

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/entrainement.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 :

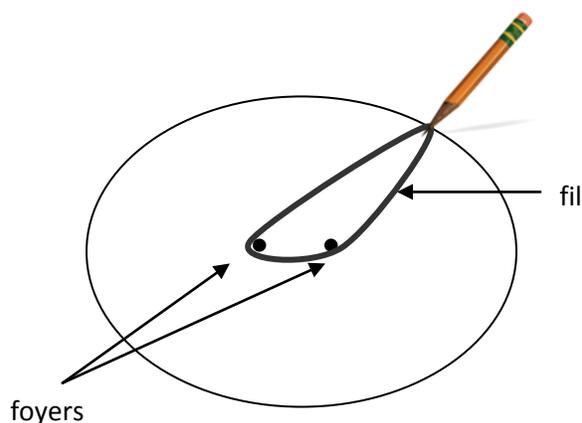
- *C'est quoi une orbite?*
- *Nommez des objets qui font des orbites.*
- *Quelle est la forme d'une orbite?*
- *Toutes les orbites ont-elles la même forme?*
- *Pourquoi les planètes ne voyagent-elles pas en ligne droite?*
- *Qu'est-ce qu'il y a au milieu d'une orbite?*

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.



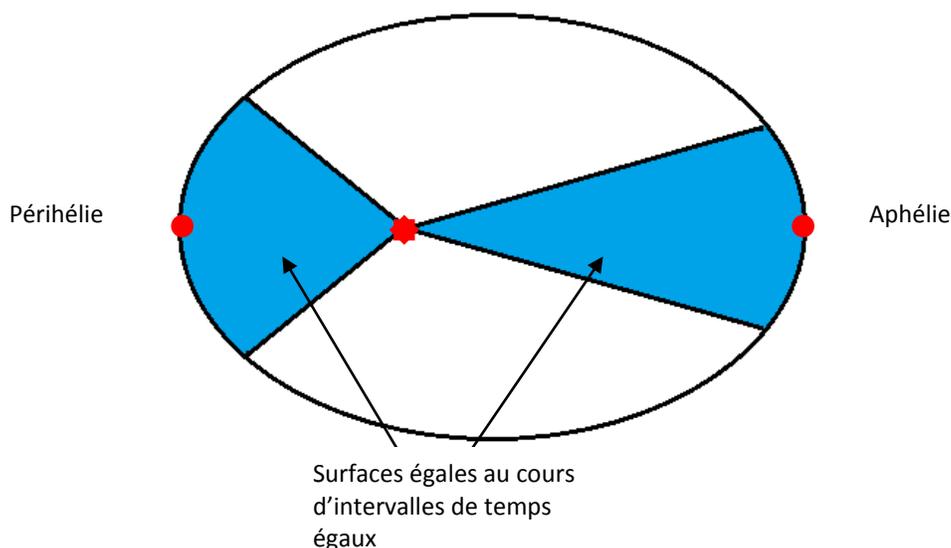
Inviter les élèves à ralentir lorsqu'ils sont plus éloignés du « Soleil » et à accélérer lorsqu'ils en sont plus proches.

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

❶

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 :

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.

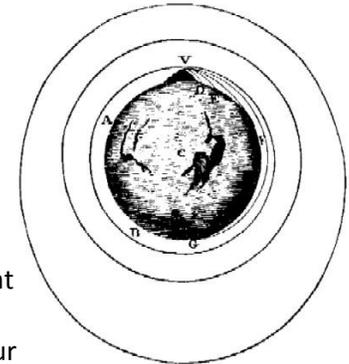
- *Qu'arrive-t-il si on augmente la vitesse d'un projectile lancé horizontalement?*
- *Est-ce qu'un projectile peut être mis en orbite?*
- *Le projectile ne retomberait-il pas sur la Terre?*
- *Un satellite se déplace à quelle vitesse?*
- *Un satellite retombe-t-il éventuellement à la surface de la Terre?*
- *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?*



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 :

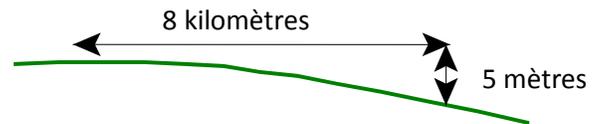


Un projectile lancé horizontalement tomberait quelle distance dans sa première seconde de mouvement?

$$\Delta d_y = v_y t + \frac{1}{2} a \Delta t^2$$

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.

