

# LA MÉCANIQUE

## APERÇU DU REGROUPEMENT

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

## CONSEILS D'ORDRE GÉNÉRAL

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



## BLOCS D'ENSEIGNEMENT SUGGÉRÉS

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

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

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



## RESSOURCES ÉDUCATIVES POUR L'ENSEIGNANT

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

**[R]** indique une ressource recommandée

### LIVRES

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

## AUTRES IMPRIMÉS

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



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

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

## MATÉRIEL DIVERS

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

## VIDÉOCASSETTES ET DVD

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

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

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

## DISQUES NUMÉRISÉS ET LOGICIELS

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

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

## SITES WEB

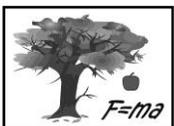
### Accélération bidimensionnelle.

<[http://www.learnalberta.ca/content/sfp20/html/java/acceleration\\_2D/applet\\_fr.html](http://www.learnalberta.ca/content/sfp20/html/java/acceleration_2D/applet_fr.html)>  
(juillet 2009). [animation avec plan de leçon]

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

### Analyse graphique du mouvement rectiligne.

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



## **Animations sur le mouvement rectiligne.**

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

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

## **Chariot de Fletcher.**

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

## **Choc élastique à deux dimensions.**

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

## **Choc frontal.**

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

## **Choc plan sur une cible au repos.**

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

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

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

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

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

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

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

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



**Conservation de la quantité de mouvement.**

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

**Deuxième loi de Newton.** <[http://www.walter-fendt.de/ph14f/n2law\\_f.htm](http://www.walter-fendt.de/ph14f/n2law_f.htm)>  
(juillet 2009). [animation - mouvement uniformément accéléré].

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

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

**Exercices cinématique 2.**

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

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

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

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

[R] **Mouvement circulaire uniforme.**

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

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

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

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

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

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



## Le mouvement rectiligne uniformément accéléré.

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

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

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

## Mouvements relatifs selon Galilée.

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

## Le nageur, la rivière et le pêcheur.

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

## Objectif terminal 3 : La cinématique.

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

## Objectif terminal 6 : Énergie potentielle et énergie cinétique.

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

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

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

## Poulie d'Atwood.

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

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

[R] **Projectile motion.**

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



**Saisie de données.**

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

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

**Traceur de graphique de mouvement non-uniforme unidimensionnel.**

<[http://www.learnalberta.ca/content/sfp20/html/java/motionbuilder\\_1D\\_nonuniform/applet\\_fr.html](http://www.learnalberta.ca/content/sfp20/html/java/motionbuilder_1D_nonuniform/applet_fr.html)> (juillet 2009). [animation permettant de construire et d'analyser des graphiques].

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

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

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



## RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE THÉMATIQUES

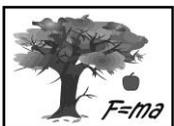
L'élève sera apte à :

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



## RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE THÉMATIQUES (suite)

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



## RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE THÉMATIQUES (suite)

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



## RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE THÉMATIQUES (suite)

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



## RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES TRANSVERSAUX

L'élève sera apte à :

### Nature des sciences

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

### Étude scientifique

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



## RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES TRANSVERSAUX (SUITE)

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

## Sciences, technologie, société et environnement (STSE)

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



## RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES TRANSVERSAUX (suite)

### Attitudes

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



## RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE GÉNÉRAUX

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

### *Nature des sciences et de la technologie*

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

### *Sciences, technologie, société et environnement (STSE)*

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

### *Habiletés et attitudes scientifiques et technologiques*

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



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

## ***Connaissances scientifiques essentielles***

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

## ***Concepts unificateurs***

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



## Bloc A L'accélération

L'élève sera apte à :

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

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

RAG : D4, E2

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

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

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

RAG : C2, C3

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

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

RAG : C6, C7

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

RAG : C3, C8

### Stratégies d'enseignement suggérées

#### En tête

①

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

OU

②

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

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



## En quête

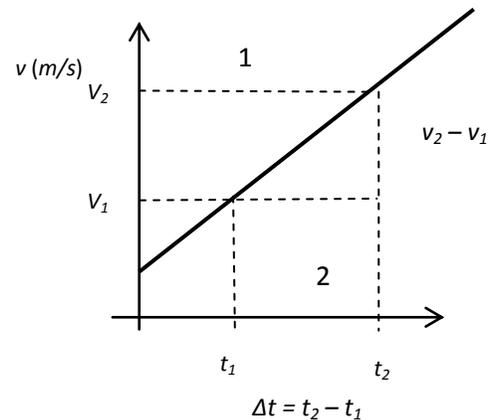
### Activité de laboratoire – Le mouvement accéléré

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

### Enseignement direct – Les équations spéciales de l'accélération constante

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

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



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

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

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

Démontrer aux élèves comment dériver de façon algébrique la deuxième équation spéciale. On doit éliminer  $\Delta t$  de deux équations.

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

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



2<sup>e</sup> équation :  $\vec{v}_2 - \vec{v}_1 = \vec{a}\Delta t$

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

Ensuite leur demander de substituer cette équation pour  $\Delta t$  dans la deuxième équation.

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\vec{a} = ?$$

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

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

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

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

On peut maintenant calculer  $\vec{v}_1$  :

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

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

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

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



Enfin, on peut calculer  $\vec{a}$  :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Résolution de problèmes – Le mouvement accéléré

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

## En fin

### ①

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



 Stratégies d'évaluation suggérées

①

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

②

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

③

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

④

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

⑤

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



## Bloc B Le mouvement relatif

L'élève sera apte à :

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

RAG : D3

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

RAG : C2, C3

### Stratégies d'enseignement suggérées

#### En tête

❶

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

OU

❷

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

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



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



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

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

## En quête

---

### Enseignement direct – Le mouvement relatif

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

### Résolution de problèmes – Le mouvement relatif

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

## En fin

---

1

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

Le site *Le mouvement simple* <[http://www.defl.ca/~rocks\\_dev/modules/1.1\\_mouvement/02mouvement\\_simple.html](http://www.defl.ca/~rocks_dev/modules/1.1_mouvement/02mouvement_simple.html)> présente une animation qui illustre le mouvement relatif.

OU

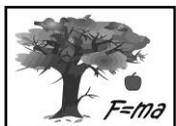
2

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

## Stratégies d'évaluation suggérées

1

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



## Bloc C L'équilibre statique

L'élève sera apte à :

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

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

### STRATÉGIES D'ENSEIGNEMENT SUGGÉRÉES

#### En tête

##### ①

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

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

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

#### En quête

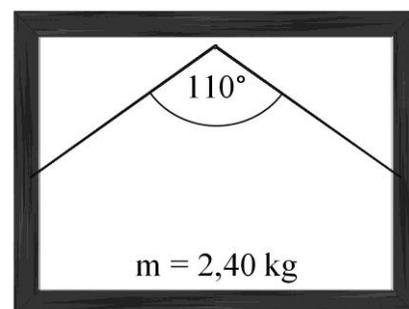
##### Enseignement direct – L'équilibre statique

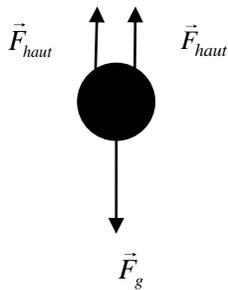
Démontrer aux élèves comment résoudre des problèmes d'équilibre statique à l'aide de l'exemple suivant :

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

On doit premièrement calculer le poids du cadre.

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



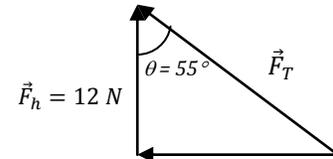


La force totale qui agit vers le haut est égale à la force totale qui agit vers le bas, car il s'agit d'un équilibre statique (l'objet ne bouge pas).

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

On dessine un diagramme vectoriel.

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



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

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

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

### Activité de laboratoire – L'équilibre statique

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

### Résolution de problèmes

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

### En fin

①

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

### Stratégies d'évaluation suggérées

①

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

②

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



## Bloc D

### Les forces sur un plan incliné

L'élève sera apte à :

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

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

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

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

## Stratégies d'enseignement suggérées

### En tête

①

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

OU

②

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

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

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

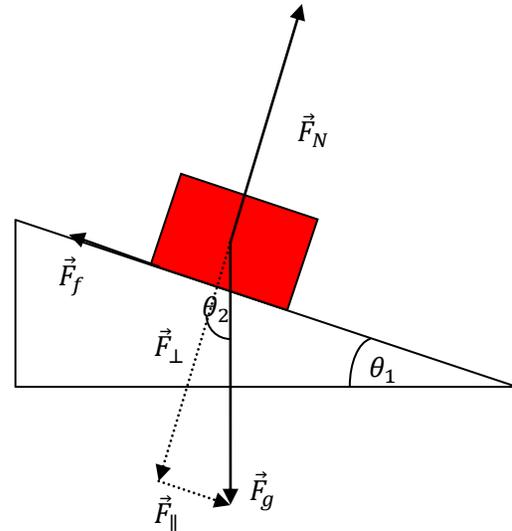


## En quête

### Enseignement direct – Le plan incliné

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

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



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

Proposer aux élèves de tracer des diagrammes de force et de calculer les composantes de la force gravitationnelle pour des objets sur un plan incliné (voir  $\textcircled{U}$  l'annexe 13). Le corrigé figure à  $\textcircled{U}$  l'annexe 14. Leur indiquer que la force gravitationnelle ( $\vec{F}_g$ ) est perpendiculaire à la surface horizontale au bas de plan incliné et que la composante perpendiculaire de la force gravitationnelle ( $\vec{F}_{\perp}$ ) est perpendiculaire à la pente du plan incliné. Les deux triangles formés sont donc pareils, ce qui veut dire que l'angle que le plan incliné forme avec la surface l'horizontale ( $\theta_1$ ) est identique à l'angle au haut du triangle formé par les forces agissant sur l'objet ( $\theta_2$ ).

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



En fin

---

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

## Stratégies d'évaluation suggérées

①

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

②

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

③

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



## Bloc E

### Expérience – Les forces

L'élève sera apte à :

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

RAG : A2, C5

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

RAG : C5, C7

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

RAG : C4, C6

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

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

RAG : C5, C8

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

RAG : C1, C2

## Stratégies d'enseignement suggérées

### En tête



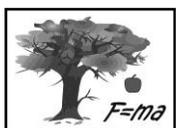
Inviter les élèves à faire un remue-méninges de comment les scientifiques du moyen âge auraient pu mesurer la force sur un objet.

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

### En quête

#### Activité de laboratoire – Les Forces

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



## En fin

---

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

### Stratégies d'évaluation suggérées

①

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

②

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



## Bloc F

### L'impulsion et la quantité de mouvement

L'élève sera apte à :

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

RAG : D4

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

RAG : D4

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

RAG : C2, C3

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

RAG : A2, C8

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

RAG : C3, C8

### Stratégies d'enseignement suggérées

#### En tête



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

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

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

OU



2

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

## En quête

### Enseignement direct – L'équation d'impulsion

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

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

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

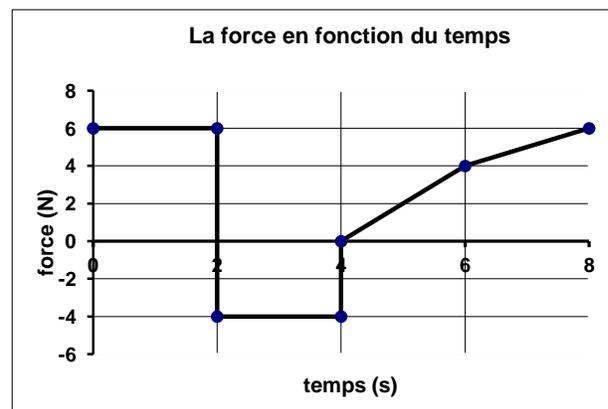
### Démonstration – L'impulsion et la quantité de mouvement

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

### Représentation graphique – L'impulsion

Poser la question suivante aux élèves :

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



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

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

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

**0-2 s** : force constante positive

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

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

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

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

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

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

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

**En fin**

---

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

## Stratégies d'évaluation suggérées

①

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

②

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



## Bloc G

### La loi de la conservation de la quantité de mouvement

L'élève sera apte à :

**P12-1-12** mener une expérience pour vérifier la loi de conservation de la quantité de mouvement dans une dimension et dans deux dimensions;

RAG : C5

**P12-1-13** résoudre des problèmes au moyen de l'équation d'impulsion et de la loi de conservation de la quantité de mouvement;

RAG : D4

**P12-1-14** décrire la relation entre l'équation d'impulsion et des situations réelles, *par exemple frapper ou attraper une balle;*

RAG : A5, B4, C8

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

RAG : C5, C7

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

RAG : C4, C6

## Stratégies d'enseignement suggérées

### En tête



Poser la question suivante aux élèves :

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

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

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



Poser la question suivante aux élèves :

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

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

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

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

OU

2

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

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

## En quête

---

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

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



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

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

OU

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

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

### Résolution de problèmes

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

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

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

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



## En fin

---

①

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

### Stratégies d'évaluation suggérées

①

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

②

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



## Bloc H La chute libre

L'élève sera apte à :

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

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

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

### Stratégies d'enseignement suggérées

#### En tête



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

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

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

#### En quête

##### Résolution de problèmes – La chute libre

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

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

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



En fin

---

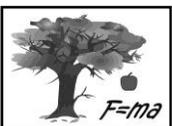
①

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

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

 Stratégies d'évaluation suggérées

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



## Bloc I Le mouvement projectile

L'élève sera apte à :

**P12-1-16** tracer des diagrammes de force pour un projectile à différents points le long de sa trajectoire (avec ou sans résistance de l'air);  
RAG : D4

**P12-1-17** calculer les composantes horizontale et verticale de la vitesse vectorielle d'un projectile à différents points le long de sa trajectoire;  
RAG : D4

**P12-1-18** résoudre des problèmes reliés aux projectiles lancés à l'horizontale et à des angles divers par rapport à l'horizontale afin de calculer la hauteur maximale, la distance parcourue et la durée totale du déplacement du projectile;  
RAG : D4

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

**P12-0-3e** soulever un problème, en rechercher une solution technologique ou autre et la réaliser.  
RAG : B4, C4, C6

### Stratégies d'enseignement suggérées

#### En tête



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

Les élèves ont étudié les diagrammes de force ainsi que les composantes des vecteurs en Physique 11<sup>e</sup> année.

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

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



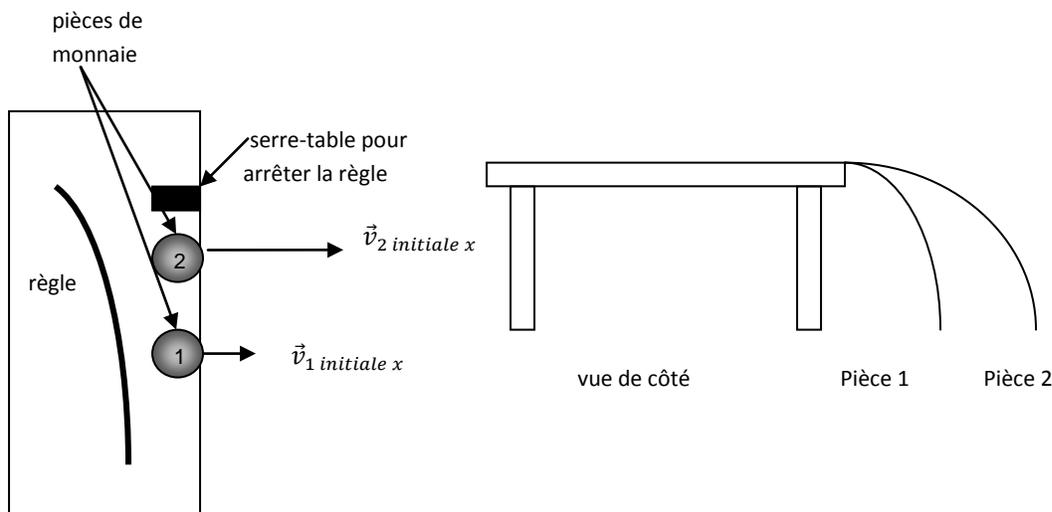
## En quête

### Enseignement direct – Le mouvement projectile

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

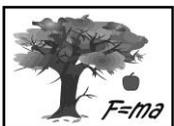
L'annexe 29 fournit des renseignements au sujet du mouvement projectile.

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



### Activité de laboratoire – Le mouvement projectile

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



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

## Résolution de problèmes

Inviter les élèves à compléter l'exercice de ① l'annexe 30 (le corrigé figure à ① l'annexe 31). Réviser les questions avec les élèves pour vérifier leur compréhension. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur (évaluation formative).

## Processus de design – Le défi

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

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

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

## Le plan

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

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

Exiger un plan écrit avant de permettre aux élèves de passer à l'étape de fabrication. Le plan devrait comprendre le matériel requis, les mesures de sécurité, les étapes à suivre et des diagrammes étiquetés (① l'annexe 32 présente une feuille de route pour le processus de design).

## La fabrication

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

## La mise à l'essai

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

## L'évaluation de la solution choisie

Inviter les élèves à évaluer leur produit final.



