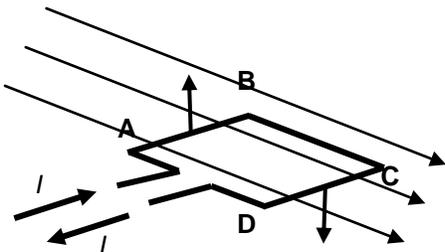
Lorsque la boucle tourne, les segments AB et CD coupent les lignes de champ magnétique et un potentiel est induit dans la boucle. Le courant induit passe d'une bague collectrice au balai puis dans le circuit externe pour revenir à l'autre balai et bague. Un circuit complet est formé. Puisque l'angle avec lequel les segments interagissent avec le champ magnétique varie, le potentiel induit varie aussi. La variation du flux magnétique atteint une intensité maximale lorsque la boucle est en position horizontale. Le potentiel est donc aussi à sa valeur maximum.



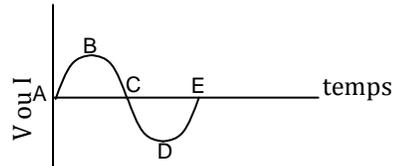
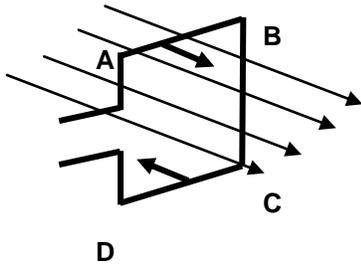
Quand la boucle continue à tourner, le flux diminue graduellement et est nul lorsque la boucle est verticale.



La boucle continue à tourner et le courant recommence à circuler, cette fois dans le sens opposé. Le flux est maximal lorsque la boucle est en position horizontale.

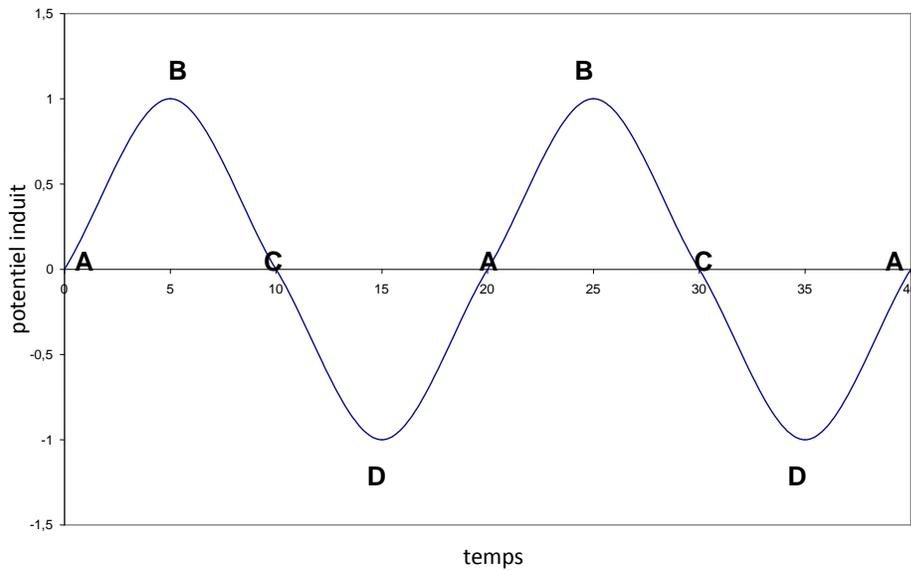


La boucle continue à tourner et le flux diminue graduellement. À la fin du premier tour, la bobine est à nouveau en position verticale et se déplace parallèlement aux lignes de champ magnétique. Le courant est donc nul. La boucle va continuer sa rotation grâce à l'action mécanique causée par le vent, l'eau ou la vapeur d'eau donc le cycle de courant induit se répète.



Un graphique du potentiel en fonction du temps donne une courbe sinusoïdale.

courbe sinusoïdale



En fin

①

Inviter les élèves à relever, à l'aide d'un cadre de comparaison (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p10.15-10.18 et p. 10.24), les ressemblances et les différences entre le moteur et la génératrice à courant alternatif.

OU

②

Inviter les élèves à faire une courte recherche afin d'identifier des technologies qui fonctionnent grâce à l'électromagnétisme (microphone, détecteur de métal, régulateurs automatiques de vitesse, train à sustentation magnétique, feux de circulation automatisés, cuisinière à induction, guitare électrique)

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à compléter l'exercice de  l'annexe 24. Le corrigé figure à  l'annexe 25.



Bloc G Les transformateurs

L'élève sera apte à :

P12-3-13 décrire le fonctionnement d'un transformateur;

RAG : A5, D4

P12-3-14 résoudre des problèmes au moyen du rapport de transformation de $\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$.

RAG : D4

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Activer les connaissances antérieures des élèves sur l'induction électromagnétique en leur posant la question suivante :

- *Comment peut-on varier l'intensité d'un champ magnétique induit? (On peut augmenter l'intensité du courant ou augmenter le nombre de tours de fil.)*

En 11^e année, les élèves ont décrit de façon qualitative le champ magnétique autour d'un conducteur. Les élèves ont aussi décrit de façon qualitative le champ magnétique produit par un solénoïde.

En quête

Enseignement direct – Le fonctionnement d'un transformateur

Expliquer aux élèves comment fonctionne un transformateur (voir 📄 l'annexe 26 ou *Physique 11*, p. 615 – 620). Les inviter à résoudre des problèmes au moyen du rapport de transformation de $\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$ (voir 📄 l'annexe 27 ou *Physique 11*, p. 620). Le corrigé de 📄 l'annexe 27 figure à 📄 l'annexe 28.



En fin

①

Inviter les élèves à noter cette nouvelle formule dans leur carnet scientifique.

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de  l'annexe 27.

②

Inviter les élèves à compléter un cadre de concept sur le transformateur (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p.11.20-11.22 et p. 11.36).



Bloc H L'électricité au Manitoba

L'élève sera apte à :

- P12-3-15** décrire la production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba, entre autres les transformateurs survolteurs et dévolteurs, le transfert d'alimentation, le courant continu à haute tension;
RAG : A3, D4
- P12-0-2i** sélectionner et intégrer de l'information obtenue à partir d'une variété de sources, entre autres imprimées, électroniques, humaines;
RAG : C6, C8
- P12-0-3c** relever des enjeux d'ordre social liés aux sciences et à la technologie, en tenant compte des besoins humains et environnementaux et des considérations éthiques;
RAG : B3, B5
- P12-0-4d** acquérir un sens de responsabilité personnelle et collective au regard de l'impact des êtres humains sur l'environnement, et prendre en considération les conséquences d'actions prévues sur la société et l'environnement.
RAG : B1, B2

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Inviter les élèves à visiter le site Web de Hydro Manitoba <<http://www.hydro.mb.ca/francais/>> afin de répondre aux questions suivantes :

- *Le Manitoba possède combien de centrales électriques? De ces centrales électriques, combien sont des centrales hydroélectriques?*
- *Quels sont les nouveaux projets de production d'électricité envisagés par Hydro Manitoba?*
- *Quelle est la première centrale hydroélectrique construite au Manitoba? Sur quelle rivière a-t-elle été construite?*
- *Quel type de courant est utilisé dans les lignes de transmission électrique d'Hydro Manitoba?*

OU

②

Inviter les élèves à lire le texte de  l'annexe 29. Leur proposer de créer une série de questions au sujet du texte. Inviter les élèves à trouver des images qui appuient le texte.



En quête

Recherche – L'électricité au Manitoba

Inviter les élèves à travailler en groupes afin de préparer un rapport sous forme de vidéo, d'affiche, de page Web, de présentation multimédia, d'article de journal ou de rapport technique pour décrire un aspect de la production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba. Déterminer les critères d'évaluation avec les élèves. Les critères devraient inclure des éléments touchant le contenu et la présentation. Voici des sujets que les élèves pourraient étudier : les lignes de tension à courant continu, le fonctionnement d'une centrale hydroélectrique, les enjeux environnementaux de la production et la transmission d'électricité au Manitoba. Des renseignements pour l'enseignant sur la production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba figurent à  l'annexe 29.

En fin

❶

Inviter les élèves à compléter une autoévaluation de leur travail de groupe à l'aide de la grille de  l'annexe 30.

OU

❷

Inviter les élèves à poursuivre une réflexion sur les enjeux reliés à la production de l'électricité au Manitoba en répondant à la question suivante dans leur carnet scientifique :

- *L'étude d'enjeux particuliers t'incitera-t-elle à changer certaines de tes habitudes de vie?*

Stratégies d'évaluation suggérées

❶

Pour vérifier l'acquisition des connaissances par les élèves, utiliser la stratégie des têtes numérotées (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 3.12).

❷

Évaluer les présentations à l'aide des critères élaborés avec les élèves.



Liste des annexes

Annexe 1 :	Les travaux de Gray et de Cavendish – Renseignements pour l'enseignant	3.38
Annexe 2 :	Les expériences de Stephen Gray	3.41
Annexe 3 :	L'expérience d'Ohm	3.44
Annexe 4 :	La puissance, la résistance et le courant.....	3.46
Annexe 5 :	Contribution de Kirchhoff – Renseignements pour l'enseignant	3.52
Annexe 6 :	Le développement historique de la loi d'Ohm	3.54
Annexe 7 :	Expérience – La résistance	3.55
Annexe 8 :	La résistance – Renseignements pour l'enseignant.....	3.56
Annexe 9 :	Échelle d'évaluation de l'expérience	3.57
Annexe 10 :	Exercice – Les circuits électriques simples.....	3.58
Annexe 11 :	Les circuits électriques simples – Corrigé	3.61
Annexe 12 :	Les circuits électriques – Renseignements pour l'enseignant	3.62
Annexe 13 :	Expérience – Les résistances en série	3.63
Annexe 14 :	Expérience – Les résistances en parallèle.....	3.65
Annexe 15 :	Analyse de circuits	3.67
Annexe 16 :	Test – Analyse de circuits électriques	3.74
Annexe 17 :	Analyse de circuits électriques – Corrigé.....	3.77
Annexe 18 :	Les travaux de Faraday et l'induction électromagnétique	3.84
Annexe 19 :	Exercice – L'induction électromagnétique.....	3.89
Annexe 20 :	L'induction électromagnétique – Corrigé	3.90
Annexe 21 :	La loi de Faraday – Renseignements pour l'enseignant	3.92
Annexe 22 :	Exercice - La loi de Faraday et la loi de Lenz	3.93
Annexe 23 :	La loi de Faraday et la loi de Lenz – Corrigé.....	3.96
Annexe 24 :	Exercice – La génératrice à courant alternatif	3.98
Annexe 25 :	La génératrice à courant alternatif – Corrigé.....	3.100
Annexe 26 :	Les transformateurs – Renseignements pour l'enseignant	3.101
Annexe 27 :	Exercice – Les transformateurs.....	3.103
Annexe 28 :	Les transformateurs – Corrigé	3.104
Annexe 29 :	La production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba – Renseignements pour l'enseignant.....	3.105
Annexe 30 :	Réflexion individuelle sur le travail de groupe	3.109



ANNEXE 1 : Les travaux de Gray et de Cavendish – Renseignements pour l'enseignant

Stephen Gray

Le physicien anglais Stephen Gray (1666-1736) démontre que tous les corps peuvent être électrisés, mais que les *non-électriques* sont en fait des **conducteurs** d'électricité. Il utilise aussi les termes « non-conducteurs » et « isolants ». Les métaux sont des conducteurs, tandis que les substances résineuses ou vitreuses sont des isolants.

Gray démontre qu'un conducteur, s'il est suspendu ou entouré d'un isolant, est capable de conserver une charge électrique. (On croyait avant que les conducteurs, les *non-électriques*, n'étaient pas électrisables, mais c'était parce qu'ils se déchargeaient aussitôt.)

Gray démontre aussi que si un conducteur électrisé entre en contact avec la « terre », il se décharge immédiatement (d'où la **mise à la terre**). La Terre est un objet immense avec lequel un objet peut partager sa charge électrique.

Gray propose que le transfert d'électricité à travers ou le long d'un conducteur est un **courant électrique**. Avec son collègue Granville Wheeler, il réussit à transférer les charges d'un bâton de verre électrisé sur une longueur de 100 m, par l'entremise d'un fil de cuivre suspendu par des boucles de soie. (La soie, un isolant, ne permet pas à l'électricité de « s'écouler » du fil métallique.)

Gray démontre aussi l'attraction électrostatique en suspendant un jeune garçon à l'horizontale à l'aide de fils isolants : lorsqu'on rapproche un bâton électrisé des pieds nus de l'enfant, des petits bouts de feuille métallique sont attirés à son visage et à ses mains.

Gray postule que le **fluide électrique** (*effluvium* ou *vertu électrique*) peut circuler librement dans un conducteur, mais qu'il ne circule pas facilement dans un isolant. Cependant, il ne peut pas comparer la conductivité de différents matériaux car il n'a pas d'instruments adéquats.

Henry Cavendish et le premier compteur d'électricité

En 1799, Cavendish conçoit une méthode de recherche qui lui permet de décrire qualitativement la conductivité de différents métaux. Il utilise une technique très simple qui consiste à décharger un appareil électrique par un fil relié à son propre corps. Cavendish applique un nombre de tours précis à sa machine électrostatique pour produire une charge identique à chaque essai et il parvient à classer correctement la conductivité des métaux en fonction de l'intensité des chocs produits par le générateur. Cavendish, dont les résultats n'ont jamais été publiés de son vivant, établit une comparaison qualitative de la résistance de différents matériaux aux effets du courant.



ANNEXE 1: Les travaux de Gray et de Cavendish – Renseignements pour l'enseignant (suite)

Ce type d'analyse qualitative constitue un passe-temps dans certains salons et cuisines du XVIII^e siècle comme on peut le voir sur des peintures illustrant des petits-enfants et des femmes se transmettant des chocs électriques générés par des machines électrostatiques à travers une résistance en forme de « chaîne humaine ». On a établi, dès le début, la relation existant entre la résistance et la longueur du conducteur. De plus, la distance de décharge et le choc physiologique ont pu être liés à l'intensité de la distribution de la charge. Prenons à titre d'exemple une sphère chargée par un nombre déterminé de tours. Cette sphère peut, lorsque déchargée, produire une étincelle sur une distance mesurable. Si nous utilisons une plus petite sphère chargée par le même nombre de tours, nous observons que l'étincelle parcourt une plus grande distance. En d'autres mots, la même quantité de charge accumulée par un volume moindre a une « intensité » supérieure.

Il serait possible de mesurer plus précisément cette intensité ou « tension » au moyen d'un électroscope, et, après l'invention de la pile électrique par Volta en 1800, on tente d'établir un lien entre l'électricité statique et d'autres types d'électricité. La pile de Volta marque un changement conceptuel significatif dans la compréhension de la nature de l'électricité. La pile demeure inactive jusqu'à ce qu'un conducteur externe fournisse un chemin à travers lequel l'électricité puisse circuler. Il est donc devenu impératif de définir les caractéristiques et le rôle du conducteur externe. Il n'existe cependant à cette époque aucun instrument (hormis les sens humains) permettant de mesurer ou d'établir le phénomène associé au conducteur.

Heureusement, grâce à la découverte d'Oersted de la déviation de l'aiguille d'une boussole par un courant électrique réalisée vers 1820, Cavendish n'a plus à jouer le rôle de compteur humain. Peu après cette découverte, Schweigger utilise une bobine pour faire circuler à répétition un courant sur une boussole en vue de fabriquer un instrument plus sensible permettant de détecter et de comparer les effets électromagnétiques de différents courants.

La boussole des tangentes



La première référence à la boussole des tangentes figure dans un document de 1837 de Claude-Servais-Mathias Pouillet (1790-1868). Pouillet utilise la boussole des tangentes pour étudier la loi d'Ohm, et, plus tard, en 1841, James Joule immerge des fils de différentes longueurs dans des cylindres d'eau pour étudier la relation entre le taux de dissipation de la chaleur et le courant.

En 1849, Hermann von Helmholtz (1821-1994) modifie la boussole des tangentes en proposant l'usage de deux bobines conductrices identiques placées en parallèle de manière à former l'instrument connu aujourd'hui sous le nom de bobine de Helmholtz. Cet instrument produit un champ magnétique essentiellement uniforme. Celui illustré à gauche fait partie de la collection de la Wesleyan University.



ANNEXE 1: Les travaux de Gray et de Cavendish – Renseignements pour l'enseignant (suite)

Pour mesurer le courant, Joule utilise une boussole des tangentes alignée avec le méridien nord-sud pour que le champ magnétique de la bobine soit perpendiculaire à celui de la Terre. La valeur de la déviation de l'aiguille de la boussole est la somme vectorielle des effets magnétiques de la Terre et du champ de la boucle. Par conséquent,

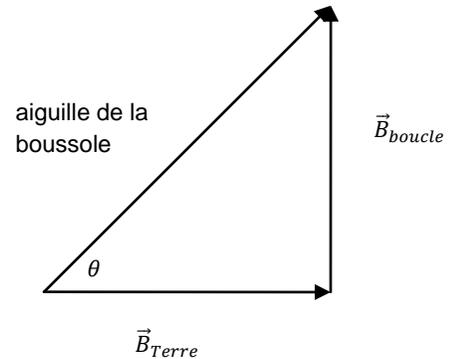
$$\tan \theta = \frac{\vec{B}_{boucle}}{\vec{B}_{Terre}}$$

Comme \vec{B}_{Terre} est constant, il s'ensuit que $\tan \theta \propto \vec{B}_{boucle}$. En augmentant le nombre de boucles, et donc le courant au-delà de tout point donné, nous pouvons aussi établir que

$I \propto \vec{B}_{boucle}$, et que par conséquent $\tan \theta \propto I$ et $\tan \theta$ peut servir de mesure du courant. La boussole des tangentes de

Joule s'est avérée un instrument fiable pour la mesure du

courant, instrument que nous pouvons encore utiliser de nos jours. L'utilisation d'une boussole des tangentes présente l'avantage additionnel de servir de fondement au galvanomètre et à l'ampèremètre modernes.



ANNEXE 2 : Les expériences de Stephen Gray

Expérience 1

Matériel nécessaire :

- tube cylindrique, fait d'un matériau isolant, d'une longueur de 60 cm et d'un diamètre de 2 à 3 cm, tel qu'un tube de plastique, un tuyau de drainage ou un tube pour envoi postal (Gray utilisa un cylindre de verre d'une longueur de 1 m et d'un diamètre de 1,5 cm.)
- morceau de tissu de laine, de coton ou de soie

Tiens le tube d'une main et frotte-le avec le morceau de tissu dans l'autre main (ou fais passer le tube dans un mouvement de va-et-vient à travers le tissu). Assure-toi par la suite que le tube et le tissu ne se touchent plus car ils sont tous deux électrisés! Passe le tube tout près de ton oreille et écoute attentivement. Le faible crépitement t'indique que de minuscules étincelles se produisent entre le tube et ta tête. Tes cheveux ont peut-être aussi été électrisés. Si le temps est propice (journées froides et très sèches), tu peux essayer d'observer les étincelles dans l'obscurité, devant un miroir.

Expérience 2

Matériel nécessaire :

- petit piquet de bois ou autre isolant
- morceau de pâte à modeler
- ficelle de nylon
- plume de duvet
- tige de verre ou de plastique

Sur une table, installe le petit piquet de bois à la verticale. Tu peux le faire tenir en place avec de la pâte à modeler. Attache une ficelle de nylon au sommet du piquet, puis attache la plume de duvet à l'autre bout de la ficelle. La ficelle ne doit pas être trop longue car la plume ne doit pas toucher la table. Électrise la tige de verre ou de plastique par frottement, puis rapproche-la de la plume sans toutefois la toucher. Tu pourras la déplacer sans qu'il y ait de contact physique : te voilà adepte de la lévitation des objets!



ANNEXE 2: Les expériences de Stephen Gray (suite)

Expérience 3

Matériel nécessaire :

- bâtonnet d'encens
- tige de verre ou de plastique

Allume un bâtonnet d'encens. Électrise la tige de verre ou de plastique et approche-la de la fumée. Observe ce qui se passe si tu places le bout de la tige plus loin ou même sous le bout incandescent du bâtonnet.

Expérience 4

Matériel nécessaire :

- clou à tête plate d'un diamètre d'au moins 3 mm
- morceau de bois sec
- eau
- tige de verre ou de plastique

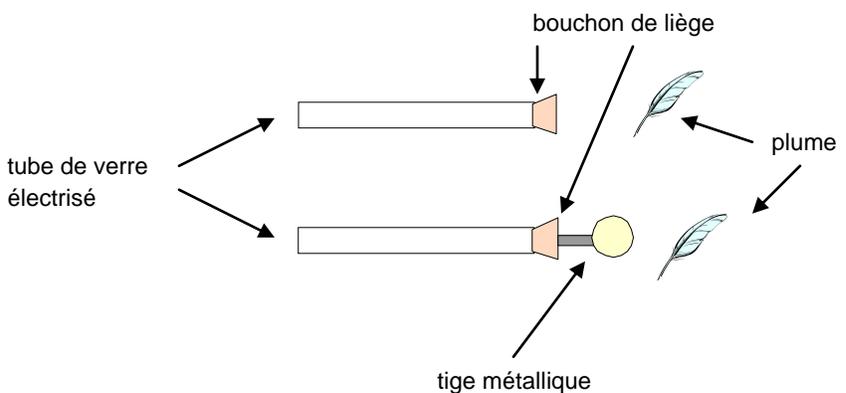
Enfonce suffisamment le clou dans un morceau de bois sec pour qu'il tienne debout, mais sans qu'il transperce complètement le bois. Dépose délicatement une goutte d'eau sur la tête du clou (une tige de verre ou de bois peut t'aider à réussir cette étape). Une goutte sphérique donnera de meilleurs résultats.

Assure-toi de ne pas mouiller le bois, ce qui risquerait de ne plus l'isoler de la terre. Électrise la tige de verre ou de plastique. Rapproche-la de la goutte d'eau, sans y toucher. Tu pourras sans doute observer que la goutte s'étire vers le haut, ou qu'elle s'effrite en gouttelettes si elle est étirée au-delà de la tête du clou. (Ce phénomène est exploité dans les imprimantes à jet d'encre et il explique aussi la formation des orages!)

Expérience 5

Matériel nécessaire :

- bouchon de liège
- tube isolant
- bouts de papier ou confettis
- plumes de duvet
- tige métallique



Approche le bouchon de liège des bouts de papier ou des plumes de duvet. Rien ne se passe. Il en est de même pour le tube isolant. Électrise par frottement le tube isolant et tu observeras qu'il exerce une attirance. Fais une mise à terre.

Insère le bouchon dans le bout du tuyau de sorte qu'au moins 1 cm en ressorte. Électrise à nouveau le tube sans toucher au bouchon. Rapproche ensuite le bouchon des bouts de papier ou des plumes et tu verras qu'il les attire. (Cette expérience de Gray démontre que l'*effluvium* n'est pas le produit du frottement, mais plutôt une « vertu » ou un « fluide » qui a été transféré du tuyau au bouchon de liège : il s'agit de la conduction.)

Mets le tube à terre et insère une tige métallique dans le bouchon. Recommence l'expérience et tu confirmeras que la tige métallique est électrisée elle aussi. Pourtant, si tu essaies de l'électriser par frottement direct, tu ne réussiras pas. C'est parce que les métaux et les corps vivants sont des conducteurs et ils font une mise à terre instantanée s'ils touchent (directement ou indirectement) au sol, tandis que les isolants le font très, très lentement.

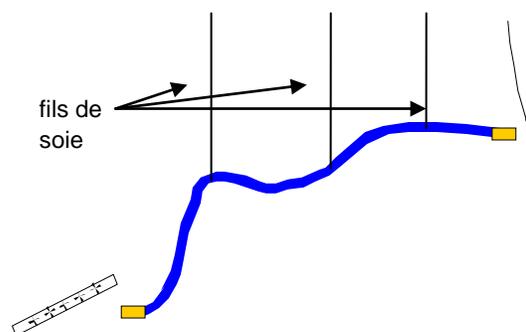
Expérience 6

Matériel nécessaire :

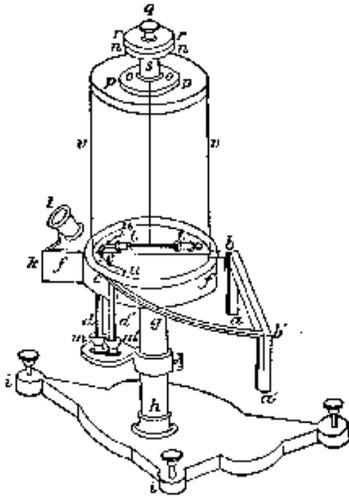
- fil métallique de 5 à 10 m de long
- boucles de soie ou autre matériau isolant
- bouts de papier ou plumes de duvet
- clé ou cuillère
- tige de plastique ou de verre

Suspens un fil métallique dans la classe à l'aide de boucles de soie ou d'un autre tissu isolant. Veille à ce que le fil ne soit pas mis à terre par mégarde. Dispose une extrémité du fil près de morceaux de papiers ou de plumes de duvet. (Tu peux choisir d'accrocher un objet métallique à cette extrémité du fil, par exemple une clé ou une cuillère.) Électrise ensuite une tige de verre ou de plastique et mets-la en contact avec l'autre extrémité du fil. À 5-10 m de toi, les bouts de papiers ou les plumes devraient être attirés par le fil! Lorsqu'on produit de l'électricité, il est important de l'entreposer dans des enceintes isolées, et de la transmettre par fils conducteurs.

Il n'existait pas de fil isolé dans le temps de Gray, mais cette expérience est tout aussi facile si l'on utilise un fil de cuivre revêtu d'un isolant tel qu'on en trouve dans l'installation électrique d'une maison. Il suffit alors de dénuder les deux extrémités du fil.



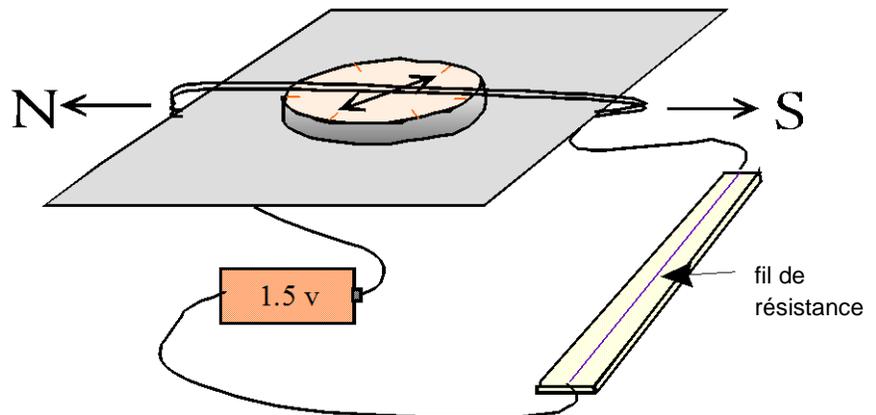
ANNEXE 3 : L'expérience d'Ohm



Il est facile de construire une boussole des tangentes fiable en faisant passer un fil autour d'un support sur lequel repose une boussole. On connecte ensuite des fils de résistance de différentes longueurs à la boussole des tangentes à la manière dont Ohm a procédé au cours de ses expériences. Pour des raisons de commodité, on peut faire courir un fil de résistance en nichrome le long d'un mètre et utiliser un contact glissant pour obtenir facilement différentes longueurs de fil. Le champ magnétique de la boucle suit une orientation nord-sud, et l'on reporte sur un graphique les valeurs des tangentes des déviations de l'aiguille de la boussole (courant) en fonction de la résistance (mesurée par rapport à la longueur du fil) pour confirmer que le courant est inversement proportionnel à la résistance du circuit.

Expérience d'Ohm

1. Effectue le montage illustré ci-dessous. Ne connecte qu'une seule borne de la pile (ou utilise un interrupteur pour brancher ou débrancher le circuit).
2. Prépare des fils de résistance de plusieurs longueurs ou utilise un contact glissant avec un fil de résistance d'un mètre de longueur.
3. Commence l'expérience avec le fil le plus long, branche le circuit et mesure la déviation de la boussole. Assure-toi que l'aiguille de la boussole bouge librement (tu peux toucher légèrement le support pour le vérifier).



Nota : Déconnecte la pile aussitôt après avoir noté la valeur de la déviation. Tu pourrais sinon provoquer l'échauffement du fil et en modifier la résistance.

ANNEXE 3: L'expérience d'Ohm (suite)

Tableau des données

Longueur de la résistance (m)	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
θ (degrés)					
$\tan \theta$					

4. Reporte sur le graphique la valeur du courant ($\tan \theta$) par rapport à la résistance (longueur du fil).
5. « Redresse » la courbe pour déterminer la relation entre le courant et la résistance.
6. À quoi la constante correspond-t-elle?
7. Répète l'expérience avec un ampèremètre plutôt qu'une boussole des tangentes.

Conclusion

Nous avons démontré que $I = \frac{a}{R}$, où I est le courant, R , la résistance totale et a , une constante.

$R_t = b + x$, où x est le fil de résistance, et b , la résistance fixe du circuit. Peux-tu calculer la valeur de b par rapport à la longueur? Quelle est la proportion de la résistance totale?

Ohm a répété l'expérience avec une différence de température différente et a trouvé une nouvelle valeur pour a . La constante a doit être associée à la pile mais sa signification n'a été découverte par Kirchhoff que 25 ans plus tard. Kirchhoff a formulé une théorie mathématique cohérente faisant la synthèse de la loi de Coulomb, du concept d'énergie potentielle électrique entre deux charges et des résultats de l'expérience de Joules et de celles d'Ohm.



ANNEXE 4 : La puissance, la résistance et le courant

INTRODUCTION

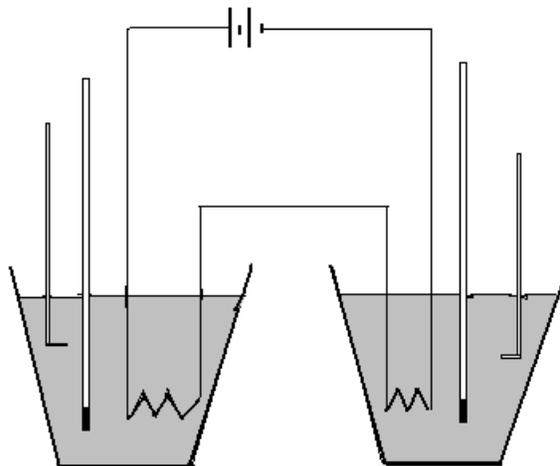
C'est en 1841 que James Prescott Joule s'est penché pour la première fois sur les relations existant entre la puissance, la résistance et le courant électrique. Nous allons tenter de reproduire la démarche adoptée au cours de son expérience.

Le courant qui traverse une bobine de fil génère de la chaleur. La chaleur se transfère à l'eau d'un calorimètre simple (verre de styromousse). Tu vas calculer la quantité de chaleur accumulée par l'eau et la puissance de la bobine thermique. Tu seras alors en mesure de déterminer graphiquement la nature des relations en question.