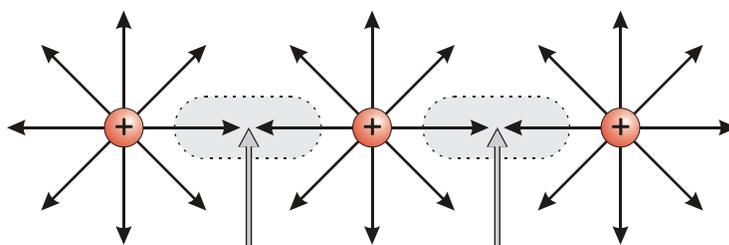


En quête

Enseignement direct – La distribution de charges

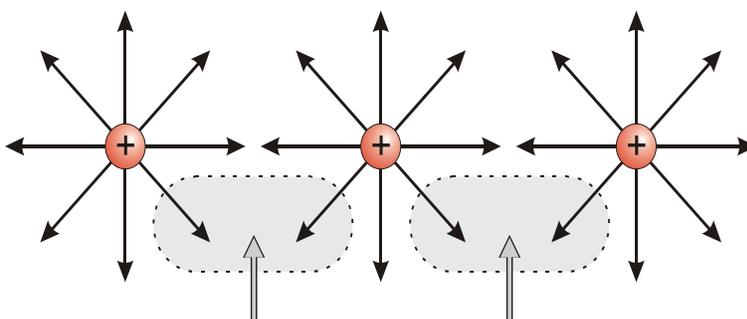
Expliquer aux élèves de quelle façon la distribution de charges sur deux plaques parallèles de charge opposée se traduit par un champ uniforme. Pour une plaque parallèle, imagine des charges positives placées dans un plan sur la plaque du haut. Chaque charge ponctuelle crée un champ électrique égal autour 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.

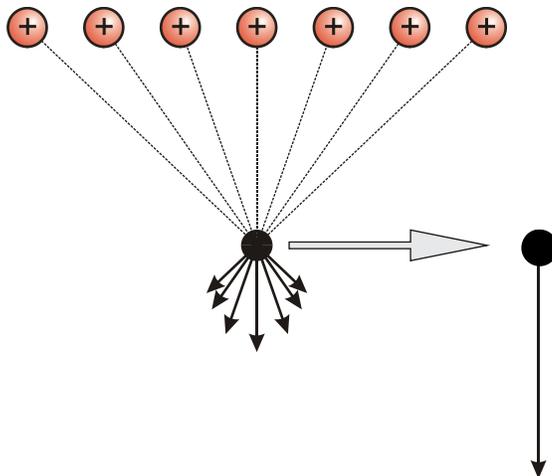
Les composantes du champ qui sont perpendiculaire au plan vont augmenter le champ électrique perpendiculaire au plan. Pour une plaque chargée positivement, le champ s'éloigne de la plaque. Pour une plaque chargée négativement, le champ se dirige vers la plaque.



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



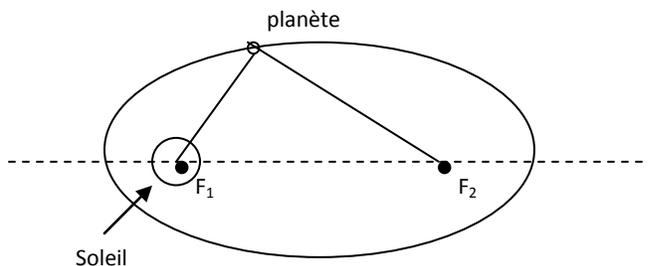
ANNEXE 2 : De Kepler à Newton – Renseignements pour l'enseignant

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.