## En fin

---

①

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

### Stratégies d'évaluation suggérées

①

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

②

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

③

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

④

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



## Bloc J Le mouvement circulaire

L'élève sera apte à :

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

RAG : C2, D4

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

RAG : C2, C3

### Stratégies d'enseignement suggérées

#### En tête

#### ①

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

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



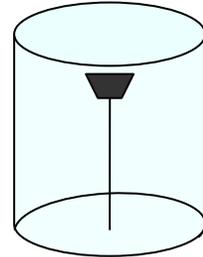
## En tête

---

### Enseignement direct – Le mouvement circulaire

Expliquer aux élèves pourquoi un objet se déplaçant en cercle à une vitesse constante subit une accélération vers le centre du cercle (Voir ① l'annexe 35 pour des renseignements pour l'enseignant). Ensuite, proposer aux élèves de vérifier si l'accélération est vraiment dirigée vers le centre du cercle.

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



accéléromètre

## En fin

---

①

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

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

### Stratégies d'évaluation suggérées

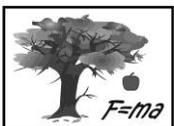
①

Inviter les élèves à répondre aux questions suivantes :

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

②

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



## Bloc K Les effets centrifuges

L'élève sera apte à :

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

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

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

### Stratégies d'enseignement suggérées

#### En tête



Inviter les élèves à répondre aux questions suivantes :

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

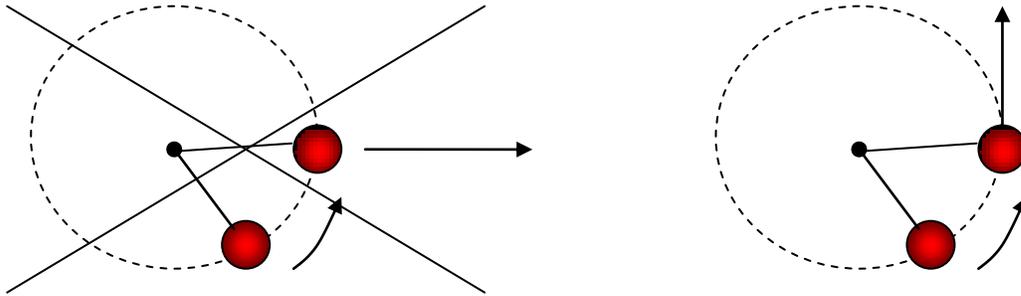
Les élèves ont étudié la deuxième loi de Newton en 10<sup>e</sup> année et en Physique, 11<sup>e</sup> année.

#### En quête

##### Enseignement direct – Les effets centrifuges

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





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

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

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

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

### Diagrammes de force

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

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



## En fin

---

①

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

## En plus

---

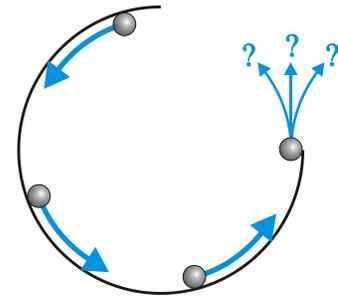
①

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

### Stratégies d'évaluation suggérées

①

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



②

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

③

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

④

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

⑤

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

## Bloc L

### L'analyse du mouvement circulaire

L'élève sera apte à :

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

### Stratégies d'enseignement suggérées

#### En tête

①

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

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



## En quête

---

### Résolution de problèmes

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

### Expérience de laboratoire – Le mouvement circulaire

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

## En fin

---

①

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

### Stratégies d'évaluation suggérées

①

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

②

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

③

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



## Bloc M Le travail et l'énergie

L'élève sera apte à :

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

### Stratégies d'enseignement suggérées

#### En tête



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

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

En Physique 11<sup>e</sup> année, les élèves ont étudié la force nette, la force de frottement, la force gravitationnelle et la force appliquée.

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



## En quête

### Enseignement direct – Le mouvement relatif

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

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

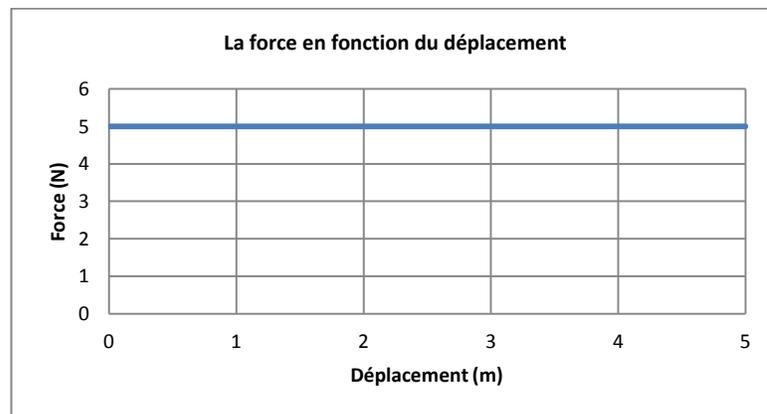
Un haltérophile soulève une barre à disques d'un poids de 500 N. S'il pousse la barre à une distance de 0,5 m par-dessus sa poitrine, le travail effectué est  $W = (F \cos \theta) \Delta d = 500 \text{ N} \times 0,5 \text{ m} = 250 \text{ J}$ . Lorsqu'il fait descendre la barre, il effectue quand même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

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

### Résolution de problème

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

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



Inviter les élèves à résoudre des problèmes sur le travail (voir ④ l'annexe 39, *Physique 12*, p. 181-183 ou *Physique 11-12*, p. 294). Corriger ces problèmes avec les élèves afin de déterminer le niveau de compréhension des élèves concernant le travail (le corrigé de ④ l'annexe 39 figure à ④ l'annexe 40). Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

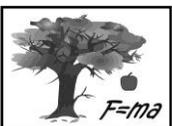
## Recherche/présentation – Les formes d'énergie

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

OU

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

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



## En fin

---

①

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

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

OU

②

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

## Stratégies d'évaluation suggérées

①

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

②

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

③

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

④

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

## Bloc N

### L'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle

L'élève sera apte à :

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

### Stratégies d'enseignement suggérées

#### En tête

Poser les questions suivantes aux élèves :

Les élèves ont étudié la conservation de l'énergie dans une collision en 10<sup>e</sup> année.

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

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

#### En quête

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

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



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

## Discussion

Poser les questions suivantes aux élèves :

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

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

## Résolution de problèmes

Inviter les élèves à compléter un exercice sur l'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle (voir ① l'annexe 41, *Physique 12*, p. 186,187, 188 et 191, *Physique 11-12*, p. 296, 298, 303 et 304 ou *Principes fondamentaux de la physique : un cours avancé*, p. 342, 343 et p. 835-387). Le corrigé de ① l'annexe 41 figure à ① l'annexe 42.

## En fin

---

①

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

## Stratégies d'évaluation suggérées

①

Inviter les élèves à compléter un test semblable à celui de ① l'annexe 41.

②

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



## Bloc O La loi de Hooke

L'élève sera apte à :

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

### Stratégies d'enseignement suggérées

#### En tête

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

#### En quête

##### Activité de laboratoire – Allongement d'un ressort

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

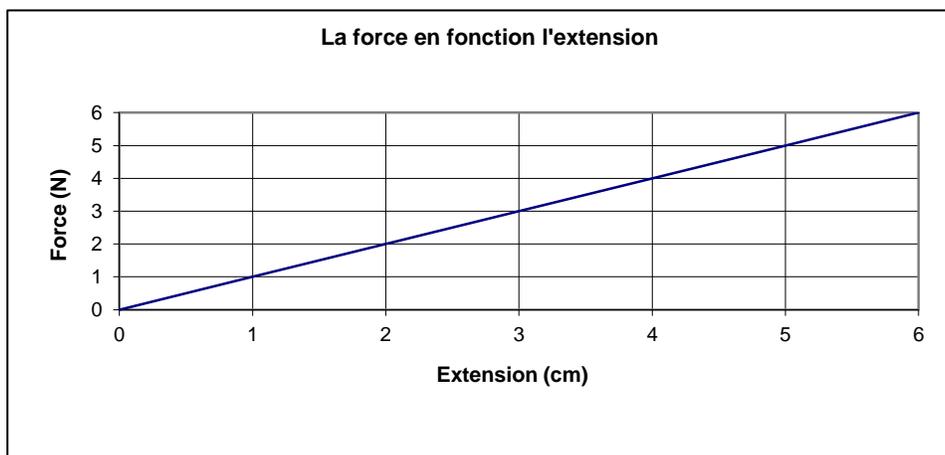


## Enseignement direct – Énergie potentielle d'un ressort

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

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

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



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

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

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

## Résolution de problèmes – Énergie potentielle élastique

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



## En fin

---

①

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

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

②

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

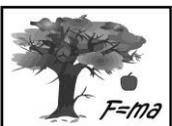
## Stratégies d'évaluation suggérées

①

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

②

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



## Bloc P La conservation d'énergie

L'élève sera apte à :

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

### Stratégies d'enseignement suggérées

#### En tête

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

#### En quête

##### Résolution de problèmes – La conservation de l'énergie

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

#### En fin



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

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

#### Stratégies d'évaluation suggérées



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



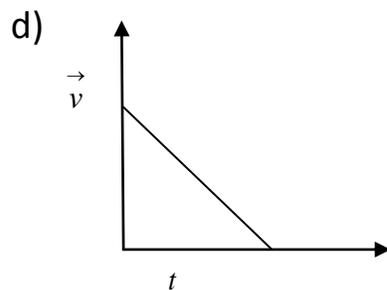
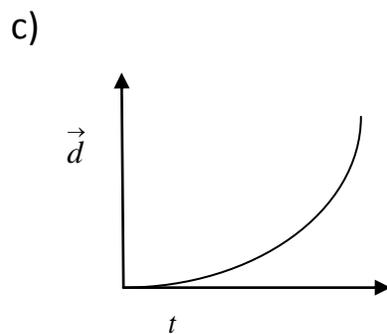
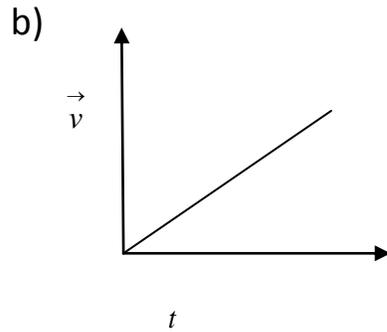
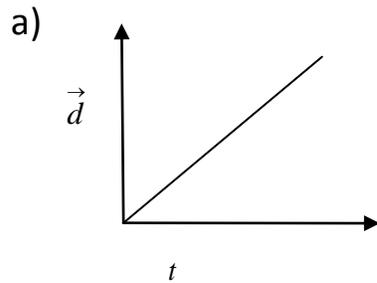
## Liste des annexes

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



## ANNEXE 1 : Exercice – La cinématique

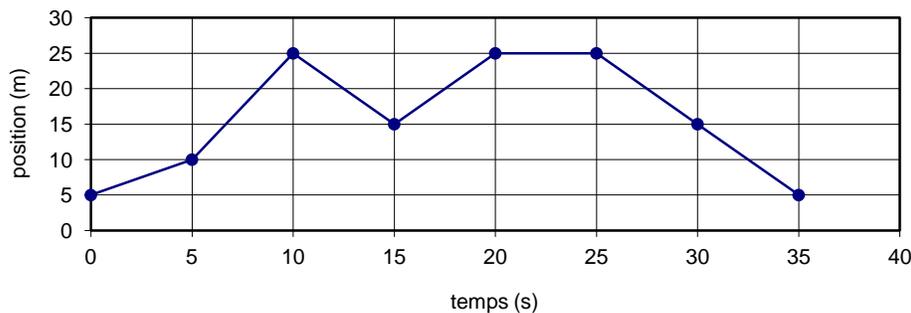
1. Décris en termes qualitatifs le mouvement représenté sur les graphiques qui suivent :



## ANNEXE 1 : Exercice – La cinématique (suite)

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

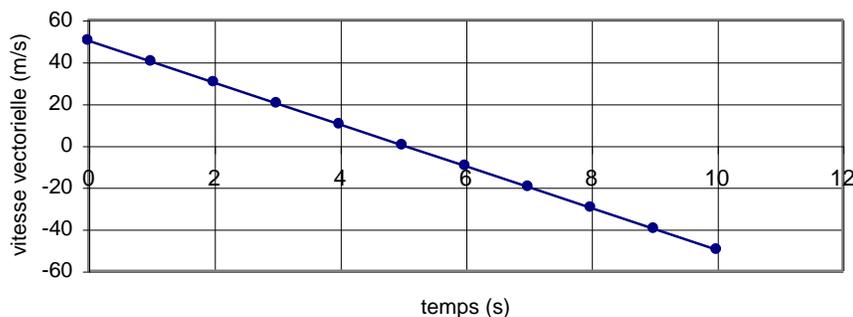
La position en fonction du temps



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

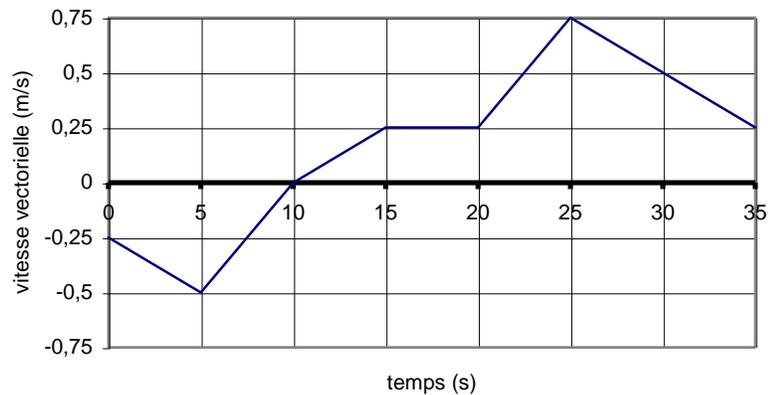
- À quel instant l'objet est-il au sommet de sa trajectoire?
- Quelle est l'accélération de l'objet quand il monte?
- Quelle est l'accélération de l'objet quand il redescend?

La vitesse vectorielle en fonction du temps



## ANNEXE 1 : Exercice – La cinématique (suite)

La vitesse vectorielle en fonction du temps



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



## ANNEXE 2 : La cinématique – Corrigé

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

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

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

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

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

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

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

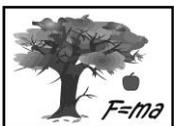
$$\text{Distance totale : } 5 \text{ m} + 15 \text{ m} + 10 \text{ m} + 10 \text{ m} + 0 \text{ m} + 10 \text{ m} + 10 \text{ m} = 60 \text{ m}$$

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

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

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

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



## ANNEXE 2 : La cinématique – Corrigé (suite)

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

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

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

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

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

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

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

4.

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

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

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

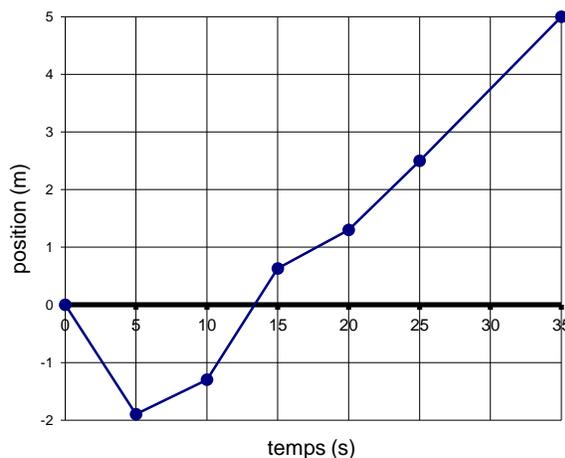
10 s à 15 s : l'aire sous la courbe = 0,63 m

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

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

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

La position en fonction du temps



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

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

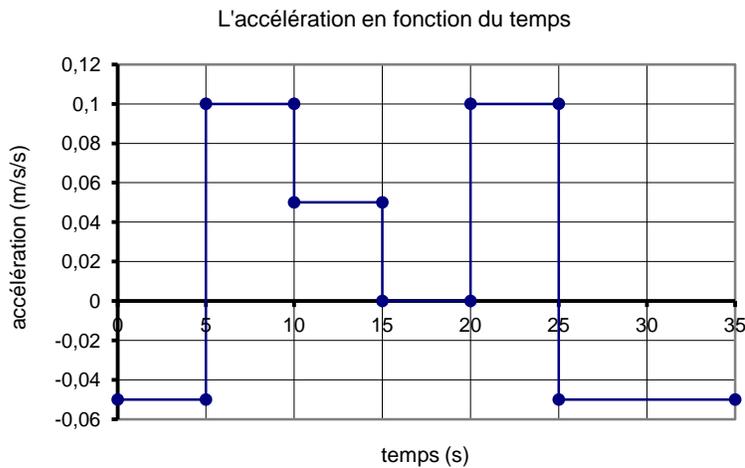
$$5 \text{ s à } 10 \text{ s : pente} = 0,1 \text{ m/s}^2$$

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

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

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

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



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

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

5. Une voiture passe de 13 m/s à 25 m/s avec une accélération constante de 3,0 m/s<sup>2</sup>.

Calcule son déplacement.