PARTIE 1 : POUVOIR ET RÉSISTANCE

MATÉRIEL REQUIS

Pile de 6 V ou de 12 V, bobines thermiques en nichrome, verres de styromousse et couvercles, thermomètres, montre, paille de plastique, cylindre gradué d'une capacité de 100 ml, fiches de connexion, ohmmètre.



ANNEXE 4: La puissance, la résistance et le courant (suite)

DÉMARCHE :

1. Avant de commencer l'expérience, laisse une quantité d'eau suffisante atteindre la température de la pièce.
2. Verse exactement 100 ml d'eau dans chaque verre de styromousse. Cela équivaut aux 100 g d'eau à chauffer dans chaque verre.
3. Mesure la résistance de chaque bobine. Inscris le résultat sur le tableau de données.
4. Assemble la pile et les bobines thermiques en série de manière à faire passer un courant identique à travers chacune de bobines. Laisse une borne déconnectée jusqu'à ce que tu sois prêt à commencer l'expérience.
5. Note la température initiale de chacun des échantillons d'eau au dixième de degré Celsius près. Consigne les valeurs sur le tableau.
6. Branche le circuit pour faire circuler le courant dans les bobines. Agite doucement les échantillons d'eau avec la paille à une minute d'intervalle. Observe les températures.
7. Après avoir suffisamment chauffé l'eau, note le temps écoulé et la température finale de chaque échantillon.
8. Calcule la quantité de chaleur produite à partir de la formule suivante :

Chaleur = masse (g) × chaleur massique × écart de température (°C)

$$C = mc\Delta T$$

La chaleur massique de l'eau est de 4,2 J/g·°C

Détermine la puissance :

Puissance = énergie (chaleur) ÷ temps

(Le temps doit être mesuré en secondes.)

9. Représente graphiquement la puissance en fonction de la résistance et détermine la relation qui existe entre ces deux valeurs.



ANNEXE 4: La puissance, la résistance et le courant (suite)

TABLEAU DE DONNÉES : PUISSANCE ET RÉSISTANCE

Résistance (Ω)	Masse de l'eau (g)	Temps (s)	Température ($^{\circ}\text{C}$)			Chaleur (J)	Puissance (W)
			T_i	T_f	ΔT		

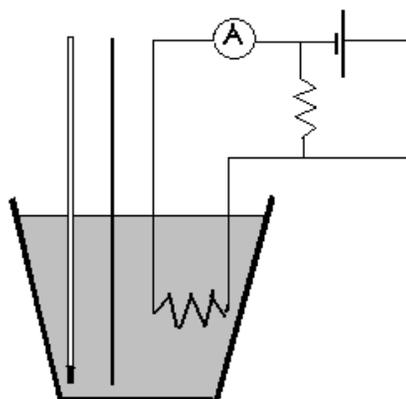


ANNEXE 4: La puissance, la résistance et le courant (suite)

PARTIE 2 : PUISSANCE ET COURANT

MATÉRIEL REQUIS

Pile de 6 V, bobines thermiques de résistance identique, bobine de résistance, fiches de connexion, ampèremètre, montre, thermomètre ou LabPro, cylindre gradué d'une capacité de 100 ml, verres de polystyrène et couvercles.



DÉMARCHE :

1. Avant de commencer l'expérience, laisse environ un litre d'eau atteindre la température de la pièce (à faire à l'avance).
2. Verse exactement 100 ml d'eau dans chacun des verres de polystyrène. Place la bobine thermique et le thermomètre dans l'eau et note la température initiale de l'eau au dixième de degré Celsius près.
3. Dispose le circuit de manière à faire circuler le courant vers la bobine thermique et la bobine de résistance connectées en parallèle. Assure-toi de connecter l'ampèremètre en série avec la bobine thermique seulement.
4. Connecte le circuit en D et commence à noter l'heure, la valeur du courant et la température à toutes les minutes. Agite légèrement l'eau pendant quelques secondes avant de noter la température indiquée par le thermomètre. Procède à la collecte de données jusqu'à ce que tu observes une augmentation de température de quelques degrés. Consigne les valeurs sur le tableau de données.



ANNEXE 4: La puissance, la résistance et le courant (suite)

5. Utilise un échantillon d'eau frais et une autre bobine chauffante. Règle la bobine de résistance à une nouvelle valeur pour faire passer un courant différent dans la bobine chauffante. Répète l'étape précédente. Effectue plusieurs essais différents en faisant circuler des courants très différents dans des bobines thermiques identiques.

6. Calcule la quantité de chaleur produite à partir de la formule suivante :

Chaleur = masse (g) x chaleur massique x différence de degré de température (°C)

$$C = mc\Delta T$$

La chaleur massique de l'eau est de 4,2 J/g°C

7. Détermine la puissance :

Puissance = énergie (chaleur)/temps (le temps doit être mesuré en secondes.)

8. Représente graphiquement les valeurs de la puissance par rapport à celles du courant. Procède aux opérations graphiques nécessaires pour déterminer la relation entre la puissance et le courant.



ANNEXE 4: La puissance, la résistance et le courant (suite)

TABLEAU DES DONNÉES : PUISSANCE ET COURANT

Courant (A)	Masse (g)	Température (°C)			Chaleur (J)	Temps (s)	Puissance (W)
		T_i	T_f	ΔT			



ANNEXE 5 : Contribution de Kirchhoff – Renseignements pour l'enseignant

Au cours de ses expériences, Ohm a observé que dans un circuit électrique $I = \frac{a}{R}$, où a est une constante de proportionnalité. Par la suite, Joule a démontré que $P = I^2 R$. Il s'agit dans les deux cas d'exemples de lois scientifiques formulées par induction à partir d'observations du comportement des circuits électriques. Les deux expériences portent en outre sur des charges en mouvement. Kirchhoff a pris comme point de départ des considérations énergétiques relatives aux charges électrostatiques pour démontrer ce qui suit.

Le potentiel électrique

Le potentiel électrique est l'énergie potentielle électrique **par unité de charge**

$$V = \frac{E_p}{q}$$

Par conséquent,

$$E_p = qV$$

Nous savons aussi que le travail effectué pour déplacer une charge dans un champ équivaut à la variation changement d'énergie.

$$W = \Delta E_p$$

Par conséquent, la variation d'énergie entre les points a et b se calcule comme suit :

$$E_b - E_a = qV_b - qV_a$$

ou

$$\Delta E_p = qV_b - qV_a$$

$$\Delta E_p = q(V_b - V_a)$$

$$\Delta E_p = q\Delta V$$

où ΔV s'appelle **différence de potentiel électrique**. Comme il n'est question ici que de changements énergétiques, il s'agit du terme le plus important. En divisant les deux côtés de l'équation par la variable *temps*, nous obtenons ce qui suit :



ANNEXE 5: Contribution de Kirchhoff – Renseignements pour l'enseignant (suite)

$$\frac{\Delta E_p}{t} = \frac{q}{t} \Delta V$$

$$P = I \Delta V$$

Ce qui signifie que la puissance délivrée (dissipée) dans un circuit équivaut au produit du courant et de la différence de potentiel (du point de vue de la théorie des particules chargées, pourquoi cela a-t-il du sens?) Souvenez-vous de la formule de Joule,

$$P = I^2 R$$

par conséquent,

$$I^2 R = I \Delta V$$

et

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

Kirchhoff a donc démontré que si la constante de la loi d'Ohm était la différence de potentiel, alors tout ce que nous connaissions au sujet de l'électricité statique et dynamique pouvait être intégré à un système théorique et pratique cohérent (en d'autres mots, il s'agissait d'une bonne théorie).



ANNEXE 6 : Le développement historique de la loi d'Ohm

Réponds aux questions de la première colonne et remplis toutes les cases du tableau.

	Stephen Gray	Henry Cavendish	Georg Ohm	James Joule	Gustav Kirchhoff
Comment est-il arrivé à ses conclusions?					
Comment ses découvertes ont-elles contribué au progrès scientifique?					
Comment s'est-il appuyé sur les idées du passé?					
Quelles technologies étaient essentielles à son travail?					



ANNEXE 7 : Expérience – La résistance

Introduction :

Cette investigation de laboratoire présente un problème. Votre tâche consiste à planifier et à réaliser une expérience pour résoudre le problème. Une liste du matériel est disponible mais vous devez déterminer quelles variables vous étudierez, la démarche que vous allez suivre aussi bien que les observations que vous allez enregistrer et comment vous allez les enregistrer.

Problème :

Votre problème consiste à concevoir une expérience pour étudier les effets de la longueur d'un conducteur sur la résistance OU la section transversale d'un conducteur sur la résistance.

Matériel requis :

- Pile de 1,5 V
- Ampèremètre
- voltmètre
- fils électriques de différentes longueurs
- fils électriques de différents diamètres

1. *Idées de départ* : énoncez la question à laquelle vous voulez répondre durant cette investigation. Prédisez ce que seront les effets de la longueur d'un conducteur sur la résistance ou de la section transversale d'un conducteur sur la résistance. Expliquez ce qui justifie votre prédiction. Identifiez la variable indépendante, la variable dépendante et les variables à contrôler.

2. *Tests* : qu'allez-vous faire pour vous aider à répondre à votre question? Dressez une liste ordonnée des étapes que vous utiliserez pour résoudre le problème. Vous pouvez inclure un diagramme pour vous aider à illustrer vos plans pour l'expérience. Ayez recours à des procédures sécuritaires. Réalisez l'expérience en suivant les étapes soulignées dans votre démarche.

3. *Observations* : notez vos observations et vos mesures pour l'expérience. Qu'avez-vous vu lorsque vous réalisiez votre expérience? Utilisez des énoncés écrits, des paragraphes descriptifs, des tableaux de données et/ou des graphiques là où c'est approprié. Assurez-vous d'inclure des observations qualitatives ainsi que quantitatives.

4. *Allégations et preuves* : rédigez une interprétation de vos résultats. Expliquez votre conclusion et appuyez-la de preuves qui vous ont aidé à en arriver à cette conclusion. (Qu'avez-vous allégué? Quelle est la preuve qui appuie votre allégation? Comment le savez-vous? Pourquoi faites-vous cette allégation? Comment vos découvertes se comparent-elles avec votre prédiction?)

5. *Réflexion* : comparez vos résultats et l'interprétation de vos résultats avec les autres groupes. Comment vos idées se comparent-elles avec celles des autres élèves? Comparez vos résultats avec l'information à propos de la résistance dans un manuel de référence. Vos idées ont-elles changé après avoir comparé vos résultats et interprétations? Quelles sont des sources d'erreur possibles dans votre expérience? Que pourriez-vous faire pour améliorer les résultats?



ANNEXE 8 : La résistance – Renseignements pour l'enseignant

Cette étude de laboratoire présente une approche davantage centrée sur l'élève. Une liste du matériel nécessaire sera fournie aux élèves mais ceux-ci devront déterminer quelles variables ils étudieront – l'effet de la longueur d'un conducteur sur la résistance ou l'effet de la section transversale d'un conducteur sur la résistance – aussi bien que la démarche qu'ils suivront.

Les enseignants pourront choisir de donner aux élèves la longueur du conducteur ou la section transversale du conducteur à étudier ou faire étudier une variable par une moitié de la classe et l'autre variable par l'autre moitié. Le rapport de laboratoire suggéré pour cette investigation est différent du format habituel. Il utilise un outil appelé l'heuristique de la science écrite qui met l'accent sur le fait d'aider les élèves à faire des connexions entre les questions, les démarches, les données, les allégations et les preuves (appui pour l'allégation). Les élèves sont aussi encouragés à vérifier leurs explications avec les autres élèves aussi bien qu'avec les manuels ou autres sources d'information afin de développer leur compréhension conceptuelle.

On devrait inciter les élèves à construire des graphiques (s'ils ne le font pas encore) comme élément de cueillette et d'interprétation des données. Le graphique présentera la relation entre la résistance dans un circuit et la longueur d'un conducteur, ou la relation entre la résistance dans un circuit et la section transversale d'un conducteur.

Plusieurs habiletés d'enquête scientifique sont ciblées dans cette enquête. Les élèves doivent élaborer une démarche afin de tester cette hypothèse, contrôler les variables et déterminer comment leurs observations seront notées et mises en vedette. Parce que les élèves élaborent leur propre démarche, les résultats peuvent varier sensiblement d'un groupe à l'autre. La discussion avec les autres groupes est une bonne façon pour les élèves de comprendre qu'il n'y a pas de démarche pré-établie pour réaliser une investigation scientifique et que les idées basées sur des preuves peuvent changer et se raffiner au cours de discussions et débats.

Références

Hand, B., and C.W. Keys. 1999. Inquiry investigation: A new approach to laboratory reports. *The Science Teacher* 66(4): 27-29.

Keys, C.W., B. Hand, V. Prain, and S. Collins. 1999. Using the science heuristic as a tool for learning from laboratory investigations in secondary science. *Journal of Research in Science Teaching* 36(10): 1065-1084.



ANNEXE 9 : Échelle d'évaluation de l'expérience

Nom : _____

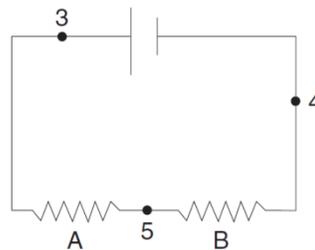
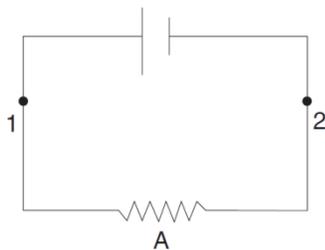
Titre de l'expérience : _____

	1	2	3	4
La méthodologie expérimentale vérifie l'hypothèse.				
L'énoncé du problème justifie la nécessité de l'expérience.				
La démarche est complète, claire et décrite de manière séquentielle.				
Une variable indépendante est clairement identifiée.				
Le plan contrôle et mesure avec exactitude la variable indépendante.				
Une variable dépendante est clairement identifiée.				
Le concept fait en sorte que la variable dépendante est mesurée avec exactitude.				
L'expérience comprend des mesures de contrôle adéquates.				
La marge d'« erreur » est indiquée et on a ajouté un commentaire réfléchi sur la réduction des erreurs.				
Une liste complète du matériel nécessaire est fournie.				
On décrit une stratégie conforme d'utilisation de mesures et d'essais répétés.				
La méthodologie expérimentale tient compte des mesures de sécurité indiquées.				
Le compte rendu est soigné, présentable et bien organisé.				
On utilise une langue et un vocabulaire adéquats et des phrases complètes.				
Des instructions sont données pour le nettoyage et l'élimination des déchets.				



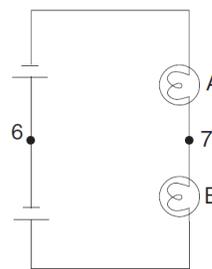
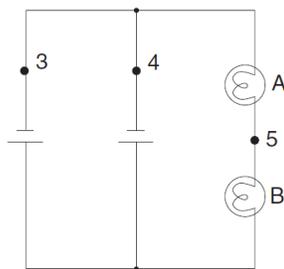
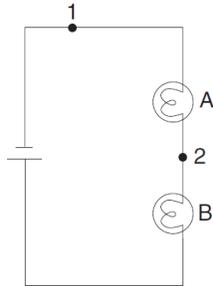
ANNEXE 10 : Exercice – Les circuits électriques simples

1. Est-ce que les charges sont épuisées lors de la production de lumière dans une ampoule?
2. Lorsque tu ouvres le robinet à la maison, l'eau arrive immédiatement, sans que tu n'aies à attendre qu'elle arrive du réservoir d'eau. Explique.
3. Suppose que le courant au point 1 est I . Quelle est l'intensité du courant aux points 2, 3, 4, 5 si les résistances A et B ont la même valeur?



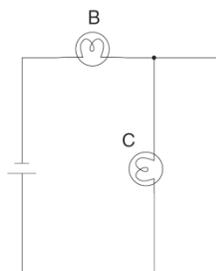
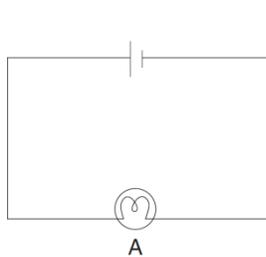
1 = I
2 =
3 =
4 =
5 =

4. Suppose que le courant au point 1 est I . Quelle est l'intensité du courant aux points 2, 3, 4, 5, 6, 7 si les ampoules A et B ont la même résistance?



1 = I
2 =
3 =
4 =
5 =
6 =
7 =

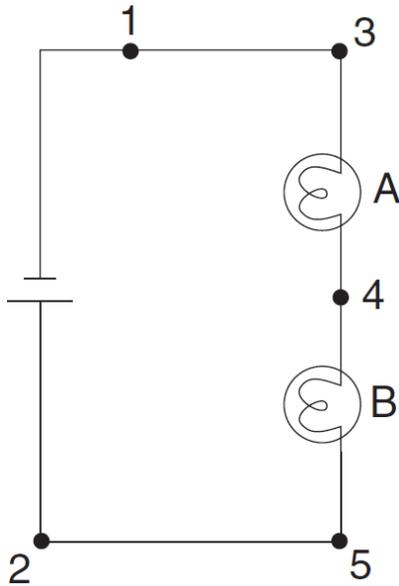
5. Pourquoi les ampoules d'un circuit s'allument-elles instantanément une fois le circuit complet?
6. Compare l'intensité des ampoules A, B et C.



A : _____
B : _____
C : _____

ANNEXE 10: Exercice – Les circuits électriques simples (suite)

7. Si la différence de potentiel (la tension) dans la pile est V , quelle est la différence de potentiel (la tension) entre les points...



a) 1 et 2 : _____

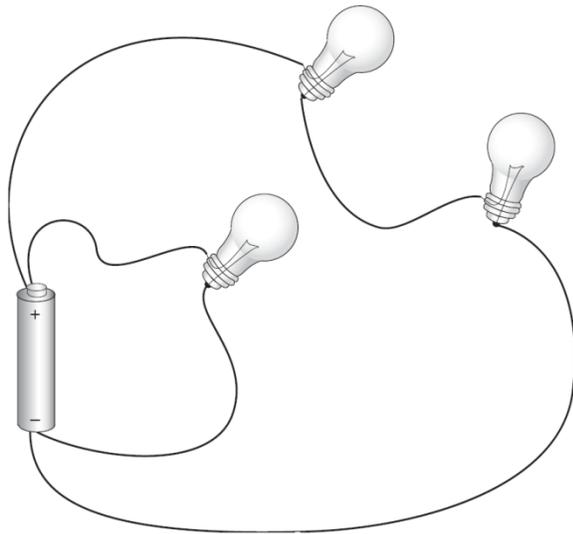
b) 1 et 3 : _____

c) 3 et 4 : _____

d) 4 et 5 : _____

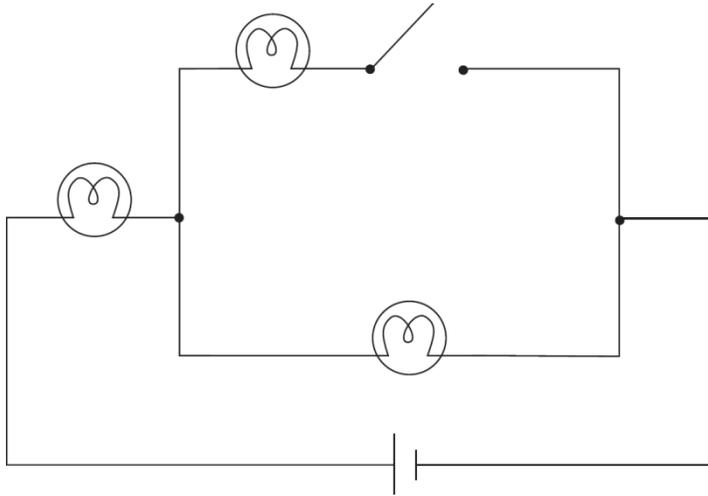
e) 2 et 5 : _____

8. Dessine le schéma du circuit suivant.



ANNEXE 10: Exercice – Les circuits électriques simples (suite)

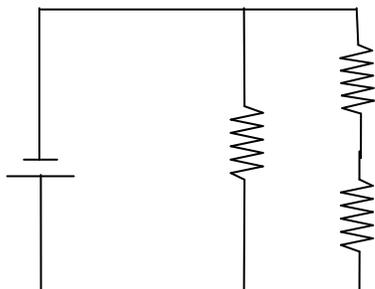
9. Compare l'intensité des ampoules avant et après l'interruption du circuit (chaque ampoule a la même résistance).



ANNEXE 11 : Les circuits électriques simples – Corrigé

1. Non, les charges se conservent. Leur énergie cinétique est toutefois convertie en énergie lumineuse alors que la résistance ralentit les électrons.
2. Le fluide sous pression est déjà partout dans les tuyaux et donc il est disponible immédiatement au robinet. Parce que la pression est distribuée dans tout le fluide, comme c'est le cas de la tension dans un courant, les particules en mouvement sont immédiatement remplacées par d'autres.
3. Point 2: 1; point 3: 0,5 I; point 4: 0,5 I; point 5: 0,5 I
4. Point 2: 1; point 3: 0,5 I; point 4: 0,5 I; point 5: 1; point 6: 2 I; point 7: 2 I
5. Voir la réponse du numéro 2. Le courant d'électrons est instantané aussitôt qu'un circuit fermé leur permet de circuler : si un électron se déplace, il est remplacé immédiatement par un autre. (La différence de potentiel entre les bornes de la source provoque ce mouvement des électrons, mais si le circuit est ouvert, le courant ne peut pas passer.)
6. A et B auront la même intensité, et aucun courant ne traverse l'ampoule C parce qu'elle est court-circuitée. (Il y a un trajet préférentiel qui offre très peu de résistance si on compare cette résistance à la résistance de l'ampoule.)
7.
 - a. 1 et 2 : V
 - b. 1 et 3 : 0 V
 - c. 3 et 4 : 0,5 V
 - d. 4 et 5 : 0,5 V
 - e. 2 et 5 : 0 V

8.



9. Si l'interrupteur est ouvert, les ampoules A et C ont la même intensité de courant qui les traverse et l'ampoule B ne s'allume pas. Si l'interrupteur est fermé, il y a moins de résistance totale dans le circuit et donc plus de courant. L'ampoule A brillera alors plus fort qu'auparavant, tandis que les ampoules B et C auront la même luminosité.



ANNEXE 12 : Les circuits électriques – Renseignements pour l'enseignant

Les circuits en série n'ont qu'un trajet donc toutes les parties du circuit sont connectées de bout en bout. Le même courant circule dans chaque composante du circuit. L'ampèremètre, qui mesure le courant, doit être incorporé en série dans le circuit pour permettre au courant de le traverser. On doit faire attention lorsqu'on utilise des appareils de mesure à affichage analogique (à aiguille). Ces appareils ont une résistance très faible pour éviter d'avoir un effet sur la résistance totale du circuit. Si, par erreur, on place un ampèremètre en parallèle, il produit un court-circuit et pourrait être endommagé. De plus, la borne positive (rouge) de l'ampèremètre devrait être connectée à la borne positive de la source d'énergie. La borne négative (noire) de l'ampèremètre devrait être connectée à la borne négative de la source d'énergie. Finalement, on devrait toujours choisir l'échelle la plus longue lorsqu'on branche un ampèremètre dans un circuit. Si l'aiguille ne dévie pas assez pour permettre une lecture précise, on choisit une échelle moins longue.

Dans un circuit en parallèle, le courant peut emprunter plus d'un trajet. Chaque branche du circuit peut avoir une valeur différente de courant, mais la différence de potentiel est pareille. Le voltmètre permet de mesurer la différence de potentiel. Il a une très forte résistance et est branché en parallèle dans le circuit. Il tire donc très peu de courant comparé au reste du circuit. On doit aussi connecter la borne positive (rouge) du voltmètre à la borne positive de la source d'énergie et la borne négative (noire) à la borne négative de la source d'énergie ainsi que choisir l'échelle la plus longue lorsqu'on branche le voltmètre dans un circuit. Si on branche un voltmètre en série, il réduit le courant à zéro et bloque le circuit, tellement sa résistance est élevée.



ANNEXE 13 : Expérience – Les résistances en série

But

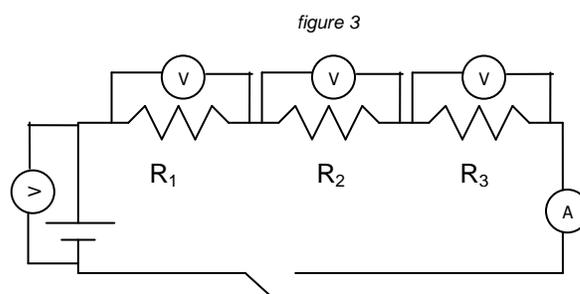
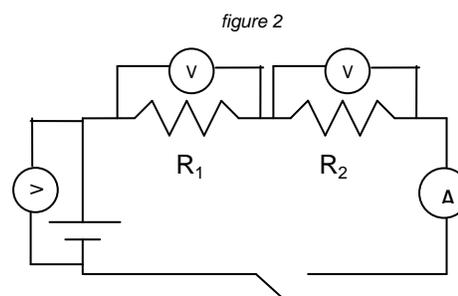
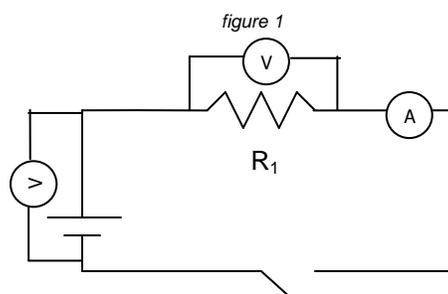
- Déterminer la résistance totale d'un circuit lorsque les résistances sont branchées en série.

Matériel requis

- piles ou autres source de tension
- voltmètre
- ampèremètre
- résistances de valeurs différentes
- fils électriques
- interrupteur

Démarche

1. Place une des résistances en série avec l'ampèremètre, l'interrupteur (ouvert) et la source de tension. Place le voltmètre en parallèle avec la résistance. Note la valeur de la résistance (R_1) dans le tableau (*figure 1*).
2. Ferme l'interrupteur et mesure le courant et la tension dans le circuit. Ouvre l'interrupteur une fois que la lecture est faite. Note tes résultats dans le tableau.
3. Place une seconde résistance en série avec la première. Note la valeur de R_1 et R_2 dans le tableau (*figure 2*).
4. Ferme l'interrupteur et mesure le courant dans le circuit ainsi que la tension aux bornes de la première résistance. Ouvre l'interrupteur et déplace le voltmètre pour le brancher à la deuxième résistance (R_2). Ferme l'interrupteur et mesure la tension aux bornes de R_2 . Ouvre l'interrupteur. Note tes résultats dans le tableau.
5. Place une troisième résistance en série avec les deux autres. Note la valeur de R_1 , R_2 et R_3 dans le tableau (*figure 3*).
6. Ferme l'interrupteur et mesure le courant dans le circuit. Ouvre l'interrupteur. Note ton résultat dans le tableau.



ANNEXE 13 : Expérience – Les résistances en série (suite)

7. Place les fils du voltmètre à chaque bout de la première résistance. Ferme l'interrupteur et mesure la différence de potentiel. Note ton résultat dans le tableau.
8. Répète l'étape 7 pour les deux autres résistances et note les résultats dans le tableau.
9. Compare l'intensité du courant à différents points dans le circuit en ouvrant l'interrupteur et déplaçant l'ampèremètre.

Observations

Nombre de résistances	Valeur de la résistance (Ω)	Courant (A)	Différence de potentiel (V)			
			circuit	résistances		
				1	2	3
1						
2						
3						

Analyse

1. Sers-toi des résultats du courant et du potentiel pour calculer la valeur de chaque résistance. Compare cette valeur à la valeur indiquée sur la résistance. Y a-t-il une différence? Si oui, explique pourquoi.
2. Calcule la résistance totale du circuit. Y a-t-il un lien entre cette valeur et les valeurs de chacune des résistances?
3. Qu'est-ce qui arrive au courant lorsqu'on ajoute des résistances dans un circuit?
4. Qu'est-ce qui arrive à la différence de potentiel de chaque résistance à mesure qu'on ajoute des résistances dans le circuit?
5. Quelle relation y a-t-il entre la différence de potentiel des résistances en série et la différence de potentiel du circuit?



ANNEXE 14 : Expérience – Les résistances en parallèle

But

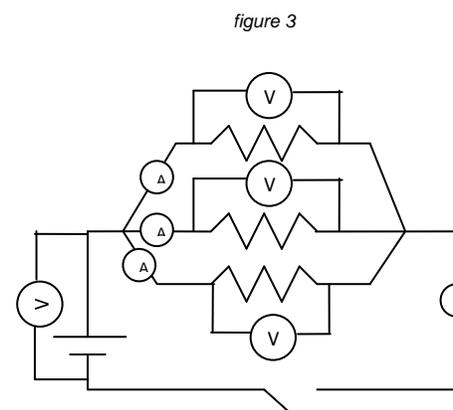
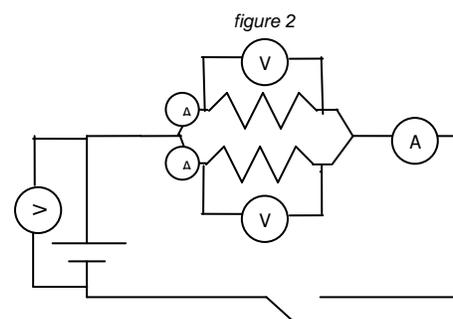
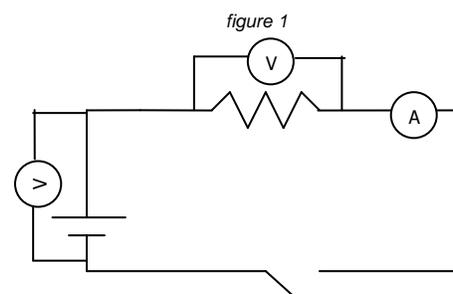
- Déterminer la résistance totale d'un circuit lorsque les résistances sont branchées en parallèle.

Matériel requis

- piles ou autres source de tension
- voltmètre
- ampèremètre
- résistances de valeurs différentes
- fils électriques
- interrupteur

Démarche

1. Place une des résistances en série avec l'ampèremètre, l'interrupteur (ouvert) et la source de potentiel électrique. Place le voltmètre en parallèle avec la résistance. Note la valeur de la résistance (R_1) dans le tableau (*figure 1*).
2. Ferme l'interrupteur et mesure le courant et la différence de potentiel dans le circuit et aux bornes de la résistance. Ouvre l'interrupteur une fois que la lecture est faite. Note tes résultats dans le tableau.
3. Place une seconde résistance en parallèle avec la première. Note la valeur de R_2 dans le tableau (*figure 2*).
4. Mesure le courant dans le circuit ainsi que le courant et la différence de potentiel aux bornes de la première résistance. Ouvre l'interrupteur et déplace le voltmètre et l'ampèremètre pour les brancher à la deuxième résistance (R_2). Ferme l'interrupteur et mesure le courant et la tension aux bornes de R_2 . Ouvre l'interrupteur. Note tes résultats dans le tableau.
5. Place une troisième résistance en parallèle avec les deux autres. Note sa valeur dans le tableau (*figure 3*).
6. Mesure le courant et la différence de potentiel pour chacune des résistances ainsi que pour le circuit. Note tes résultats dans le tableau.