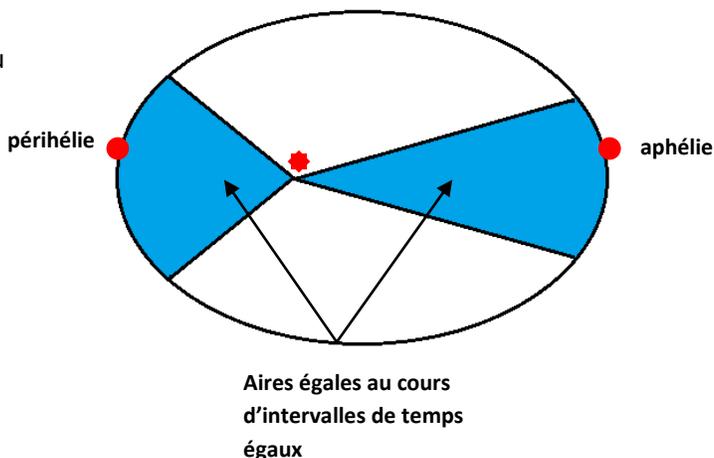
Kepler publie ses deux premières lois en 1609, la loi des ellipses et la loi des aires égales. Dix ans plus tard, il publie une troisième loi, la loi des périodes. Voici les trois lois de Kepler :

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.

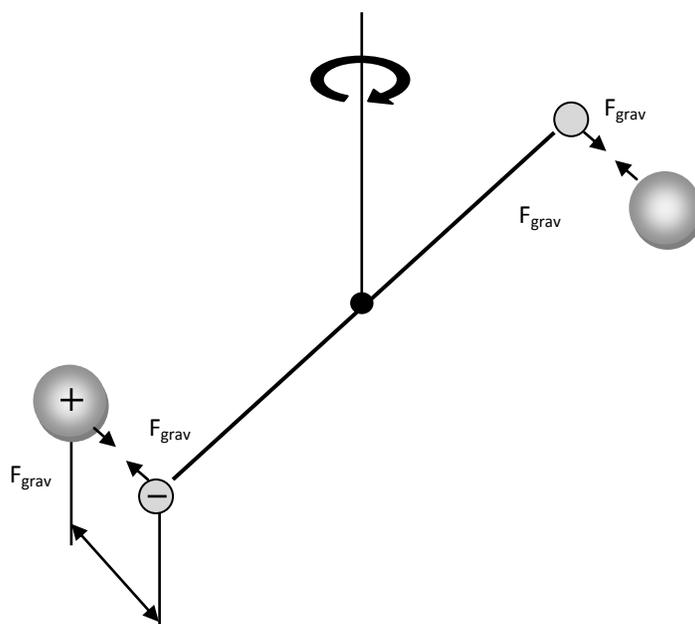
Sa loi de la gravitation universelle peut être exprimée de cette façon : $\vec{F}_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$.



ANNEXE 2 : De Kepler à Newton – Renseignements pour l'enseignant (suite)

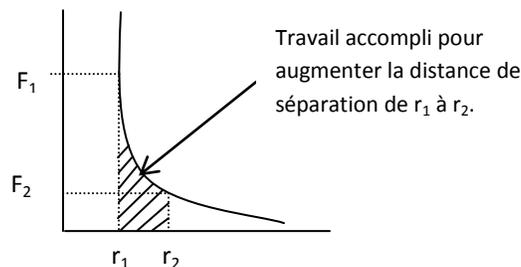
La valeur de la constante G a été calculée pour la première fois en 1798 par Henry Cavendish à l'aide d'une balance de torsion. Cavendish fixe deux petites sphères aux bouts d'une tige suspendue à un fil mince. La force gravitationnelle exercée par deux grandes masses placées près des sphères les attire 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 $-\frac{Gm_{Terre}m_{fusée}}{r}$. À une distance infinie, la fusée posséderait une énergie potentielle gravitationnelle nulle. Il faut donc lui fournir une énergie de $+\frac{Gm_{Terre}m_{fusée}}{r_T}$ 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 ($E_c = +\frac{Gm_{Terre}m_{fusée}}{r_T}$), donc $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{Gm_{Terre}m_{fusée}}{r_T}$.