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

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

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

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



## ANNEXE 2 : La cinématique – Corrigé (suite)

On doit premièrement trouver la valeur du temps :

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

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

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

On peut maintenant trouver le déplacement :

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

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

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

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

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

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

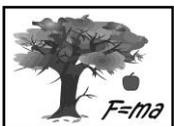
$$\Delta d = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} = \frac{(25 \text{ m/s})^2 - (13 \text{ m/s})^2}{2(3,0 \text{ m/s}^2)}$$

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



## ANNEXE 3 : Exercice – Résolution de problèmes

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



## ANNEXE 4 : Résolution de problèmes – Corrigé

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

a) Calcule l'accélération de la voiture.

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

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

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

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

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



## ANNEXE 4 : Résolution de problèmes – Corrigé (suite)

b) Calcule la vitesse vectorielle finale de la voiture.

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

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

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

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

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

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

a) Calcule la vitesse moyenne de la voiture.

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

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

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

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

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

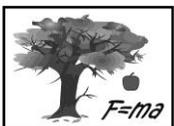
$$\vec{v}_2 = ? \quad \Delta t = 4,00 \text{ s}$$

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

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

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

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



## ANNEXE 4 : Résolution de problèmes – Corrigé (suite)

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

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

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

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

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

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

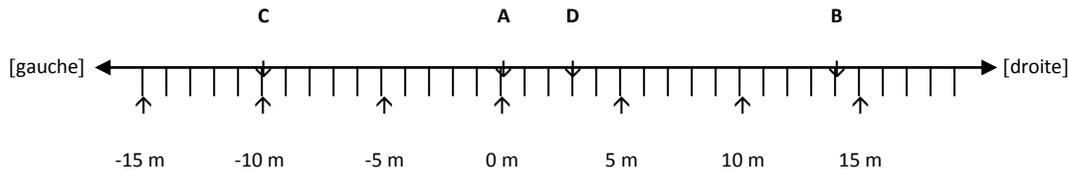
$$\Delta \vec{d} = 300,0 \text{ m de } 4,00 \text{ s à } 8,00 \text{ s}$$

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



## ANNEXE 5 : Exercice – Addition et soustraction de vecteurs

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



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

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

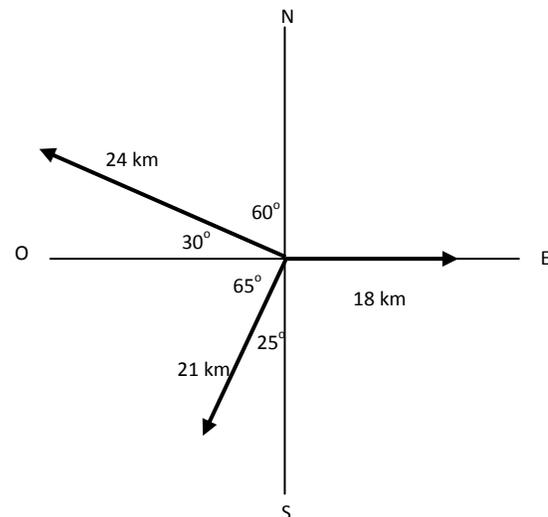
- Calcule la distance voyagée.
- Calcule le déplacement.

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

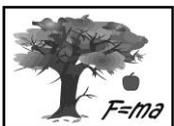
- Calcule la distance voyagée.
- Calcule le déplacement.

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

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

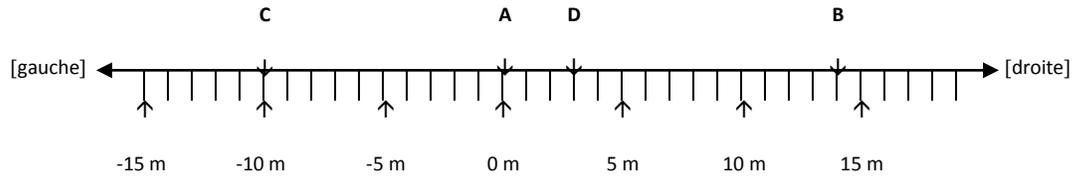


6. Une caisse de 52 kg est tirée le long d'une surface horizontale par une force constante de 65 N exercée à un angle de 35° par rapport à l'horizontale. La surface exerce une force de frottement de 45 N. Calcule la force résultante horizontale qui est exercée sur la caisse.



## ANNEXE 6 : Addition et soustraction de vecteurs – Corrigé

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



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

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

c) Quel est son déplacement du point A au point B?

$$\Delta \vec{d} = \vec{d}_B - \vec{d}_A = 14 \text{ m} - 0 \text{ m} = 14 \text{ m ou } 14 \text{ m [droite]}$$

d) Quel est son déplacement du point B au point C?

$$\Delta \vec{d} = \vec{d}_C - \vec{d}_B = -10 \text{ m} - 14 \text{ m} = -24 \text{ m ou } 24 \text{ m [gauche]}$$

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

$$d_{totale} = 14 \text{ m} + 24 \text{ m} + 13 \text{ m} = 51 \text{ m}$$

f) Calcule son déplacement total.

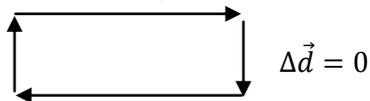
$$\Delta \vec{d}_{total} = \vec{d}_D - \vec{d}_A = 3 \text{ m} - 0 \text{ m} = 3 \text{ m ou } 3 \text{ m [droite]}$$

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

a) Calcule la distance voyagée.

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

b) Calcule le déplacement.



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

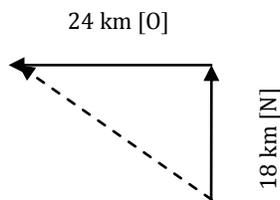
3. Un camion voyage 18 km vers le nord, puis 24 km vers l'ouest.

a) Calcule la distance voyagée.

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

b) Calcule le déplacement.

### ❶ Diagramme vectoriel



### ❷ Calcul de la grandeur de la résultante

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

### ❸ Calcul de l'angle

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

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

### ❹ Présentation de la réponse finale

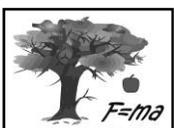
$$\Delta \vec{d} = 30 \text{ km } [N \ 53^\circ \ O] \text{ ou } 3,0 \times 10^1 \text{ km } [N \ 53^\circ \ O]$$

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

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

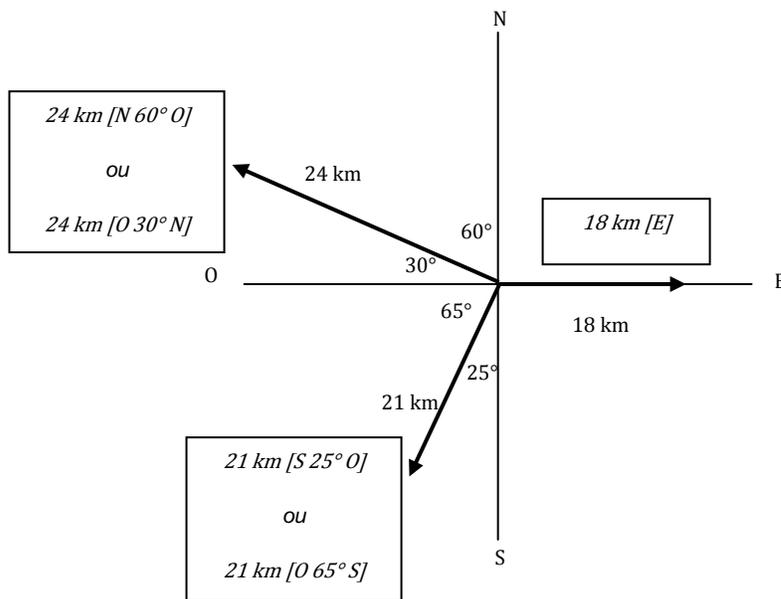
*Deuxième déplacement : Il part de 300 km [N] et finit à 150 km [S]*

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



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

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

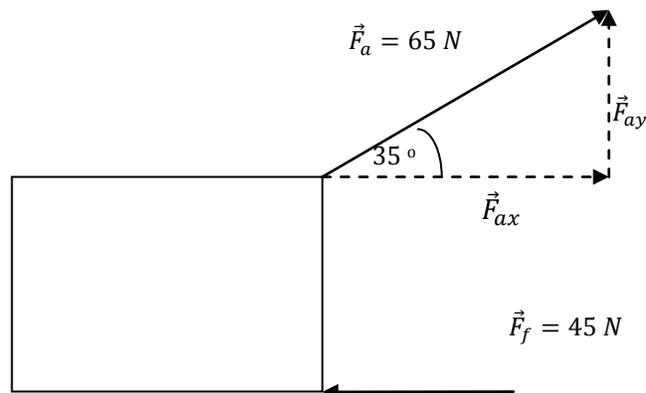


6. Une caisse de 52 kg est tirée le long d'une surface horizontale par une force constante de 65 N exercée à un angle de 35° par rapport à l'horizontale. La surface exerce une force de frottement de 45 N. Calcule la force résultante horizontale qui est exercée sur la caisse.

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

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

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



## ANNEXE 7 : La vitesse vectorielle relative

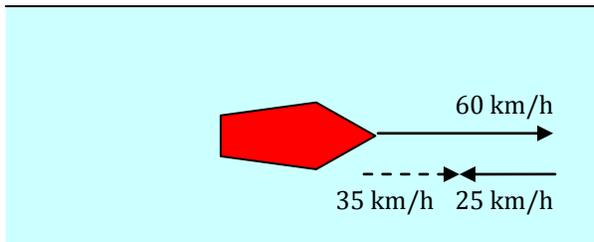
Lorsqu'un objet semble avoir un mouvement selon un premier observateur, mais un mouvement différent selon un deuxième observateur, on dit qu'il s'agit de mouvement relatif parce que les observateurs font partie de **systèmes de référence** différents. La vitesse vectorielle d'un objet en fonction d'un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

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

### Mouvement relatif en une dimension

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

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



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

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

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

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



## ANNEXE 7 : La vitesse vectorielle relative (suite)

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

### Mouvement relatif en 2 dimensions (vecteurs perpendiculaires)

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

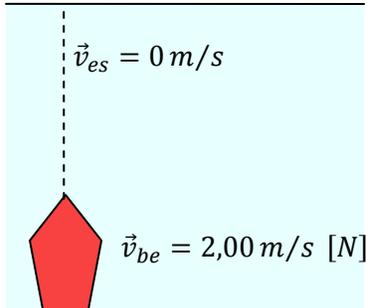
Vitesse vectorielle du bateau par rapport à l'eau :  $\vec{v}_{be} = 2,0 \text{ m/s [N]}$

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

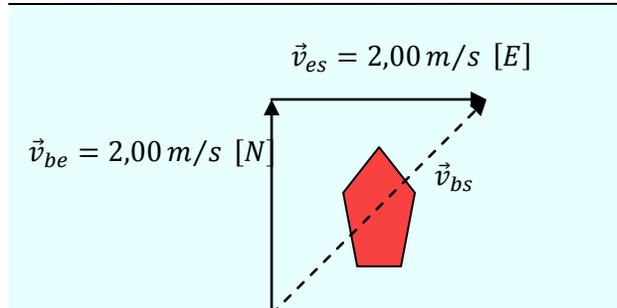
Vitesse vectorielle du bateau par rapport au sol :  $\vec{v}_{bs} = ?$

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

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



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



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

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

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

Pour déterminer la direction :

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

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

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

$$\theta = 45^\circ$$

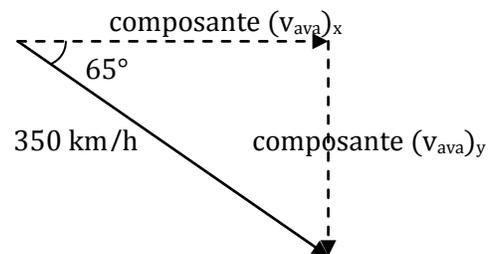
La vitesse vectorielle du bateau par rapport au sol est donc  $2,8 \text{ m/s}$   $[N 45^\circ E]$

### Mouvement relatif en 2 dimensions (vecteurs non perpendiculaires)

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

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

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



### Calcul des composantes

Composantes sur l'axe des x :

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

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

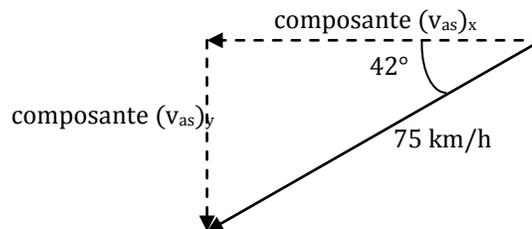
$$(\vec{v}_{ava})_x = 150 \text{ km/h} [E]$$

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

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

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

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



## ANNEXE 7 : La vitesse vectorielle relative (suite)

Composantes sur l'axe des y :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\theta = 76^\circ$$

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



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

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

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

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

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

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

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

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

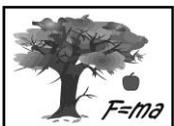
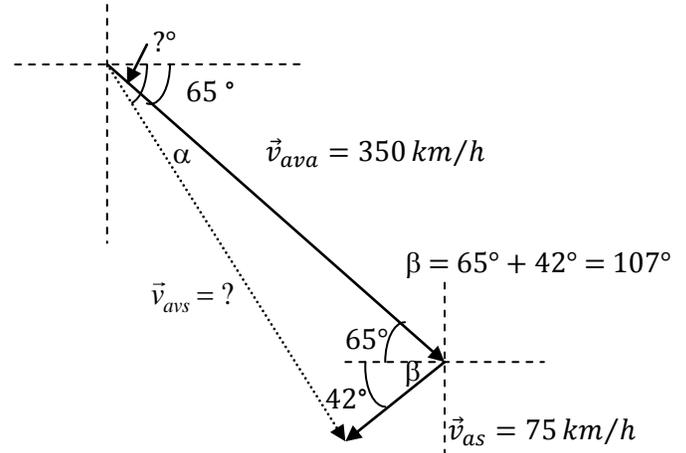
$$\frac{75}{\sin \alpha} = \frac{380}{\sin 107^\circ}$$

$$\sin \alpha = \frac{75 \times \sin 107^\circ}{380}$$

$$\alpha = 11^\circ$$

La direction de l'avion se calcule en additionnant l'angle  $\alpha$  avec  $65^\circ$

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



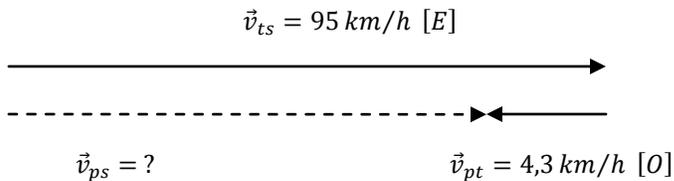
## ANNEXE 8 : Exercice – La vitesse vectorielle relative

1. Un train voyage vers l'est à une vitesse de 95 km/h. Un passager sur le train marche vers l'arrière du train à une vitesse de 4,3 km/h.
  - a. Quelle est la vitesse vectorielle du train par rapport au sol?
  - b. Quelle est la vitesse vectorielle du passager par rapport au train?
  - c. Quelle est la vitesse vectorielle du passager par rapport au sol?
2. Un bateau voyage à une vitesse vectorielle de 63 km/h [N] par rapport au cours d'eau. Le courant a une vitesse vectorielle de 11 km/h [O]. Quelle est la vitesse vectorielle du bateau par rapport au sol?
3. Un avion voyage à une vitesse vectorielle de 350 km/h [S] par rapport à l'air. Un vent souffle à une vitesse vectorielle de 58 km/h [N 44° E]. Quelle est la vitesse vectorielle de l'avion par rapport au sol?