ANNEXE 14: Expérience – Les résistances en parallèle (suite)

Observations

Nombre de résistances	Valeur de la résistance (Ω)	Courant (A)			Différence de potentiel (V)				
		circuit	résistances			circuit	résistances		
			1	2	3		1	2	3
1									
2									
3									

Analyse

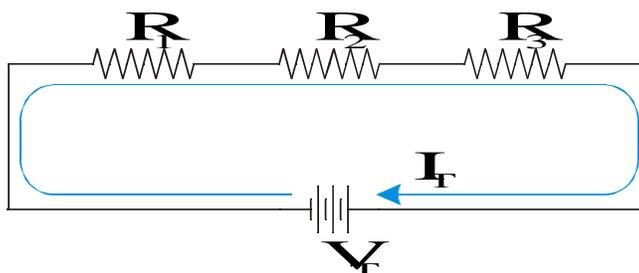
- Sers-toi des résultats du courant et du potentiel pour calculer la valeur de chaque résistance. Compare cette valeur à la valeur indiquée sur la résistance. Y a-t-il une différence? Si oui, explique pourquoi.
- Qu'est-ce qui arrive au courant lorsqu'on ajoute des résistances en parallèle dans un circuit?
- Qu'est-ce qui arrive à la différence de potentiel de chaque résistance à mesure qu'on ajoute des résistances en parallèle dans le circuit?
- Quelle relation y a-t-il entre le courant traversant des résistances en parallèle et le courant total du circuit?



ANNEXE 15 : Analyse de circuits

Résistances en série

Dans le circuit ci bas, les résistances sont en série donc tout le courant traverse chaque résistance ($I_1 = I_2 = I_3 = I$). Chaque résistance libère de l'énergie sous forme de chaleur donc subit une baisse de potentiel. La somme de chaque différence de potentiel doit être égale à la différence de potentiel de la source d'énergie (Il s'agit ici d'un exemple des lois de Kirchhoff et sont vraiment une conséquence de la loi de la conservation d'énergie. Il n'y a aucune perte ni aucun gain d'énergie dans un circuit.).



$$V_t = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\text{Puisque } V = IR, IR_t = IR_1 + IR_2 + IR_3.$$

Résistances en parallèle

Ajouter une résistance en parallèle est la même chose qu'augmenter la coupe transversale d'un conducteur. Au bloc A, nous avons établi que la résistance est inversement proportionnelle à la section transversale d'un conducteur. Il y a donc une relation inversement proportionnelle entre la résistance et le nombre de résistances en parallèle dans un circuit.

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

La résistance totale d'un circuit a toujours une valeur moins élevée que la plus petite résistance placée en parallèle. Ceci est utile lorsqu'on analyse un circuit.

Les différences de potentiel pour des résistances en parallèle ont toutes la même valeur et sont aussi égales à la différence de potentiel pour le circuit : $V_t = V_1 = V_2 = V_3$. On détermine le courant total dans le circuit à l'aide de la différence de potentiel à la source et de la résistance totale du circuit. Ce courant se divise dans les différentes branches du circuit mais se recombine pour donner le courant total qui retourne à la source de potentiel. Les charges ne disparaissent pas ni n'apparaissent lorsqu'elles arrivent à un nœud dans le circuit. Elles sont simplement redistribuées, avec différents montants de charges se déplaçant dans chaque branche du circuit. Le montant de courant dans chaque branche dépend de la valeur de la résistance dans cette branche.

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3$$

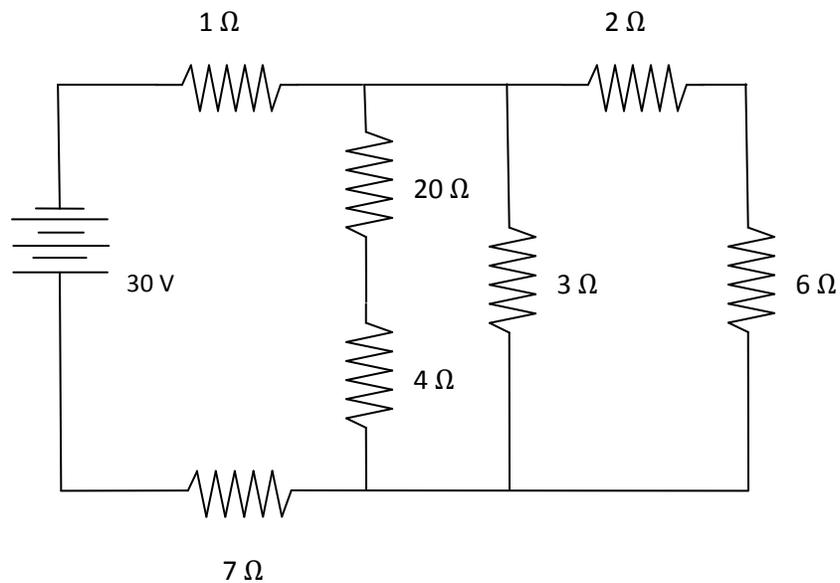
$$\text{Puisque le courant peut être calculé avec la loi d'Ohm, } I = \frac{V}{R}, \frac{V_t}{R_t} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}.$$



ANNEXE 15: Analyse de circuits (suite)

L'analyse des circuits doit commencer par l'analyse de circuits en série simples et de circuits en parallèle simples. Voici un exemple d'analyse de circuit combiné ou complexe.

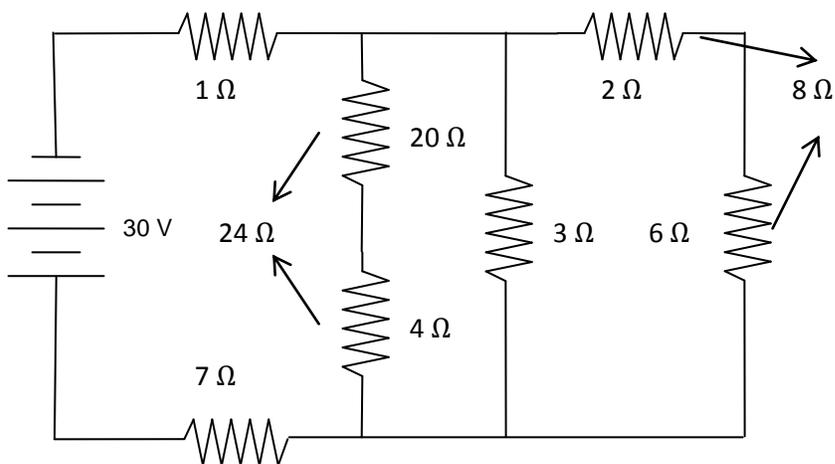
Exemple : Dans le circuit illustré ci-dessous, trouve pour chacune des résistances la valeur du courant, de la chute de potentiel et de la puissance consommée.



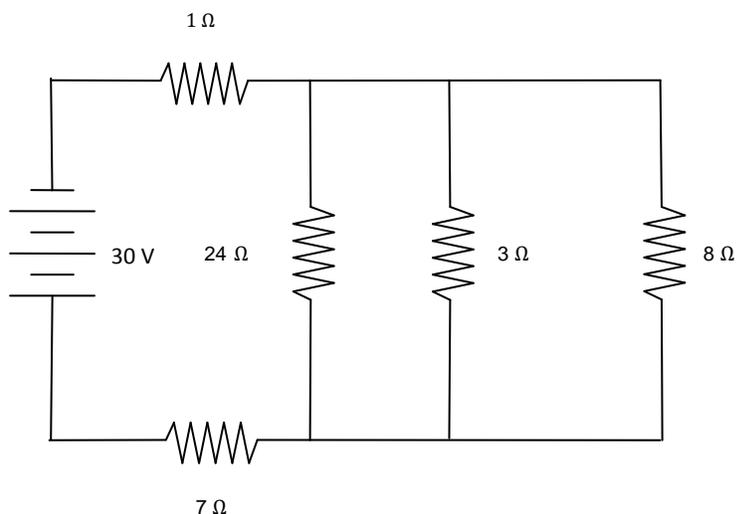
ANNEXE 15: Analyse de circuits (suite)

Il ne s'agit pas ici d'un simple circuit de résistances en série ou en parallèle. Comme il renferme les deux types de circuit, il s'agit d'un exemple de circuit complexe.

De manière générale, il est nécessaire de déterminer la résistance totale ou équivalente du circuit avant de calculer toute autre valeur électrique. Dans un tel circuit complexe il est nécessaire de distinguer les résistances en série de celles en parallèle. On peut ensuite effectuer la somme de chacun de ces deux groupes de résistances pour réduire le nombre de résistances du circuit. L'opération se poursuit jusqu'à ce que le circuit soit réduit à une simple résistance.



On commence généralement par les résistances les plus éloignées de la source. Dans le cas présent, les résistances de $2\ \Omega$ et de $6\ \Omega$ sont connectées en série et on peut combiner les deux valeurs pour obtenir une résistance de $8\ \Omega$. Il en va de même pour les résistances de $20\ \Omega$ et de $4\ \Omega$ dont la valeur totale est de $24\ \Omega$.



On obtient ainsi trois résistances en parallèle, d'une valeur de $24\ \Omega$, $3\ \Omega$, et $8\ \Omega$, respectivement.

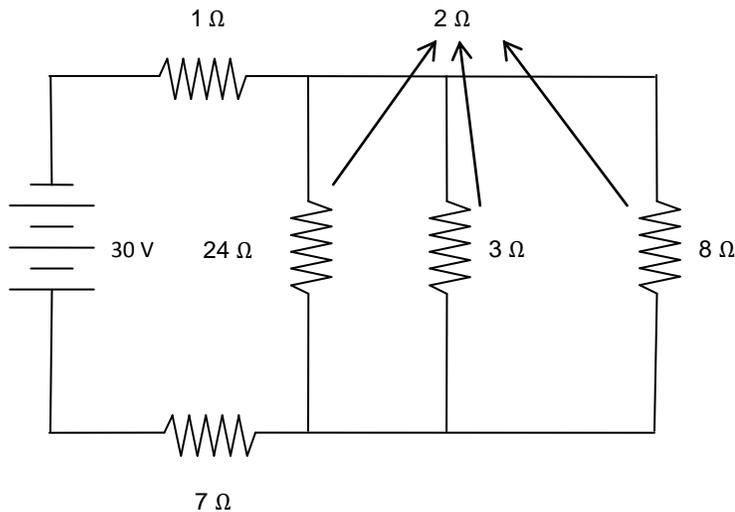


ANNEXE 15: Analyse de circuits (suite)

En combinant ces résistances en parallèle, on obtient :

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{24} + \frac{1}{3} + \frac{1}{8} = \frac{1}{24} + \frac{8}{24} + \frac{3}{24} + \frac{12}{24}$$

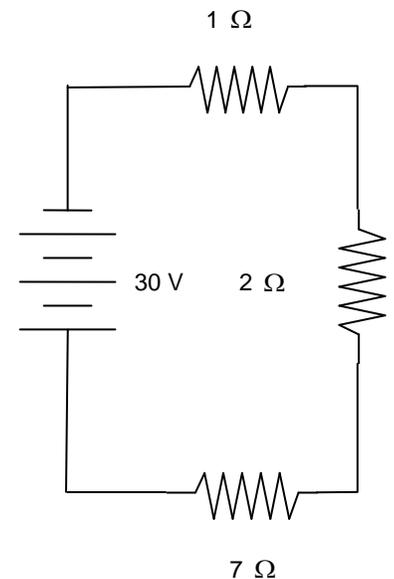
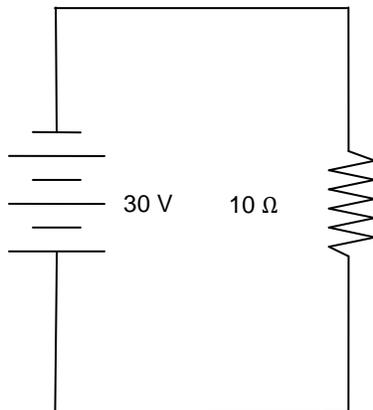
$$R_T = \frac{24}{12} = 2\Omega$$



Le circuit se réduit donc maintenant à trois résistances en série. La résistance totale de l'ensemble du circuit est donc $R_T = 1 + 2 + 7 = 10\Omega$.

C'est ce que l'on appelle souvent la résistance équivalente, et ce circuit simple composé d'une source unique et d'une résistance unique se nomme circuit équivalent.

La résistance équivalente de 10Ω absorbe la même quantité de courant émise par le bloc d'alimentation que les résistances du circuit complexe initial.



ANNEXE 15: Analyse de circuits (suite)

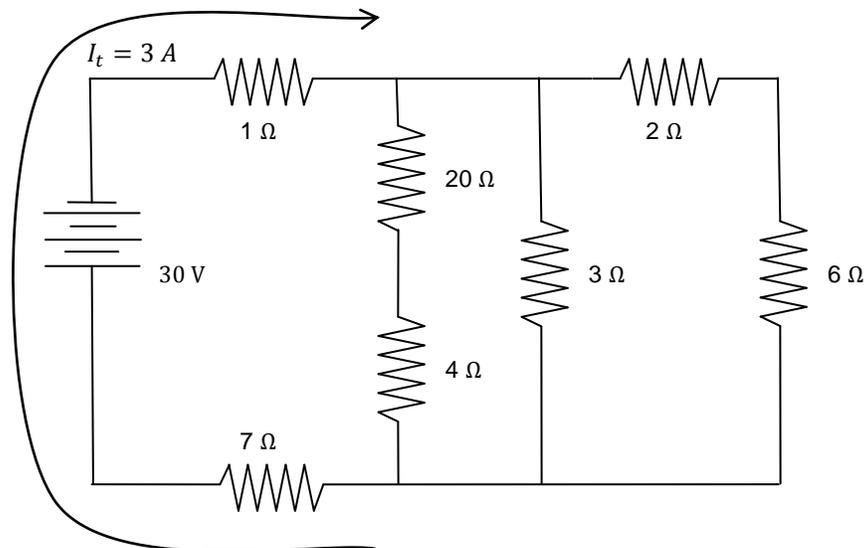
Pour terminer l'analyse, nous reprenons la démarche à rebours afin de recréer le circuit initial en appliquant les lois de Kirchoff :

- première loi de Kirchoff : la somme des courants arrivant à un nœud quelconque d'un circuit est égale à la somme des courants qui en repartent;
- loi des mailles : la somme des chutes de potentiel d'un circuit est égale à la somme des hausses de potentiel du même circuit.

Une fois la résistance totale calculée, trouvez la valeur du courant total qui quitte la source et y retourne.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{30\text{ V}}{10\ \Omega} = 3\text{ A}$$

Cela s'appelle la ligne principale du circuit car le courant total y circule. Il est utile de l'illustrer sur le circuit.



Le courant total passe ensuite par les résistances de $1\ \Omega$ et de $7\ \Omega$. Il en résulte une chute de potentiel dans chacune des résistances.

$$V_{chute} = IR = (3\text{ A})(1\ \Omega) = 3\text{ V}$$

$$\text{et } V_{chute} = (3\text{ A})(7\ \Omega) = 21\text{ V}$$

La chute de potentiel résiduelle pour le reste du circuit est de $30\text{ V} - 24\text{ V} = 6\text{ V}$.



ANNEXE 15: Analyse de circuits (suite)

Comme cette valeur de 6 V est présente dans les trois branches parallèles du circuit, il est possible de déterminer la valeur du courant dans chaque branche. Comme le potentiel est le même pour les résistances en parallèle :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{6 V}{24 \Omega} = 0,25 A$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{6 V}{3 \Omega} = 2 A$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{6 V}{8 \Omega} = 0,75 A$$

On peut calculer la valeur de la chute de potentiel aux résistances de 20 Ω et de 4 Ω .

$$V_{chute} = IR = (0,25 A)(20 \Omega) = 5 V \text{ à la résistance de } 20 \Omega.$$

On peut déterminer la valeur de la chute de potentiel à la résistance de 4 Ω de la même manière ou en utilisant la loi des mailles de Kirchhoff. Comme la valeur de 6 V est présente aux deux résistances et que la chute de potentiel à la résistance de 20 Ω est de 5 V, alors la chute de potentiel à la résistance de 4 Ω est de 6 V – 5 V = 1 V.

On peut recourir à une méthode similaire pour déterminer la chute de potentiel aux résistances de 2 Ω et de 6 Ω . À la résistance de 2 Ω : $V_{chute} = IR = (0,75 A)(2 \Omega) = 1,5 V$. La chute de potentiel à la résistance de 6 Ω est de 6 V – 1,5 V = 4,5 V.

On utilise la loi de Watt ou ses deux variantes pour déterminer la puissance absorbée par chacune des résistances :

En ce qui concerne les résistances en série de 1 Ω et de 7 Ω de la ligne principale du circuit :

$$P = IV = (3 A)(1 \Omega) = 3 W$$

$$P = IV = (3 A)(7 \Omega) = 21 W$$



ANNEXE 15: Analyse de circuits (suite)

En ce qui concerne les résistances de $20\ \Omega$ et de $4\ \Omega$ connectées en série entre elles mais faisant partie du groupe en parallèle :

$$P = I^2 R = (0,25\ A)^2 (20\ \Omega) = 1,25\ W$$

$$P = I^2 R = (0,25\ A)^2 (4\ \Omega) = 0,25\ W$$

La chute de potentiel observée à la résistance de $3\ \Omega$ est de $6\ V$.

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(6\ V)^2}{3\ \Omega} = 12\ W$$

Les résistances de $2\ \Omega$ et de $6\ \Omega$ sont en série et la valeur du courant qui y circule est la même.

$$P = I^2 R = (0,75\ A)^2 (2\ \Omega) = 1,125\ W$$

$$P = I^2 R = (0,75\ A)^2 (6\ \Omega) = 3,375\ W$$

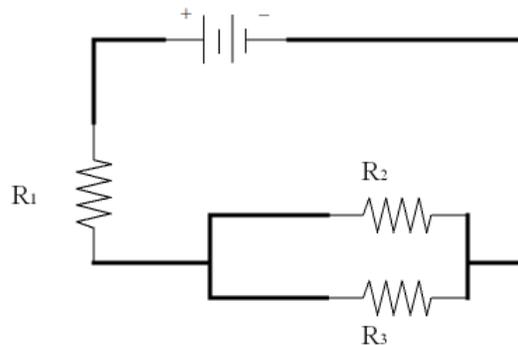
Soulignons qu'il est possible d'obtenir les mêmes valeurs en ayant recours à d'autres variantes des lois de Watt, d'Ohm et de Kirchhoff. Il s'agit pour les étudiants d'un excellent exercice de résolution de problèmes.

Notons aussi que les conventions relatives aux chiffres significatifs n'ont pas été respectées dans l'exemple qui précède. Cela permet aux étudiants de vérifier les résultats par différentes méthodes de calcul.



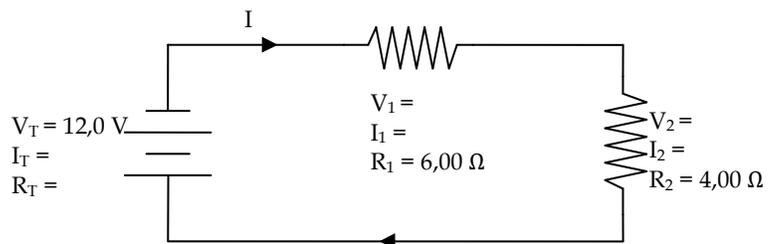
ANNEXE 16 : Test – Analyse de circuits électriques

1. Indique sur le diagramme suivant où tu placerais :
 - a. un ampèremètre pour mesure le courant total.
 - b. Un ampèremètre pour mesurer le courant qui traverse R_2 .
 - c. Un voltmètre pour mesurer la différence de potentiel aux bornes de R_1 .
 - d. Un voltmètre pour mesurer la différence de potentiel aux bornes de R_2 .



2. Un courant de 0,352 A traverse une ampoule connectée à une source de potentiel de 4,65 V.
 - a. Dessine le diagramme du circuit et démontre le placement correct de l'ampèremètre et du voltmètre. Indique la direction du courant dans le circuit.
 - b. Calcule la résistance de l'ampoule.
3. Un chauffe-voiture est branché dans un circuit de 120 V et tire un courant de 7,50 A.
 - a. Quelle est la résistance du chauffe-voiture?
 - b. Quelle est la puissance du chauffe-voiture?
 - c. Si le chauffe-voiture fonctionne pour 3,5 heures, calcule sa consommation d'énergie.

4. Une résistance de $6,00 \Omega$ et une résistance de $4,00 \Omega$ sont connectées en série à une pile de 12,0 V. La pile n'offre aucune résistance dans le circuit.

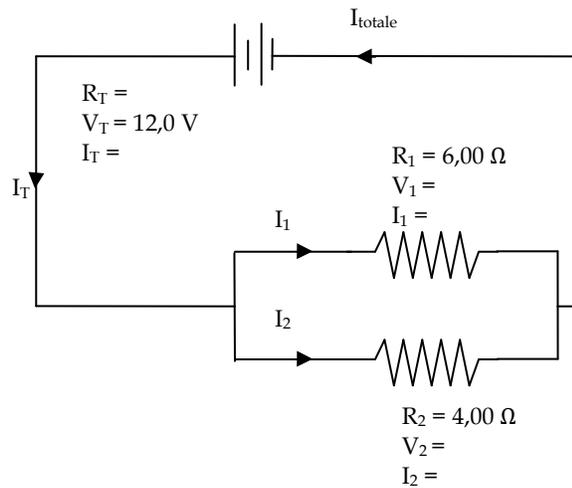


- a. Calcule la résistance totale du circuit.
- b. Calcule le courant qui traverse chaque résistance.
- c. Calcule la puissance dissipée dans chaque résistance.
- d. Calcule la puissance totale du circuit.
- e. Calcule la différence de potentiel aux bornes de chaque résistance.

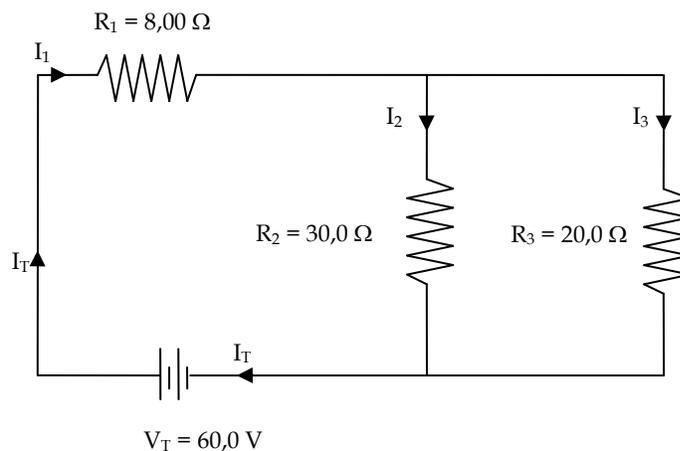


ANNEXE 16: Analyse de circuits électriques (suite)

5. Une résistance de $6,00 \Omega$ et une résistance de $4,00 \Omega$ sont connectées en parallèle à une pile de $12,0 \text{ V}$. La pile n'offre aucune résistance dans le circuit.
- Calcule la résistance totale du circuit.
 - Calcule la différence de potentiel aux bornes de chaque résistance.
 - Calcule le courant qui traverse chaque résistance.
 - Calcule la puissance dissipée dans chaque résistance.
 - Calcule la puissance totale du circuit.

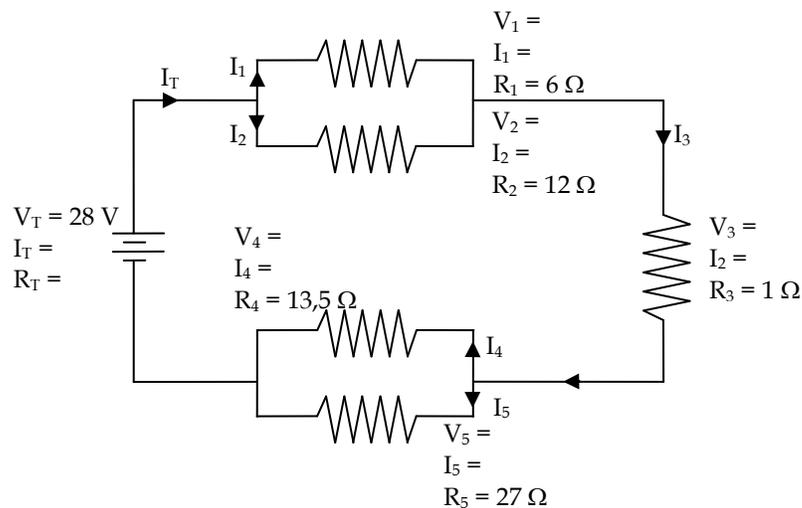


6. Pour le circuit suivant, calcule I_t , I_1 , I_2 , I_3 , R_t , V_1 , V_2 , et V_3 .



ANNEXE 16: Analyse de circuits électriques (suite)

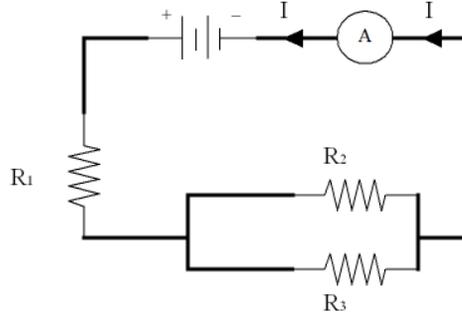
7. Deux résistances de 60Ω sont connectées en parallèle. Cet ensemble parallèle est connecté en série avec une résistance de 30Ω . Le circuit est connecté à une pile de 120 V .
- Dessine un diagramme du circuit. Indique la direction du courant.
 - Calcule la résistance équivalente de la partie parallèle du circuit.
 - Calcule la résistance totale du circuit.
 - Calcule le courant total.
 - Calcule la différence de potentiel aux bornes de la résistance de 30Ω .
 - Calcule la différence de potentiel aux bornes de chaque résistance de 60Ω .
 - Calcule le courant traversant chaque résistance de 60Ω .
 - Démontre l'emplacement d'un ampèremètre mesurant le courant qui traverse la résistance de 30Ω .
 - Démontre le placement d'un voltmètre pour mesurer la différence de potentiel aux bornes d'une des résistances de 60Ω .
 - Calcule la puissance dissipée dans chacune des résistances ainsi que pour tout le circuit.
8. Calcule les données qui manquent dans le diagramme suivant.



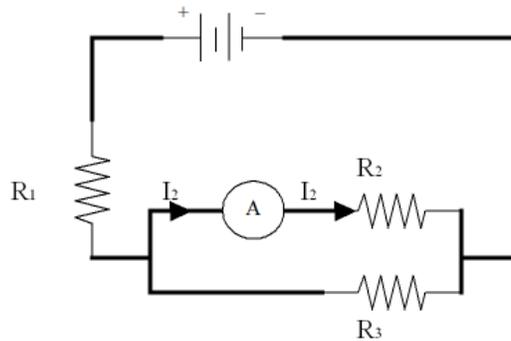
ANNEXE 17 : Analyse de circuits électriques - Corrigé

1.

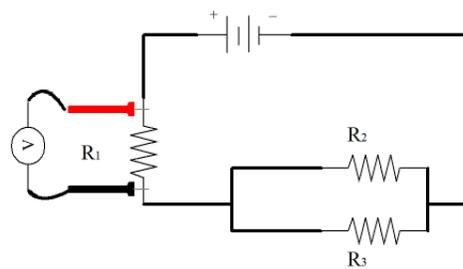
a.



b.

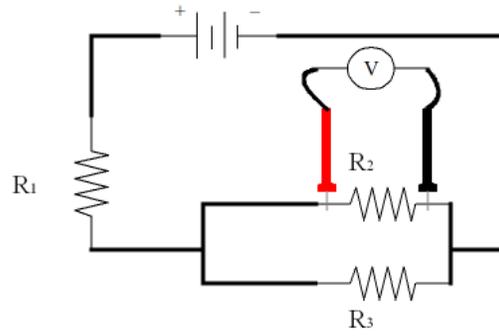


c.



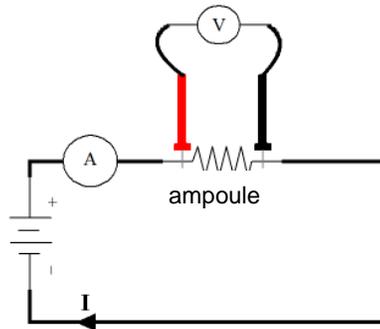
ANNEXE 17: Analyse de circuits électriques - Corrigé (suite)

d.



2.

a.



b. $I = 0,352 \text{ A}$ $V = 4,65 \text{ V}$ $R = ?$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{4,65 \text{ V}}{0,352 \text{ A}} = 13,2 \Omega$$



ANNEXE 17: Analyse de circuits électriques - Corrigé (suite)

3. $I = 7,50 \text{ A}$ $V = 120 \text{ V}$

a. $R = ?$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{120 \text{ V}}{7,50 \text{ A}} = 16 \Omega$$

b. $P = I^2 R = (7,50)^2 (16 \Omega) = 900 \text{ W} = 9,0 \times 10^2 \text{ W}$

c. $\text{Coût} = P \text{ (en KW)} \times \text{temps (en heures)} = 0,90 \text{ KW} \times 3,5 \text{ h} = 3,2 \text{ KWh}$

4.

a. $R_t = R_1 + R_2 = 6,00 \Omega + 4,00 \Omega = 10,00 \Omega$

b. *Le courant qui traverse chaque résistance est égal au courant total du circuit.*

$$I_t = \frac{V_t}{R_t} = \frac{12,0 \text{ V}}{10,0 \Omega} = 1,20 \text{ A, donc } I_1 = 1,20 \text{ A et } I_2 = 1,20 \text{ A}$$

c. $P_1 = I_1^2 R_1 = (1,20 \text{ A})^2 (6,00 \Omega) = 8,64 \text{ W}$

$$P_2 = I_2^2 R_2 = (1,20 \text{ A})^2 (10,00 \Omega) = 5,76 \text{ W}$$

d. $P_t = 8,64 \text{ W} + 5,76 \text{ W} = 14,4 \text{ W}$ ou $P_t = I^2 R_t = (1,20 \text{ A})^2 (10,00 \Omega) = 14,4 \text{ W}$

e. $V_1 = I_1 R_1 = (1,20 \text{ A})(6,00 \Omega) = 7,20 \text{ V}$ $V_2 = I_2 R_2 = (1,20 \text{ A})(4,00 \Omega) = 4,80 \text{ V}$

5.

a. $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{6,00 \Omega} + \frac{1}{4,00 \Omega}$

$$R_t = 2,40 \Omega$$

b. *La différence de potentiel aux bornes de chaque résistance est égale à la différence de potentiel du circuit, donc 12,0 V.*

c. $I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{12,0 \text{ V}}{6,00 \Omega} = 2,00 \text{ A}$ $I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{12,0 \text{ V}}{4,00 \Omega} = 3,00 \text{ A}$

d. $P_1 = I_1^2 R_1 = (2,00 \text{ A})^2 (6,00 \Omega) = 24,0 \text{ W}$ $P_2 = I_2^2 R_2 = (3,00 \text{ A})^2 (4,00 \Omega) = 36,0 \text{ W}$

e. $P_t = 24,0 \text{ W} + 36,0 \text{ W} = 60,0 \text{ W}$



ANNEXE 17: Analyse de circuits électriques - Corrigé (suite)

6. On doit premièrement déterminer la résistance totale du circuit. On peut calculer la résistance équivalente des deux résistances branchées en parallèle.

$$\frac{1}{R_{2,3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{30,0 \Omega} + \frac{1}{20,0 \Omega}$$

$$R_{2,3} = 12,0 \Omega$$

$R_{2,3}$ et R_1 sont maintenant en série. La résistance totale est donc :

$$R_t = R_1 + R_{2,3} = 8,00 \Omega + 12,00 \Omega = 20,00 \Omega$$

On peut ensuite calculer I_t :

$$I_t = \frac{V_t}{R_t} = \frac{60,0 V}{20,0 \Omega} = 3,00 A$$

I_1 est égal à I_t donc a une valeur de 3,00 A.