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

$v = \sqrt{\frac{2Gm_{Terre}}{r}}$. 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.

$$m_{\text{sat}} = 2,00 \times 10^4 \text{ kg} \quad \text{altitude} = 6,00 \times 10^5 \text{ m}$$

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \quad m_{\text{Jup}} = 1,90 \times 10^{27} \text{ kg} \quad r_{\text{Jup}} = 7,15 \times 10^7 \text{ m}$$

$$\text{rayon total } (r_1) = \text{altitude} + \text{rayon de Jupiter } (r_{\text{Jup}})$$

$$r_t = 6,00 \times 10^5 \text{ m} + 7,15 \times 10^7 \text{ m} = 0,0600 \times 10^7 \text{ m} + 7,15 \times 10^7 \text{ m}$$

$$r_t = 7,21 \times 10^7 \text{ m}$$

$$F_g = \frac{Gm_{\text{Jup}}m_{\text{sat}}}{r^2} = \frac{(6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)(1,90 \times 10^{27} \text{ kg})(2,00 \times 10^4 \text{ kg})}{(7,21 \times 10^7 \text{ m})^2}$$

$$F_g = 4,88 \times 10^5 \text{ N}$$

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

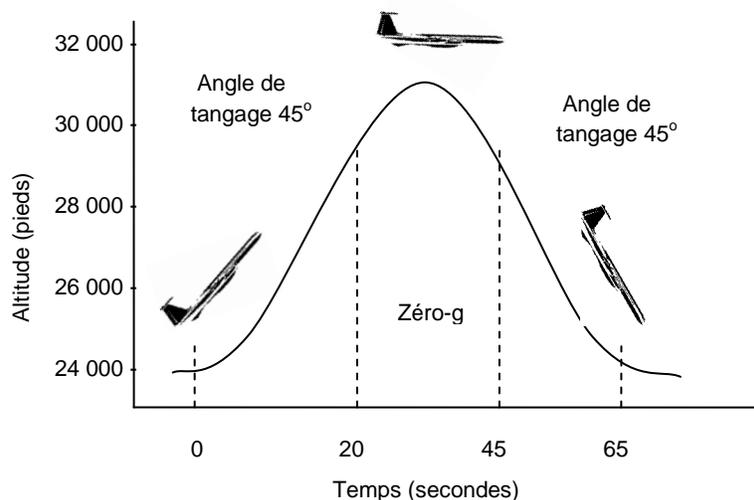
La microgravité peut être reproduite de plusieurs différentes façons. Premièrement, on pourrait s'aventurer dans l'espace lointain afin que la force gravitationnelle de la Terre soit effectivement nulle. Cependant, il faudrait voyager des millions de kilomètres pour accomplir ceci. Il est aussi possible 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

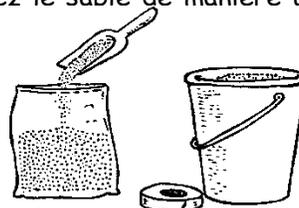
- Cible, élève 3
- Des marqueurs
- Un simulateur 2 g
- Un chronomètre ou une minuterie
- Fiche de consignation – exercice de pointage, élève 4

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.