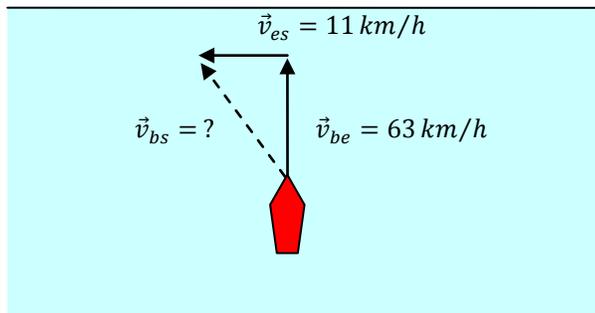
## ANNEXE 9 : La vitesse vectorielle relative – Corrigé

- Un train voyage vers l'est à une vitesse de 95 km/h. Un passager sur le train marche vers l'arrière du train à une vitesse de 4,3 km/h.
  - Quelle est la vitesse vectorielle du train par rapport au sol?  $95 \text{ km/h [E]}$
  - Quelle est la vitesse vectorielle du passager par rapport au train?  $4,3 \text{ km/h [O]}$
  - Quelle est la vitesse vectorielle du passager par rapport au sol?



$$\vec{v}_{ps} = \vec{v}_{ts} + \vec{v}_{pt} = 95 \text{ km/h [E]} + 4,3 \text{ km/h [O]} = 90,7 \text{ km/h [E]} = 91 \text{ km/h [E]}$$

- Un bateau voyage à une vitesse vectorielle de 63 km/h [N] par rapport au cours d'eau. Le courant a une vitesse vectorielle de 11 km/h [O]. Quelle est la vitesse vectorielle du bateau par rapport au sol?



$$\vec{v}_{be} = 63 \text{ km/h [N]}$$

$$\vec{v}_{es} = 11 \text{ km/h [O]}$$

$$\vec{v}_{bs} = ?$$

$$v_{bs} = \sqrt{(v_{es})^2 + (v_{be})^2}$$



## ANNEXE 9 : La vitesse vectorielle relative – Corrigé (suite)

$$v_{bs} = \sqrt{(11 \text{ km/h})^2 + (63 \text{ km/h})^2}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} = \frac{11 \text{ km/h}}{63 \text{ km/h}} = 0,17$$

$$v_{bs} = 64 \text{ km/h}$$

$$v_{bs} = 64 \text{ km/h [N } 9,9^\circ \text{ O]}$$

$$\theta = 9,9^\circ$$

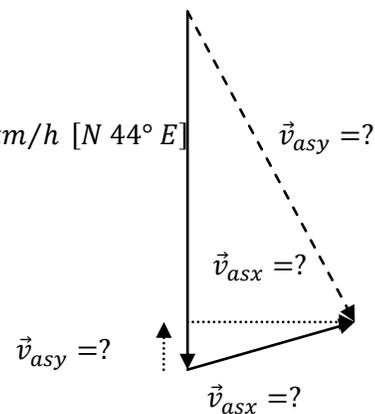
3. Un avion voyage à une vitesse vectorielle de 350 km/h [S] par rapport à l'air. Un vent souffle à une vitesse vectorielle de 58 km/h [N 44° E]. Quelle est la vitesse vectorielle de l'avion par rapport au sol?

$$\vec{v}_{av} = 350 \text{ km/h [S]}$$

$$\vec{v}_{vs} = 58 \text{ km/h [N } 44^\circ \text{ E]}$$

$$\vec{v}_{as} = ?$$

$$\vec{v}_{vs} = 58 \text{ km/h [N } 44^\circ \text{ E]}$$



### Calcul des composantes

Composantes sur l'axe des y:

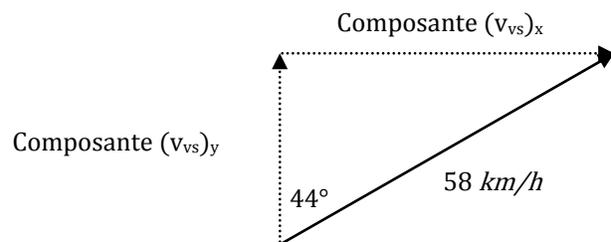
$$\cos \theta = \frac{\text{adj}}{\text{hyp}} = \frac{(\vec{v}_{vs})_y}{350 \text{ km/h}}$$

$$(\vec{v}_{vs})_y = 58 \text{ km/h} \times \cos 44^\circ$$

$$(\vec{v}_{vs})_y = 41,7 \text{ km/h [N]}$$

$$\vec{v}_{av} = 350 \text{ km/h [S]}$$

$$(\vec{v}_{as})_y = (\vec{v}_{vs})_y + (\vec{v}_{av}) = 41,7 \text{ km/h [N]} + 350 \text{ km/h [S]} = 308 \text{ km/h [S]}$$



## ANNEXE 9 : La vitesse vectorielle relative - Corrigé (suite)

Composantes sur l'axe des x :

$$\sin \theta = \frac{\text{opp}}{\text{hyp}} = \frac{(\vec{v}_{av})_x}{58 \text{ km/h}}$$

$$(\vec{v}_{av})_x = 58 \text{ km/h} \times \sin 44^\circ = 40,3 \text{ km/h [E]}$$

$$(\vec{v}_{as})_x = (\vec{v}_{vs})_x + (\vec{v}_{av})_x = 40,3 \text{ km/h [E]} + 0 \text{ km/h} = 40,3 \text{ km/h [E]}$$

$$(\vec{v}_{as})_x = 40,3 \text{ km/h [E]}$$

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

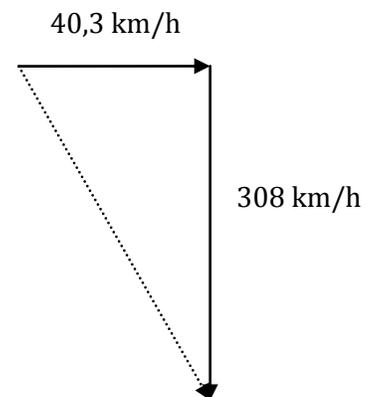
$$|v_{as}| = \sqrt{(v_{as})_x^2 + (v_{as})_y^2} = \sqrt{(40,3 \text{ km/h})^2 + (308 \text{ km/h})^2}$$

$$|v_{as}| = 310,6 \text{ km/h}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} = \frac{308 \text{ km/h}}{40,3 \text{ km/h}}$$

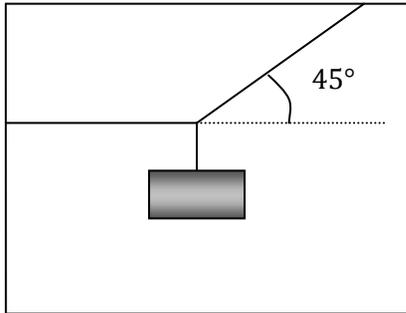
$$\theta = 83^\circ$$

$$\text{donc, } \vec{v}_{avs} = 310 \text{ km/h [E } 83^\circ \text{ S]}$$

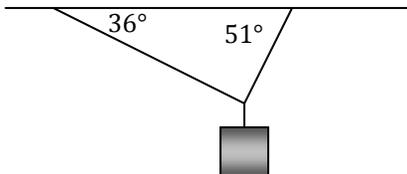


## ANNEXE 10 : Exercice – Corps en équilibre

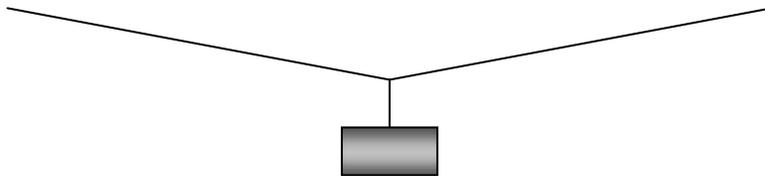
1. Une masse de 18,5 kg pend à partir d'une corde fixée horizontalement sur un mur et d'une deuxième corde à 45° de l'horizontale. Calcule la tension dans les fils.



2. Une masse de 6,3 kg est suspendue à deux câbles, le premier formant un angle de 36° avec l'horizontale et le deuxième formant un angle de 51° avec l'horizontale. Calcule la tension dans les deux câbles.

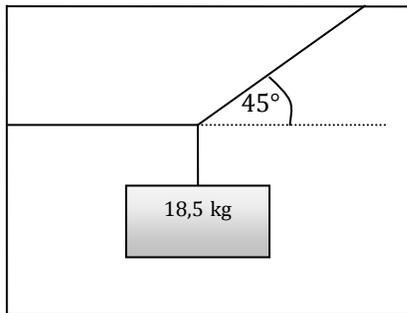


3. Une masse de 64 kg pend sur un câble dont la longueur est de 79 m. Si le centre du câble s'abaisse de 6 m, quelle est la tension dans la corde?

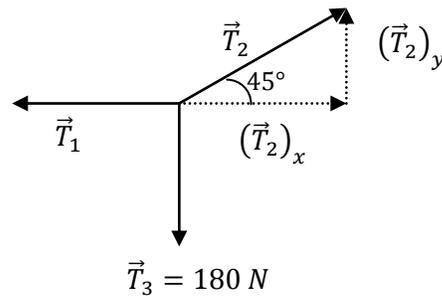


## ANNEXE 11 : Corps en équilibre – Corrigé

1. Une masse de 18,5 kg pend à partir d'une corde fixée horizontalement sur un mur et d'une deuxième corde à 45° de l'horizontale. Calcule la tension dans les fils.



On devrait premièrement dessiner un diagramme de forces pour la situation.



On calcule aussi le poids de la masse ( $\vec{F}_g = m \times \vec{g} = 18,5 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 180 \text{ N}$ ).

La masse est stationnaire donc la somme totale des forces agissant sur elle est égale à zéro.

Si on décompose les forces en leurs composantes horizontales et verticales, on peut aussi dire que la somme des forces horizontales est égale à zéro et que la somme des forces verticales est égale à zéro.

### Forces verticales

$$- (\vec{T}_2)_y = \sin 45^\circ \vec{T}_2$$

$$- \vec{T}_3$$

$$\Sigma \vec{F}_y = (\vec{T}_2)_y + \vec{T}_3 = 0 \text{ N}$$

$$\sin 45^\circ \vec{T}_2 + 180 \text{ N} = 0 \text{ N}$$

$$0,707 \vec{T}_2 = 180 \text{ N}$$

$$\vec{T}_2 = \frac{180 \text{ N}}{0,707} = 254,6 \text{ N} = 250 \text{ N}$$



## ANNEXE 11 : Corps en équilibre – Corrigé (suite)

### Forces horizontales

$$- \vec{T}_1$$

$$- (\vec{T}_2)_x = \cos 45^\circ \vec{T}_2$$

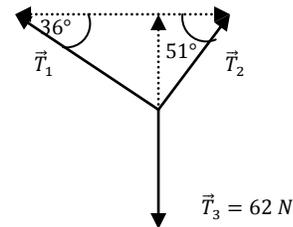
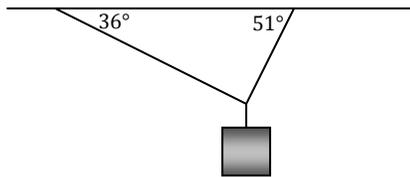
$$\Sigma \vec{F}_x = (\vec{T}_2)_x + \vec{T}_1 = 0 \text{ N}$$

$$\cos 45^\circ \vec{T}_2 + \vec{T}_1 = 0 \text{ N}$$

$$\cos 45^\circ (250 \text{ N}) = -\vec{T}_1$$

$$\vec{T}_1 = -176,8 \text{ N} = -180 \text{ N}$$

2. Une masse de 6,3 kg est suspendue à deux câbles, le premier formant un angle de 36° avec l'horizontale et le deuxième formant un angle de 51° avec l'horizontale. Calcule la tension dans les deux câbles.



$$\vec{T}_3 = m \times g = 6,3 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 61,7 \text{ N} = 62 \text{ N}$$

### Forces horizontales

$$- \text{composante horizontale de } \vec{T}_1 \text{ } (-\vec{T}_1 \cos 36^\circ)$$

$$- \text{composante horizontale de } \vec{T}_2 \text{ } (\vec{T}_2 \cos 51^\circ)$$

$$\Sigma \vec{F}_x = \cos 51^\circ \vec{T}_2 - \cos 36^\circ \vec{T}_1 = 0 \text{ N}$$

$$\cos 51^\circ \vec{T}_2 = \cos 36^\circ \vec{T}_1$$

$$0,63 \vec{T}_2 = 0,81 \vec{T}_1$$

$$\vec{T}_2 = \frac{0,81 \vec{T}_1}{0,63} = 1,3 \vec{T}_1$$

(On pourra substituer cette expression pour la valeur de  $\vec{T}_2$  dans l'équation pour les forces verticales.)



Forces verticales

- composante verticale de  $\vec{T}_2$  ( $\vec{T}_2 \sin 51^\circ$ , ou  $1,3\vec{T}_1$ )
- composante verticale de  $\vec{T}_1$  ( $\vec{T}_1 \sin 36^\circ$ )
- $\vec{T}_3$  ( $-62 \text{ N}$ )

$$\Sigma \vec{F}_y = 1,3\vec{T}_1 + \vec{T}_1 \sin 36^\circ - \vec{T}_3 = 0 \text{ N}$$

$$1,3\vec{T}_1 + 0,59\vec{T}_1 = 62 \text{ N}$$

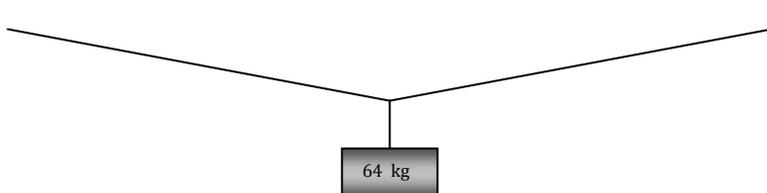
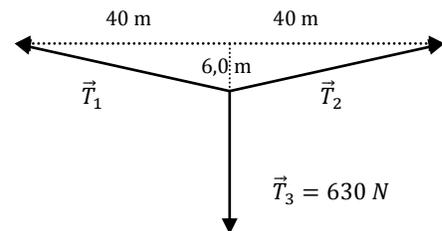
$$1,89\vec{T}_1 = 62 \text{ N}$$

$$\vec{T}_1 = \frac{62 \text{ N}}{1,89} = 32,8 \text{ N} = 33 \text{ N}$$

On peut maintenant déterminer la valeur de  $\vec{T}_2$ .

$$\vec{T}_2 = 1,3\vec{T}_1 = 1,3 \times 33 = 42,9 = 43 \text{ N}$$

3. Une masse de 64 kg pend au centre d'un câble dont la longueur est de 80,0 m. Si le centre du câble s'abaisse de 6,0 m, quelle est la tension dans la corde?

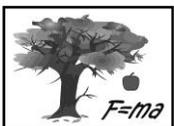


$$\vec{T}_3 = m \times \vec{g} = 64 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 627,2 \text{ N} = 630 \text{ N}$$

Afin de déterminer la valeur de la tension dans le câble, il faut déterminer son angle par rapport à l'horizontale.

$$\tan \theta = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} = \frac{6 \text{ m}}{40 \text{ m}} = 0,15$$

$$\theta = 8,5^\circ$$



## ANNEXE 11 : Corps en équilibre – Corrigé (suite)

La force totale qui agit vers le haut est égale à la force totale qui agit vers le bas, car l'objet ne bouge pas. Puisque les deux moitiés du câble tiennent la masse au même angle, la force dans chaque moitié du câble est égale à la moitié de la force totale vers le bas, donc 315 N vers le haut.

On peut calculer la tension dans le câble avec l'équation :

$$\sin 8,5^\circ = \frac{315 \text{ N}}{\vec{T}_{1 \text{ et } 2}}$$

$$\vec{T}_{1 \text{ et } 2} = \frac{315 \text{ N}}{\sin 8,5^\circ}$$

$$\vec{T}_{1 \text{ et } 2} = 2100 \text{ N}$$

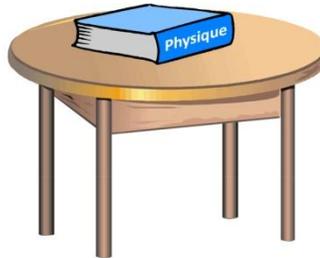


## ANNEXE 12 : Exercice – Les forces

Pour chacune des situations suivantes, identifie les forces qui agissent sur l'objet.

Forces : force gravitationnelle, force normale, force appliquée, force de frottement, résistance de l'air

1. Un livre au repos sur une table

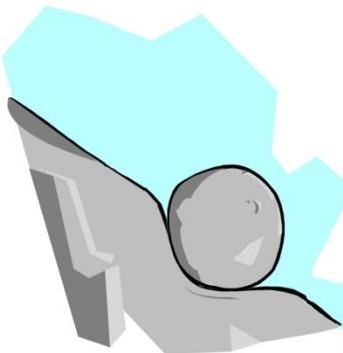


2. Un parachutiste en chute libre



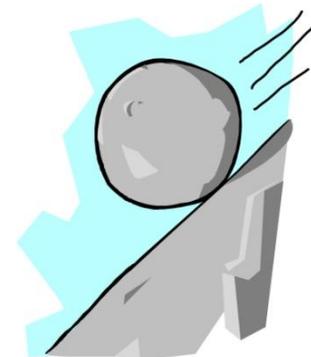
3. Un chandelier suspendu du plafond

4. Un texte de physique poussé le long d'une table  
(identifie les forces agissant sur le texte  
ainsi que les forces agissant sur la table)



5. Un bloc au repos sur un plan incliné

6. Un bloc glissant vers le bas d'un plan incliné



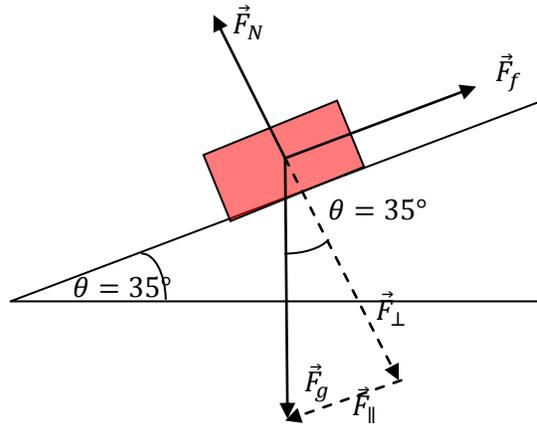
## ANNEXE 13 : Exercice – Forces et plans inclinés

1. Une caisse de 25 kg repose sur un plan incliné formant un angle de  $35^\circ$  avec l'horizontale. Trace un diagramme de forces pour cette situation et calcule les composantes de la force gravitationnelle.
2. Un camion de 1224 kg est stationné sur une colline qui forme un angle de  $25^\circ$  avec l'horizontale. Quelle est l'intensité de la force qui attire le camion vers le bas de la colline?
3. Un bloc de 6 kg est placé sur un plan incliné de  $37^\circ$ . Trace un diagramme de forces pour cette situation et calcule les composantes de la force gravitationnelle.
4. Dessine un diagramme de force pour un objet placé sur un plan incliné de  $0^\circ$ . Dessine un diagramme de force pour un objet placé sur un plan incliné de  $45^\circ$ , et ensuite pour un plan incliné de  $85^\circ$ . Si on augmente l'angle d'un plan incliné, qu'est-ce qui arrive à la valeur de la force parallèle à la surface du plan incliné? Qu'est-ce qui arrive à la force perpendiculaire à la surface du plan incliné? Quel sera l'effet d'une augmentation de l'angle sur l'objet situé sur le plan incliné?