La différence de potentiel aux bornes de la première résistance est

$$V_1 = I_1 R_1 = (3,00 A)(8,00 \Omega) = 24,0 V$$

Les différences de potentiel pour des résistances en parallèle ont toutes la même valeur donc

$$V_2 = V_3. V_t = V_1 + V_{2,3}, \text{ donc } V_{2,3} = V_t - V_1 = 60,0 V - 24,0 V = 36,0 V.$$

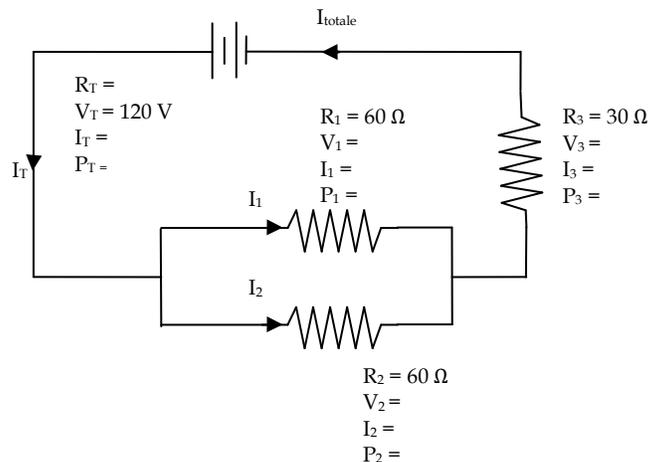
Il nous reste à calculer I_2 et I_3 .

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{36,0 V}{30,0 \Omega} = 1,20 A$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{36,0 V}{20,00 \Omega} = 1,80 A$$

7.

a.



ANNEXE 17: Analyse de circuits électriques - Corrigé (suite)

b.

$$\frac{1}{R_{1,2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{60 \Omega} + \frac{1}{60 \Omega} \quad R_{1,2} = 30 \Omega$$

c.

$$R_t = R_{1,2} + R_3 = 30 \Omega + 30 \Omega = 60 \Omega$$

d.

$$I_t = \frac{V_t}{R_t} = \frac{120 V}{60 \Omega} = 2 A$$

e.

$$V_3 = I_3 R_3 = (2 A)(30 \Omega) = 60 V$$

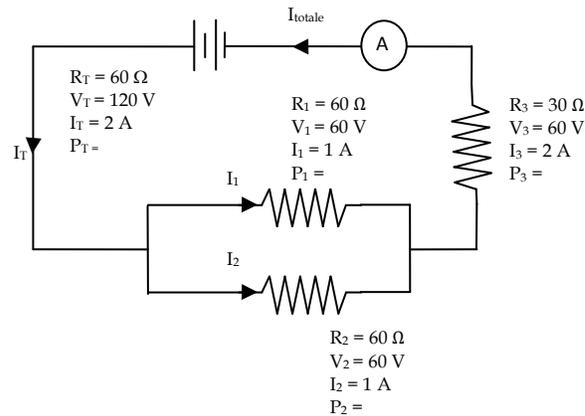
f.

$$V_{1,2} = I_t R_{1,2} = (2 A)(30 \Omega) = 60 V$$

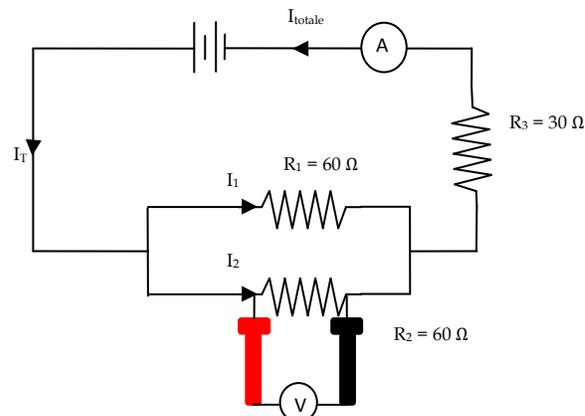
g. *Puisque les deux résistances sont équivalentes, un courant de même intensité va les traverser.*

$$I_{60 \Omega} = \frac{V}{R_{60 \Omega}} = \frac{60 V}{60 \Omega} = 1 A$$

h.



i.



ANNEXE 17: Analyse de circuits électriques - Corrigé (suite)

j.

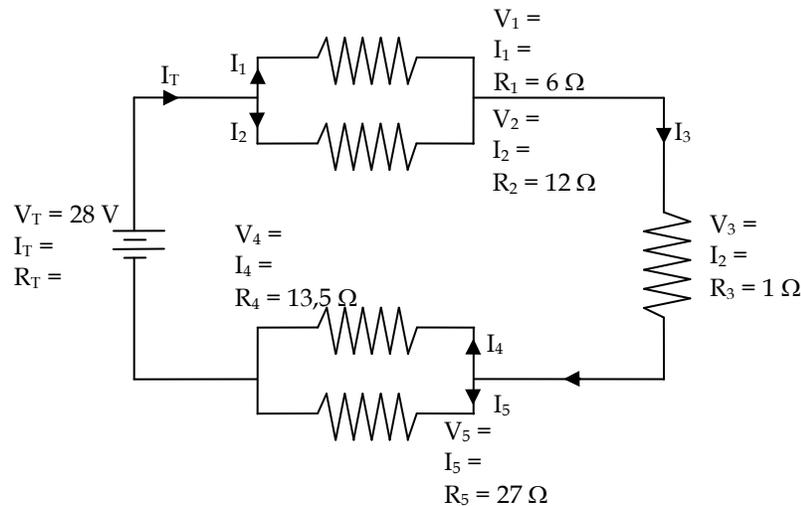
$$P_t = I_t V_t = (2 \text{ A})(120 \text{ V}) = 240 \text{ W}$$

$$P_1 = I_1 V_1 = (1 \text{ A})(60 \text{ V}) = 60 \text{ W}$$

$$P_2 = I_2 V_2 = (1 \text{ A})(60 \text{ V}) = 60 \text{ W}$$

$$P_3 = I_3 V_3 = (2 \text{ A})(60 \text{ V}) = 120 \text{ W}$$

8.



Puisqu'on a les données pour I_3 et R_3 , on peut calculer V_3 .

$$V_3 = R_3 I_3 = (1 \Omega)(2 \text{ A}) = 2 \text{ V}$$

Puisque R_3 est relié en série avec la source de potentiel,

$$I_3 = I_1 = 2 \text{ A}.$$

On peut alors calculer la résistance totale du circuit.

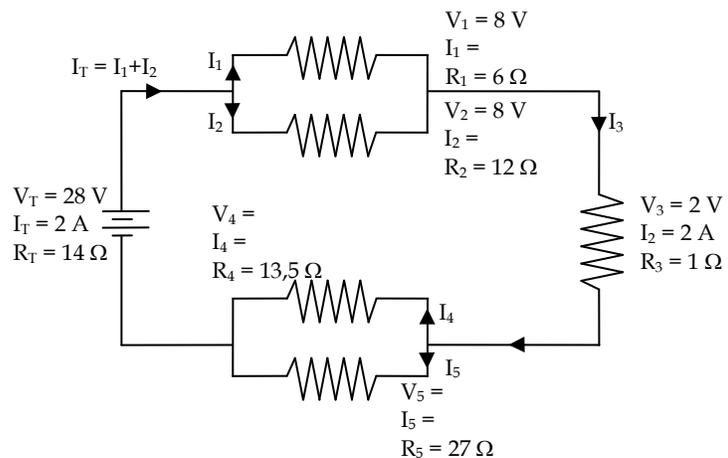
$$R_t = \frac{V_t}{I_t} = \frac{28 \text{ V}}{2 \text{ A}} = 14 \Omega$$

On peut calculer la valeur de $R_{1,2}$.

$$\frac{1}{R_{1,2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{6 \Omega} + \frac{1}{12 \Omega} \quad R_{1,2} = 4 \Omega$$

Calculons ensuite $V_{1,2}$.

$$V_{1,2} = R_{1,2} I_t = (4 \Omega)(2 \text{ A}) = 8 \text{ V}$$



ANNEXE 17: Analyse de circuits électriques - Corrigé (suite)

On connaît maintenant la valeur de V_1 et R_1 donc on peut calculer I_1 .

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{8 \text{ V}}{6 \Omega} = 1,3 \text{ A}$$

On peut aussi calculer I_2 .

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{8 \text{ V}}{12 \Omega} = 0,7 \text{ A}$$

Selon la loi de Kirchhoff, on sait que :

$$V_t = V_{1,2} + V_3 + V_{4,5}$$

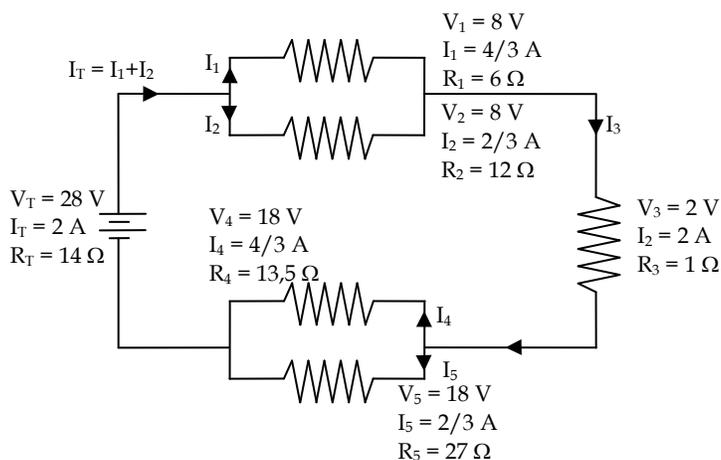
$$28 \text{ V} = 8 \text{ V} + 2 \text{ V} + V_{4,5} \quad V_{4,5} = 18 \text{ V}$$

On peut calculer I_5 .

$$I_5 = \frac{V_5}{R_5} = \frac{18 \text{ V}}{27 \Omega} = 0,7 \text{ A}$$

Finalement, on peut calculer I_4 .

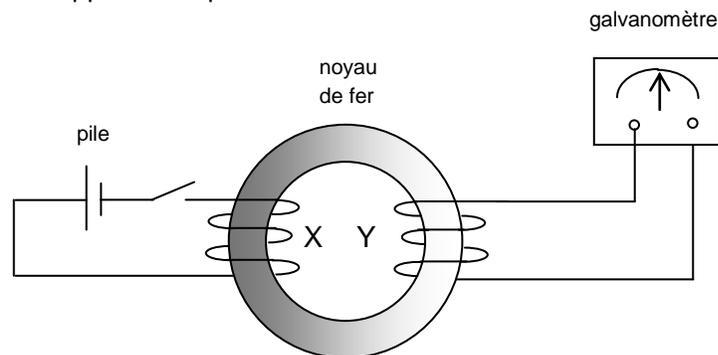
$$I_4 = \frac{V_4}{R_4} = \frac{18 \text{ V}}{13,5 \Omega} = 1,3 \text{ A}$$



ANNEXE 18 : Les travaux de Faraday et l'induction électromagnétique

Au début du 19^e siècle, on découvre qu'un courant électrique produit un champ magnétique et qu'un champ magnétique exerce une force sur un courant électrique ou sur une charge électrique en mouvement. Les scientifiques se demandent alors s'il serait possible de produire un courant électrique à l'aide d'un champ magnétique. Deux scientifiques, l'américain Joseph Henry (1797 – 1878) et l'anglais Michael Faraday (1791 – 1867) découvrent que ceci est possible. Henry fait la découverte avant Faraday, mais Faraday publie ses résultats avant Henry et effectue des expériences plus détaillées.

Faraday a utilisé un appareil tel que celui-ci dessous.



La bobine de fil du circuit X est reliée à une pile. Un courant qui circule dans un conducteur produit un champ magnétique autour du fil. Le courant circulant dans X produit donc un champ magnétique dans la bobine. Le noyau de fer intensifie ce champ magnétique.

Faraday croit que s'il utilise une pile assez puissante, le courant circulant dans X produira un champ magnétique assez fort pour induire un courant dans le circuit Y. Ce deuxième circuit n'est pas relié à une pile, mais est connecté à un galvanomètre afin de détecter tout courant qui y circule. Lorsque Faraday fait circuler un courant constant, le galvanomètre ne détecte aucun courant.

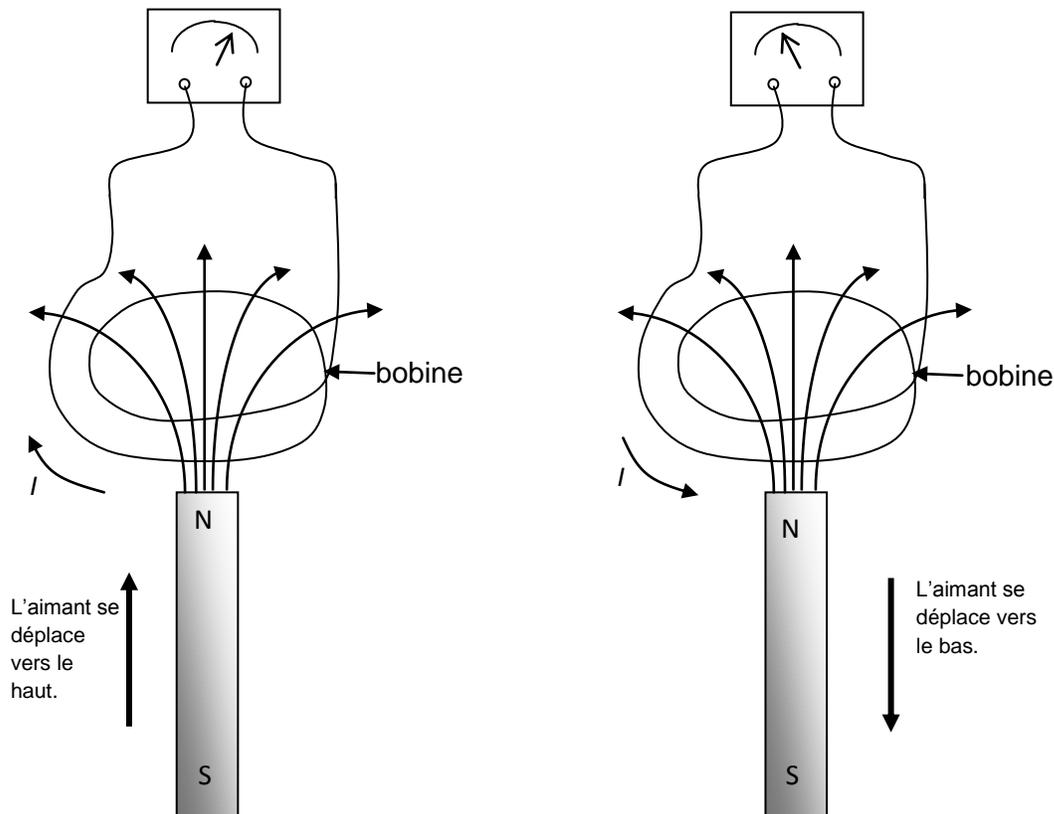
Cependant, en fermant l'interrupteur, il observe une déviation momentanée de l'aiguille du galvanomètre. En ouvrant l'interrupteur, il observe aussi une déviation momentanée de l'aiguille, mais en direction opposée. Un courant est donc induit seulement lorsque le courant du circuit X s'arrête ou commence à circuler. Lorsque le circuit est fermé, le champ magnétique passe de zéro à sa valeur maximale (pas de lignes de champ traversant la bobine à un nombre maximum de lignes de champ traversant la bobine). Lorsque le circuit est ouvert et que le courant cesse de circuler, le champ magnétique passe de sa valeur maximale à une valeur de zéro. Faraday conclut donc qu'un champ magnétique doit varier afin d'induire un courant électrique.

Faraday continue ses expériences sur l'induction électromagnétique. Ces expériences démontrent d'autres façons d'induire une différence de potentiel dans un circuit.



ANNEXE 18: Les travaux de Faraday et l'induction électromagnétique (suite)

L'induction électromagnétique et la variation du champ magnétique



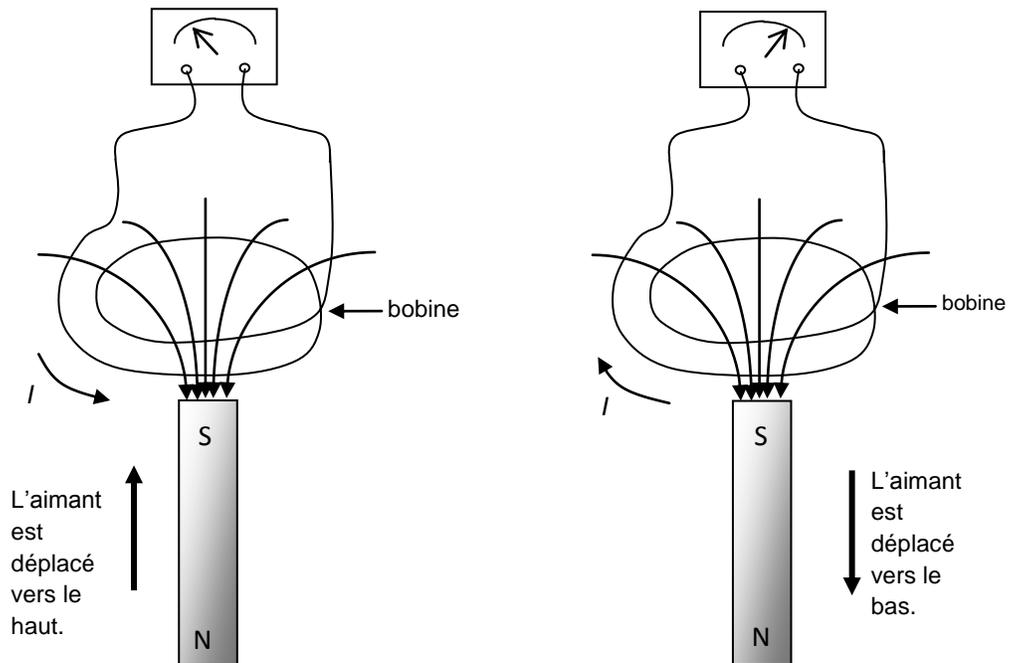
Dans le diagramme à gauche, le pôle nord de l'aimant se déplace vers la bobine de fil reliée à un galvanomètre. Ceci induit un courant et l'aiguille du galvanomètre dévie vers la droite. L'intensité du champ magnétique varie à mesure que l'aimant s'approche de la bobine (un plus grand nombre de lignes de champ magnétique traversent la bobine donc l'intensité du champ augmente).

Dans le diagramme à droite, le pôle nord de l'aimant s'éloigne de la bobine de fil. Ceci induit un courant de direction opposée et l'aiguille du galvanomètre dévie vers la gauche. L'intensité du champ magnétique varie à mesure que l'aimant s'éloigne de la bobine (un nombre décroissant de lignes de champ traversent la bobine donc l'intensité du champ diminue).

Supposons que l'aimant ne se déplaçait pas dans le diagramme à gauche, mais que la bobine était déplacée vers le bas. Un courant serait induit et l'aiguille du galvanomètre dévierait dans la même direction. Un effet semblable serait observé dans le diagramme à droite. Peu importe si la bobine ou si l'aimant se déplace, une différence de potentiel est induite dans les deux cas. Il doit y avoir un mouvement relatif entre l'aimant et la bobine pour induire un courant.



ANNEXE 18: Les travaux de Faraday et l'induction électromagnétique (suite)

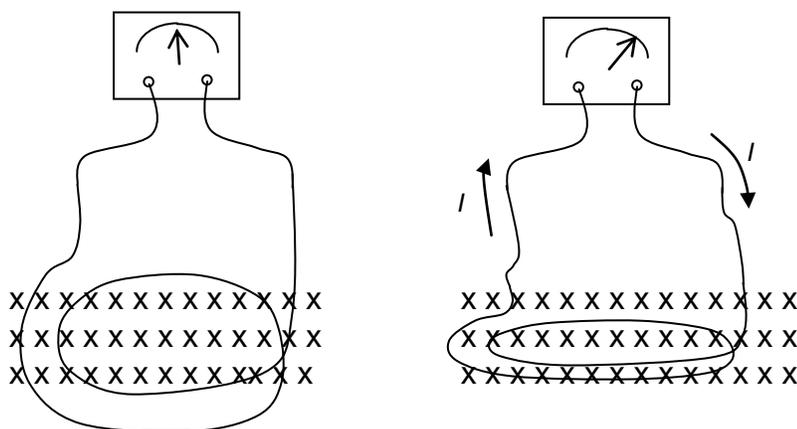


Si on déplace le pôle sud d'un aimant vers la bobine, le courant induit circule dans le sens opposé que lorsqu'on déplace le pôle nord de l'aimant vers la bobine. Si on éloigne le pôle sud de l'aimant de la bobine, le courant induit circule dans le sens opposé que lorsqu'on éloigne le pôle nord de l'aimant.

ANNEXE 18: Les travaux de Faraday et l'induction électromagnétique (suite)

L'induction électromagnétique et l'aire d'une boucle

Une deuxième façon d'induire une différence de potentiel dans un conducteur est de varier la superficie de la bobine. Par exemple, supposons qu'un champ magnétique agit en direction de la page (XXX). Une bobine de fil reliée à un galvanomètre et placée dans de champ magnétique.



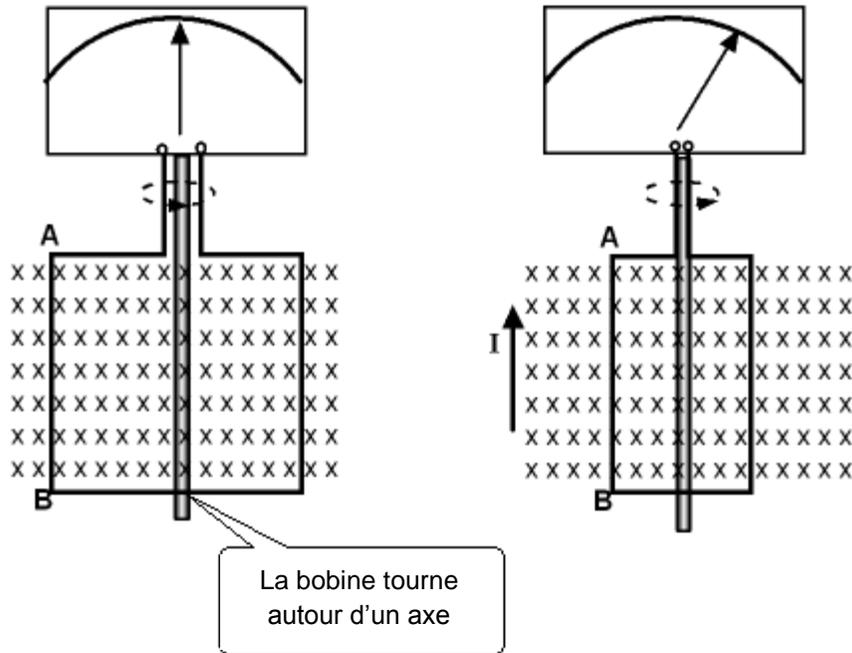
Dans le diagramme à la droite, la bobine est étirée donc une plus petite aire est traversée par les lignes de champ magnétique. Cet étirement fait qu'un courant est induit. Tant que l'aire de la bobine varie, le courant continue à circuler dans le fil.

L'induction électromagnétique et l'orientation d'une boucle

Dans la section précédente, nous avons vu qu'on peut induire un courant dans une bobine en l'étirant afin de réduire son aire. On peut aussi induire un courant sans physiquement changer la forme de la boucle. On la fait tourner dans un champ magnétique, ce qui change l'angle entre la boucle et le champ.



ANNEXE 18: Les travaux de Faraday et l'induction électromagnétique (suite)



Si la bobine tourne en sens inverse des aiguilles d'une montre, on peut voir que le nombre de lignes de champ magnétique traversant la bobine diminue. Ceci induit un courant qui circule du point B au point A.



ANNEXE 19 : Exercice – L'induction électromagnétique

1. Quelles sont les trois façons d'induire un courant dans une bobine de fil?
2. Explique comment la foudre peut produire un courant dans un appareil électrique même si la foudre ne tombe pas directement sur cet appareil.
3. Suppose qu'une bobine de fil reliée à un galvanomètre est déplacée vers la droite à une vitesse de 5,0 m/s. Un aimant droit, le pôle nord orienté vers la boucle, se déplace aussi vers la droite à une vitesse de 5,0 m/s. Un courant sera-t-il induit dans la boucle? Explique ta réponse.
4. Une bobine a une aire de $0,758 \text{ m}^2$ et est placée dans un champ magnétique de 0,0540 T. Calcule le flux magnétique si l'angle entre la normale de la boucle et le champ magnétique a une valeur de :
 - a. $90,0^\circ$
 - b. $45,0^\circ$
 - c. $60,0^\circ$
 - d. $0,0^\circ$
5. Une bobine rectangulaire de 25,0 cm par 18,0 cm est placée dans un champ magnétique de 0,0248 T. Calcule le flux magnétique si la normale de la boucle forme un angle de $35,0^\circ$ avec le champ magnétique.
6. Le flux magnétique d'une bobine de $0,600 \text{ m}^2$ a une valeur de 0,400 Wb. Calcule l'angle entre la boucle et un champ magnétique de 0,052 T.
7. Le plancher d'une maison a une superficie de 112 m^2 . Un de ses murs extérieurs a une superficie de 28 m^2 . Le champ magnétique de la Terre a une composante horizontale de $2,6 \times 10^{-5} \text{ T}$ en direction Nord et une composante verticale de $4,2 \times 10^{-5} \text{ T}$ vers la terre.
 - a. Calcule le flux magnétique à travers le mur externe si ce dernier est orienté vers le nord.
 - b. Calcule le flux magnétique à travers le mur externe si ce dernier est orienté vers l'est.
 - c. Calcule le flux magnétique qui traverse le plancher de la maison.



ANNEXE 20 : L'induction électromagnétique – Corrigé

1. *Trois façons d'induire un courant dans une bobine de fil sont :*
 - a. *faire varier le champ magnétique;*
 - b. *faire varier l'aire de la boucle;*
 - c. *changer l'angle entre le champ magnétique et la boucle.*

2. *On peut comparer l'éclair au courant électrique (des charges en mouvement). Quand l'éclair traverse l'air, un champ magnétique est créé autour de ce courant. Ce champ peut s'étendre et atteindre l'appareil électrique, où se trouve un circuit. Le circuit est comme une bobine de fil. À mesure que le champ magnétique qui traverse cette bobine varie (il augmente ensuite diminue), un courant est induit dans le circuit.*

3. *La bobine de fil et l'aimant se déplacent à la même vitesse vectorielle. Il n'y a donc pas de mouvement relatif entre l'aimant et la bobine, donc aucun courant induit.*

4. $A = 0,758 \text{ m}^2$ $B = 0,0540 \text{ T}$
 - a. $\theta = 90,0^\circ$ $\Phi = ?$
L'angle entre la normale de la boucle et le champ magnétique a une valeur de $90,0^\circ$, donc le champ magnétique est parallèle à la boucle ce qui veut dire qu'aucune ligne de champ ne traverse la boucle. La valeur du flux magnétique est donc 0 Wb .

$$\Phi = BA \cos \theta = (0,0540 \text{ T})(0,758 \text{ m}^2)(\cos 90,0^\circ) = 0 \text{ Wb}$$
 - b. $\Phi = BA \cos \theta = (0,0540 \text{ T})(0,758 \text{ m}^2)(\cos 45,0^\circ) = 0,0298 \text{ Wb}$
 - c. $\Phi = BA \cos \theta = (0,0540 \text{ T})(0,758 \text{ m}^2)(\cos 60,0^\circ) = 0,0205 \text{ Wb}$
 - d. $\Phi = BA \cos \theta = (0,0540 \text{ T})(0,758 \text{ m}^2)(\cos 0^\circ) = 0,0409 \text{ Wb}$

5. *L'aire doit être calculée en mètres carré.*
 $A = L \times l = 0,250 \text{ m} \times 0,180 \text{ m} = 0,0450 \text{ m}^2$

$$\Phi = BA \cos \theta = (0,0248 \text{ T})(0,0450 \text{ m}^2)(\cos 35,0^\circ) = 0,000914 \text{ Wb}$$

6. $\Phi = BA \cos \theta$

$$\cos \theta = \frac{\Phi}{BA}$$

$$\cos \theta = \frac{0,400 \text{ Wb}}{(0,952 \text{ T})(0,600 \text{ m}^2)} = 0,700$$

$$\theta = 45,6^\circ$$



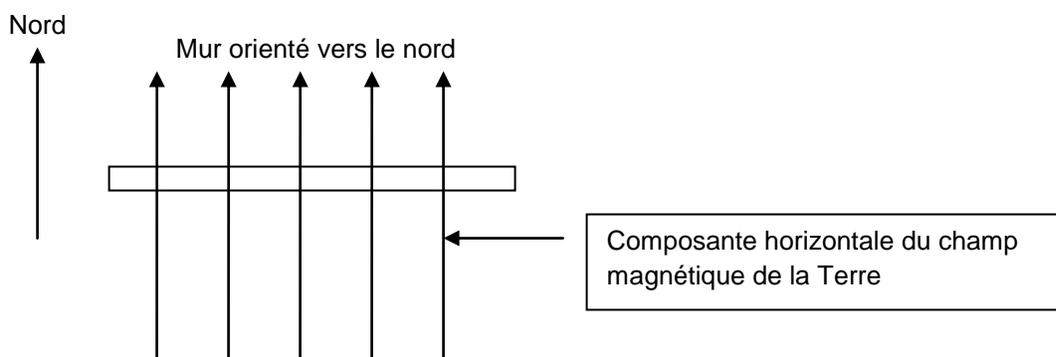
ANNEXE 20: L'induction électromagnétique (suite)

7.