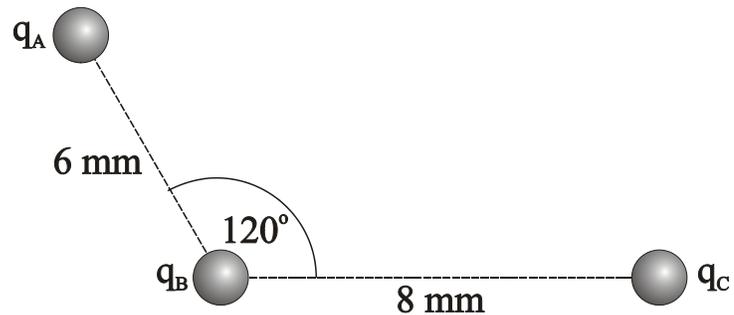
ANNEXE 13 : Résolution de problèmes sur la loi de Coulomb – Renseignements pour l’enseignant

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).

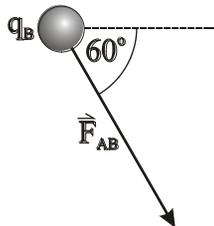


figure 1

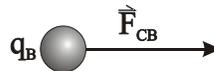


figure 2

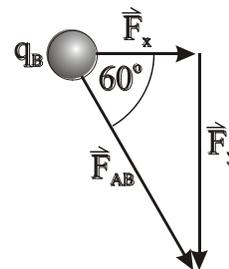


figure 3



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 :

$$\vec{F}_{ABx} = (\cos 60^\circ)(1,00 \times 10^{-2} \text{ N}) = 5,0 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\vec{F}_{ABy} = (\sin 60^\circ)(1,00 \times 10^{-2} \text{ N}) = -8,7 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\vec{F}_{CB} = \frac{(9,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2)(6,0 \times 10^{-9} \text{ C})(10 \times 10^{-9} \text{ C})}{(8,0 \times 10^{-3} \text{ m})^2}$$

$$\vec{F}_{CB} = 8,4 \times 10^{-3} \text{ N} \text{ (Le vecteur } \vec{F}_{CB} \text{ a seulement une composante horizontale.)}$$

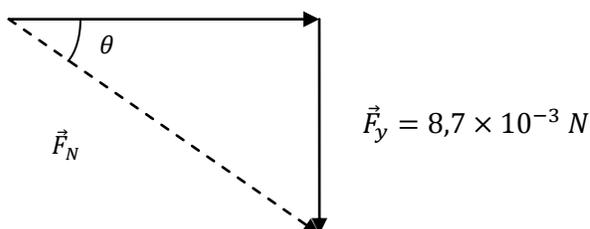
On peut maintenant calculer la somme vectorielle de ces trois composantes.

$$\vec{F}_x = \vec{F}_{ABx} + \vec{F}_{CB} = 5,0 \times 10^{-3} \text{ N} + 8,4 \times 10^{-3} \text{ N} = 13,4 \times 10^{-3} \text{ N} = 1,34 \times 10^{-2} \text{ N}$$

$$\vec{F}_y = \vec{F}_{ABy} = -8,7 \times 10^{-3} \text{ N}$$

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 $V = \frac{E_p}{q}$.

$$E_p = q\vec{E}\Delta\vec{d}$$

$$\frac{E_p}{q} = \vec{E}\Delta\vec{d}$$

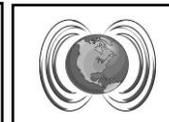
$$V = \vec{E}\Delta\vec{d}$$

$$\vec{E} = \frac{V}{\Delta\vec{d}}$$



ANNEXE 15 : Exercice – L'énergie potentielle électrique

1. L'intensité du champ électrique entre deux plaques parallèles est de $13\,000\text{ N/C}$. Calcule l'énergie potentielle électrique si on déplace une charge de $5,6 \times 10^{-6}\text{ C}$ d'une distance de $0,50\text{ m}$.
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 $0,050\text{ m}$. 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.
4. Deux plaques parallèles sont séparées d'une distance de $0,0060\text{ m}$. 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?
5. Deux plaques parallèles sont séparées d'une distance de $0,20\text{ m}$. Une charge placée entre les plaques subit une force de $0,46\text{ N}$. Le champ électrique entre les plaques a une valeur de $1,9 \times 10^3\text{ N/C}$. Calcule l'intensité de la charge.
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 $0,50\text{ cm}$,
 - a. quelle est la différence de potentiel entre les deux plaques?
 - b. quel est le travail nécessaire pour déplacer une charge de $4,6 \times 10^{-4}\text{ C}$ d'une plaque à l'autre?
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?
8. Deux plaques parallèles de charges opposées ont toutes deux une longueur de $0,007\text{ m}$. 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 $1,1 \times 10^6\text{ m/s}$. 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 $5,6 \times 10^{-6}$ 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.