## ANNEXE 14 : Forces et plans inclinés – Corrigé

1. Diagramme de forces :



Calcul des composantes :

a) Il faut premièrement calculer la force gravitationnelle qui agit sur la caisse.

$$\vec{F}_g = m\vec{g} = 25 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 245 \text{ N} = 250 \text{ N}$$

b) On peut ensuite calculer les composantes de la force gravitationnelle.

$$\vec{F}_{\parallel} = \vec{F}_g \times \sin \theta = 250 \text{ N} \times \sin 35^\circ = 143 \text{ N} = 140 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{\perp} = \vec{F}_g \times \cos \theta = 250 \text{ N} \times \cos 35^\circ = 204,8 \text{ N} = 200 \text{ N}$$

2. Force gravitationnelle :  $\vec{F}_g = m\vec{g} = 1224 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 11\,995 \text{ N} = 12\,000 \text{ N}$

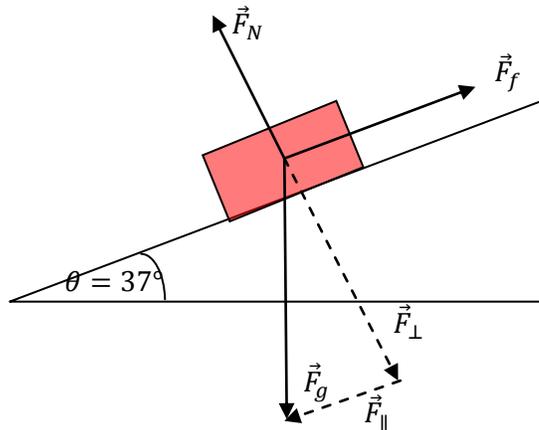
La force gravitationnelle qui attire le camion vers le bas de la colline est la composante parallèle de la force gravitationnelle agissant sur le camion.

$$\vec{F}_{\parallel} = \vec{F}_g \times \sin \theta = 12\,000 \text{ N} \times \sin 25^\circ = 5071 \text{ N} = 5100 \text{ N}$$



## ANNEXE 14 : Forces et plans inclinés – Corrigé (suite)

3. Diagramme de forces :



Calcul des composantes :

a) Il faut premièrement calculer la force gravitationnelle qui agit sur la caisse.

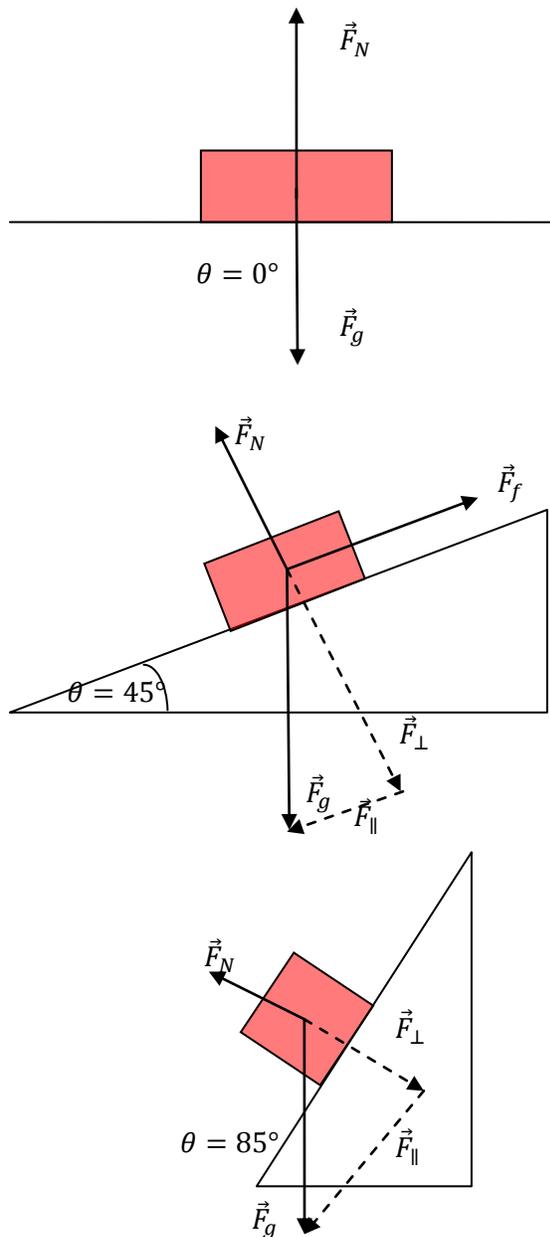
$$\vec{F}_g = m\vec{g} = 6 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 58,8 \text{ N} = 60 \text{ N}$$

b) On peut ensuite calculer les composantes de la force gravitationnelle.

$$\vec{F}_{\parallel} = \vec{F}_g \times \sin \theta = 60 \text{ N} \times \sin 37^\circ = 36 \text{ N} = 40 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{\perp} = \vec{F}_g \times \cos \theta = 60 \text{ N} \times \cos 37^\circ = 48 \text{ N} = 50 \text{ N}$$

4. Diagramme de forces :

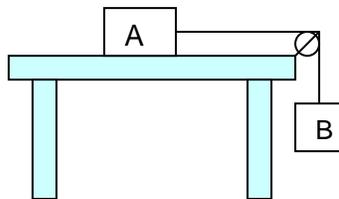


À mesure que l'angle du plan incliné augmente, la valeur de la force parallèle augmente. La force perpendiculaire diminue. C'est la composante parallèle de la force gravitationnelle qui tire l'objet vers le bas du plan incliné, donc lorsque l'angle augmente, la force attirant l'objet vers le bas du plan incliné augmente. L'objet a donc plus tendance à glisser vers le bas.



## ANNEXE 15 : Exercice – Coefficient de frottement

1. On pousse une caisse afin de la déplacer le long du sol. Le coefficient de frottement cinétique entre une caisse de 35 kg et le sol est 0,31. Si la caisse a une accélération de  $0,5 \text{ m/s}^2$ , quelle force est appliquée sur la caisse?
2. Une personne en fauteuil roulant voyage vers le haut d'un trottoir incliné. La masse totale de la personne et du fauteuil roulant est 65,0 kg. Le coefficient de frottement du trottoir a une valeur de 0,11. Le degré d'inclinaison de la pente est  $7,0^\circ$ . La personne peut-elle s'arrêter et se reposer sans que le fauteuil commence à rouler vers le bas du trottoir? Si non, calcule son accélération.
3. Un skieur d'une masse de 75,0 kg descend une pente qui a un angle d'inclinaison de  $30,0^\circ$ . Le coefficient de frottement entre les skis et la neige est 0,150. Calcule la force de frottement nette, l'accélération du skieur, la vitesse du skieur après 8,00 s et la distance voyagée après 8,00 s.
4. Deux caisses sont reliées par une ficelle passant au-dessus d'une poulie (il n'y a aucun frottement entre la ficelle et la poulie). La caisse A a une masse de 5,0 kg. La caisse B a une masse de 3,0 kg. Le coefficient de frottement cinétique entre la caisse A et la surface de la table est 0,31. Calcule l'accélération du système.



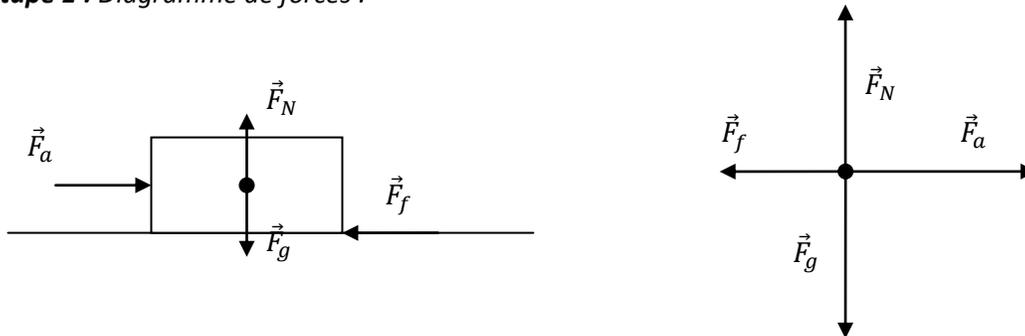
5. Mireille tire un traîneau de 55 kg. La corde qui tire le traîneau a un angle de  $22,5^\circ$  au-dessus de l'horizontale. Le coefficient de frottement cinétique entre le traîneau et la neige est 0,10. Si Mireille exerce une force de 65,0 N sur la corde, quelle est l'accélération du traîneau ?

## ANNEXE 16 : Coefficient de frottement – Corrigé

1. On pousse une caisse afin de la déplacer le long du sol. Le coefficient de frottement cinétique entre une caisse de 35 kg et le sol est 0,31. Si la caisse a une accélération de 0,5 m/s<sup>2</sup>, quelle force est appliquée sur la caisse?

$$m = 35 \text{ kg} \quad \mu_c = 0,31 \quad \vec{a} = 0,5 \text{ m/s}^2 \quad \vec{F}_a = ?$$

**Étape 1 :** Diagramme de forces :



**Étape 2 :** Calcul de la force de frottement. Afin de calculer la force de frottement, il faut premièrement calculer la force normale, qui est égale à la force gravitationnelle mais dirigée vers le haut.

$$\vec{F}_g = m \times \vec{g} = 35 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 343 \text{ N} = 340 \text{ N [bas]}$$

$$\mu_c = \frac{\vec{F}_f}{\vec{F}_N}$$

$$\vec{F}_f = \mu_c \times \vec{F}_N = 0,31 \times 340 \text{ N} = 105,4 = 100 \text{ N}$$

**Étape 3 :** Calcul de la force appliquée C'est la force nette (somme de la force appliquée et de la force de frottement) qui cause l'accélération de la caisse.

$$\vec{F}_{nette} = m \times \vec{a} = 35 \text{ kg} \times 0,5 \text{ m/s}^2 = 17,5 = 18 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 18 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{nette} = \vec{F}_f + \vec{F}_a$$

$$\vec{F}_a = \vec{F}_{nette} - \vec{F}_f = 18 \text{ N} - (-100 \text{ N}) = 118 \text{ N}$$

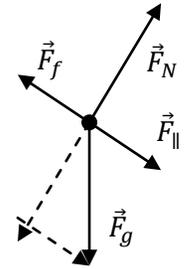
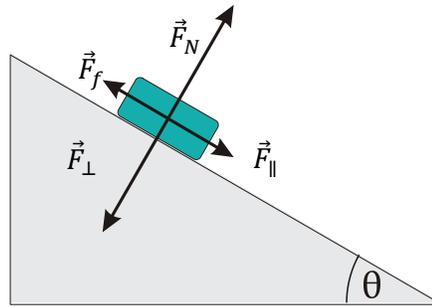


## ANNEXE 16 : Coefficient de frottement – Corrigé (suite)

2. Une personne en fauteuil roulant voyage vers le haut d'un trottoir incliné. La masse totale de la personne et du fauteuil roulant est 65,0 kg. Le coefficient de frottement du trottoir a une valeur de 0,11. Le degré d'inclinaison de la pente est 7,0°. La personne peut-elle s'arrêter et se reposer sans que le fauteuil commence à rouler vers le bas du trottoir? Si non, calcule son accélération.

$$m = 65,0 \text{ kg} \quad \mu_c = 0,11 \quad \theta = 7,0^\circ$$

**Étape 1 :** Diagramme des forces :



**Étape 2 :** Calcul des composantes de la force gravitationnelle

$$\vec{F}_g = m \times \vec{g} = 65 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 637 \text{ N} = 640 \text{ N [bas]}$$

$$\vec{F}_{\parallel} = \vec{F}_g \sin \theta = 640 \text{ N} \times \sin 7,0^\circ = 77,99 = 78 \text{ N (force qui tire le fauteuil vers le bas de la colline)}$$

$$\vec{F}_{\perp} = \vec{F}_g \cos \theta = 640 \text{ N} \times \cos 7,0^\circ = 635 = 640 \text{ N} = \vec{F}_N \text{ (force normale)}$$

**Étape 3 :** Calcul du frottement

$$\vec{F}_f = \mu_c \times \vec{F}_N = 0,11 \times 640 \text{ N} = 70,4 = 70 \text{ N}$$

**Étape 4 :** Calcul de la force nette

$$\vec{F}_{nette} = \vec{F}_{\parallel} + \vec{F}_f = 78 \text{ N} + (-70 \text{ N}) = 8 \text{ N}$$

Le fauteuil roulant va donc voyager vers le bas du trottoir.

**Étape 5 :** Calcul de l'accélération

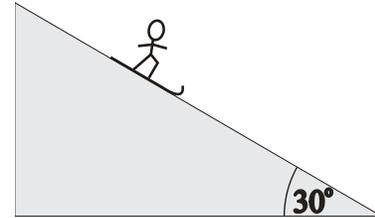
$$\vec{F}_{nette} = m \times a$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{nette}}{m} = \frac{8 \text{ N}}{65,0 \text{ kg}} = 0,1 \text{ m/s}^2$$

## ANNEXE 16 : Coefficient de frottement – Corrigé (suite)

3. Un skieur d'une masse de 75,0 kg descend une pente qui a un angle d'inclinaison de 30,0°. Le coefficient de frottement entre les skis et la neige est 0,150. Calcule la force de frottement nette, l'accélération du skieur, la vitesse du skieur après 8,00 s et la distance voyagée après 8,00 s.

$$m = 75,0 \text{ kg} \quad \theta = 30,0^\circ \quad \mu_c = 0,150 \quad \Delta t = 8,00 \text{ s}$$



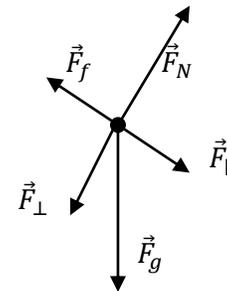
**Étape 1 :** Diagramme des forces

**Étape 2 :** Calcul des composantes de la force gravitationnelle

$$\vec{F}_g = m \times \vec{g} = 75,0 \text{ kg} \times 9,80 \text{ N/kg} = 735 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{\parallel} = \vec{F}_g \sin \theta = 735 \text{ N} \times \sin 30,0^\circ = 367,5 = 368 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{\perp} = \vec{F}_g \cos \theta = 735 \text{ N} \times \cos 30,0^\circ = 636,5 = 637 \text{ N} = \vec{F}_N$$



**Étape 3 :** Calcul de la force de frottement

$$\vec{F}_f = \mu_c \times \vec{F}_N = 0,150 \times 637 \text{ N} = 95,55 = 95,6 \text{ N}$$

**Étape 4 :** Calcul de la force nette

$$\vec{F}_{nette} = \vec{F}_{\parallel} + \vec{F}_{\perp} = 368 \text{ N} + (-95,6 \text{ N}) = 272,4 \text{ N} = 272 \text{ N}$$

**Étape 5 :** Calcul de l'accélération

$$\vec{F}_{nette} = m \times a$$

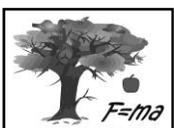
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{nette}}{m} = \frac{272 \text{ N}}{75,0 \text{ kg}} = 3,63 \text{ m/s}^2$$

**Étape 6 :** Calcul de la vitesse après 8,00 s

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

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a}\Delta t = 0 + (3,63 \text{ m/s}^2)(8,00 \text{ s})$$

$$\vec{v}_2 = 29,0 \text{ m/s}$$



## ANNEXE 16 : Coefficient de frottement – Corrigé (suite)

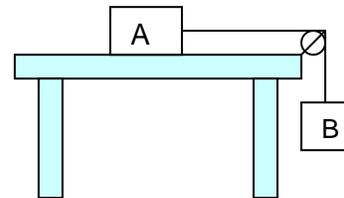
**Étape 7 :** Calcul de la distance voyagée en 8,00 s

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

$$\Delta \vec{d} = \left( \frac{0 \text{ m/s} + 29,0 \text{ m/s}}{2} \right) 8,00 \text{ s}$$

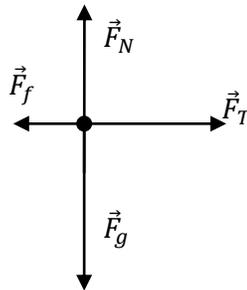
$$\Delta \vec{d} = 116 \text{ m}$$

4. Deux caisses sont reliées par une ficelle passant au-dessus d'une poulie (il n'y a aucun frottement entre la ficelle et la poulie). La caisse A a une masse de 5,0 kg. La caisse B a une masse de 3,0 kg. Le coefficient de frottement cinétique entre la caisse A et la surface de la table est 0,31. Calcule l'accélération du système.