- a. Pour le mur qui est orienté vers le nord, le champ magnétique qui le traverse est aussi orienté vers le nord. L'angle entre la normale du mur et la composante horizontale du champ magnétique est donc 0° .

$$\Phi = BA \cos \theta = (2,6 \times 10^{-5} T)(112 \text{ m}^2)(\cos 0^\circ) = 7,3 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

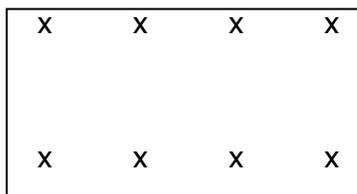
L'angle entre la composante verticale du champ magnétique et la normale du mur est 90° , donc la valeur du flux est 0 Wb.



- b. Il n'y a pas de flux magnétique qui traverse le mur orienté vers l'est. Aucune ligne de champ magnétique ne le traverse.
- c. Le flux magnétique qui traverse le plancher de la maison est causé par la composante verticale du champ magnétique de la Terre. L'angle entre la normale du plancher et les lignes de champ est de 0° .

$$\Phi = BA \cos \theta = (4,2 \times 10^{-5} T)(112 \text{ m}^2)(\cos 0^\circ) = 4,7 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

Vue du haut



ANNEXE 21 : La loi de Faraday – Renseignements pour l'enseignant

Exemple 1 : Le flux magnétique généré autour d'une bobine plate de 20 tours varie de $9 \times 10^{-4} \text{ Wb}$ en 3 millisecondes. Détermine la magnitude du voltage induit dans la bobine.

$$V = \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{(20)(9 \times 10^{-4} \text{ Wb})}{3 \times 10^{-3} \text{ s}} = 6 \text{ V}$$

Exemple 2 : Une bobine de 120 tours et d'un rayon de 12 cm tourne dans un champ magnétique de 0,055 T à raison de 3 200 révolutions à la minute. Quelle est la magnitude du voltage induit durant le quart de tour de la bobine compris entre le moment où B est parallèle à la normale de la bobine et celui où B est perpendiculaire à la normale?

Si B est parallèle à la normale, alors $\sin \theta = 1$ et $B_{\perp} = 0,055 \text{ T}$. Si B est perpendiculaire à la normale, $\sin \theta = 0$ et $B_{\perp} = 0 \text{ T}$. Donc, pour ce quart de tour, $|\Delta B_{\perp}| = 0,055 \text{ T}$.

L'aire de la boucle est : $A = \pi r^2 = \pi(0,12 \text{ m})^2 = 0,0452 \text{ m}^2$

Le temps nécessaire pour accomplir un quart de révolution est :

$$\frac{1 \text{ min}}{3200 \text{ rév.}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \times 0,25 \text{ rév.} = 0,00469 \text{ s}$$

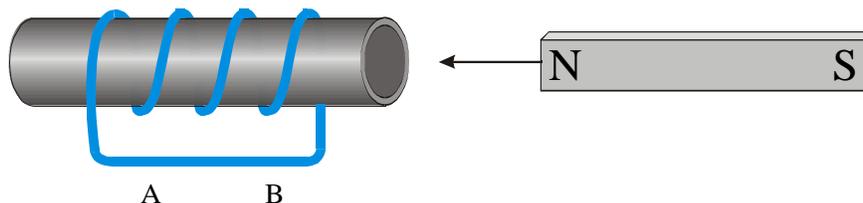
Pour terminer,

$$V = \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{N(\Delta B)A}{\Delta t} = \frac{(120)(0,055 \text{ T})(0,0452 \text{ m}^2)}{0,00469 \text{ s}} = 64 \text{ V}$$



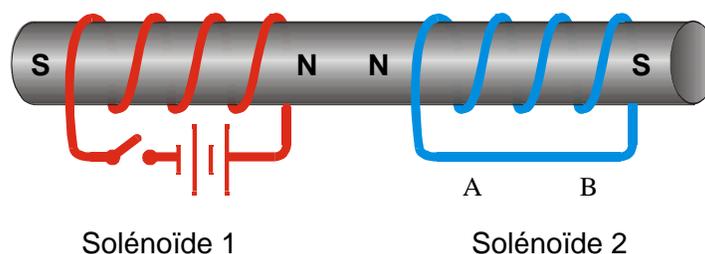
ANNEXE 21: La loi de Faraday – Renseignements pour l'enseignant (suite)

Exemple 3 : Une barre aimantée est insérée dans un solénoïde comme l'illustre la figure ci-dessous. Trouve la direction du courant conventionnel entre les points A et B.



D'après la loi de Lenz, le courant induit dans le solénoïde crée un champ magnétique qui s'oppose au changement de flux initial. Par conséquent, l'aimant induit un pôle nord du côté droit du solénoïde et un pôle sud du côté gauche. En utilisant la règle de la main droite appliquée aux bobines, dirige le pouce de la main droite en direction du champ magnétique (souviens-toi qu'à l'intérieur d'un solénoïde le champ magnétique pointe du sud vers le nord). En pointant correctement le pouce, tes doigts se déposent d'abord sur le dessus de la bobine, s'enroulent autour de la bobine en sortant de la page pour se déposer ensuite sur sa base en revenant dans la page. Par conséquent, le courant conventionnel circule du point B vers le point A.

Exemple 4 : L'interrupteur du circuit du solénoïde 1 est fermé. Trouve la direction du courant entre les points A et B du solénoïde 2.



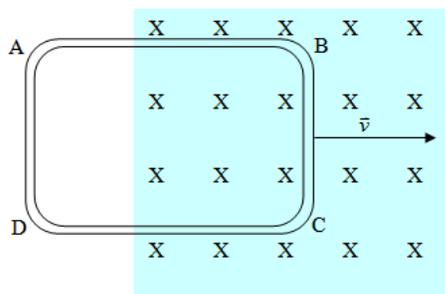
Lorsque l'interrupteur est fermé, le courant du solénoïde 1 induit un champ magnétique dont les lignes de force pointent vers la droite (applique la règle de la main droite). Ce champ (qui change momentanément de 0 à B) induit un courant dans le solénoïde 2 tel que le champ magnétique induit par ce courant s'oppose à celui du solénoïde 1. Par conséquent, les lignes du champ magnétique du solénoïde 2 doivent pointer vers la gauche, et le courant conventionnel du solénoïde 2 doit circuler du point A vers le point B.

Nota : Les exemples présentés sont fondés sur les règles conventionnelles applicables au courant et sur la règle de la main droite. Le courant électronique suit en fait la direction opposée.



ANNEXE 22 : Exercice – La loi de Faraday et la loi de Lenz

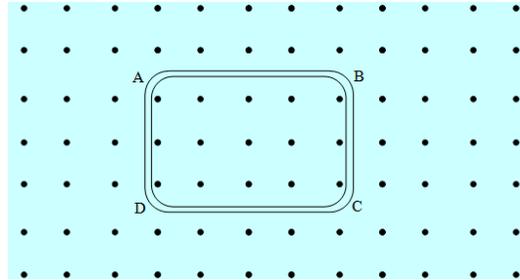
1. Une bobine a 20 tours. Chaque tour a une aire de $0,400 \text{ m}^2$. Le champ magnétique traversant la bobine passe de $0,250 \text{ T}$ à $0,100 \text{ T}$ dans $0,480 \text{ s}$. Calcule la différence de potentiel induite si le champ magnétique est perpendiculaire à la bobine.
2. Une bobine de 25 tours est placée de façon à ce que l'angle entre la normale et le champ magnétique a une valeur de $90,0^\circ$. Chaque tour de la bobine a une aire de $0,600 \text{ m}^2$ et la champ magnétique a une intensité de $0,0850 \text{ T}$. Si la bobine subit une rotation de $40,0^\circ$ en $0,0355 \text{ s}$, quelle est la valeur de la différence de potentiel? Si la bobine a une résistance de $12,0 \Omega$, calcule la valeur du courant induit.
3. Une bobine de 500 tours et d'un rayon de $8,00 \text{ cm}$ subit une rotation dans un champ magnétique uniforme. À $t=0 \text{ s}$, la normale de la bobine est perpendiculaire au champ magnétique. À $t = 0,0150 \text{ s}$, la normale est à un angle de $50,0^\circ$ au champ magnétique. Une différence de potentiel de $0,356 \text{ V}$ est induite dans la bobine. Calcule l'intensité du champ magnétique.
4. La bobine ABCD se déplace vers la droite à une vitesse \vec{v} et traverse un champ magnétique en direction de la page.



- a. Le flux magnétique augmente-t-il ou diminue-t-il? Explique ta réponse.
- b. Quelle est l'orientation du flux magnétique induit? Explique ta réponse.
- c. Le courant induit dans la bobine circule dans quelle direction? Explique ta réponse.

ANNEXE 22: Exercice – La loi de Faraday et la loi de Lenz (suite)

5. Une bobine de 5 tours est longue de 20,0 cm sur les deux côtés et est traversée par un champ magnétique de 0,300 T qui sort de la page. La normale de la bobine est parallèle à la direction du champ magnétique.



- Si rien ne change, quelle est la différence de potentiel induite?
 - Si le champ magnétique passe de 0,300 T à 0,800 T en 0,200 s, quelle est la différence de potentiel induit dans la bobine?
 - Quelle est la direction du courant induit dans la bobine (sens horaire ou antihoraire)?
6. Une bobine de 200 tours a une aire de 100,0 cm². Cette bobine est placée dans un champ magnétique uniforme de 0,500 T qui sort de la page. Le champ magnétique passe à 0 T dans 200,0 ms.
- Quelle est la valeur de la différence de potentiel induit dans la bobine?
 - Quelle est la direction du champ magnétique induit?
 - Quelle est la direction du courant induit?



ANNEXE 23 : La loi de Faraday et la loi de Lenz – Corrigé

1. $N = 20$ $A = 0,400 \text{ m}^2$ $B_1 = 0,250 \text{ T}$ $B_2 = 0,100 \text{ T}$ $\Delta t = 0,480 \text{ s}$ $V = ?$

L'angle entre la normale de la bobine et le champ magnétique est 0° .

L'équation pour calculer le potentiel est $V = -\frac{N\Delta\Phi}{\Delta t}$. Il faut premièrement calculer le flux magnétique à l'aide de $\Delta\Phi = \Delta BA \cos \theta$.

$$\Delta\Phi = (0,100 \text{ T} - 0,250 \text{ T})(0,400 \text{ m}^2)(\cos 0^\circ) = -0,0600 \text{ Wb}$$

$$V = -\frac{N\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{(20 \text{ tours})(-0,0600 \text{ Wb})}{0,480 \text{ s}} = 2,50 \text{ V}$$

2. Ici, l'angle entre le champ magnétique et la normale de la boucle va varier.

$N = 25$ $A = 0,600 \text{ m}^2$ $B = 0,0850 \text{ T}$ $\Delta t = 0,0355 \text{ s}$ $\theta_1 = 90^\circ$ $\theta_2 = 50^\circ$ $R = 12 \Omega$

$$\Delta\Phi = \Delta BA \cos \theta$$

$$\Delta\Phi = \Delta BA \cos \theta = BA(\cos \theta_2 - \cos \theta_1) = (0,0850 \text{ T})(0,600 \text{ m}^2)(\cos 40^\circ - \cos 90^\circ)$$

$$\Delta\Phi = (0,0850 \text{ T})(0,600 \text{ m}^2)(0,766 - 0)$$

$$V = -\frac{N\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{(25 \text{ tours})(0,039 \text{ Wb})}{0,0355 \text{ s}} = -27,5 \text{ V}$$

$$V = IR$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{27,5 \text{ V}}{12,0 \Omega} = 2,3 \text{ A}$$

3. $N = 500$ $r = 8,00 \text{ cm}$ $V = 0,356 \text{ V}$ $\Delta t = 0,0150 \text{ s}$ $\theta_1 = 90^\circ$ $\theta_2 = 50^\circ$ $B = ?$

On calcule premièrement la variation de flux.

$$V = -\frac{N\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\Delta\Phi = -\frac{V\Delta t}{N} = -\frac{(0,356 \text{ V})(0,0150 \text{ s})}{500} = -1,07 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

Pour calculer le champ magnétique, on utilise l'équation $\Delta\Phi = \Delta BA \cos \theta$. Il faut calculer l'aire de la bobine avec $A = \pi r^2 = \pi(0,0800 \text{ m})^2 = 0,0201 \text{ m}^2$.

$$B = \frac{\Delta\Phi}{\Delta A \cos \theta} = \frac{-1,07 \times 10^{-5} \text{ Wb}}{(0,0201 \text{ m}^2)(\cos 50^\circ - \cos 90^\circ)}$$

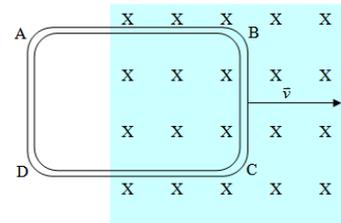
$$B = \frac{-1,07 \times 10^{-5} \text{ Wb}}{(0,0201 \text{ m}^2)(0,6427 - 0)} = -0,00823 \text{ T}$$



ANNEXE 23: La loi de Faraday et la loi de Lenz (suite)

4.

- À mesure que la bobine se déplace vers la droite, le nombre de lignes de champ qui la traversent augmente. Le flux magnétique augmente donc et est dirigé en direction de la page.
- Le flux magnétique induit doit s'opposer à la variation de flux. Puisque le flux augmente, le flux magnétique induit doit être orienté en direction opposée, donc vers l'observateur.
- À l'aide de la première règle de la main droite, on place les doigts courbés dans la direction du champ magnétique, donc vers l'observateur. Le pouce pointe vers la droite, donc le courant circule en sens antihoraire.



5. $N = 5$ L et $l = 20,0 \text{ cm} = 0,200 \text{ m}$ $B_1 = 0,300 \text{ T}$ $B_2 = 0 \text{ T}$

- Un potentiel est seulement induit s'il y a une variation de flux magnétique. Si rien ne change, le potentiel induit est zéro.

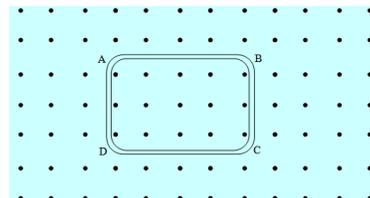
$$b. A = L \times l = (0,200 \text{ m})(0,200 \text{ m}) = 0,0400 \text{ m}^2$$

$$\Delta\Phi = \Delta BA \cos \theta$$

$$\Delta\Phi = (0,800 \text{ T} - 0,300 \text{ T})(0,400 \text{ m}^2)(\cos 0^\circ) = 0,0240 \text{ Wb}$$

$$V = -\frac{N\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{(5)(0,0240 \text{ Wb})}{0,200 \text{ s}} = -0,600 \text{ V}$$

- Le flux magnétique augmente et est orienté vers l'observateur. Selon la loi de Lenz, le flux magnétique induit doit s'opposer à la variation de flux. Puisque le flux augmente, le flux magnétique induit doit être orienté en direction opposée, donc en direction de la page. Avec la première règle de la main droite, on place les doigts courbés dans la direction du champ magnétique donc vers la page. Le courant induit circule donc en sens horaire.



6. $N = 200$ $A = 100,0 \text{ cm}^2 = 0,01 \text{ m}^2$ $B_1 = 0,500 \text{ T}$ $B_2 = 0 \text{ T}$ $\Delta t = 200,0 \text{ ms} = 0,2000 \text{ s}$

- $V = ?$

$$\Delta\Phi = \Delta BA \cos \theta = (0 - 0,500 \text{ T})(0,01000 \text{ m}^2)(\cos 0^\circ) = -5,00 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$V = -\frac{N\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{(200)(-5,00 \times 10^{-3} \text{ Wb})}{0,2000 \text{ s}} = 5,00 \text{ V}$$

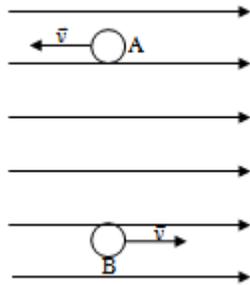
- Selon la loi de Lenz, le flux magnétique induit doit s'opposer à la variation de flux. Puisque le flux diminue, le flux magnétique induit doit être orienté dans la même direction, donc vers l'observateur.
- Avec la première règle de la main droite, on place les doigts courbés dans la direction du champ magnétique donc vers l'observateur. Le courant induit circule donc en sens antihoraire.



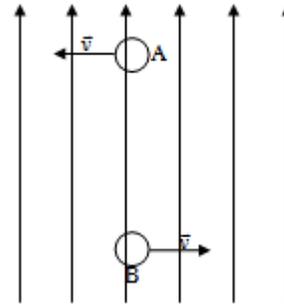
ANNEXE 24 : Exercice – La génératrice à courant alternatif

1. Détermine la direction du courant induit dans chacune des illustrations suivantes (utilise la règle de la main droite). Chaque cercle représente un fil perpendiculaire à la page. La direction du mouvement des fils est indiquée, ainsi que la direction du champ magnétique. Si le courant voyage vers la page, trace un X dans le cercle. Si le courant voyage vers toi, trace un point dans le cercle.

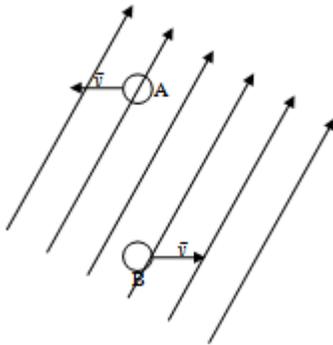
a.



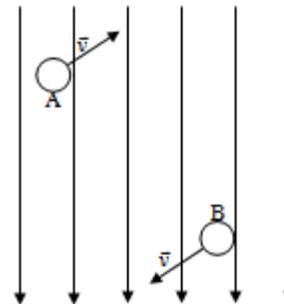
b.



c.

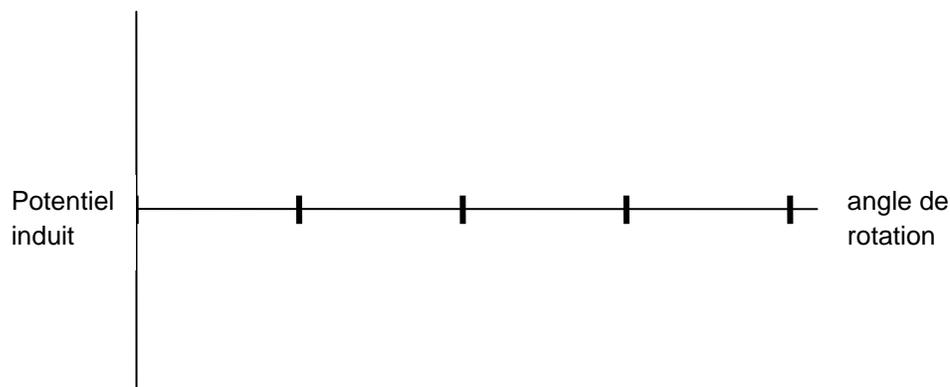
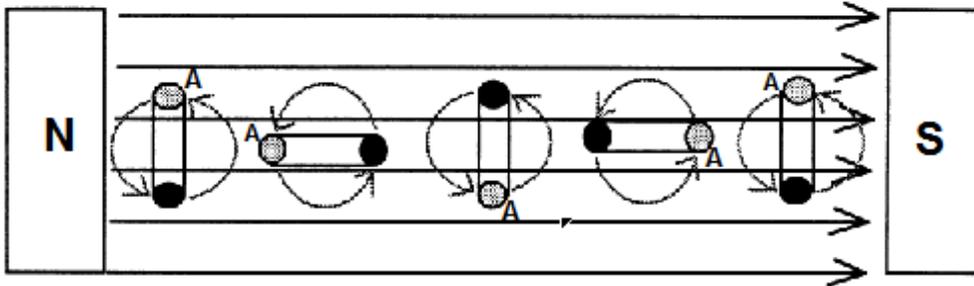


d.



ANNEXE 24: Exercice – La génératrice à courant alternatif (suite)

2. Dans le diagramme suivant, une bobine tourne en sens antihoraire. Trace le graphique de potentiel en fonction de l'angle de rotation pour cette situation.



3. Pour chacune des conditions suivantes, décris ce qui arrive à la différence de potentiel induite dans une génératrice :
- Une augmentation de l'aire de la bobine;
 - Une augmentation de la fréquence de rotation de l'armature;
 - Une augmentation de l'intensité du champ magnétique;
 - Une augmentation du nombre de tours de fil de la bobine.

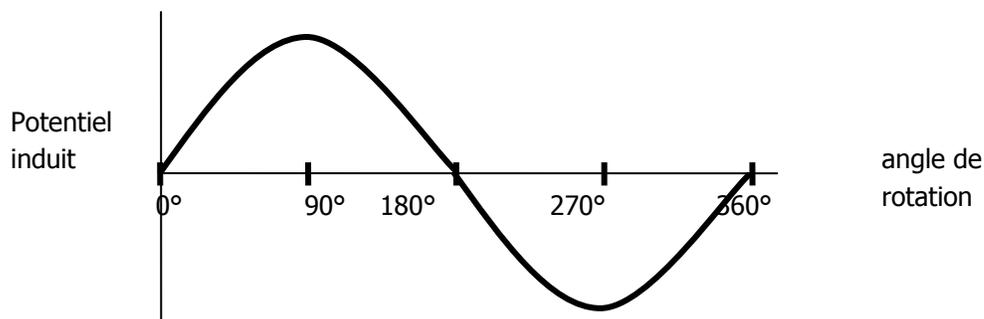


ANNEXE 25 : La génératrice à courant alternatif – Corrigé

1.

- Il n'y a aucun courant induit.*
- Au point A, le courant se dirige vers la page. Avec la troisième loi de la main droite, la paume de la main est dirigée vers la gauche, les doigts pointent vers le bas, donc le pouce se dirige vers la page. Au point B, le courant se dirige vers l'observateur.*
- Au point A, le courant se dirige vers la page. La composante perpendiculaire du champ magnétique se dirige vers le haut. On dirige donc les doigts vers le bas et la paume vers la gauche, donc le pouce se dirige vers la page. Au point B, le courant se dirige vers l'observateur.*
- La composante perpendiculaire du champ magnétique se dirige de A vers B. Au point A, on dirige les doigts vers A et la paume dans la direction de \vec{v} . Le courant se dirige donc vers la page. Au point B, le courant se dirige vers l'observateur.*

2.



3.

- Le potentiel augmente.*
- Le potentiel augmente.*
- Le potentiel augmente.*
- Le potentiel augmente.*

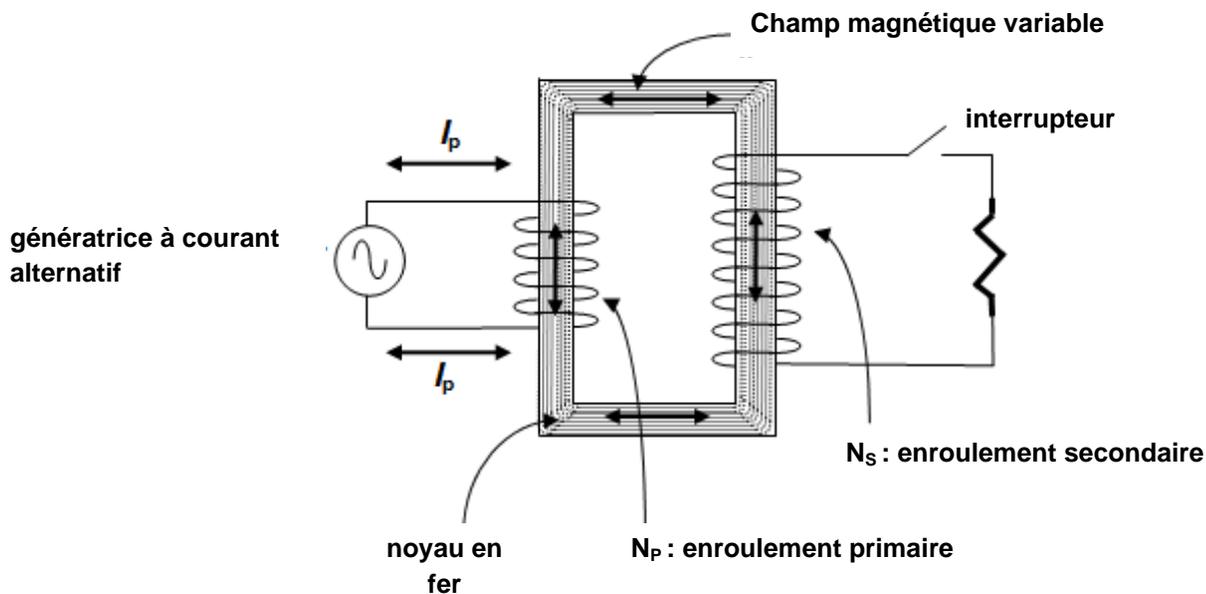


ANNEXE 26 : Les transformateurs – Renseignements pour l'enseignant

Le transformateur est un appareil qui permet de réduire ou d'augmenter le potentiel électrique. Les appareils électriques qu'on utilise ont souvent besoin de différents potentiels électriques et courants pour fonctionner. Il faut donc faire varier le potentiel électrique qui entre dans une maison (généralement d'une valeur de 120 V). Par exemple, 3 à 9 V sont nécessaires pour recharger des piles. Les transformateurs sont aussi importants lors de la distribution d'électricité à partir d'une centrale électrique.

Un transformateur est un appareil formé de deux bobines à plusieurs tours enroulées de chaque côté d'un même noyau en fer doux. Lorsqu'un courant circule dans l'enroulement primaire, il crée un champ magnétique variable dans le noyau de fer. Ce noyau de fer permet au champ magnétique de se rendre à l'enroulement secondaire. Puisque le champ magnétique est variable, le flux magnétique dans les enroulements est aussi variable. Un potentiel électrique est donc induit. Si on branche une résistance à l'enroulement secondaire, un courant induit va y circuler. Selon la loi de Lenz, le courant induit devrait s'opposer au flux magnétique qui l'a induit.

Un transformateur fonctionne avec un courant alternatif et non un courant direct. Un courant direct dans l'enroulement primaire produit un flux, mais ce flux n'est pas variable. Il n'y a donc aucun potentiel électrique induit dans l'enroulement secondaire.



ANNEXE 26: Les transformateurs - Renseignements pour l'enseignant (suite)

Un flux magnétique variable induit un potentiel dans une bobine. La différence de potentiel induite dans une bobine est directement proportionnelle au taux de variation du flux magnétique, selon la loi de Faraday :

$$V = - \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Dans l'enroulement primaire, la différence de potentiel est calculée avec : $V = - \frac{N_p\Delta\Phi}{\Delta t}$. N_p est le nombre de tours de fil dans l'enroulement primaire. La différence de potentiel dans l'enroulement secondaire est calculée avec $V = - \frac{N_s\Delta\Phi}{\Delta t}$, où N_s est le nombre de tours de fil dans l'enroulement secondaire. $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ est identique pour les deux équations, donc on peut l'enlever. On peut donc dire que $\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$. Si N_s est plus grand que N_p , le potentiel de l'enroulement secondaire est plus grand que le potentiel de l'enroulement primaire. Il s'agit donc d'un transformateur survolteur. Si N_s est plus petit que N_p , le potentiel électrique secondaire est plus élevé que le potentiel électrique primaire. Il s'agit donc d'un transformateur dévolteur.

Les élèves ont tendance à croire que, puisque le potentiel de sortie peut être plus élevé que le potentiel d'entrée, un transformateur peut augmenter la puissance. Ceci serait semblable à la production d'énergie à partir de rien, ce qui n'est pas possible. Puisque l'énergie est toujours conservée, la puissance de sortie ne peut pas être plus élevée que la puissance d'entrée. En fait, puisqu'un transformateur libère de la chaleur lorsqu'il fonctionne, la puissance de sortie est moins élevée que la puissance d'entrée. Un transformateur n'est jamais efficace à 100 %. Cependant, si l'on considère une situation idéale, la puissance d'entrée devrait être égale à la puissance de sortie.

$$P_p = P_s$$

$$V_p I_p = V_s I_s$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Selon cette relation, un enroulement à potentiel élevé produira un courant peu élevé (ainsi qu'une résistance élevée). Un enroulement à potentiel peu élevé produira un courant à valeur élevée (et une résistance peu élevée).



ANNEXE 27 : Exercice – Les transformateurs

1. Le transformateur dans un stéréo comprend 325 tours dans l'enroulement primaire et 25 tours dans l'enroulement secondaire. L'appareil est branché à une prise de 120 V. Calcule le potentiel dans l'enroulement secondaire. S'agit-il d'un survolteur ou d'un dévolteur?
2. Un transformateur convertit les 120 V d'une prise murale au potentiel nécessaire pour faire fonctionner un train électrique. L'enroulement primaire du transformateur comprend 160 tours. L'enroulement secondaire comprend 20 tours. Si le courant dans l'enroulement secondaire est de 3,40 A, quel est le courant dans l'enroulement primaire?
3. La puissance nécessaire pour faire fonctionner une télévision est 95 W et est obtenue par l'entremise de l'enroulement secondaire d'un transformateur. Un courant de 5,3 mA circule dans cet enroulement. L'enroulement primaire est relié à un circuit de 120 V. Calcule le rapport de tours (N_s/N_p) du transformateur.
4. $1,0 \times 10^8$ W d'électricité sont produits dans une centrale électrique. Cette électricité est transmise par des fils électriques d'une résistance de $3,00 \Omega$. On peut la transmettre par l'entremise d'une ligne basse tension ($2,0 \times 10^4$ V) ou d'une ligne haute tension ($4,0 \times 10^5$ V).
 - a. Calcule le courant dans la ligne basse tension et la ligne haute tension.
 - b. Calcule la perte d'énergie due à la chaleur pour les deux fils électriques.
 - c. Quelle méthode est la plus efficace pour la transmission d'électricité?



ANNEXE 28 : Les transformateurs – Corrigé

1. $N_p = 325$ $N_s = 25$ $V_p = 120$ V $V_s = ?$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad \frac{120 \text{ V}}{V_s} = \frac{325}{25} \quad V_s = 9,2 \text{ V}$$

Il s'agit d'un dévolteur puisque le potentiel dans l'enroulement secondaire est moins élevé.