$$\Delta d = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m} \quad V = 75 \text{ V} \quad \vec{E} = ?$$

$$\vec{E} = \frac{V}{\Delta d} = \frac{75 \text{ V}}{0,15 \text{ m}} = 500 \text{ V/m} = 500 \text{ N/C}$$

3. La distance entre deux plaques parallèles est de 0,050 m. Un électron ($m = 9,1 \times 10^{-31}$ 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?

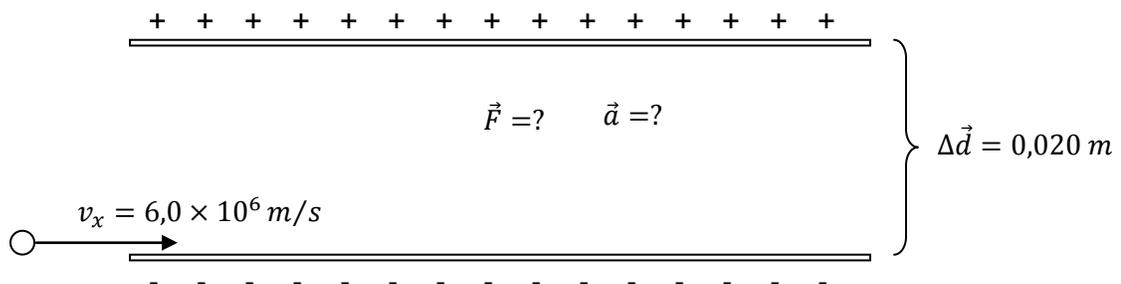
$$W = q\vec{E}\Delta d = qV = (4,6 \times 10^{-4} \text{ C})(1,4 \times 10^3 \text{ V}) = 6,4 \times 10^{-1} \text{ J}$$

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.

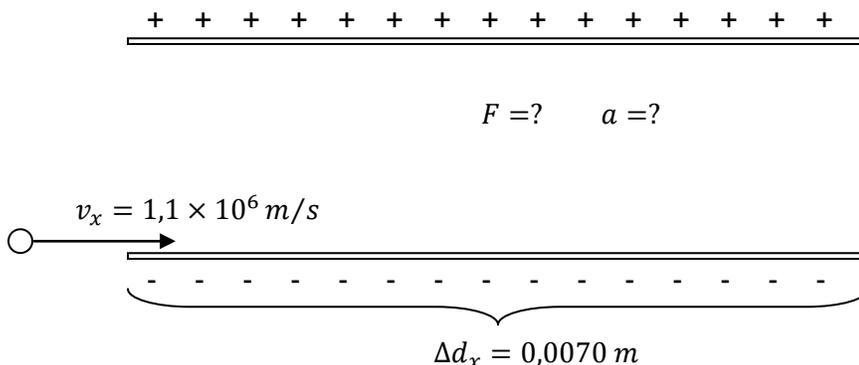
$$d = v \Delta t = (6,0 \times 10^6 \text{ m/s})(1,0 \times 10^{-13} \text{ s}) = 6,0 \times 10^{-7} \text{ m}$$

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

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

$$\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 \Delta t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2 = (0 \text{ m/s})(6,4 \times 10^{-9} \text{ s}) + \frac{1}{2} (2,0 \times 10^{13} \text{ m/s}^2)(6,4 \times 10^{-9} \text{ s})^2$$

$$\Delta \vec{d} = 4,1 \times 10^6 \text{ m}$$