**Étape 1 :** Diagramme de forces

Caisse A :



Caisse B :



\*\*\*Les forces de tension sont pareilles pour les deux caisses

**Étape 2 :** Calcul de la force de frottement sur la caisse A

$$\vec{F}_g = m \times \vec{g} = 5,0 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 49 \text{ N} = \vec{F}_N$$

$$\vec{F}_f = \mu_c \times \vec{F}_N = 0,31 \times 49 \text{ N} = 15,19 = 15 \text{ N}$$

**Étape 3 :** Calcul de la force gravitationnelle de la caisse B

$$\vec{F}_g = m \times \vec{g} = 3,0 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} = 29 \text{ N}$$

## ANNEXE 16 : Coefficient de frottement – Corrigé (suite)

**Étape 4 :** Détermination des forces nettes agissant sur les caisses

Caisse A – La force nette agissant sur la caisse A est égale à la somme de la force de tension sur la ficelle et de la force de frottement. On la calcule aussi en multipliant la masse de la caisse et son accélération. Puisque ces forces sont en directions opposées, on peut identifier la force de frottement comme une valeur négative.

$$\vec{F}_{nette} = \vec{F}_t + (-\vec{F}_f) = m_A \times \vec{a}$$

$$\vec{F}_{nette} = \vec{F}_t - \vec{F}_f = m_A \vec{a}$$

$$\vec{F}_t - \vec{F}_f = m_A \vec{a}$$

Puisque la force de tension est pareille pour les deux caisses, on peut isoler cette variable.

$$\vec{F}_t = m_A \vec{a} + \vec{F}_f$$

Caisse B – La force nette agissant sur la caisse B est égale à la somme de la force de tension sur la ficelle et de la force gravitationnelle de la caisse. La force de tension et la force gravitationnelle agissent en directions opposées. Puisque la force de frottement agissant vers la gauche pour la caisse A est identifiée comme valeur négative, la force de tension agissant sur la caisse B sera aussi négative.

$$\vec{F}_{nette} = \vec{F}_g + (-\vec{F}_t) = m_B \times \vec{a}$$

$$\vec{F}_g - \vec{F}_t = m_B \vec{a}$$

$$\vec{F}_g - m_B \vec{a} = \vec{F}_t$$

**Étape 5 :** On combine les deux équations

$$m_A \vec{a} + \vec{F}_f = \vec{F}_g - m_B \vec{a}$$

$$m_A \vec{a} + m_B \vec{a} = \vec{F}_g - \vec{F}_f$$

$$\vec{a}(m_A + m_B) = \vec{F}_g - \vec{F}_f$$

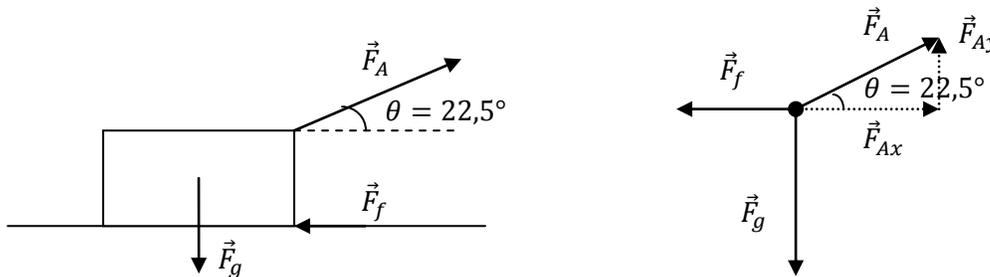
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_g - \vec{F}_f}{m_A + m_B} = \frac{29 \text{ N} - 15 \text{ N}}{5,0 \text{ kg} + 3,0 \text{ kg}} = \frac{14 \text{ N}}{8,0 \text{ kg}} = 1,75 = 1,8 \text{ N/kg}$$



## ANNEXE 16 : Coefficient de frottement – Corrigé (suite)

5. Mireille tire un traîneau de 55,0 kg. La corde qui tire le traîneau a un angle de 22,5 degrés au-dessus de l'horizontale. Le coefficient de frottement cinétique entre le traîneau et la neige est 0,100. Si Mireille exerce une force de 65,0 N sur la corde, quelle est l'accélération du traîneau ?

**Étape 1 : Diagramme de forces**



**Étape 2 : Calcul de la force gravitationnelle**

$$\vec{F}_g = m \times \vec{g} = 55,0 \text{ kg} \times 9,80 \text{ N/kg} = 539 \text{ N}$$

**Étape 3 : Calcul des composantes de la force appliquée**

La force exercée par Mireille peut être décomposée en ses composantes horizontale et verticale.

$$\vec{F}_{Ax} = \vec{F}_A \cos \theta = 65,0 \text{ N} \times \cos 22,5^\circ = 60,1 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{Ay} = \vec{F}_A \sin \theta = 65,0 \text{ N} \times \sin 22,5^\circ = 24,87 = 24,9 \text{ N}$$

**Étape 4 : Calcul de la force de frottement**

Il faut calculer la force de frottement cinétique afin de déterminer la force nette qui agit sur le traîneau. Pour calculer la force de frottement, il faut déterminer la force normale. Le traîneau ne subit aucun mouvement dans le plan vertical. Ainsi, selon la deuxième loi de Newton ( $F = ma$ ), l'accélération est égale à zéro. On peut conclure que les forces agissant dans le plan vertical ont une valeur totale égale à zéro.



## ANNEXE 16 : Coefficient de frottement – Corrigé (suite)

$$\vec{F}_N + \vec{F}_g + \vec{F}_{Ay} = 0$$

$$\vec{F}_N + (-539 \text{ N}) + 24,9 \text{ N} = 0$$

$$\vec{F}_N = 539 \text{ N} - 24,9 \text{ N} = 514,1 \text{ N} = 514 \text{ N}$$

La force normale est moindre que la force gravitationnelle. Le sol ne pousse pas contre le poids total du traîneau car une partie de la force exercée par Mireille est orientée vers le haut.

$$\vec{F}_f = \mu_c \times \vec{F}_N = 0,100 \times 514 \text{ N} = 51,4 \text{ N}$$

**Étape 5 :** Détermination de la force nette sur le traîneau

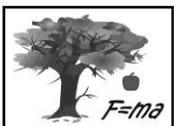
Le traîneau se déplace horizontalement sur le sol. La force nette qui agit sur lui est donc la somme de la force de frottement et de la composante horizontale de la force appliquée par Mireille.

$$\vec{F}_{nette} = \vec{F}_{Ax} + \vec{F}_f = 60,1 \text{ N} + (-51,4 \text{ N}) = 8,7 \text{ N}$$

**Étape 6 :** Calcul de l'accélération

$$\vec{F}_{nette} = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{nette}}{m} = \frac{8,7 \text{ N}}{55,0 \text{ kg}} = 0,16 \text{ m/s}^2$$



## ANNEXE 17 : Réflexion individuelle sur le travail en groupe

Réfléchis au travail que toi et ton groupe avez fait ensemble et évalue-le. Après ta réflexion, discute de tes réponses avec les membres de ton groupe.

Légende : 1 - peu satisfait(e)      3 - satisfait(e)      5 - très satisfait(e)

<p><b>J'ai bien participé.</b></p> <p>1   2   3   4   5</p>	<p><b>Le groupe s'est bien concentré sur la tâche.</b></p> <p>1   2   3   4   5</p>
<p><b>Je me suis consciemment efforcé(e) de collaborer.</b></p> <p>1   2   3   4   5</p>	<p><b>Le groupe a bien collaboré.</b></p> <p>1   2   3   4   5</p>
<p><b>J'ai écouté les autres et j'ai bien accueilli leurs contributions.</b></p> <p>1   2   3   4   5</p>	<p><b>Tout le monde a contribué.</b></p> <p>1   2   3   4   5</p>
<p><b>La prochaine fois, je pourrais...</b></p>	<p><b>La prochaine fois, le groupe pourrait...</b></p>



## ANNEXE 18 : Grille d'évaluation – Le rapport d'expérience

### Évaluation du rapport d'expérience

Titre de l'expérience :

Membres de l'équipe :

<i>Critères</i>	Points possibles*	Auto-évaluation	Évaluation par l'enseignant
<p><b>Formuler une question</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>la question mène à l'étude et l'objet est bien ciblé (comporte une relation de cause à effet)</li> </ul>			
<p><b>Émettre une prédiction</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>les variables dépendante et indépendante sont définies</li> <li>la prédiction comporte une relation de cause à effet entre les variables dépendante et indépendante</li> </ul>			
<p><b>Élaborer le plan</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>le matériel nécessaire est choisi</li> <li>les variables à contrôler sont déterminées</li> <li>les étapes sont énumérées et décrites clairement</li> <li>les mesures de sécurité sont prises en compte</li> <li>l'élimination des déchets est prévue</li> <li>les éléments suivants sont modifiés au besoin et une justification est fournie : <ul style="list-style-type: none"> <li>le matériel</li> <li>les variables</li> <li>les mesures de sécurité</li> <li>la démarche</li> </ul> </li> </ul>			
<p><b>Réaliser le test, observer et consigner les observations</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>l'expérience fait l'objet d'essais répétés</li> <li>les données sont consignées en détail et avec les unités appropriées</li> <li>les données sont consignées clairement, de façon structurée et dans un format approprié</li> </ul>			
<p><b>Analyser et interpréter les résultats</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>les diagrammes sont utilisés au besoin</li> <li>les régularités, les tendances ou les écarts sont précisés</li> <li>les forces et les faiblesses de la méthode et les sources d'erreur possibles sont décrites</li> <li>toute modification au plan initial est décrite et justifiée</li> </ul>			
<p><b>Tirer une conclusion</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>la relation de cause à effet entre les variables dépendante et indépendante est expliquée</li> <li>d'autres explications sont élaborées</li> <li>la prédiction s'est avérée juste ou inexacte</li> </ul>			
<b>Total des points</b>			

\*Remarque : L'enseignant ou les élèves de la classe attribuent des points selon les mérites particuliers de l'expérience.



## ANNEXE 19 : Évaluation des habiletés de laboratoire – Habiletés générales

Habiletés générales	Attentes	Attentes pas encore satisfaites	Attentes satisfaites
est préparé à réaliser le laboratoire	a lu d'avance le synopsis du labo, fait des tableaux, pose les questions qui précisent la tâche plutôt que demander « Qu'est-ce que je fais maintenant ? ».		
prépare et utilise l'équipement correctement	choisit le bon équipement, se prépare bien (ex., hauteur de l'anneau sur le trépied à anneau) et utilise correctement l'équipement (ex., allumer un bec Bunsen).		
suit des procédures sécuritaires	fait la démonstration de procédures générales sécuritaires aussi bien que de faits précis indiqués dans le pré-laboratoire		
note les observations	note ses observations personnelles au cours de l'action, utilise des approches quantitative et qualitative telles que demandées, note de façon organisée (ex., utilise un tableau ou une clé)		
travaille de façon indépendante (labo individuel) ou travaille en collaboration (labo de groupe)	connaît les tâches et se met tout de suite au travail OU partage les tâches et observations, sait écouter et est réceptif aux points de vue des autres élèves		
gère le temps efficacement	divise les tâches et les ordonne afin de respecter les échéances		
nettoie convenablement	laisse la table et l'évier propres, range l'équipement, lave la surface de la table, se lave les mains		



## ANNEXE 20 : Liste de contrôle des habilités de laboratoire – Capacité de raisonnement

Capacité de raisonnement	Questions	Compréhension du laboratoire		
		Limité	Général	Spécifique
Connaissance – compréhension	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quel est le but de ce laboratoire ?</li> <li>• Comment est-il relié à ce que tu études en classe?</li> <li>• Quels sont les fondements de ton hypothèse?</li> <li>• Pourquoi as-tu besoin de consignes spéciales relatives à la sécurité pour ce laboratoire?</li> <li>• Quels conseils pour disposer des produits chimiques as-tu reçu?</li> </ul>			
Mise en application – analyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comment as-tu décidé de la démarche?</li> <li>• Cette démarche présente-t-elle des difficultés?</li> <li>• Obtiens-tu les résultats escomptés?</li> <li>• Quel graphique, diagramme ou tableau concevrais-tu pour illustrer ces résultats?</li> <li>• Vois-tu une tendance dans tes données?</li> <li>• Y a-t-il des points de données qui ne suivent pas la tendance?</li> </ul>			
Synthèse – évaluation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que peux-tu conclure à partir de tes résultats?</li> <li>• Donne une preuve précise pour appuyer ta conclusion.</li> <li>• Quelles sources d'erreur sont intervenues durant cet essai?</li> <li>• Que ferais-tu de différent dans un second essai? Que ferais-tu de pareil?</li> <li>• Comment tes deux essais se comparent-ils?</li> </ul>			

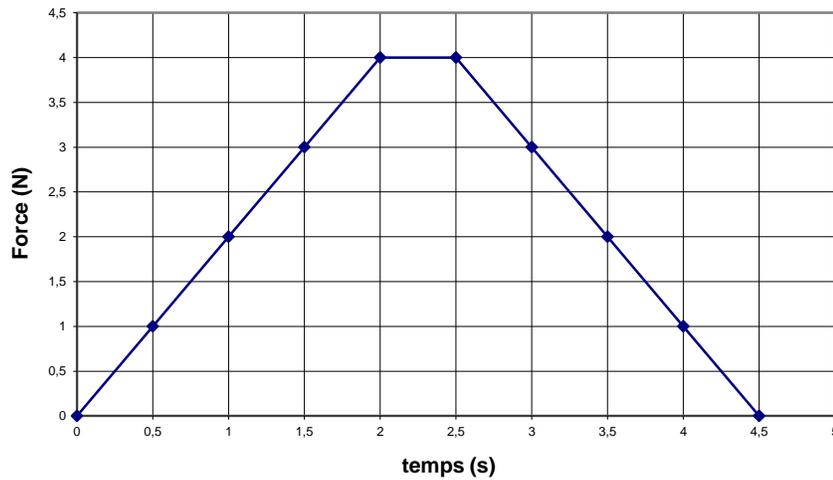


## ANNEXE 21 : Exercice – La quantité de mouvement et l'impulsion

1. Dérive l'équation d'impulsion à partir de la deuxième loi de Newton.
2. Détermine l'impulsion totale de l'objet à partir des graphiques suivants :

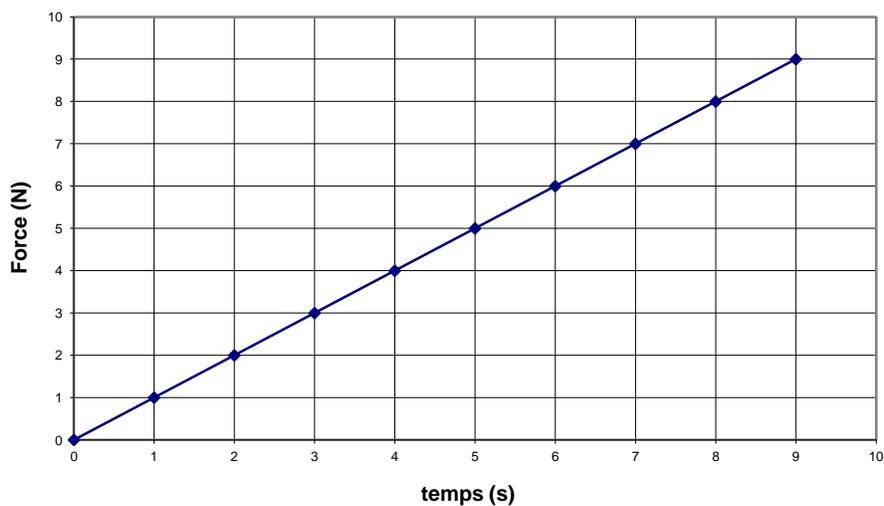
a)

La force en fonction du temps



b)