2. $V_p = 120$ V $N_p = 160$ $N_s = 20$ $I_s = 3,40$ A $I_p = ?$

Pour déterminer le courant dans l'enroulement primaire, il faut utiliser l'équation $\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$. Cependant, nous ne connaissons pas le potentiel dans l'enroulement secondaire donc il faut le calculer avec :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad \frac{120 \text{ V}}{V_s} = \frac{160}{20}$$

$$V_s = 15 \text{ V}$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad \frac{120 \text{ V}}{15 \text{ V}} = \frac{3,4 \text{ A}}{I_p} \quad I_p = 0,425 \text{ A}$$

3. $P_2 = 95$ W $I_2 = 5,3$ mA = 0,0053 A $V_1 = 120$ V $N_s/N_p = ?$

$$P_2 = V_2 I_2 \quad V_2 = \frac{P_2}{I_2} = \frac{95 \text{ W}}{0,0053 \text{ A}} = 17\,924 \text{ V} = 18\,000 \text{ V}$$

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \quad \frac{N_s}{N_p} = \frac{18\,000 \text{ W}}{120 \text{ V}} = \frac{150}{1} \quad 150:1 \text{ est le ratio.}$$

4. $P = 100\,000\,000$ W $R = 3,00$ Ω

a. Ligne basse tension : $P = VI$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1,0 \times 10^8 \text{ W}}{2,0 \times 10^4 \text{ V}} = 5,0 \times 10^3 \text{ A}$$

Ligne haute tension : $P = VI$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1,0 \times 10^8 \text{ W}}{4,0 \times 10^5 \text{ V}} = 250 \text{ A}$$

b. Pour calculer la perte d'énergie, il faut tenir compte de la résistance donc on utilise l'équation $P = I^2 R$.

Ligne basse tension : $P = I^2 R = (5,0 \times 10^3 \text{ A})^2 (3,00 \text{ Ω}) = 7,5 \times 10^7 \text{ W}$

Ligne haute tension : $P = I^2 R = (250 \text{ A})^2 (3,00 \text{ Ω}) = 1,88 \times 10^5 \text{ W}$

c. La ligne haute tension est plus efficace pour la transmission d'électricité car il y a moins de perte d'énergie.



ANNEXE 29 : La production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba – Renseignements pour l'enseignant

Le Manitoba possède une énorme quantité de ressources renouvelables qui lui permet de produire de l'électricité, soit son potentiel hydroélectrique. On trouve dans la province plusieurs centrales électriques et on étudie la possibilité d'en construire de nouvelles dans les régions du Nord. Le principal avantage de l'hydroélectricité (électricité produite par l'eau en chute) est qu'il s'agit d'une ressource renouvelable. L'eau utilisée pour produire de l'hydroélectricité est naturellement remplacée par la pluie et la neige qui tombe du ciel. Le deuxième avantage important est que la production d'hydroélectricité génère très peu de gaz à effet de serre qui contribue au réchauffement de la planète.

Une centrale hydroélectrique typique

Toutes les centrales hydroélectriques utilisent l'énergie gravitationnelle potentielle de l'eau comme source d'énergie. Lorsque l'eau chute, elle perd son énergie gravitationnelle potentielle et acquiert une énergie cinétique. Cette énergie cinétique est convertie en énergie mécanique par une génératrice. L'eau qui coule à toute vitesse est utilisée pour faire tourner les larges aubes d'une turbine (un peu comme les pales d'un ventilateur). L'arbre de la turbine est connecté à un puissant électroaimant (rotor) qui tourne à l'intérieur d'une enceinte constituée de fils métalliques appelée **stator**. Le champ magnétique variable à l'intérieur des stators produit une force électromotrice par induction et un courant, produisant ainsi de l'électricité.

Jusqu'à une époque récente, une centrale hydroélectrique avait besoin d'un imposant barrage construit sur une rivière. Ce barrage servait à retenir une masse d'eau pour créer un lac. La différence entre le niveau de la nappe d'eau du lac et l'eau au pied du barrage donnait l'énergie gravitationnelle potentielle nécessaire pour créer une source d'énergie. Le barrage assurait aussi une différence suffisante entre les niveaux de l'eau en haut et au pied du barrage pour faire tourner les turbines. Durant les années de sécheresse, le lac créé par le barrage pouvait servir de réservoir d'eau.

Cette méthode avait en outre pour conséquence l'inondation de grandes surfaces et la destruction de terrain ou la détérioration importante des écosystèmes en amont du barrage et de la rivière. De plus, des populations devaient parfois être déplacées. Les inondations empêchaient aussi certaines personnes de chasser et de pêcher pour gagner leur vie.

En raison des problèmes découlant des inondations, des barrages plus modernes ont été construits selon la technique « au fil de l'eau ». Il suffit de trouver des emplacements le long de la rivière où le débit de l'eau est toujours suffisant pour faire tourner les turbines. Les inondations sont ainsi minimales. Plutôt que de créer des lacs artificiels en inondant de larges zones pour assurer une quantité d'eau et un débit adéquats, les sites actuels sont choisis de façon à ce que l'emplacement naturel et la topographie de la région suffisent pour fournir la quantité d'eau nécessaire.



ANNEXE 29: La production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba Renseignements pour l'enseignant (suite)

Vous trouverez ci-dessous un lien pour accéder à une illustration d'une centrale électrique.

http://www.hydro.mb.ca/francais/corporate/facilities/gi_producing_electricity.shtml#howdoes

La plupart des centrales hydroélectriques sont constituées de barrages qui traversent une rivière afin de créer un plan d'eau appelé **bief d'amont**. Vous pouvez voir que l'eau contenue dans le **bief d'amont** (derrière le barrage) passe par un canal pour se diriger vers la turbine. Lorsque l'eau chute, elle perd son énergie gravitationnelle potentielle qui se convertit en énergie cinétique. L'eau coule à toute vitesse sur les aubes de la **turbine** qui se met à tourner. L'eau passe ensuite par des **aspirateurs** pour se rendre en bas du barrage, où elle constitue l'**eau de fuite**. Le niveau de l'eau chute d'environ 30 mètres lorsqu'elle traverse la centrale électrique. Cette chute est appelée **hauteur de chute**. L'énergie potentielle qui se trouve dans l'eau derrière le barrage est convertie en énergie cinétique contenue dans l'eau en chute libre. L'énergie cinétique est convertie en énergie mécanique dans la turbine et le rotor en mouvement. Cette énergie est à son tour transformée en énergie électrique.

L'eau qui tombe sur les turbines peut être contrôlée avec beaucoup de précision. Pour cette raison, la vitesse de rotation des turbines, et donc de l'arbre et du rotor à l'intérieur de la génératrice, peut être maintenue à un niveau précis. Par exemple, ces turbines tournent généralement à des vitesses de 138,5 tours/minute et 128,6 tours/minute. La vitesse de rotation a un effet sur la vitesse à laquelle le champ magnétique change, ce qui à son tour a une incidence sur la magnitude de la force électromotrice produite. Une seule des dix génératrices de la centrale de Limestone peut produire 133 millions de watts ou 133 mégawatts d'électricité. Il s'agit de suffisamment d'énergie pour alimenter plus de 12 000 maisons.

Les grands barrages sont ancrés dans le substrat rocheux. Durant la construction, l'eau est dérivée par des **batardeaux** afin de créer une zone où le lit de la rivière sera à sec. Une fois les travaux de construction terminés, l'eau est de nouveau dérivée pour la faire passer par la centrale électrique. La construction des barrages demande beaucoup de temps et est très coûteuse. Toutefois, à long terme, les coûts de construction astronomiques peuvent être récupérés et les centrales peuvent être rentables.

Le transport de l'électricité

Les génératrices produisent de l'électricité avec une force électromotrice d'environ 25 000 volts (25 kV) produite par induction. Comme les génératrices font appel à un électroaimant tournant (**rotor**) dans une enceinte constituée de fils (**stators**), l'électricité produite consistera en du courant alternatif. La tension fluctuera et, dans un tel cas, elle fluctuera entre un maximum de +25 kV et un minimum de -25 kV. Le courant change également de direction plusieurs fois par seconde. Au Canada et dans le reste de l'Amérique du Nord, la fréquence du courant alternatif est de 60 Hz.



ANNEXE 29: La production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba Renseignements pour l'enseignant (suite)

Durant le transport de l'électricité, la perte d'énergie due à la chaleur est moins grande. Par conséquent, il est plus efficace de transmettre l'électricité à des courants faibles et à des tensions élevées. Pour réduire la dissipation de l'énergie dans les lignes de transport, il faut un courant de faible intensité.

Par conséquent, la prochaine étape du transport de l'énergie électrique consiste à faire passer la tension de 25 kV à 250 000 volts (250 kV) à l'aide d'un transformateur élévateur de tension et d'un rapport du nombre de tours de 10/1.

Un deuxième changement doit être apporté avant de transporter l'électricité. La transmission d'un courant continu à haute tension (courant unidirectionnel) est plus efficace sur de grandes distances. Le courant électrique alternatif à haute tension est donc converti en courant continu à haute tension (CCHT) grâce à un dispositif appelé un **redresseur**. Essentiellement, le redresseur n'utilise que les tensions à partir de 0 V jusqu'à la valeur maximale de la tension positive. Comme la tension aura un signal ou une polarité fixe, le courant ne circulera qu'en une seule direction. Cette conversion est faite dans les postes de conversion de Heday et de Radisson situées près de Gillam, au Manitoba.

Le transport du courant continu à haute tension offre aussi d'autres avantages. Le transport du courant alternatif nécessite trois lignes pour chaque circuit. Le transport du courant continu ne demande que deux lignes pour chaque circuit. Par conséquent, on réalise des économies en utilisant une ligne de moins par circuit. De plus, les pylônes nécessaires pour soutenir ces lignes de transport à haute tension n'ont pas besoin d'être aussi solides, ce qui se traduit par des économies dans les coûts de construction et de matériaux. Donc, pour les grandes distances (plus de 300 km), le transport de l'électricité par CCHT est idéal. La conversion du courant alternatif en courant continu pour le transport offre encore un autre avantage. En reconvertissant le courant continu en courant alternatif, les ingénieurs peuvent aussi contrôler la fréquence du courant alternatif produit, c'est-à-dire les 60 Hz utilisés en Amérique du Nord.

La distribution de l'électricité

Une fois l'électricité convertie, elle part vers le sud en traversant la région située entre le lac Winnipeg et le lac Manitoba. À cette étape-ci, l'électricité passe par des câbles de gros calibre accrochés à d'énormes pylônes de métal. Les lignes hydroélectriques doivent être éloignées du sol et des autres objets afin de prévenir la production d'arcs électriques vers le sol (l'électricité passe dans l'air ou par un objet). Le point d'arrivée de cette ligne est le poste de conversion de Dorsey situé à Rosser, à quelque 26 km au nord-ouest de Winnipeg. Au poste de Dorsey, l'électricité est reconvertie en courant alternatif. Cette conversion est nécessaire puisque les appareils, les téléviseurs, les chaînes stéréos, les ventilateurs, les grille-pain, les cafetières, etc. fonctionnent tous avec un courant alternatif de 60 HZ 120 volts. À partir du poste de Dorsey, onze ligne de 230 kV approvisionnent le Sud du Manitoba et sont interconnectées avec la Saskatchewan, l'Ontario et les États-Unis.

Avant que l'électricité n'arrive à nos maisons, la tension doit être réduite à 230 kV. La réduction de la tension est encore une fois faite par des transformateurs dans des endroits appelés des **sous-stations**.



ANNEXE 29: La production, la transmission et la distribution d'électricité au Manitoba Renseignements pour l'enseignant (suite)

Habituellement, une sous-station de district réduit la tension à 115 kV à l'aide d'un transformateur abaisseur de rapport 1/2. Par la suite, un poste local réduit la tension à 44 kV (transformateur abaisseur de rapport 10/26). Finalement, un autre poste réduit la tension à 4 kV (transformateur abaisseur de rapport 1/11). À partir de ce poste, l'électricité emprunte des lignes électriques aériennes ou des câbles souterrains. Pour tous les transformateurs montés sur des poteaux électriques ou installés au sol, la tension est réduite à 240 V et l'électricité est distribuée par groupes de quatre maisons. Dans les maisons, la tension de 240 V est divisée en deux lignes de 120 V chacune reliée à tous les appareils électriques que nous branchons dans les prises ou qui sont connectés par câbles.



ANNEXE 30 : Réflexion individuelle sur le travail de groupe

Nom : _____

Date : _____

Réfléchis au travail que toi et ton groupe avez fait ensemble et évalue-le. Après ta réflexion, discutes de tes réponses avec les membres de ton groupe.

Légende : 1 - peu satisfait(e) 3 - satisfait(e) 5 - très satisfait(e)

<p>J'ai bien participé.</p> <p>1 2 3 4 5</p>	<p>Le groupe s'est bien concentré sur la tâche.</p> <p>1 2 3 4 5</p>
<p>Je me suis consciemment efforcé(e) de collaborer.</p> <p>1 2 3 4 5</p>	<p>Le groupe a bien collaboré.</p> <p>1 2 3 4 5</p>
<p>J'ai écouté les autres et j'ai bien accueilli leurs contributions.</p> <p>1 2 3 4 5</p>	<p>Tout le monde a contribué.</p> <p>1 2 3 4 5</p>
<p>La prochaine fois, je pourrais...</p>	<p>La prochaine fois, le groupe pourrait...</p>



LA PHYSIQUE MÉDICALE

APERÇU DU REGROUPEMENT

Dans le présent regroupement, l'élève explore le rayonnement par l'entremise d'un contexte de physique médicale. L'intention du contexte de physique médicale est de stimuler l'imagination des élèves en étudiant un sujet d'actualité. L'élève aura l'occasion d'établir des liens entre la radioprotection, la physique médicale et certains principes de physique.

CONSEILS D'ORDRE GÉNÉRAL

En 9^e année, les élèves ont étudié le modèle atomique de Bohr. Les élèves ont étudié les quatre forces fondamentales en physique, 11^e année. En physique 12^e année, on ajoute le concept de stabilité à l'étude de l'atome.

Les applications du rayonnement en physique médicale est un domaine qui ne cesse de progresser, donc l'accès des élèves à Internet est fortement recommandé afin qu'ils puissent y poursuivre leurs recherches.



BLOCS D'ENSEIGNEMENT SUGGÉRÉS

Afin de faciliter la présentation des renseignements et des stratégies d'enseignement et d'évaluation, les RAS de ce regroupement ont été disposés en **blocs d'enseignement**. À souligner que, tout comme le regroupement lui-même, les blocs d'enseignement ne sont que des pistes suggérées pour le déroulement du cours de physique. L'enseignant peut choisir de structurer son cours et ses leçons en privilégiant une autre approche. Quoi qu'il en soit, les élèves doivent réussir les RAS prescrits par le Ministère pour la physique 12^e année.

Outre les RAS propres à ce regroupement, plusieurs RAS transversaux de la physique 12^e année ont été rattachés aux blocs afin d'illustrer comment ils peuvent s'enseigner pendant l'année scolaire.

	Titre du bloc	RAS inclus dans le bloc	Durée suggérée
Bloc A	La radioactivité	P12-4-01, P12-4-02, P12-4-03, P12-4-04, P12-0-1c	120 à 140 min
Bloc B	Le rayonnement ionisant et non ionisant	P12-4-05, P12-4-06, P12-4-07, P12-4-08, P12-0-2i	140 à 160 min
Bloc C	Les techniques d'imagerie et de traitement médical	P12-4-09, P12-0-3a, P12-0-3b, P12-0-3c, P12-0-4b	140 à 160 min
	<i>Récapitulation et objectivation pour le regroupement en entier</i>		<i>100 à 120 min</i>
	Nombre d'heures suggérées pour ce regroupement		8 à 10 h



Ressources éducatives pour l'enseignant

Vous trouverez ci-dessous une liste de ressources éducatives qui se prêtent bien à ce regroupement. Il est possible de se procurer la plupart de ces ressources à la Direction des ressources éducatives françaises (DREF) ou de les commander auprès du Centre des manuels scolaires du Manitoba (CMSM).

[R] indique une ressource recommandée

LIVRES

Éléments de physique: cours d'introduction, de David G. Martindale et Lise Malo, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (1992). ISBN 2-89310-085-6. DREF 530/M384e.

Éléments de physique: cours d'introduction – Guide d'enseignement, de David G. Martindale, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (1994). ISBN 2-89310-173-9. DREF 530/M384e.

[R] **L'enseignement des sciences de la nature au secondaire : Une ressource didactique**, d'Éducation et Formation professionnelle Manitoba (2000). ISBN 0-7711-2139-3. DREF PD. CMSM 93965. [stratégies de pédagogie différenciée]

[R] **Physique 11 – Guide d'enseignement (avec réponses sur cédérom)**, d'Igor Nowikow et Brian Heimbecker, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (2002). ISBN 2-89310-873-3. DREF 530 N948p. CMSM 92898.

[R] **Physique 11 – Manuel de l'élève**, d'Igor Nowikow et Brian Heimbecker, Éd. de la Chenelière/McGraw-Hill (2002). ISBN 2-89310-872-5. DREF 530 N948p. CMSM 92303.

[R] **Physique 11-12 – Banque d'évaluation informatisée**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2009). ISBN 978-2-7650-2451-4. DREF 530 A82p.

[R] **Physique 11-12 – Banque d'images**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2009). ISBN 978-2-7650-2452-1. DREF 530 A82p. CMSM 96138.

[R] **Physique 11-12 – Guide d'enseignement 11^e année**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2007). ISBN 978-2-7650-1702-8. DREF 530 A82p. CMSM 96135.

[R] **Physique 11-12 – Guide d'enseignement 12^e année**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2007). ISBN 978-2-7650-1975-6. DREF 530 A82p. CMSM 96136.

[R] **Physique 11-12 – Manuel de l'élève**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2008). ISBN 978-2-7650-1703-5. DREF 530 A82p. CMSM 97717.



- [R] **Physique 11-12 – Recueil de solutions**, de Ackroyd, J.E. et autres, Éd. Chenelière Éducation (2009). ISBN 978-2-7650-2453-8. DREF 530 A82p. CMSM 96137.
- [R] **Physique 12 – Guide d’enseignement**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615488. DREF 530 H669p 12. CMSM 92899.
- [R] **Physique 12 – Manuel de l’élève**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615341. DREF 530 H669p 12. CMSM 92681.
- [R] **Physique 12 – Matériel reproductible**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615495. DREF 530 H669p 12. CMSM 92863.
- [R] **Physique 12 – Solutionnaire**, de Hirsch, A. et autres, Éd. Beauchemin (2002). ISBN 9782761615501. DREF 530 H669p 12. CMSM 92864.
- Physique 3 – Ondes, optique et physique moderne**, de Benson H. et autres, Éd. du Renouveau pédagogique (1999). ISBN 2-7613-1042-X. DREF 530 B474p 03
- La physique et le monde moderne**, d’Alan Hirsch et Michèle Lemaître, Éd. Guérin (1991). ISBN 2-7601-2400-2. DREF 530.0202/H669p
- Principes fondamentaux de la physique: un cours avancé**, de Martindale, Heath et Eastman, Éd. Guérin (1992). ISBN 2-7601-2445-2. DREF 530 M384p
- [R] **La santé et la radiophysique : ressource manitobaine pour le cours de physique 12^e année – Guide de l’élève**, d’Éducation Manitoba (2009). ISBN 978-0-7711-4465-3. DREF
- [R] **La santé et la radiophysique : ressource manitobaine pour le cours de physique 12^e année – Guide de l’enseignant**, d’Éducation Manitoba (2009). ISBN 978-0-7711-4464-6. DREF
- [R] **La sécurité en sciences de la nature : Un manuel ressource**, d’Éducation et Formation professionnelle Manitoba (1999). ISBN 0-7711-2136-9. DREF P.D. CMSM 91719.

AUTRES IMPRIMÉS

L’Actualité, Éditions Rogers Media, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE. [revue publiée 20 fois l’an; articles d’actualité canadienne et internationale]



Ça m'intéresse, Prisma Presse, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; beaucoup de contenu STSE; excellentes illustrations]

Découvrir : la revue de la recherche, Association francophone pour le savoir, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE [revue bimestrielle de vulgarisation scientifique; recherches canadiennes]

Pour la science, Éd. Bélin, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE [revue mensuelle; version française de la revue américaine *Scientific American*]

[R] **Québec Science**, La Revue Québec Science, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE. [revue publiée 10 fois l'an]

[R] **Science et vie junior**, Excelsior Publications, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; excellente présentation de divers dossiers scientifiques; explications logiques avec beaucoup de diagrammes]

[R] **Science et vie**, Excelsior Publications, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; articles plus techniques]

Sciences et avenir, La Revue Sciences et avenir, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; articles détaillés] <www.sciences-et-avenir.com>

VIDÉOCASSETTES ET DVD

[R] **La santé et la physique : TI/LINAC/IRM/Rayons X/Échographique**, d'Éducation Manitoba (2011).

DISQUES NUMÉRISÉS ET LOGICIELS

Physique 12 – Banque de questions informatisées, Éditions Beauchemin (2002). ISBN 9782761615518. DREF 530 H669p 12.

Évalutel Sciences Physiques. Électricité, de Charles Chahine et autres, Prod. Evalutel Multimédia (1997). ISBN 291229102X. DREF CD-ROM 537 E92.

La physique par l'expérience : simulations, Prod. Sciensoft (1998), DREF CD-ROM 530 S416.



SITES WEB

Agents physiques. <http://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/> (juillet 2012). [Le menu à gauche permet d'accéder à des informations sur le rayonnement]

Association canadienne des physiciens et physiciennes. <<http://www.cap.ca>> (juillet 2012).

Association canadienne des technologues en radiation médicale.
<<http://www.actrm.ca/index.php?lang=FR>> (juillet 2012).

Association des radio-oncologues du Québec. <<http://www.aroq.ca/>> (juillet 2012).

L'Association nucléaire canadienne. <<http://www.cna.ca/>> (juillet 2012). [comprend un grand nombre de modules en ligne à l'intention des élèves permettant de découvrir l'univers de l'industrie nucléaire]

Avenir en santé. <<http://www.avenirsante.com/fr/recherche>> (juillet 2012). [permet d'explorer des carrières dans le domaine de la physique médicale, par exemple physicien(ne) médical(e), technologue en médecine nucléaire et technologue en radio-oncologie]

Bancs solaires et rayonnement UV.

<http://www.iarc.fr/fr/media-centre/iarcnews/2009/sunbeds_uvradiation.php> (juillet 2012).

Comment se déroule une IRM?

<<http://sante-guerir.notrefamille.com/sante-a-z/comment-se-deroule-une-irm-o108235.html>> (juillet 2012).

Commission canadienne de sûreté nucléaire.

<<http://nuclearsafety.gc.ca/fr/educational-resources/grades-9-12/index.cfm>> (juillet 2012).

Déchets radioactifs. <<http://www.dechets-radioactifs.com/index.html>> (juillet 2012).

Dépôt atmosphérique. <<http://www.science.gc.ca/default.asp?Lang=Fr&n=AF1234CE-1&edit=off>> (juillet 2012). [vidéo sur les effets des retombées radioactives sur des communautés du Nord canadien]

Effets des ondes électromagnétiques sur l'humain.

<<http://science-citoyen.u-strasbg.fr/dossiers/ondes/index.html>> (juillet 2012).



L'énergie nucléaire : fusion et fission.

<http://www.cea.fr/jeunes/themes/l_energie_nucleaire/l_energie_nucleaire_fusion_et_fission> (juillet 2012).

Exposition au rayonnement.

<<http://www.hc-sc.gc.ca/hc-ps/ed-ud/event-incident/radiolog/info/details-fra.php>> (juillet 2012).
[information sur les doses de rayonnement]

Le fonctionnement d'un réacteur nucléaire.

<http://www.cea.fr/jeunes/themes/l_energie_nucleaire/le_fonctionnement_d_un_reacteur_nucleaire> (juillet 2012). [comprend des informations, des animations et des diagrammes]

[R] Fours à micro-ondes et leurs dangers.

<http://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/microwave_ovens.html> (juillet 2012).

Fusion froide. <<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3618>> (juillet 2012).

Fusion froide : anniversaire d'un dérapage. <<http://www.sciencepresse.qc.ca/node/23160>> (juillet 2012).

La fusion froide contre-attaque.

<http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/physique-1/d/la-fusion-froide-contre-attaque-20-apres_18718/> (juillet 2012).

Fusion froide : le retour?

<http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/physique-1/d/fusion-froide-le-retour_15671/> (juillet 2012).

Grandeur et décadence des rayons N.

<http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/psy_0003-5033_1906_num_13_1_1295> (juillet 2012). [article sur la prétendue découverte d'un nouveau type de rayonnement appelé rayons N]

Grandeurs et unités de rayonnement ionisant.

<http://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/ionizing.html> (juillet 2012).

Health Physics Society – Frequently Asked Questions.

<<http://hps.org/publicinformation/ate/faqs/>> (juillet 2012). [site anglais; questions et réponses sur les rayonnements]



Hiroshima & Nagasaki. <<http://www.hiroshima-nagasaki.org>> (juillet 2012) [présente des informations et des témoignages du bombardement avec la bombe atomique]

L'homme et les rayonnements.

<http://www.cea.fr/jeunes/themes/la_radioactive/l_homme_et_les_rayonnements> (juillet 2012). [informations, animations et diagrammes sur les différents types de rayonnement et leurs effets]

Horreur atomique à Hiroshima. <<http://archives.radio-canada.ca>> (juillet 2012). [dossier dans les archives de Radio Canada]

L'imagerie médicale. <http://www.cea.fr/jeunes/themes/la_radioactive/l_imagerie_medicale> (juillet 2012). [comprend des informations, des diagrammes, des photos et des vidéos sur les différentes applications des rayonnements en médecine]

Inside Story: Physics in medicine. <http://www.insidestory.iop.org/insidestory_flash1.html> (juillet 2012). [site anglais; site interactif sur les techniques d'imagerie médicale et la radiothérapie]

[R] **L'irradiation des aliments.** <<http://www.radio-canada.ca/actualite/lepicerie/docArchives/2003/01/31/enquete.html>> (juillet 2012).

[R] **Irradiation des aliments.** <<http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/irradiation/index-fra.php>> (juillet 2012).

[R] **Irradiation des aliments.** <<http://www.inspection.gc.ca/francais/fssa/concen/tipcon/irradf.shtml>> (juillet 2012).

Louis Slotin. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Louis_Slotin> (juillet 2012). [courte biographie du physicien nucléaire canadien Louis Slotin]

Lumière et matière.

<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/N__4_Oct__2__5_Lumi_egrave_re_/__satellites/C__O_bserver_la_lumi_egrave_re_4v5.html> (juillet 2012).

Ondes et champs électromagnétiques. <<http://www.rfcom.ca/primer/indexfr.shtml>> (juillet 2012).

Pierre et Marie Curie. <<http://www.curiosphere.tv/video-documentaire/36-culture-scientifique/104492-reportage-pierre-et-marie-curie>> (juillet 2012). [vidéo; Le physicien Pierre-Gilles de Gennes raconte les apports scientifiques de Marie Curie, chimiste, et de Pierre Curie, physicien]



[R] **Pourquoi irradier les aliments?** <http://www.cna.ca/fr/nuclear_facts/Food_irradiation/> (juillet 2012).

Radioactive Quack Cures. <<http://www.orau.org/ptp/collection/quackcures/quackcures.htm>> (juillet 2012). [site anglais]

La radioactivité. <<http://www.cea.fr/jeunes/themes>> (juillet 2012). [dossiers thématiques sur la radioactivité]

La radioactivité.com. <<http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/intro.html>> (juillet 2012).

La radiothérapie. <<http://www.curiosphere.tv/video-documentaire/36-culture-scientifique/104493-reportage-la-radiotherapie>> (juillet 2012). [vidéo; Le physicien Pierre-Gilles de Gennes raconte les débuts de la radiothérapie.]

Radon. <<http://www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/iyh-vsv/envIRON/radon-fra.php>> (juillet 2012).

Du radon dans la maison. <<http://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/produits-services/produits-cartographie/geoscape/ottawa/5934>> (juillet 2012).

Le radium, pour le meilleur et pour le pire.

<<http://www.larecherche.fr/content/recherche/article?id=17135>> (juillet 2012).

Rayon N. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Rayon_N> (juillet 2012).

Le rayonnement ionisant. <<http://www.hc-sc.gc.ca/hc-ps/ed-ud/event-incident/radiolog/info/radiation-ion-fra.php>> (juillet 2012).

The secret life of Louis Slotin. <<http://media.cns-snc.ca/history/pioneers/slotin/slotin.html>> (juillet 2012). [site anglais]

Le sievert, unité de mesure de l'impact de la radioactivité.

<http://www.cea.fr/var/cea/storage/static/fr/jeunes/animation/animations/vlImprimable/cea_sievert.pdf> (juillet 2012). [fiche d'information sur le sievert]

Société canadienne du cancer. <<http://www.cancer.ca/>> (juillet 2012).

[R] **Solarium : Rayonnements et santé.** <http://www.uv-index.ch/images_fr/Broch_Solarium.pdf> (juillet 2012).



- [R] **La technologie nucléaire et les détecteurs de fumée.** <<http://www.cna.ca/wp-content/uploads/Techno-smokeDetector-FR.pdf>> (juillet 2012).
- [R] **La télécommande infrarouge.** <<http://www.roboticus.org/articles/15-la-telecommande-infrarouge-theorie>> (juillet 2012).
- [R] **Traitement de l'eau aux rayons ultraviolets (UV).** <<http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1241475412160&lang=fra>> (juillet 2012).
- Unité de physique médicale.** <<http://www.medphys.mcgill.ca/introFR/mainintroFR.html>> (juillet 2012). [site Internet de l'université McGill décrivant la physique médicale, le programme de physique médical à McGill ainsi que les carrières dans ce domaine]



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES THÉMATIQUES

L'élève sera apte à :

- P12-4-01 décrire le modèle nucléaire de l'atome,
entre autres le proton, le neutron, le noyau, les forces nucléaires, la stabilité, les isotopes, le nombre de masse, l'électron, l'ion;
RAG : A2, D3
- P12-4-02 définir la radioactivité comme un changement nucléaire qui produit de l'énergie,
entre autres le becquerel, la désintégration radioactive, la période radioactive;
RAG : D3, D4
- P12-4-03 effectuer des calculs de désintégration au moyen de nombres entiers de période radioactive;
RAG : C2, D4
- P12-4-04 décrire les genres de rayonnement suivants : les rayons alpha, les rayons bêta et le rayonnement électromagnétique,
entre autres le rayonnement corpusculaire, le rayonnement ondulatoire, le spectre électromagnétique, le transfert linéique d'énergie;
RAG : D3, D4
- P12-4-05 comparer les sources et les caractéristiques du rayonnement ionisant et du rayonnement non ionisant,
entre autres les matières radioactives naturelles, le radon, le rayonnement naturel, l'ampoule, les objets chauds;
RAG : D3, D4
- P12-4-06 décrire des applications du rayonnement non ionisant,
par exemple les communications, le four à micro-ondes, le laser, le lit de bronzage;
RAG : B1, B2
- P12-4-07 décrire des applications du rayonnement ionisant,
par exemple l'irradiation des aliments, la stérilisation, le détecteur de fumée;
RAG : B1, B2



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES THÉMATIQUES (SUITE)

- P12-4-08 décrire les effets du rayonnement ionisant et non ionisant sur le corps humain, entre autres le sievert, les coups de soleil;
RAG : B3, C1
- P12-4-09 étudier l'application du rayonnement dans les techniques d'imagerie et de traitement médical,
par exemple l'imagerie nucléaire : l'ultrason, l'endoscopie, l'imagerie par résonance magnétique (IRM), les rayons X, la tomodensitométrie (TDM), la tomographie par émission de positrons (TEP); la thérapie nucléaire: la curiethérapie, la radiothérapie externe, le couteau gamma;
RAG : A4, B1, B4



Bloc A La radioactivité

L'élève sera apte à :

- P12-4-01** décrire le modèle nucléaire de l'atome,
entre autres le proton, le neutron, le noyau, les forces nucléaires, la stabilité, les isotopes, le nombre de masse, l'électron, l'ion;
RAG : A2, D3
- P12-4-02** définir la radioactivité comme un changement nucléaire qui produit de l'énergie,
entre autres le becquerel, la désintégration radioactive, la période radioactive;
RAG : D3, D4
- P12-4-03** effectuer des calculs de désintégration au moyen de nombres entiers de période radioactive;
RAG : C2, D4
- P12-4-04** décrire les genres de rayonnement suivants : les rayons alpha, les rayons bêta et le rayonnement électromagnétique,
entre autres le rayonnement corpusculaire, le rayonnement ondulatoire, le spectre électromagnétique, le transfert linéique d'énergie;
RAG : D3, D4
- P12-0-1c** rattacher l'historique des idées scientifiques et de la technologie à la forme et à la fonction du savoir scientifique actuel.
RAG : B1

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Activer les connaissances antérieures des élèves sur le développement historique du modèle atomique de Bohr en les invitant à compléter l'exercice de  l'annexe 1.

OU

②

Activer les connaissances antérieures des élèves sur la radioactivité à l'aide de la stratégie « Écoute, dessine, trouve un partenaire, discute » (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 9.14-9.16). La question suivante peut servir de guide :

- *Qu'est-ce qui vous vient à l'esprit quand vous pensez à la radioactivité?*

En 9^e année, les élèves ont étudié le modèle atomique de Bohr. Les élèves ont étudié les quatre forces fondamentales en physique, 11^e année.



En quête

Enseignement direct – Le modèle atomique

Revoir avec les élèves les concepts du modèle atomique qui posent de la difficulté. S'assurer qu'ils saisissent bien les concepts d'isotope, d'ion et de forces nucléaires. Des renseignements pour l'enseignant figurent à  l'annexe 2.

Activité – La radioactivité, la désintégration et la demi-vie

Expliquer aux élèves ce qu'est la radioactivité, la désintégration et la demi-vie (voir  l'annexe 3, *La santé et la radiophysique*, p. 5-6 et 43-46, *Physique 11*, p. 636, 637 et p. 641-644 ou *Physique 11-12*, p. 797 et p. 811-814). Se procurer environ 200 pièces d'un cent (ou plus) et les distribuer aux élèves. Au départ, chaque pièce représente un noyau instable. Inviter les élèves à placer leurs pièces dans un gobelet, à agiter le gobelet puis à le retourner. Toutes les pièces qui tombent du côté face représentent un noyau désintégré (et que l'on présume maintenant stable), et toutes celles qui tombent du côté pile représentent un noyau non encore désintégré – et donc instable. Demander aux élèves de remettre dans le gobelet les pièces tombées du côté pile – c'est-à-dire les « noyaux instables » – et de ranger à part celles tombées du côté face – qui sont « désintégrées » et ne comptent plus dans le jeu. Inviter les élèves à répéter l'opération à plusieurs reprises jusqu'à ce que le nombre de « noyaux instables » soit inférieur à 20, puis illustrer les résultats sur un graphique avec en ordonnée le nombre de noyaux instables et en abscisse le numéro du coup de pile ou face. Du point de vue statistique, nous pouvons nous attendre à ce qu'environ la moitié des pièces « se désintègrent » à chaque coup. La « période radioactive » des pièces correspond à la durée nécessaire pour effectuer le jeu décrit ci-dessus.

Résolution de problèmes

Inviter les élèves à résoudre des problèmes sur la désintégration et la demi-vie (voir *La santé et la radiophysique*, p. 46, *Physique 11*, p. 664 ou *Physique 11-12*, p. 812-814 et p. 817). Revoir les problèmes avec les élèves pour déterminer leur niveau de compréhension. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

Recherche – Les genres de rayonnement

Inviter les élèves à se renseigner sur les différents types de radiation (voir  l'annexe 4, *La santé et la radiophysique*, p. 5 et 6, *Physique 12*, p. 666-673 ou *Physique 11-12*, p. 797-806) et à résumer l'information à l'aide d'une stratégie de prise de notes (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 12.23).

En fin

①

Inviter les élèves à consolider leur compréhension des termes suivants au moyen du procédé tripartite (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.9, 10.10 et 10.22): *becquerel*, *désintégration radioactive*, *période radioactive*, *rayons alpha*, *rayons bêta*, *rayonnement électromagnétique*.



Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à dessiner des modèles de Bohr pour des atomes, des ions et des isotopes d'éléments.

②

Inviter les élèves à compléter un cadre de concept au sujet de la radioactivité (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.20-11.22 et p. 11.36).

③

Inviter les élèves à compléter l'exercice de  l'annexe 5 (le corrigé figure à  l'annexe 6).

④

Inviter les élèves à comparer les différents genres de rayonnements à l'aide de cadres de comparaison (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p.10.15-10.17 et p. 10.24).



Bloc B

Le rayonnement ionisant et non ionisant

L'élève sera apte à :

- P12-4-05** comparer les sources et les caractéristiques du rayonnement ionisant et du rayonnement non ionisant,
entre autres les matières radioactives naturelles, le radon, le rayonnement naturel, l'ampoule, les objets chauds;
RAG : D3, D4
- P12-4-06** décrire des applications du rayonnement non ionisant,
par exemple les communications, le four à micro-ondes, le laser, le lit de bronzage;
RAG : B1, B2
- P12-4-07** décrire des applications du rayonnement ionisant,
par exemple l'irradiation des aliments, la stérilisation, le détecteur de fumée;
RAG : B1, B2
- P12-4-08** décrire les effets du rayonnement ionisant et non ionisant sur le corps humain,
entre autres le sievert, les coups de soleil;
RAG : B3, C1
- P12-0-2i** sélectionner et intégrer de l'information obtenue à partir d'une variété de sources,
entre autres imprimées, électroniques, humaines.
RAG : C6, C8

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Inviter les élèves à discuter les questions suivantes :

- *D'où vient la radiation?*
- *Est-elle toujours dangereuse?*
- *Devrait-on toujours tenter de l'arrêter?*
- *Peut-on l'arrêter?*

OU

②

Se procurer un compteur Geiger et mesurer le rayonnement naturel. Poser les questions suivantes aux élèves :

- *D'où vient cette radiation?*
- *Est-elle dangereuse?*



En quête

Recherche – Applications du rayonnement ionisant et non ionisant

Expliquer aux élèves la différence entre le rayonnement ionisant et non ionisant (voir ① l'annexe 7 ou *La santé et la radiophysique*, p. 21-24). Ensuite, inviter les élèves à se renseigner au sujet des applications du rayonnement ionisant et non ionisant à l'aide de la stratégie *Jigsaw* (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 3.21). Diviser la classe en groupes d'experts et assigner à chacun un article décrivant une différente application. Voici des thèmes et des articles possibles (des renseignements pour l'enseignant figurent à ① l'annexe 8) :

Fours à micro-ondes	< http://www.cchst.ca/reponsesst/phys_agents/microwave_ovens.html > - <i>La santé et la radiophysique</i> , p. 55
Communications	- <i>La santé et la radiophysique</i> , p. 54
Lits de bronzage	< http://www.uv-index.ch/images_fr/Broch_Solarium.pdf > - <i>La santé et la radiophysique</i> , p. 53 et 54
Traitement d'eau aux rayons UV	< http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1241475412160&lang=fra >
Irradiation des aliments	< http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/secure/irradiation/index-fra.php > < http://radio-canada.ca/actualite/lepicerie/docArchives/2003/01/31/enquete.html > < http://www.inspection.gc.ca/francais/fssa/concen/tipcon/irradf.shtml > < http://www.cna.ca/fr/nuclear_facts/food_irradiation/ >
Détecteur de fumée	< http://www.cna.ca/wp-content/uploads/Techno-smokeDetector-FR.pdf >
Télécommande	< http://www.roboticus.org/articles/15-la-telecommande-infrarouge-theorie >

Inviter les élèves à préparer un court résumé de l'article en expliquant le fonctionnement de l'application ainsi que ses effets possibles sur le corps humain. Vérifier les résumés de chaque groupe d'experts, faisant des corrections ou des ajouts s'il y a lieu. Pour s'assurer que chaque membre du groupe d'experts est en mesure d'expliquer son sujet, inviter les élèves à faire des explications à tour de rôle à l'intérieur du groupe d'experts. Ensuite, former des groupes hétérogènes (« familles ») pour qu'ils se partagent leurs nouvelles connaissances.

Effets du rayonnement sur le corps humain

Inviter les élèves à lire un texte sur les effets du rayonnement sur le corps humain (voir ① l'annexe 9) et à résumer l'information à l'aide d'une stratégie de prise de notes (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 12.23).



En fin



Inviter les élèves à évaluer leur participation à l'activité de groupes d'experts (voir @ l'annexe 10).



Stratégies d'évaluation suggérées



Pour vérifier l'acquisition des connaissances par les élèves, utiliser la stratégie des têtes numérotées (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 3.12).



Bloc C

Les techniques d'imagerie et de traitement médical

L'élève sera apte à :

- P12-4-09** étudier l'application du rayonnement dans les techniques d'imagerie et de traitement médical,
par exemple l'imagerie nucléaire : l'ultrason, l'endoscopie, l'imagerie par résonance magnétique (IRM), les rayons X, la tomодensitométrie (TDM), la tomographie par émission de positons (TEP); la thérapie nucléaire: la curiethérapie, la radiothérapie externe, le couteau gamma.
RAG : A4, B1, B4
- P12-0-3a** analyser, selon diverses perspectives, des avantages et des inconvénients pour la société et l'environnement lorsqu'on applique des connaissances scientifiques ou on introduit une technologie particulière;
RAG : B1, B2
- P12-0-3b** décrire des exemples d'évolution de la technologie à la suite de progrès dans le savoir scientifique, et des exemples d'évolution du savoir scientifique résultant d'innovations technologiques;
RAG : A2, B2
- P12-0-3c** relever des enjeux d'ordre social liés aux sciences et à la technologie, en tenant compte des besoins humains et environnementaux et des considérations éthiques;
RAG : B3, B5
- P12-0-4b** travailler en coopération pour rassembler des connaissances antérieures, exprimer et échanger des idées, mener une étude scientifique, résoudre des problèmes et examiner des enjeux;
RAG : C7

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

①

Activer les connaissances antérieures des élèves en leur posant les questions suivantes :

- As-tu déjà eu un rayon-X ou un ultrason?
- C'est quoi l'imagerie par résonance magnétique?
- As-tu déjà entendu parler du couteau gamma?



En quête

Recherche – Applications du rayonnement en médecine

Inviter les élèves à effectuer une recherche sur l'application du rayonnement dans les techniques d'imagerie et de traitement médical, par exemple :

- L'ultrason;
- L'endoscopie;
- L'imagerie par résonance magnétique;
- Les rayons X;
- La tomодensitométrie;
- La tomographie par émission de positrons;
- La curiethérapie;
- La radiothérapie externe;
- Le couteau gamma.

Des renseignements sur les techniques d'imagerie et de traitement médical figurent à  l'annexe 11 et dans le document *La santé et la radiophysique* ainsi que le DVD *La santé et la physique*.

Leur proposer de partager l'information recueillie selon la méthode de leur choix (p. ex., exposé oral, brochure informative, présentation multimédia). Élaborer des critères d'évaluation avec les élèves. Les critères devraient porter aussi bien sur le contenu que sur les éléments de la présentation et devraient être semblables peu importe le type de présentation choisi par les élèves. On devrait attribuer la valeur d'un point à chaque critère ou utiliser une échelle d'évaluation simple (par exemple, excellent, bon, assez bon, pauvre) pour chacun.

Encourager les élèves à puiser de l'information de sources variées, à noter les références bibliographiques (voir  l'annexe 12) et à examiner l'information pour en déterminer l'utilité.

En tête

①

Inviter les élèves à faire une autoévaluation de leur travail de groupe (voir  l'annexe 13).

Stratégies d'évaluation suggérées

①

Évaluer les présentations des élèves selon les critères établis.



Liste des annexes

Annexe 1 :	Exercice – Le développement historique du modèle atomique de Bohr	4.23
Annexe 2 :	Le modèle nucléaire de l'atome – Renseignements pour l'enseignant.....	4.25
Annexe 3 :	Radioactivité et période radioactive – Renseignements pour l'enseignant.....	4.26
Annexe 4 :	Les types de radiation – Renseignements pour l'élève	4.27
Annexe 5 :	Exercice – La désintégration et la demi-vie	4.29
Annexe 6 :	La désintégration et la demi-vie – Corrigé.....	4.31
Annexe 7 :	Le rayonnement ionisant et non ionisant - Renseignements pour l'enseignant.....	4.33
Annexe 8 :	Application du rayonnement ionisant et non ionisant – Renseignements pour l'enseignant	4.34
Annexe 9 :	Les effets du rayonnement – Renseignements pour l'élève	4.36
Annexe 10 :	Autoévaluation de l'apprentissage par groupes d'experts.....	4.38
Annexe 11 :	Application du rayonnement aux techniques d'imagerie diagnostique et de traitement – Renseignements pour l'enseignant	4.39
Annexe 12 :	Références bibliographiques	4.42
Annexe 13 :	Réflexion individuelle sur le travail de groupe.....	4.45



ANNEXE 1 : Exercice – Le développement historique du modèle atomique de Bohr

1. Associe chaque nom à la découverte correspondante.

_____ Ernest Rutherford

A. Découvre l'existence des électrons par expérimentation, et déduit l'existence des protons.

- Tout atome est constitué d'électrons et de protons.
- Tous les électrons sont identiques et ont une charge négative.
- Tous les protons sont identiques et ont une charge positive.
- Les proton a une masse beaucoup plus grande que l'électrons, mais l'électrons a le même montant de charge qu'un proton, quoique opposée en nature.

_____ John Dalton

B. S'inspire du travail de plusieurs scientifiques pour expliquer pourquoi les électrons ne se précipitent pas vers le noyau (puisque toute charge négative est attirée par une charge positive).

- Propose une analogie entre le système solaire et l'atome : les électrons sont attirés vers le centre, mais ils possèdent une forte énergie et donc sont en perpétuel mouvement autour du noyau.
- Il existe des couches électroniques (« niveaux d'énergie » ou « orbites ») où circulent les électrons. Des contraintes physiques limitent le nombre d'électrons dans chaque couche.

_____ Niels Bohr

C. Propose une théorie atomique qui permet de distinguer les particules et les substances.

- Toute matière est constituée de petites particules appelées « atomes ».
- Les atomes ne peuvent être créés, détruits ou divisés en plus petites particules.
- Les atomes du même élément sont identiques, mais différents des atomes des autres éléments.
- Un composé est créé lorsque se combinent, en proportions définies, des atomes de différents éléments.



_____ Joseph John Thomson

D. À la fin des années 1800 et au début des années 1900 des études sur la radioactivité (Roëntgen, Becquerel, Curie) le mènent à découvrir le noyau et à déduire l'existence des neutrons.

- Le minuscule noyau contient les protons qui sont denses, lourds et positifs.
- Un nuage électronique d'un très grand volume, mais très léger, entoure le noyau de l'atome; il est chargé négativement.
- Les neutrons sont sans charge, mais ils ajoutent une importante masse au noyau; en effet, un neutron aurait une masse à peu près égale à celle d'un proton.
- Ce ne sera que pendant les années 1930 que l'existence des neutrons sera confirmée par d'autres chimistes et physiciens.

2. Dessine le diagramme de Bohr pour les éléments suivants : sodium, fluor, argon.
3. Le nombre de masse d'un atome est 108 et son numéro atomique est 47. Il s'agit de quel élément?
4. Combien d'électrons, de protons et de neutrons a un élément dont le nombre de masse est 252 et le numéro atomique est 99. Quel est le nom de cet élément?
5. Quelle force fondamentale de la nature est responsable du maintien des protons et des neutrons dans le noyau d'un atome?



ANNEXE 2 : Le modèle nucléaire de l'atome – Renseignements pour l'enseignant

On peut décrire les atomes comme les éléments constitutifs de la matière. Les atomes sont formés d'une partie centrale appelée le noyau, qui constitue la majeure partie de la masse et renferme toute la charge positive. Les électrons entourent le noyau et portent une charge négative; chaque électron a une charge négative qui équilibre parfaitement la charge positive d'un proton du noyau. Les atomes neutres renferment un nombre égal de protons et d'électrons et ne possèdent par conséquent aucune charge nette. Le terme ion désigne un atome qui n'est pas neutre. Les ions peuvent avoir une charge positive ou négative, selon que les protons ou les électrons sont plus nombreux.

Deux types de particules distincts constituent le noyau : les protons et les neutrons, que l'on désigne globalement par le terme nucléons. Les protons et les neutrons sont de masse presque égale mais possèdent une charge différente : les protons ont une charge positive alors que les neutrons sont neutres. Le nombre de protons du noyau lui confère son identité élémentaire. C'est ce que l'on appelle le numéro atomique. À titre d'exemple, tout atome dont le noyau renferme six protons est défini comme un carbone.

Le nombre de nucléons de l'atome en détermine le nombre de masse. Soulignons que les éléments ont généralement plus d'un numéro de masse car le nombre de neutrons est variable, même pour les atomes d'un même élément. De telles variations chez un même élément sont à l'origine des isotopes. Par exemple, la plupart des atomes de carbone possèdent six neutrons. Ces atomes comptent donc douze nucléons et forment un isotope du carbone, le carbone 12. Un petit nombre d'atomes de carbone présents à l'état naturel renferment cinq neutrons, et donc onze nucléons. Il s'agit d'un autre isotope du carbone, le carbone 11.

Les particules du noyau exercent constamment des forces l'une sur l'autre. Les protons ont tous une charge positive et se repoussent donc mutuellement en raison de leur force électromagnétique. Comme les neutrons sont neutres, ils ne sont pas soumis à l'action d'une force électromagnétique. Les protons comme les neutrons sont soumis à l'effet puissant d'une autre force, la force nucléaire. Cette force d'attraction, supérieure à la force électromagnétique, n'a qu'une portée efficace très restreinte. Les protons d'un noyau se repoussent mutuellement sous l'effet d'une force et s'attirent mutuellement sous l'effet d'une autre. Ces forces peuvent s'équilibrer et, le cas échéant, les particules demeurent à l'intérieur du noyau. Un noyau qui renferme des nucléons en état d'équilibre durable est dit stable.



ANNEXE 3 : Radioactivité et période radioactive – Renseignements pour l'enseignant

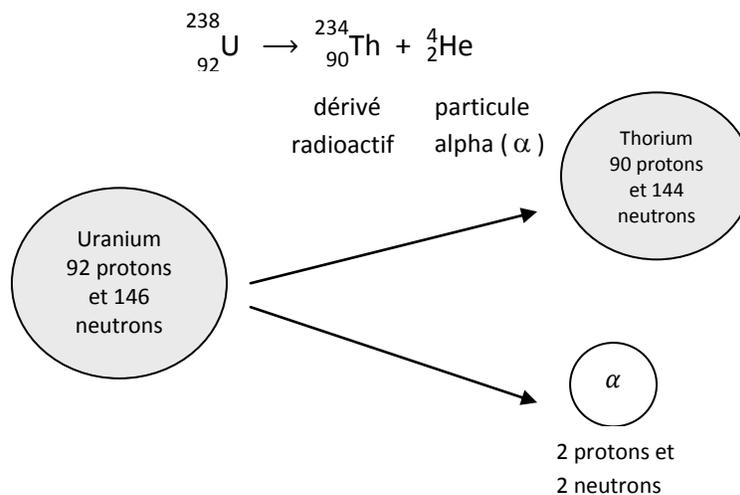
Les forces qui agissent sur les particules du noyau peuvent provoquer la rupture de cet équilibre. Il se produit alors une transformation que l'on appelle désintégration radioactive. Les noyaux qui subissent une désintégration radioactive spontanée sont dits instables. La désintégration radioactive émet de l'énergie et peut aussi modifier la composition du noyau. On dit d'un échantillon de noyau instable qu'il a une activité, et l'unité de mesure d'une telle activité est le Becquerel (Bq), qui correspond à une désintégration par seconde. Bien qu'un noyau instable finisse certainement par se désintégrer, on ne peut prévoir la vitesse de la désintégration et c'est pourquoi on la dit aléatoire. Par exemple, on dit d'un échantillon de substance qui subit 100 désintégrations à la seconde qu'il a une activité de 100 Becquerels.

Comme c'est le cas lorsque l'on tire à pile ou face, il est impossible de prévoir le résultat d'un événement unique mais on peut prédire avec précision le résultat d'un grand nombre d'événements. La période radioactive est une mesure de la longévité d'un isotope instable qui correspond à la durée nécessaire pour que se désintègre la moitié du noyau d'un échantillon important. Prenons à titre d'exemple la période radioactive de l'iode 131 qui est de huit jours environ. Cela signifie que si nous prenions un échantillon de 1 kg d'iode 131, il ne resterait que 0,5 kg d'iode 131 après huit jours (soulignons que le poids de l'échantillon serait toujours d'environ 1 kg, mais que le 0,5 kg résiduel ne serait plus de l'iode 131). Après 16 jours (deux fois la durée radioactive), l'échantillon ne renfermerait qu'environ 0,25 kg d'iode 131. Précisons que 1 kg d'iode 131 renferme approximativement $4,6 \times 10^{24}$ atomes, ce qui rend la prévision statistique très précise.

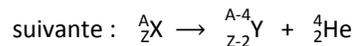


ANNEXE 4 : Les types de radiation – Renseignements pour l'élève

Lorsqu'un noyau se désintègre, il émet de l'énergie. Cette énergie peut prendre la forme de particules (dotées d'énergie cinétique) ou d'ondes. Les particules alpha sont littéralement des fragments de noyau composés de deux protons et de deux neutrons (et donc en fait identiques au noyau de l'atome d'hélium 4). Un isotope qui émet des particules alpha est décrit comme un émetteur alpha, et le processus d'émission de particules alpha par le noyau est la désintégration alpha. La partie résiduelle du noyau original est le dérivé radioactif, qui renferme deux protons et deux neutrons de moins (son identité élémentaire est donc modifiée) que l'atome parent et qui peut lui aussi être instable. Mentionnons à titre d'exemple que l'uranium 238 subit une désintégration alpha dont le dérivé radioactif est le thorium 234.



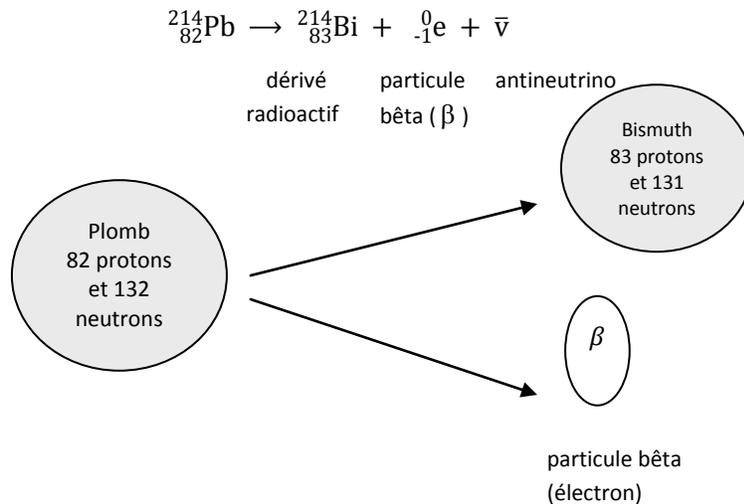
On représente la désintégration alpha par l'équation



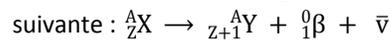
La désintégration bêta est le nom donné à l'émission par le noyau d'une particule bêta. Les particules bêta sont identiques aux électrons. La difficulté à laquelle on se heurte ici est que le noyau ne renferme au départ aucun électron. La particule bêta émise provient en fait de la transformation d'un neutron du noyau en proton. On serait tenté d'en déduire qu'un neutron n'est que le résultat de la fusion d'un proton et d'un électron, mais il n'en est rien. Au niveau subatomique, la création et l'annihilation de particules sont choses courantes. Soulignons à titre d'exemple que le carbone 14 subit une désintégration bêta dont le dérivé radioactif est l'azote 14.



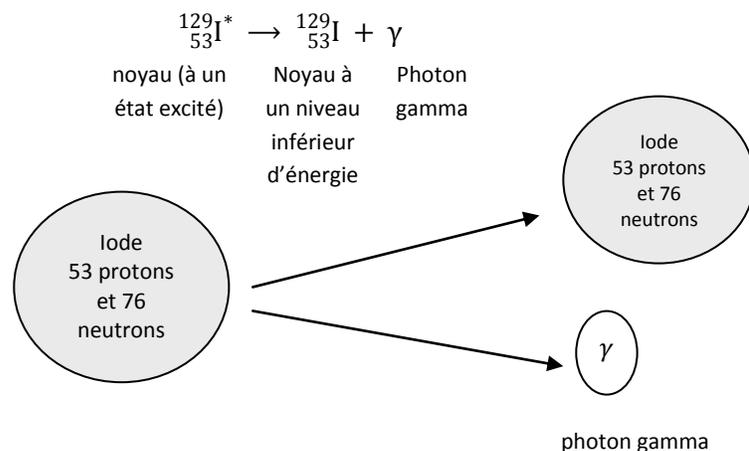
ANNEXE 4 : Les types de radiation – Renseignements pour l'élève (suite)



On représente la désintégration bêta par l'équation



Il se peut aussi que les particules du noyau ne changent pas de nature mais qu'elles passent à un niveau d'énergie moindre, émettant leur énergie sous forme de rayonnement électromagnétique (c.-à-d., de rayons gamma). Les rayons gamma sont essentiellement une forme d'énergie plus élevée que la lumière visible qui appartient tous deux à ce qu'il est généralement convenu d'appeler les ondes électromagnétiques. Le spectre électromagnétique regroupe toutes les ondes électromagnétiques, que l'on définit en fonction de leur fréquence et de leur longueur d'onde. Par ordre croissant d'énergie et de fréquence et par ordre décroissant de longueur d'onde, les composantes du spectre électromagnétique sont les ondes radio, les micro-ondes, l'infrarouge, la lumière visible, les ultraviolets, les rayons X et les rayons gamma.



On représente la désintégration gamma par l'équation



ANNEXE 5 : Exercice – La désintégration et la demi-vie

Complète le tableau qui suit pour déterminer le temps nécessaire à la désintégration pour chaque pourcentage de la quantité initiale.

Élément	Demi-vie	50 % qui reste	25 % qui reste	12,5 % qui reste
Américium – 241	475 années			
Bismuth – 212	60,5 minutes			
Carbone – 14	5730 années			
Hydrogène – 3	12,26 années			
Fer – 59	45,6 jours			
Polonium – 216	0,16 secondes			
Sodium – 24	15 heures			



ANNEXE 5 : Exercice – La désintégration et la demi-vie (suite)

Uranium – 235	710 000 000 années			
Uranium – 238	4,5 milliards d'années			



ANNEXE 6 : La désintégration et la demi-vie – Corrigé

Complète le tableau qui suit pour déterminer le temps nécessaire à de désintégration pour chaque pourcentage de la quantité initiale.

Élément	Demi-vie	50 % qui reste	25 % qui reste	12,5 % qui reste
Américium – 241	475 années	<i>475 années</i>	<i>950 années</i>	<i>1425 années</i>
Bismuth – 212	60,5 minutes	<i>60,5 minutes</i>	<i>121 minutes</i>	<i>181,5 minutes</i>
Carbone – 14	5730 années	<i>5730 années</i>	<i>11 460 années</i>	<i>17 190 années</i>
Hydrogène – 3	12,26 années	<i>12,26 années</i>	<i>24,52 années</i>	<i>36,78 années</i>
Fer – 59	45,6 jours	<i>45,6 jours</i>	<i>91,2 jours</i>	<i>136,8 jours</i>
Polonium – 216	0,16 secondes	<i>0,16 secondes</i>	<i>0,32 secondes</i>	<i>0,48 secondes</i>
Sodium – 24	15 heures	<i>15 heures</i>	<i>30 heures</i>	<i>45 heures</i>



ANNEXE 6 : La désintégration et la demi-vie (suite)

Uranium – 235	710 000 000 années	<i>710 000 000 années</i>	<i>1 420 000 000 années</i>	<i>2 130 000 000 années</i>
Uranium – 238	4,5 milliards d'années	<i>4,5 milliards d'années</i>	<i>9 milliards d'années</i>	<i>13,5 milliards d'années</i>



ANNEXE 7 : Le rayonnement ionisant et non ionisant – Renseignements pour l'enseignant

Certains élèves croient peut-être que le « rayonnement » est dangereux et qu'il faut s'en protéger. S'il est vrai que le rayonnement est parfois dangereux, il est toutefois impossible de l'éviter. Nombre de matériaux courants de notre environnement sont naturellement radioactifs car ils renferment des isotopes instables. Tout, de l'air que nous respirons aux aliments que nous mangeons en passant par la terre sur laquelle nous vivons, est radioactif. Outre ces sources d'origine terrestre, nous sommes constamment exposés au rayonnement en provenance de l'espace, y compris celui du soleil.

Il existe aussi plusieurs sources de rayonnement artificielles. Ce sont notamment les sources radioactives présentes dans les produits de consommation comme l'enveloppe des lanternes à gaz et les détecteurs de fumée ainsi que les sources de rayonnement auxquelles nous sommes parfois exposés au cours d'examen médicaux.

On peut généralement décrire le rayonnement, quelle qu'en soit la forme, comme ionisant ou non ionisant. Après leur émission par le noyau, les différentes formes de rayonnement peuvent interagir avec la matière et tout particulièrement avec les électrons entourant un atome neutre. Un rayonnement assez puissant peut extraire un électron de l'atome parent et créer un ion chargé et un électron libre est un rayonnement ionisant. Le rayonnement dont l'énergie n'est pas suffisante pour provoquer l'ionisation est dit non ionisant.

Lorsque l'on utilise le terme rayonnement au sens large, tout pour ainsi dire peut être source de rayonnement. Notamment, tout objet émet un rayonnement électromagnétique dont le type et la quantité varient en fonction de sa température. À température ambiante, les objets émettent surtout des infrarouges (rayonnement non ionisant). À température élevée, ils émettent en outre de la lumière visible (rayonnement non ionisant). Le filament d'une ampoule électrique incandescente est conçu pour émettre de la lumière visible lorsqu'il atteint une température suffisamment élevée.

Résumé : Le rayonnement ionisant est un rayonnement de particules (comme les particules α ou β ou les neutrons rapides) ou d'ondes électromagnétiques à haute énergie (comme les rayons gamma, les rayons X ou les rayons UV à haute énergie) suffisamment puissantes pour expulser les électrons des atomes ou des molécules et créer des ions. Le rayonnement non ionisant est un rayonnement d'ondes électromagnétiques qui n'a pas assez d'énergie pour expulser les électrons des atomes ou des molécules.