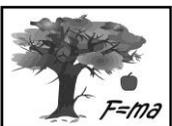
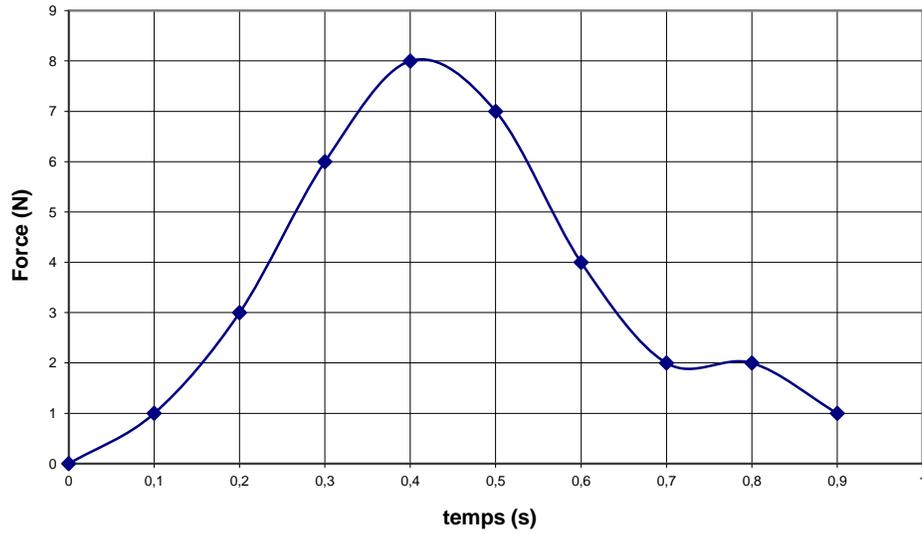
La force en fonction du temps



## ANNEXE 21 : Exercice – La quantité de mouvement et l'impulsion (suite)

c)

La force en fonction du temps



## ANNEXE 22 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Corrigé

1. Dérive l'équation d'impulsion à partir de la deuxième loi de Newton.

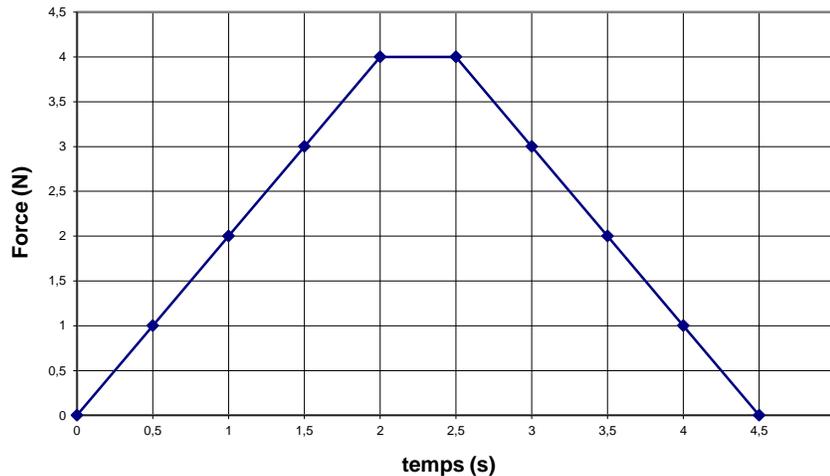
2<sup>e</sup> loi de Newton :  $(\vec{F} = m \times \vec{a})$

Puisque  $\vec{a} = \Delta\vec{v}/\Delta t$ , l'équation devient  $\vec{F} = m \times \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ . Si on multiplie chaque côté de l'équation par  $\Delta t$ , on obtient  $\vec{F} \times \Delta t = m \times \Delta\vec{v}$  (impulsion = quantité de mouvement).

2. Détermine l'impulsion totale de l'objet à partir des graphiques suivants :

a)

La force en fonction du temps



0 à 2 secondes:  $\frac{4 \text{ N} \times 2 \text{ s}}{2} = 4 \text{ N} \cdot \text{s}$

2 à 2,5 secondes:  $4 \text{ N} \times 0,5 \text{ s} = 2 \text{ N} \cdot \text{s}$

2,5 à 4,5 secondes:  $\frac{4 \text{ N} \times 2 \text{ s}}{2} = 4 \text{ N} \cdot \text{s}$

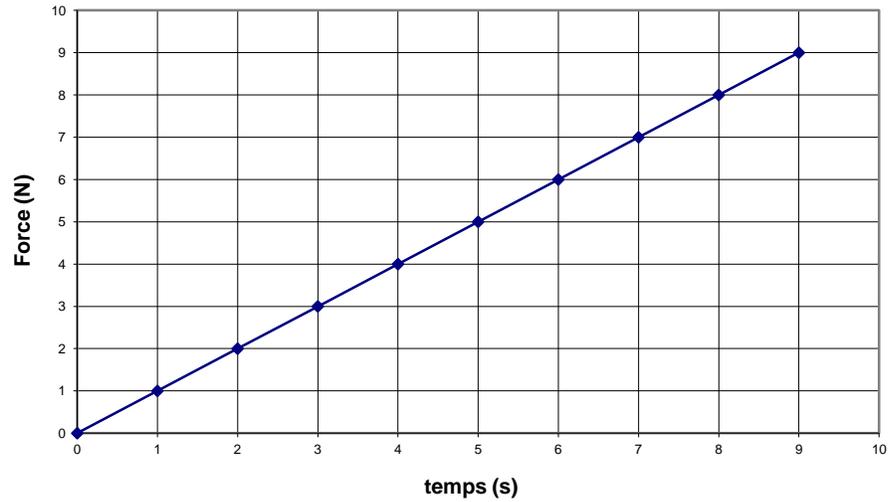
impulsion totale:  $10 \text{ N} \cdot \text{s}$



## ANNEXE 22 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Corrigé (suite)

b)

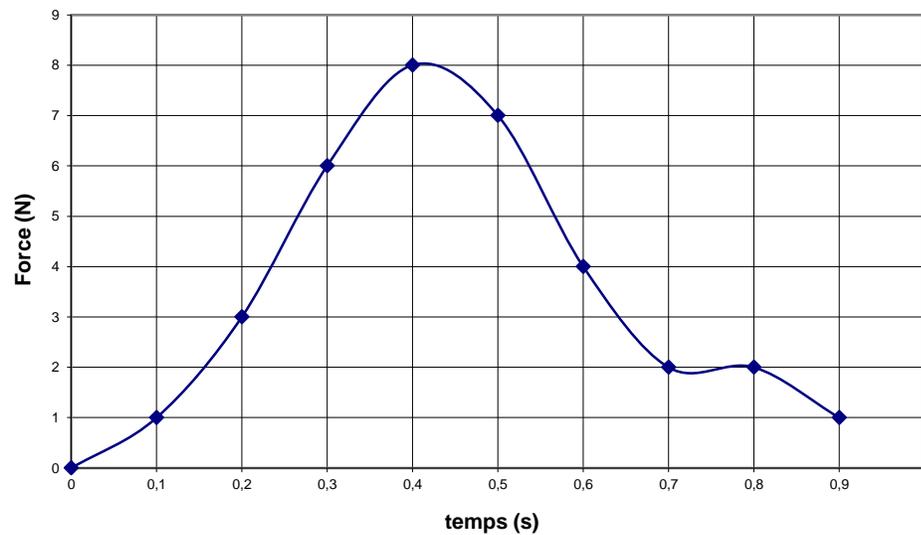
La force en fonction du temps



$$\text{impulsion totale: } \frac{9 \text{ N} \times 9 \text{ s}}{2} = 40,5 \text{ N} \cdot \text{s} = 40 \text{ N} \cdot \text{s}$$

c)

La force en fonction du temps



## ANNEXE 22 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Corrigé (suite)

$$0 \text{ à } 0,1 \text{ s: } \frac{1 \text{ N} \times 0,1 \text{ s}}{2} = 0,05 \text{ s}$$

$$0,1 \text{ à } 0,2 \text{ s: } \left[ \frac{(3 \text{ N} - 1 \text{ N}) \times 0,1 \text{ s}}{2} \right] + [1 \text{ N} \times (0,2 \text{ s} - 0,1 \text{ s})] = 0,1 \text{ N} \cdot \text{s} + 0,1 \text{ N} \cdot \text{s} = 0,2 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$0,2 \text{ à } 0,3 \text{ s: } \left[ \frac{(6 \text{ N} - 3 \text{ N}) \times 0,1 \text{ s}}{2} \right] + [3 \text{ N} \times 0,1 \text{ s}] = 0,15 \text{ N} \cdot \text{s} + 0,3 \text{ N} \cdot \text{s} = 0,45 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$0,3 \text{ à } 0,4 \text{ s: } \left[ \frac{(8 \text{ N} - 6 \text{ N}) \times 0,1 \text{ s}}{2} \right] + [6 \text{ N} \times 0,1 \text{ s}] = 0,1 \text{ N} \cdot \text{s} + 0,6 \text{ N} \cdot \text{s} = 0,7 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$0,4 \text{ à } 0,5 \text{ s: } \left[ \frac{(8 \text{ N} - 7 \text{ N}) \times 0,1 \text{ s}}{2} \right] + [7 \text{ N} \times 0,1 \text{ s}] = 0,05 \text{ N} \cdot \text{s} + 0,7 \text{ N} \cdot \text{s} = 0,75 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$0,5 \text{ à } 0,6 \text{ s: } \left[ \frac{(7 \text{ N} - 4 \text{ N}) \times 0,1 \text{ s}}{2} \right] + [4 \text{ N} \times 0,1 \text{ s}] = 0,15 \text{ N} \cdot \text{s} + 0,4 \text{ N} \cdot \text{s} = 0,55 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$0,6 \text{ à } 0,7 \text{ s: } \left[ \frac{(4 \text{ N} - 2 \text{ N}) \times 0,1 \text{ s}}{2} \right] + [2 \text{ N} \times 0,1 \text{ s}] = 0,1 \text{ N} \cdot \text{s} + 0,2 \text{ N} \cdot \text{s} = 0,3 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$0,7 \text{ à } 0,8 \text{ s: } 2 \text{ N} \times 0,1 \text{ s} = 0,2 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$0,8 \text{ à } 0,9 \text{ s: } \left[ \frac{(2 \text{ N} - 1 \text{ N}) \times 0,1 \text{ s}}{2} \right] + [1 \text{ N} \times 0,1 \text{ s}] = 0,05 \text{ N} \cdot \text{s} + 0,1 \text{ N} \cdot \text{s} = 0,15 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$\text{impulsion totale: } 3,35 \text{ N} \cdot \text{s} = 3,4 \text{ N} \cdot \text{s}$$



## ANNEXE 23 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Renseignements pour l'élève

Voici des exemples de problèmes d'impulsion et de quantité de mouvement.

### Exemple 1 : Collision en une dimension

Un fusil d'une masse de 3,00 kg tire une balle d'une masse de 19,4 g. La vitesse de la balle à sa sortie de la bouche du fusil est 549 m/s. Calcule :

- la vitesse vectorielle du recul du fusil;
- l'impulsion donnée à la balle;
- l'impulsion donnée au fusil;
- la force moyenne agissant sur la balle si elle voyageait le long du tube du fusil pendant  $3,60 \times 10^{-3}$  s.

Solution :

- Note les données qui démontrent l'état initial et final.

état initial

état final

$$m_f = 3,00 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_{2f} = ?$$

$$m_b = 19,4 \text{ g} = 1,94 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

$$\vec{v}_{2b} = 549 \text{ m/s [droite]}$$

$$\vec{v}_{1f} = 0 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_{1b} = 0 \text{ m/s}$$

Puisque cet exemple démontre la conservation de la quantité de mouvement dans une dimension, les directions vectorielles peuvent être identifiées en utilisant les termes droite/gauche ou +/-.

Puisque la quantité de mouvement doit être conservée,

$$\vec{p}_{\text{totale initiale}} = \vec{p}_{\text{totale finale}}$$

$$\vec{p}_{1f} + \vec{p}_{1b} = \vec{p}_{2f} + \vec{p}_{2b}$$

$$m_f \vec{v}_{1f} + m_b \vec{v}_{1b} = m_f \vec{v}_{2f} + m_b \vec{v}_{2b}$$

$$\vec{v}_{2f} = \frac{m_f \vec{v}_{1f} + m_b \vec{v}_{1b} - m_b \vec{v}_{2b}}{m_f}$$

$$\vec{v}_{2f} = \frac{(3,00 \text{ kg})(0 \text{ m/s}) + (1,94 \times 10^{-2} \text{ kg})(0 \text{ m/s}) - (1,94 \times 10^{-2} \text{ kg})(549 \text{ m/s})}{3,00 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{2f} = \frac{-10,7 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{3,00 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{2f} = -3,57 \text{ m/s ou } 3,57 \text{ m/s [gauche]}$$



## ANNEXE 23 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Renseignements pour l'élève (suite)

- b) L'impulsion donnée à la balle est égale à la variation de quantité de mouvement.

$$\begin{aligned} \text{impulsion donnée à la balle: } m_b \Delta \vec{v}_b &= m_b (\vec{v}_{2b} - \vec{v}_{1b}) \\ &= (1,94 \times 10^{-2} \text{ kg})(549 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}) \\ &= 10,6 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [\text{droite}] \\ &= 10,6 \text{ N} \cdot \text{s} [\text{droite}] \end{aligned}$$

- c) L'impulsion donnée au fusil est égale à l'impulsion donnée à la balle, mais en direction opposée.

$$\text{impulsion donnée au fusil} = 10,6 \text{ N} \cdot \text{s} [\text{gauche}]$$

- d)

$$\begin{aligned} \vec{F}_{\text{moy}} &= \frac{\Delta \vec{p}_b}{\Delta t} \\ \vec{F}_{\text{moy}} &= \frac{10,6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{3,60 \times 10^{-3} \text{ s}} \\ \vec{F}_{\text{moy}} &= 2,94 \times 10^3 \text{ N} [\text{droite}] \end{aligned}$$

### Exemple 2 : Collision en deux dimensions

Une pierre de curling de 18,8 kg glisse à une vitesse vectorielle de 1,45 m/s [E]. Elle entre en collision avec une pierre immobile. La vitesse vectorielle finale de la deuxième pierre est de 1,00 m/s [E 30,0° S].

Calcule :

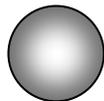
- la quantité de mouvement totale avant la collision et après la collision;
- la quantité de mouvement de la première pierre après la collision;
- la vitesse vectorielle finale de la première pierre;
- La variation de quantité de mouvement de la première pierre;
- L'impulsion donnée à la première pierre;

1. Solution :

- Note les données qui démontrent l'état initial et final.

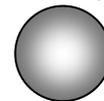
#### Avant la collision

pierre 1  
 $m_1 = 18,8 \text{ kg}$



$$\vec{v}_{1i} = 1,45 \text{ m/s} [\text{E}]$$

pierre 2  
 $m_2 = 18,8 \text{ kg}$

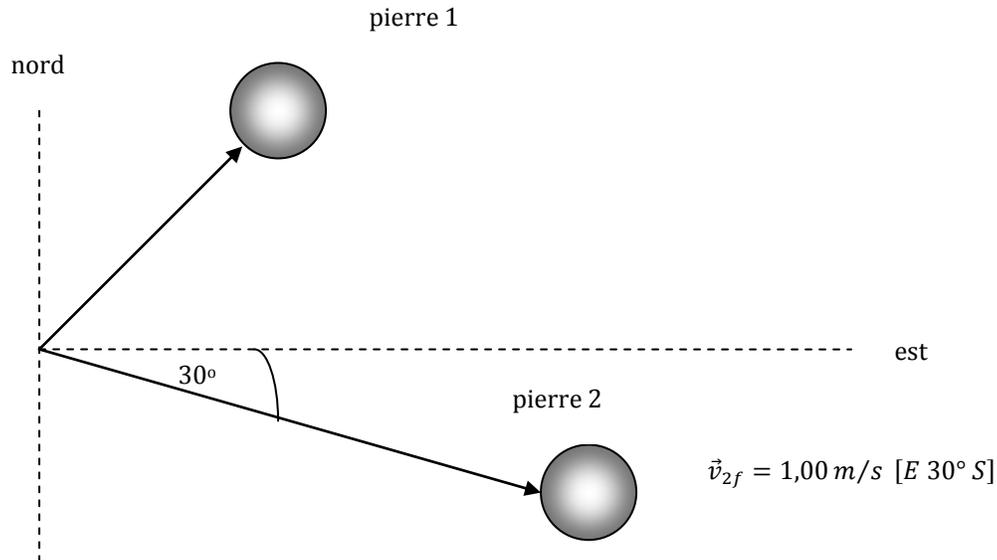


$$\vec{v}_{2i} = 0 \text{ m/s}$$



## ANNEXE 23 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Renseignements pour l'élève (suite)

après la collision



$$\vec{p}_{it} = \vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i}$$

$$\vec{p}_{it} = m_1 \vec{v}_{1i} + m_2 \vec{v}_{2i}$$

$$\vec{p}_{it} = (18,8 \text{ kg})(1,45 \text{ m/s [E]}) + (18,8 \text{ kg})(0 \text{ m/s})$$

$$\vec{p}_{it} = 27,3 \text{ kg} \cdot \text{m/s [E]}$$

Puisqu'il y a conservation de quantité de mouvement, la quantité de mouvement après la collision est la même.