ANNEXE 8 : Application du rayonnement ionisant et non ionisant – Renseignements pour l'enseignant

Le rayonnement joue un rôle important et varié dans notre vie quotidienne. Certaines applications du rayonnement comme dans le domaine des communications et le fonctionnement des fours à micro-ondes sont perçues comme utiles. D'autres applications comme l'irradiation des aliments prêtent à controverse, et d'autres encore, comme les coups de soleil et la radiothérapie, ont des conséquences majeures sur le plan médical. Il s'agit là d'excellents sujets de recherche autonome. Les élèves devraient être en mesure d'expliquer les lois physiques en rapport avec leurs recherches, de cerner les deux points de vue propres à tout sujet portant à controverse et d'aborder les inquiétudes que suscite leur sujet de recherche dans la société.

Applications du rayonnement non ionisant

Le rayonnement électromagnétique à haute énergie (rayons γ , rayons X, rayons ultraviolets à haute énergie) est suffisamment puissant pour ioniser les atomes et les molécules, ce qui n'est pas le cas des ondes électromagnétiques à basse énergie. On divise habituellement le spectre électromagnétique en sept régions qui tendent à se chevaucher. Les ondes électromagnétiques ayant la plus grande longueur d'onde, la plus basse fréquence et la plus basse énergie sont les ondes radio. Par ordre croissant d'énergie, le spectre comprend ensuite les micro-ondes, l'infrarouge, la lumière visible, les rayons ultraviolets, les rayons X et, finalement, les rayons γ . Les ondes électromagnétiques à basse énergie donnent lieu à différentes applications.

Les ondes électromagnétiques à très basse fréquence ayant des applications pratiques sont les ondes radio et télé. Les stations radios que nous écoutons le plus souvent sont soit des stations AM (à modulation d'amplitude) ou des stations FM (à modulation de fréquence). La gamme de fréquences des ondes AM varie entre 545 kHz et 1 605 kHz. La fréquence des ondes radio FM varie entre 88 MHz et 108 MHz. Les chaînes de télévision 2 à 6 utilisent des ondes électromagnétiques dont la fréquence varie entre 54 et 88 MHz, alors que les chaînes 7 à 13 utilisent des fréquences variant entre 174 et 216 MHz.

La plage de fréquences allant d'environ 10^9 Hz, ou 1 gigahertz (1 GHz), à environ 3×10^{11} Hz est le domaine des micro-ondes. Comme ces ondes pénètrent l'atmosphère terrestre, elles sont particulièrement utiles aux communications avec les véhicules spatiaux et en radioastronomie. Les micro-ondes servent à communiquer par l'intermédiaire des satellites et sont donc utiles en ce qui a trait à la technologie téléphonique et cellulaire. Elles servent aussi aux communications entre les avions, entre les avions et les stations terrestres et entre les stations de télévision.

Les molécules d'eau absorbent les micro-ondes, qui les font vibrer selon un mouvement de va-et-vient. L'énergie vibratoire se convertit rapidement en énergie thermique et l'eau s'échauffe. C'est le mode de fonctionnement des fours à micro-ondes. L'objet à chauffer doit contenir de l'eau, ce qui explique qu'une assiette en papier sèche n'absorbe aucune chaleur. De manière similaire, on utilise les appareils de diathermie pour réchauffer les muscles et les articulations afin de soulager la douleur.



ANNEXE 8 : Application du rayonnement ionisant et non ionisant – Renseignements pour l'enseignant (suite)

La bande infrarouge se fond dans celle des micro-ondes à environ 300 GHz (10^9 Hz, longueur d'onde de 1,0 mm) et s'étend jusqu'à environ 385 THz (10^{12} Hz, longueur d'onde de 780 nm). Le rayonnement infrarouge est vraiment un rayonnement thermique. Ce type de rayonnement trouve une application dans le domaine des communications dans le fonctionnement des télécommandes de téléviseur. Les appareils à infrarouge servent aussi de détecteurs de mouvement et donc de dispositifs de sécurité. Le rayonnement infrarouge trouve aussi application dans la fabrication des lampes thermiques utilisées en physiothérapie pour traiter les muscles endoloris. On utilise les films photographiques sensibles aux infrarouges pour la production d'images dites thermographiques, qui montrent la distribution de la température dans une partie du corps et permettent de déceler tout signe de circulation sanguine anormale. Elles facilitent la détection des tumeurs cérébrales et des cancers du sein. Les satellites dotés d'un dispositif sensible au rayonnement infrarouge peuvent servir à la détection des maladies des cultures ou des lance-missiles. Les télescopes infrarouges servent à scruter le ciel.

La lumière visible sert à l'exposition des films photographiques et au traitement des prématurés atteints de jaunisse. Elle est nécessaire à la photosynthèse. Comme elle est parfois assez puissante pour rompre des liens chimiques fragiles, certaines substances se conservent de préférence dans des récipients opaques.

Applications du rayonnement ionisant

L'une des applications pratiques du rayonnement ionisant est le détecteur de fumée, dont le fonctionnement repose sur la désintégration alpha de l'isotope radioactif artificiel $^{241}_{95}\text{Am}$. Dans ce type de détecteur, on insère une quantité infime de $^{241}_{95}\text{Am}$ entre deux plaques métalliques connectées à une pile ou à une autre source de fréquence électromagnétique. Les particules α émises par la source ionisent l'air tout en permettant la circulation d'un courant électrique mesurable entre les plaques. Aussi longtemps que ce courant circule, le détecteur n'émet aucun son. Lorsque la fumée pénètre dans le détecteur, les molécules d'air ionisées tendent à « coller » aux particules de fumée et sont neutralisées, ce qui réduit l'intensité du courant et déclenche l'alarme. Les détecteurs de fumée à ionisation sont plus sensibles que les détecteurs photoélectriques, dont le déclenchement se produit lorsque la fumée est suffisamment épaisse pour obscurcir le faisceau lumineux.

Le rayonnement ionisant sert aussi à l'irradiation des aliments. Il peut détruire les insectes et les parasites des céréales, des haricots secs, des fruits et des légumes déshydratés ainsi que des viandes et des fruits de mer. Il sert à réduire le nombre de micro-organismes présents dans les aliments, permettant ainsi de diminuer le nombre de cas de maladies d'origine alimentaire. L'irradiation des aliments peut aussi servir à accroître la durée de conservation des aliments en inhibant la germination des récoltes comme les pommes de terre et les oignons et en retardant le mûrissement des fruits et des légumes frais. Les sources d'irradiation peuvent être des isotopes du cobalt ($^{60}_{27}\text{Co}$) ou du césium ($^{137}_{55}\text{Cs}$) ou des accélérateurs à particules qui soumettent les aliments à des quantités déterminées de rayons bêta ou de rayons X.

Comme le rayonnement ionisant peut détruire les micro-organismes, on l'utilise aussi pour stériliser l'équipement médical. On a alors recours à des isotopes du cobalt ou du césium ou à des accélérateurs à particules.



ANNEXE 9 : Les effets du rayonnement – Renseignements pour l'élève

Le rayonnement peut endommager les cellules des organismes biologiques, et ce, de différentes manières.

L'ionisation des atomes et des molécules produit des ions (aussi appelés radicaux). Ces ions, hautement réactifs, participent à des réactions chimiques qui interfèrent avec le fonctionnement normal des cellules. De plus, l'expulsion des électrons hors de la molécule peut entraîner la rupture de cette dernière. La structure de la molécule peut en être altérée au point de ne plus pouvoir fonctionner normalement où de se mettre à fonctionner de manière nuisible. Dans le cas des protéines, la perte d'une molécule n'a rien de grave s'il existe d'autres molécules identiques dans la cellule et si cette dernière peut en produire de nouvelles. Cependant, des doses considérables de rayonnement peuvent endommager un nombre de molécules à un point tel que la cellule ne peut en reproduire de nouvelles assez rapidement et qu'elle en meurt.

Le rayonnement ionisant peut aussi endommager l'ADN de la cellule. L'ADN fournit le code permettant la production de protéines et d'autres matériaux de la cellule. S'il est endommagé, la production de ces matériaux est compromise, et la cellule peut en mourir. Dans la plupart des cas, la mort d'une simple cellule n'occasionne habituellement pas de problème, car l'organisme peut la remplacer en en produisant une nouvelle. (Il existe des exceptions, comme les neurones, qui ne peuvent être remplacés, de sorte que leur perte constitue un problème grave.) Mais lorsque de nombreuses cellules meurent, l'organisme n'est pas toujours en mesure de réagir adéquatement. Il arrive aussi qu'une cellule ne meure pas mais qu'elle devienne anormale. Elle peut alors se diviser et produire d'autres cellules anormales au détriment de l'organisme. La croissance rapide de cellules anormales est à l'origine du cancer.

Le radon est une source de rayonnement qui soulève des inquiétudes particulières. L'uranium, présent en très petite quantité dans presque tous les sols, passe par une série de désintégrations donnant lieu à la formation d'isotopes dont le radon 222. Le radon est un gaz rare et donc chimiquement inerte. Ce gaz se dégage du sol pour entrer dans l'atmosphère, où il peut alors être inhalé. Une fois inhalé, le radon peut se désintégrer (il s'agit d'un émetteur alpha) et soumettre les poumons à un rayonnement alpha. De plus, les dérivés radioactifs de cette désintégration sont aussi radioactifs, et non inertes, et peuvent interagir avec le revêtement alvéolaire des poumons, où ils se fixent.

On classe souvent les dommages causés aux organismes biologiques par le rayonnement selon la nature des cellules touchées. Ainsi on parle de dommages « somatiques » ou « génétiques ». Les dommages somatiques touchent toute partie de l'organisme autre que les organes reproducteurs. Ils affectent l'organisme en question et peuvent causer le cancer. À doses élevées, le rayonnement peut provoquer la maladie des rayons caractérisée par la nausée, les vomissements, la diarrhée, la fatigue et la perte des poils et des cheveux. Elle peut même provoquer la mort. Sa gravité est proportionnelle à la dose de rayonnement reçue. Les dommages génétiques sont les dommages causés aux cellules reproductives et ils affectent les descendants des personnes atteintes. Les dommages à l'ADN et aux gènes des cellules reproductives entraînent des mutations nuisibles dans la majorité des cas. Ces mutations sont transmissibles aux générations suivantes.



ANNEXE 9 : Les effets du rayonnement – Renseignements pour l'élève (suite)

De la lumière visible aux rayons ultraviolets : effets des rayonnements ionisant et non ionisant

La longueur d'onde de la lumière visible varie entre 400 nm environ pour la lumière violette et 700 nm pour la lumière rouge. La lumière blanche est parfois suffisamment puissante pour provoquer des réactions chimiques. Elle peut rompre des liens chimiques fragiles, de sorte que certaines substances comme l'aspirine et le vin sont conservés dans des récipients opaques. Les films photographiques sensibles à la lumière sont bien connus. Les prématurés sont parfois atteints de jaunisse en raison d'un excès de bilirubine dans le sang. Il s'agit d'une affection traitée avec succès par l'exposition à la lumière car la lumière bleue est suffisamment énergétique pour dissocier les molécules de bilirubine. Le processus de la photosynthèse requiert la lumière. La photosynthèse élimine chaque année 200 000 millions de tonnes de carbone de l'atmosphère et produit de nombreuses molécules organiques complexes.

La gamme de longueurs d'onde des rayons ultraviolets varie approximativement entre 400 nm et 12,5 nm. Ces rayons provoquent certaines réactions dermatologiques comme le bronzage en activant la synthèse de la vitamine D. À une longueur d'onde d'environ 300 nm et moins, ces rayons peuvent provoquer des coups de soleil ainsi que le bronzage. Il est intéressant de souligner qu'à cette longueur d'onde, les rayons ultraviolets sont suffisamment énergétiques pour rompre les liens carbone-carbone. La plupart de ces rayons sont filtrés par l'atmosphère, surtout en haute altitude et lorsque les rayons solaires sont à un angle aigu par rapport à la terre, soit en hiver ou en début et en fin de journée. La couche d'ozone (molécules O₃) contribue à l'absorption d'une partie des rayons ultraviolets. Les rayons ultraviolets d'une longueur d'onde inférieure à 300 nm peuvent endommager ou détruire les acides nucléiques et les protéines, qui tous deux absorbent fortement ce type de rayon. L'exposition prolongée aux rayons ultraviolets peut, avec le temps, entraîner l'apparition de rides, de taches séniles, de kératose sénile (taches cutanées sombres et précancéreuses) et, en dernier lieu, du cancer. Le rayonnement ultraviolet peut aussi inhiber le système immunitaire, ce qui explique peut-être pourquoi certaines conditions causées par des virus, par exemple les feux sauvages et la varicelle, s'aggravent en cas d'exposition au soleil. Certains matériaux reflètent les rayons ultraviolets autant que la lumière visible, de sorte qu'une exposition prolongée à la réflexion de la neige ou d'un plan d'eau peut être plus dangereuse qu'il n'y paraît. Il en va de même pour le fait de s'étendre à la plage par temps couvert car la vapeur d'eau laisse passer une bonne partie des rayons ultraviolets. En revanche, les vitres ordinaires des fenêtres peuvent stopper ces rayons. Les rayons ultraviolets d'une longueur d'onde inférieure à 290 nm ont suffisamment d'énergie pour ioniser un atome ou rompre un lien chimique. Ces types de rayons ultraviolets sont germicides et peuvent donc tuer les micro-organismes.



ANNEXE 10 : Autoévaluation de l'apprentissage par groupe d'experts

Coche aux bons endroits.

		facilement	assez bien	avec difficulté
au sein de mon groupe d'experts	J'ai bien compris le rôle que j'avais à jouer au sein de mon groupe d'experts.			
	J'ai entrepris une préparation personnelle (lecture, etc.) avant la discussion en groupe d'experts.			
	J'ai été attentif à ce que disaient les autres experts et je n'ai pas interrompu inutilement les membres de mon groupe.			
	J'ai encouragé la participation des autres experts par mon attitude positive et respectueuse.			
	J'ai moi-même contribué positivement à la discussion, par l'entremise de nouvelles idées, de suggestions, de clarifications, etc.			
	J'ai bien saisi et pris en notes les renseignements clés de la discussion en vue de les partager avec ma famille.			
au sein de ma famille	J'ai bien compris le rôle que j'avais à jouer au sein de ma famille.			
	J'ai écouté attentivement les rapports faits au sein de ma famille et j'ai demandé des clarifications au besoin.			
	J'ai pris en note les renseignements clés issus des rapports faits au sein de ma famille.			
	J'ai rapporté fidèlement et efficacement les renseignements clés recueillis au sein de mon groupe d'experts.			
en plénière	J'ai écouté attentivement aux renseignements clés ressortis par l'enseignante ou l'enseignant après le partage en famille.			
	J'ai posé des questions de clarification lorsque je n'ai pas bien saisi certains renseignements cruciaux.			

De façon générale, je pense que la technique des groupes d'experts :

- a) m'a aidé à bien apprendre les concepts clés. ____
- b) ne m'a pas aidé à bien apprendre les concepts clés. ____

Explique ta réponse :



ANNEXE 11 : Application du rayonnement aux techniques d'imagerie diagnostique et de traitement – Renseignements pour l'enseignant

Les ultrasons (gamme de fréquence variant entre 1 mégahertz et 10 mégahertz) sont utilisés en médecine tant pour le diagnostic que pour le traitement. La technique utilisée en diagnostic est la suivante. Un transducteur émet une brève pulsation ultrasonique. Un transducteur est un dispositif effectuant la conversion d'une impulsion électrique en vibration mécanique qui produit une onde sonore. L'impulsion, partiellement réfléchiée par différentes surfaces du corps, se propage à travers l'organisme. Le transducteur sert aussi à détecter l'impulsion réfléchiée et transforme les impulsions sonores en pulsations électriques. Ces pulsations sont ensuite reproduites sur l'écran d'un tube cathodique comme un terminal à écran ou un écran TV. Prenons à titre d'exemple une pulsation sonore se propageant à travers l'abdomen d'un patient. Différentes surfaces de l'organisme reflètent partiellement la pulsation. Le temps écoulé entre l'émission de la pulsation et la réception de sa réflexion (écho) est proportionnel à la profondeur de la surface réfléchissante. La force de la pulsation réfléchiée dépend essentiellement de la différence de densité entre les tissus situés de part et d'autre de la surface. Aux points de rencontre des tissus avec les os ou les poumons, l'impulsion sonore est presque entièrement réfléchiée de sorte que les ultrasons ne peuvent servir à sonder l'organisme au-delà de telles surfaces.

En ce qui concerne l'utilisation des ultrasons aux fins de diagnostic, on a recours à la **technique échographique**. On fait pénétrer une pulsation sonore à haute fréquence dans l'organisme pour en détecter la réflexion par les zones limites ou interfaces entre les organes et autres structures ou lésions de l'organisme. Cette technique permet de déceler les tumeurs et autres excroissances ou poches de liquide anormales. Elle permet aussi d'examiner le fonctionnement des valvules cardiaques, le développement du fœtus et l'état de différents organes du corps comme le cerveau, le cœur, le foie et les reins. Si les ultrasons ne peuvent remplacer les rayons X, ils n'en demeurent pas moins très utiles pour certains types de diagnostic. En effet, les rayons X ne permettent pas de détecter certains types de tissus ou de liquides qui toutefois reflètent les ultrasons aux zones d'interface avec d'autres tissus. La technique permet aussi de produire des images ultrasonores en « temps réel » semblables à celles d'un film sur une partie interne du corps. De plus, les études ne font état d'aucun effet indésirable lié à l'utilisation des ultrasons à de faibles niveaux d'intensité de sorte que l'on considère les ultrasons comme une méthode d'examen non invasive.

Une autre utilisation des ultrasons en diagnostic médical a trait à l'**effet Doppler**, c'est-à-dire au changement de fréquence observé d'une onde émise par une source donnée en raison du mouvement relatif de l'observateur et de la source. On peut par exemple utiliser les ondes ultrasoniques reflétées par les globules rouges pour déterminer la vitesse du débit sanguin. Le détecteur de débit Doppler peut servir à localiser des régions où les vaisseaux sanguins se sont rétrécis. L'effet Doppler sert aussi à déterminer le mouvement de la poitrine chez un jeune fœtus et à mesurer son rythme cardiaque.



ANNEXE 11 : Application du rayonnement aux techniques d'imagerie diagnostique et de traitement (suite)

Endoscopie et chirurgie arthroscopique

L'**endoscope** est un appareil utilisé pour explorer l'intérieur des cavités naturelles du corps, et l'**endoscopie** est la technique qui repose sur l'utilisation de cet appareil. Pour comprendre le fonctionnement de l'endoscope, rappelons brièvement ce qu'est la réflexion totale interne. Lorsque la lumière passe d'un milieu à un autre dont l'indice de réfraction est moindre (de l'eau à l'air par exemple), la lumière est réfractée suivant un angle différent de la normale. L'angle de réfraction, θ_r , est supérieur à l'angle d'incidence, θ_i . À mesure qu'augmente l'angle d'incidence, l'angle de réfraction s'accroît lui aussi. Lorsque l'angle d'incidence atteint une certaine valeur appelée **angle critique**, θ_c , l'angle de réfraction est de 90° . L'angle de réfraction suit alors la surface. Lorsque l'angle d'incidence excède l'angle critique, il n'y plus de lumière réfractée. Toute la lumière incidente est reflétée vers sa source, phénomène que l'on appelle **réflexion totale interne**.

Le phénomène de la réflexion totale interne trouve une application importante dans l'utilisation de la fibre optique, où des fils de verre ou de plastique de l'épaisseur d'un cheveu appelés fibres optiques servent à « faire passer » la lumière d'un endroit à un autre. Une fibre optique est constituée d'un *cœur* optique cylindrique qui transporte la lumière et d'une *gaine* concentrique. Le cœur est fait de verre ou de plastique transparent possédant un indice de réfraction relativement élevé. La gaine est aussi faite de verre, mais d'un type de verre possédant un indice de réfraction relativement faible. La lumière pénètre par une extrémité du cœur, est réfléchi par l'interface entre le cœur et la gaine selon un angle d'incidence supérieur à l'angle critique et est par conséquent reflétée vers le cœur. La lumière peut ainsi traverser la fibre optique selon une trajectoire en zigzag.

Résumé des techniques d'imagerie

Les ultrasons sont des ondes sonores à haute fréquence produites par un transducteur qui transforme une impulsion électrique en vibration mécanique pour ensuite détecter la même onde réfléchi par les interfaces entre les organes et autres structures du corps. La **technique échographique** permet plusieurs formes de diagnostic dont la détection de tumeurs, d'excroissance anormales et de poches de liquide. Elle permet d'examiner le fonctionnement des valvules cardiaques, de suivre le développement du fœtus et d'examiner l'état de différents organes du corps. Les ultrasons permettent de détecter certains types de tissus et de liquides non détectables par rayons X. Ils constituent une forme non invasive d'examen qui ne comporte aucun effet indésirable. L'**effet Doppler** permet de localiser des régions où les vaisseaux sanguins se sont rétrécis et de suivre le développement du fœtus. Les ultrasons à haute intensité servent à détruire les tumeurs et les calculs rénaux.

L'**endoscopie** est la technique qui repose sur l'utilisation de l'**endoscope**, un appareil servant à examiner les cavités naturelles du corps. L'endoscope est constitué de fils très minces de verre ou de plastique appelés **fibres optiques**. Ces fibres permettent de faire passer la lumière d'un endroit à un autre grâce au phénomène de **réflexion totale interne**, c'est-à-dire de la réflexion totale de la lumière incidente vers sa source lorsque l'angle d'incidence est supérieur à l'**angle critique**. Les endoscopes comme le bronchoscope ou colonoscope sont insérés dans les cavités naturelles du corps pour procéder à un diagnostic. On utilise aussi les fibres optiques en chirurgie arthroscopique, où l'on ne pratique qu'une très petite incision ne causant que des dommages minimes aux tissus environnants.



ANNEXE 11 : Application du rayonnement aux techniques d'imagerie diagnostique et de traitement (suite)

La lumière laser est le produit de l'excitation d'atomes qui émettent des photons qui, à leur tour, excitent d'autres atomes. Pour chaque photon absorbé par un atome, deux autres photons sont émis. Les photons émis se déplacent dans la même direction que le photon incident. Les ondes lumineuses ainsi produites sont en phase les unes avec les autres, et leur faisceau est monochromatique. On utilise notamment la lumière laser dans le cadre d'une intervention chirurgicale appelée **photokératectomie réfractive (PKR)** au cours de laquelle on prélève des tissus de la cornée pour corriger la myopie ou l'hypermétropie. On utilise un **laser à colorant pulsé** pour le traitement des malformations capillaires congénitales. Dans la **thérapie photodynamique**, on utilise les lasers pour activer des médicaments servant à tuer les cellules cancéreuses.

Les **rayons X** sont une forme de rayonnement électromagnétique généré par une grande différence de potentiel permettant l'accélération d'électrons projetés vers une cible métallique avec laquelle ils entrent en collision. Lorsqu'un patient est exposé à ce type de rayons, les tissus les plus denses comme les os absorbent davantage de rayonnement et produisent une image plus claire sur le film photographique ou sur l'écran fluorescent. La **tomographie axiale transverse avec ordinateur**, aussi appelée **tomodensitométrie (TDM)**, utilise les rayons X collimatés, des détecteurs et l'analyse informatique pour produire des images de structures et de lésions corporelles d'une définition supérieure à celle des rayons X. Elle permet de produire des coupes transversales bidimensionnelles ou des images tridimensionnelles.

L'**imagerie par résonance magnétique (IRM)** repose sur l'utilisation d'un champ magnétique puissant servant à aligner les noyaux d'atomes d'hydrogène à l'intérieur de l'organisme. Des bobines de radiofréquence produisent des ondes radioélectriques qui excitent les noyaux d'hydrogène. Lorsque les noyaux reviennent à leur état fondamental, les bobines détectent leur énergie, et un ordinateur analyse les signaux pour produire des images remarquablement détaillées du corps humain pouvant servir à l'établissement d'un diagnostic médical.



ANNEXE 12 : Références bibliographiques

Voici des lignes directrices en matière de présentation des références bibliographiques pour diverses sources d'information, soit des livres, des encyclopédies, des articles de revues ou de journaux, des brochures ou autres imprimés, des vidéocassettes, des documents électroniques et des personnes-ressources.

LIVRES OU ENCYCLOPÉDIES

- **nom** de l'auteur ou de l'auteure en majuscules, virgule, prénom en toutes lettres, point;
un auteur : AUDET, Marie.
deux auteurs : AUDET, Marie, et Jean BOUCHARD.
trois auteurs : AUDET, Marie, Jean BOUCHARD et Claire CHAMPAGNE.
trois auteurs et plus : AUDET, Marie, et autres.
sans auteur : *Grand dictionnaire encyclopédique Larousse*.
- **titre** du livre en italique, virgule;
- **lieu de publication**, virgule;
- **maison d'édition**, virgule;
- **date de publication**, virgule;
- **pages ou volumes consultés**, point;
- titre de la **collection**, entre parenthèses, point.

COSTA DE BEAUREGARD, Diane, et Catherine DE SAIRIGNÉ. *L'eau de la source à l'océan*, Paris, Gallimard Jeunesse, 1995, p. 20-29. (Collection Les racines du savoir nature).

DION, Marie-Claude, et autres. *Jeux de vélo*, Sainte-Foy (Québec), Éditions MultiMondes, 1998, p. 91-93.

Grand dictionnaire encyclopédique Larousse. Paris, Librairie Larousse, vol. 8, 1985.

HAWKES, Nigel. *La chaleur et l'énergie*, Montréal, Éditions École Active, 1997, p. 8-11. (Collection Flash Info).

ARTICLES DE REVUES OU DE JOURNAUX

- **nom** et prénom de l'auteur ou des auteurs (comme pour un livre), point;
- **titre** de l'article entre guillemets français, virgule;
- nom de la **revue** ou du journal, en italique, virgule;
- mention du **volume**, du **numéro**, de la **date**, du **mois** ou de **la saison** et de **l'année**, virgule;
- mention de la première et de la dernière **pages** de l'article, liées par un trait d'union, ou de la page ou des pages citées, point.

AGNUS, Christophe, et Sylvie O'DY. « La planète Océan », *L'Express*, n° 2403, 24 novembre 1997, p. 24-39.

« Des lacs au goût de sel ». *Le Journal des jeunes*, vol. 12, n° 2, 13 octobre au 9 novembre 2000, p. 3.

DUBÉ, Catherine. « Cancer, diabète, sida, Alzheimer : comment nous les vaincrons », *Québec Science*, vol. 39 n° 3, novembre 2000, p. 28-35.



ANNEXE 12 : Références bibliographiques (suite)

BROCHURES OU AUTRES ARTICLES IMPRIMÉS

- **nom** de l'auteur ou de l'organisme, point;
- **titre** de la brochure, virgule;
- **lieu** de publication, virgule;
- **organisme** ou **maison d'édition**, virgule;
- **date de publication**, virgule;
- nombre de **pages**, point;
- titre de la **collection**, entre parenthèses, point.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. *L'histoire de l'eau potable*, Denver (Colorado), 1991, 15 p.

FÉDÉRATION CANADIENNE DE L'AGRICULTURE. *L'agriculture au Canada*, Ottawa, 1998, 36 p.

SERVICE DES EAUX, DU TRAITEMENT DES EAUX USÉES ET DES DÉCHETS SOLIDES. *Winnipeg et l'eau : L'eau, une ressource indispensable*, Manitoba, Ville de Winnipeg, 13 p.

DOCUMENTS ÉLECTRONIQUES

- **nom** et prénom de l'auteur (comme pour un livre), point;
- **titre** de l'article entre guillemets français, virgule;
- **nom** du document en italique, virgule;
- **support** (cédérom, site Web, vidéocassette, etc.), virgule;
- **lieu**, virgule;
- **organisme** ou **maison d'édition**, virgule;
- **date**, point;
- pour les sites Web, entre crochets et sur une ligne à part : **adresse Web**, virgule, **date de consultation**.

« Isaac Newton », *Encyclopédie des sciences Larousse*, cédérom, Paris, Larousse, 1995.

LANDRY, Isabelle. « Les plaques tectoniques », *L'escale*, site Web, Québec, KaziBao Productions, 2000.
[<http://www.lescale.net/plaques/>, 8 novembre 2000]

« La météorologie », *Méga Météo - partie 1*, vidéocassette, Ontario, TVOntario, 1999.

PERSONNES-RESSOURCES

- **nom** et prénom de la personne, point;
- **titre** ou **fonction** qu'occupe cette personne, virgule;
- **métier** et **formation**, virgule;
- **organisme** ou **société** où elle œuvre, virgule;
- **date** de l'entrevue, point.

LAMOUREUX, Janelle. Animatrice et interprète, biologiste, Université du Manitoba, Centre Fort Whyte, 3 décembre 2001.



ANNEXE 12 : Références bibliographiques (suite)

REMARQUES GÉNÉRALES

- Les références bibliographiques doivent être classées par ordre alphabétique.
- La première ligne de la référence est à la marge de gauche, mais la ou les lignes suivantes sont renfoncées.
- Dans une bibliographie qui comprend plusieurs types de documents, les références bibliographiques peuvent être classées par catégories, toutefois ce genre de regroupement n'est recommandé que lorsque le nombre de sources consultées est considérable.
- L'uniformité est le principe fondamental de toute bibliographie.
- Il faut s'assurer de noter tous les renseignements bibliographiques dès la première consultation, car il est très difficile de retracer ces informations plus tard.
- Tous les renseignements bibliographiques énumérés ci-dessus ne sont pas faciles à repérer, parfois ils sont même absents. Se rappeler que le premier but d'une bibliographie est de permettre aux lecteurs et lectrices qui la parcourront de pouvoir trouver les ouvrages cités.



ANNEXE 13 : Réflexion individuelle sur le travail de groupe

Réfléchis au travail que toi et ton groupe avez fait ensemble et évalue-le. Après ta réflexion, discutes de tes réponses avec les membres de ton groupe.

Légende : 1 - peu satisfait(e) 3 - satisfait(e) 5 - très satisfait(e)

<p>J'ai bien participé.</p> <p>1 2 3 4 5</p>	<p>Le groupe s'est bien concentré sur la tâche.</p> <p>1 2 3 4 5</p>
<p>Je me suis consciemment efforcé(e) de collaborer.</p> <p>1 2 3 4 5</p>	<p>Le groupe a bien collaboré.</p> <p>1 2 3 4 5</p>
<p>J'ai écouté les autres et j'ai bien accueilli leurs contributions.</p> <p>1 2 3 4 5</p>	<p>Tout le monde a contribué.</p> <p>1 2 3 4 5</p>
<p>La prochaine fois, je pourrais...</p>	<p>La prochaine fois, le groupe pourrait...</p>







Printed in Canada
Imprimé au Canada