- b) Pour calculer la quantité de mouvement finale de la première pierre, on substitue les valeurs obtenues dans (a) dans l'équation suivante :

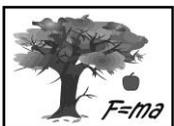
$$\vec{p}_{it} = \vec{p}_{ft}$$

$$\vec{p}_{1t} = \vec{p}_{1f} + m \vec{v}_{2f}$$

$$\vec{p}_{1f} = \vec{p}_{1t} - m \vec{v}_{2f}$$

$$\vec{p}_{1f} = 27,3 \text{ kg} \cdot \text{m/s [E]} - (18,8 \text{ kg})(1,00 \text{ m/s [E } 30,0^\circ \text{ S]})$$

$$\vec{p}_{1f} = 27,3 \text{ kg} \cdot \text{m/s [E]} - 18,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s [E } 30,0^\circ \text{ S]}$$



## ANNEXE 23 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Renseignements pour l'élève (suite)

On calcule les composantes horizontale et verticale

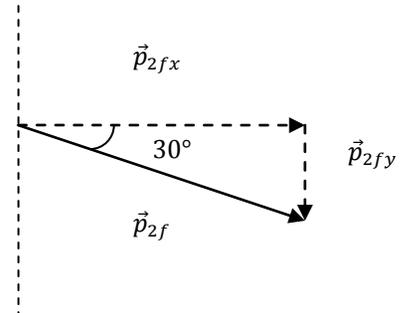
Composantes horizontales :

$$\vec{p}_{1 \text{ initiale } x} = 27,3 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E]$$

$$\vec{p}_{2 \text{ finale } x} = \cos 30^\circ \times 18,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\vec{p}_{2 \text{ finale } x} = 16,3 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E]$$

$$\begin{aligned} \vec{p}_{1 \text{ finale } x} &= 27,3 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E] - 16,3 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E] \\ &= 11,0 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E] \end{aligned}$$



Composantes verticales :

$$\vec{p}_{1 \text{ initiale } y} = 0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\vec{p}_{2 \text{ finale } y} = \sin 30^\circ \times 18,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\vec{p}_{2 \text{ finale } y} = 9,4 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [S]$$

$$\vec{p}_{1 \text{ finale } y} = 0 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 9,4 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [S] = 9,4 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [N]$$

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

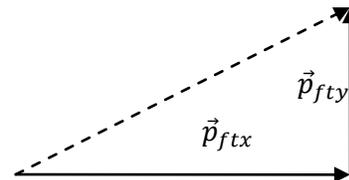
$$|p_{1 \text{ finale}}| = \sqrt{(p_{1 \text{ finale}})_x^2 + (p_{1 \text{ finale}})_y^2} = \sqrt{(11 \text{ kg} \cdot \text{m/s})^2 + (9,4 \text{ kg} \cdot \text{m/s})^2}$$

$$|p_{1 \text{ finale}}| = 14,5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} = \frac{9,4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{11 \text{ kg} \cdot \text{m/s}} = 0,85$$

$$\theta = E 40,4^\circ N$$

$$\vec{p}_{1f} = 14,5 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E 40,4^\circ N]$$



- c) Pour calculer la vitesse vectorielle finale de la première pierre, on place la valeur obtenue dans (b) dans l'équation suivante :

$$\vec{p}_{1f} = m_1 \vec{v}_{1f}$$

$$\vec{v}_{1f} = \frac{\vec{p}_{1f}}{m_1}$$

$$\vec{v}_{1f} = \frac{14,5 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E 40,4^\circ N]}{18,8 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{1f} = 0,771 \text{ m/s} [E 40,4^\circ N]$$



## ANNEXE 23 : La quantité de mouvement et l'impulsion – Renseignements pour l'élève (suite)

---

- d) La variation de quantité de mouvement de la première pierre est calculée en soustrayant la quantité de mouvement initiale de la pierre de sa quantité de mouvement finale. Ceci nécessite une soustraction vectorielle. Cependant la variation de quantité de mouvement de la première pierre est égale mais opposée à la variation de quantité de mouvement de la deuxième pierre. On peut facilement calculer cette variation, car la quantité de mouvement initiale de la deuxième pierre est égale à 0.

$$\Delta \vec{p}_1 = -\Delta \vec{p}_2 = -(\vec{p}_{2f} - \vec{p}_{2i})$$

$$\Delta \vec{p}_1 = -(18,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E 30,0^\circ S] - 0)$$

$$\Delta \vec{p}_1 = 18,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [O 30,0^\circ N]$$

L'impulsion donnée à la première pierre est égale à sa variation de quantité de mouvement, donc a une valeur de  $\Delta \vec{p}_1 = 18,8 \text{ N} \cdot \text{s} [O 30,0^\circ N]$



## ANNEXE 24 : Exercice – La conservation de la quantité de mouvement

1. Une masse de 20 kg voyageant à 2 m/s subit une force de 10,0 N pendant 5,0 s.
  - a) Calcule l'impulsion reçue par la masse.
  - b) Calcule la variation de quantité de mouvement.
  - c) Calcule la quantité de mouvement initiale de la masse.
  - d) Calcule la quantité de mouvement finale de la masse.
  - e) Calcule la vitesse finale de la masse.
  
2. Un camion de 9500 kg roulant à 0,40 m/s percute l'arrière d'une voiture immobile ayant une masse de 1500 kg. Les 2 véhicules se collent ensemble. Calcule leur vitesse après la collision.
  
3. Un canon de 400 kg est au repos sur une surface sans frottement. Il tire une balle de 20 kg horizontalement à 600 m/s.
  - a) Calcule la vitesse du canon quand la balle est tirée.
  - b) Calcule l'impulsion donnée à la balle.
  
4. Pendant une collision de plein fouet, une masse de 16 kg se déplaçant vers la droite à 10 m/s se heurte à une masse immobile de 24 kg. Après l'impact, la masse de 16 kg se déplace vers la gauche à 2 m/s.
  - a) Calcule la vitesse et la direction de la deuxième masse après la collision.
  - b) Calcule la variation de quantité de mouvement de la masse de 16 kg.
  - c) Calcule la variation de quantité de mouvement de la masse de 24 kg.
  
5. Une balle de billards de 0,17 kg se déplace à une vitesse vectorielle de 2,5 m/s [E]. Elle entre en collision avec une balle de 0,16 kg qui est au repos. Après la collision, la première balle se déplace à une vitesse vectorielle de 1,1 m/s [E 42° N].
  - a) Calcule la vitesse et la direction de la deuxième balle après la collision.
  - b) Calcule la variation de quantité de mouvement de la première balle.



## ANNEXE 25 : La conservation de la quantité de mouvement – Corrigé

1. Une masse de 20 kg voyageant à 2 m/s subit une force de 10,0 N pendant 5,0 s.

- Calcule l'impulsion reçue par la masse.
- Calcule la variation de quantité de mouvement.
- Calcule la quantité de mouvement initiale de la masse.
- Calcule la quantité de mouvement finale de la masse.
- Calcule la vitesse finale de la masse.

a)  $I = F\Delta t = 10 \text{ N} \times 5 \text{ s} = 50 \text{ N} \cdot \text{s}$   
L'impulsion reçue par la masse est  $50 \text{ N} \cdot \text{s}$ .

b)  $\Delta p = I = 50 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
La variation de quantité de mouvement  $50 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ .

c)  $\vec{p}_{\text{initiale}} = m\vec{v}_{\text{initiale}} = (20 \text{ kg})(2 \text{ m/s}) = 40 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
La quantité de mouvement initiale de la masse  $40 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ .

d)  $\vec{p}_{\text{finale}} = \vec{p}_{\text{initiale}} + \Delta\vec{p} = 40 \text{ kg} \cdot \text{m/s} + 50 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 90 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
La quantité de mouvement finale de la masse  $90 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ .

e)  $\vec{v}_{\text{finale}} = \frac{\vec{p}}{m} = \frac{90 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{20 \text{ kg}} = 4,5 \text{ m/s}$   
La vitesse finale de la masse est  $4,5 \text{ m/s}$ .

2. Un camion de 9500 kg roulant à 0,40 m/s percute l'arrière d'une voiture immobile ayant une masse de 1500 kg. Les 2 véhicules se collent ensemble. Calcule leur vitesse après la collision.

Avant la collision

$$m_A = 9500 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_A = 0,40 \text{ m/s}$$

$$m_B = 1500 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_B = 0 \text{ m/s}$$

Après la collision

$$m_{AB} = 9500 \text{ kg} + 1500 \text{ kg} = 11\,000 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_{AB} = ?$$



## ANNEXE 25 : La conservation de la quantité de mouvement – Corrigé (suite)

$$\vec{p}_{\text{totale initiale}} = \vec{p}_{\text{totale finale}}$$

$$\vec{p}_A + \vec{p}_B = \vec{p}_{AB}$$

$$m_A \vec{v}_{\text{initiale } A} + m_B \vec{v}_{\text{initiale } B} = m_{AB} \times \vec{v}_{AB \text{ finale}}$$

$$\vec{v}_{AB \text{ finale}} = \frac{m_A \vec{v}_{\text{initiale } A} + m_B \vec{v}_{\text{initiale } B}}{m_{AB}}$$

$$\vec{v}_{AB \text{ finale}} = \frac{(9500 \text{ kg})(0,40 \text{ m/s}) + 0}{(9500 \text{ kg} + 1500 \text{ kg})}$$

$$\vec{v}_{AB \text{ finale}} = \frac{3800 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{11\,000 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{AB \text{ finale}} = 0,34 \text{ m/s}$$

Leur vitesse après la collision est 0,34 m/s.

3. Un canon de 400 kg est au repos sur une surface sans frottement. Il tire une balle de 20 kg horizontalement à 600 m/s.

Avant

$$m_A = 400 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_A = 0 \text{ m/s}$$

$$m_B = 20 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_B = 0 \text{ m/s}$$

Après

$$m_A = 400 \text{ kg}$$

$$m_B = 20 \text{ kg}$$

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

$$\vec{v}_B = 600 \text{ m/s}$$

- a) Calcule la vitesse du canon quand la balle est tirée.

$$\vec{p}_{\text{totale initiale}} = \vec{p}_{\text{totale finale}}$$

$$\vec{p}_A + \vec{p}_B = \vec{p}_A + \vec{p}_B$$

$$\vec{v}_{\text{finale } A} = \frac{m_A \vec{v}_{\text{initiale } A} + m_B \vec{v}_{\text{initiale } B} - m_B \vec{v}_{\text{finale } B}}{m_A}$$

$$\vec{v}_{\text{finale } A} = \frac{(400 \text{ kg} \times 0 \text{ m/s}) + (20 \text{ kg} \times 0 \text{ m/s}) - (20 \text{ kg} \times 600 \text{ m/s})}{400 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{\text{finale } A} = \frac{0 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 12\,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{400 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{\text{finale } A} = \frac{-12\,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{400 \text{ kg}}$$



## ANNEXE 25 : La conservation de la quantité de mouvement – Corrigé (suite)

$$\vec{v}_{finale A} = -30 \text{ m/s}$$

La vitesse du canon quand la balle est tirée est -30 m/s.

b) Calcule l'impulsion donnée à la balle.

$$I = \Delta \vec{p}_B = m_B \Delta \vec{v}_B = m_B (\vec{v}_{finale B} - \vec{v}_{initiale B})$$

$$I = 20 \text{ kg} (600 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s})$$

$$I = 12\,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 12\,000 \text{ N} \cdot \text{s}$$

4. Pendant une collision de plein fouet, une masse de 16 kg se déplaçant vers la droite à 10 m/s se heurte à une masse immobile de 24 kg. Après l'impact, la masse de 16 kg se déplace vers la gauche à 2 m/s.

a) Calcule la vitesse et la direction de la deuxième masse après la collision.

b) Calcule la variation de quantité de mouvement de la masse de 16 kg.

c) Calcule la variation de quantité de mouvement de la masse de 24 kg.

Avant

$$m_A = 16 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_A = 10 \text{ m/s}$$

$$m_B = 24 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_B = 0 \text{ m/s}$$

Après

$$m_A = 16 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_A = 2 \text{ m/s [gauche]} \text{ ou } -2 \text{ m/s}$$

$$m_B = 24 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_B = ? \text{ m/s}$$

a)

$$\vec{p}_{totale initiale} = \vec{p}_{totale finale}$$

$$\vec{p}_A initiale + \vec{p}_B initiale = \vec{p}_A finale + \vec{p}_B finale$$

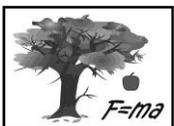
$$m_A \vec{v}_{initiale A} + m_B \vec{v}_{initiale B} = m_A \vec{v}_{finale A} + m_B \vec{v}_{finale B}$$

$$\vec{v}_{finale B} = \frac{m_A \vec{v}_{initiale A} + m_B \vec{v}_{initiale B} - m_A \vec{v}_{finale A}}{m_B}$$

$$\vec{v}_{finale B} = \frac{(16 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}) + (24 \text{ kg} \times 0 \text{ m/s}) - (16 \text{ kg} \times -2 \text{ m/s})}{24 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{finale B} = \frac{160 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - (-32 \text{ kg} \cdot \text{m/s})}{24 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{finale B} = \frac{192 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{24 \text{ kg}}$$



## ANNEXE 25 : La conservation de la quantité de mouvement – Corrigé (suite)

$$\vec{v}_{finale\ B} = 8\ m/s$$

La vitesse et la direction de l'autre masse après la collision est 8 m/s (droite).

b)

$$\Delta p = \vec{p}_{A\ finale} - \vec{p}_{A\ initiale}$$

$$\Delta \vec{p}_A = m_A \vec{v}_{finale\ A} - m_A \vec{v}_{initiale\ A}$$

$$\Delta \vec{p}_A = (16\ kg \times -2\ m/s) - (16\ kg \times 10\ m/s)$$

$$\Delta \vec{p}_A = (-32\ kg \cdot m/s) - (160\ kg \cdot m/s)$$

$$\Delta \vec{p}_A = -192\ kg \cdot m/s$$

La variation de quantité de mouvement de la masse de 16 kg est -192 kg·m/s.

c)

$$\Delta p = \vec{p}_{B\ finale} - \vec{p}_{B\ initiale}$$

$$\Delta \vec{p}_B = m_B \vec{v}_{finale\ B} - m_B \vec{v}_{initiale\ B}$$

$$\Delta \vec{p}_B = (24\ kg \times 8\ m/s) - (24\ kg \times 0\ m/s)$$

$$\Delta \vec{p}_B = (192\ kg \cdot m/s) - (0\ kg \cdot m/s)$$

$$\Delta \vec{p}_B = 192\ kg \cdot m/s$$

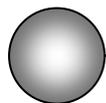
La variation de quantité de mouvement de la masse de 192 kg·m/s (la variation de quantité de mouvement de la deuxième masse est égale à celle de la première masse, mais en direction opposée).

5. Une balle de billards de 0,17 kg se déplace à une vitesse vectorielle de 2,5 m/s [E]. Elle entre en collision avec une balle de 0,16 kg qui est au repos. Après la collision, la première balle se déplace à une vitesse vectorielle de 1,1 m/s [E 42° N].

**Avant la collision**

balle 1

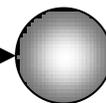
$$m_1 = 0,17\ kg$$



$$\vec{v}_{1\ initiale} = 2,5\ m/s\ [E]$$

balle 2

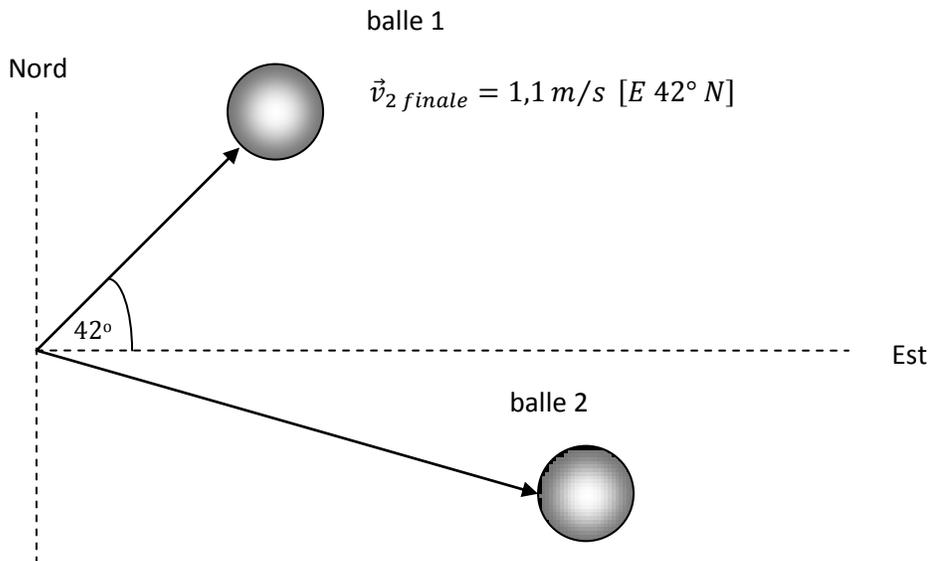
$$m_2 = 0,16\ kg$$



$$\vec{v}_{2\ initiale} = 0\ m/s$$

## ANNEXE 25 : La conservation de la quantité de mouvement – Corrigé (suite)

après la collision



a) Calcule la vitesse et la direction de la deuxième balle après la collision.

$$\vec{p}_{totale\ initiale} = \vec{p}_{totale\ finale}$$

$$\vec{p}_1\ initiale + \vec{p}_2\ initiale = \vec{p}_1\ finale + \vec{p}_2\ finale$$

$$m_1\vec{v}_{initiale\ 1} + m_2\vec{v}_{initiale\ 2} = m_1\vec{v}_{finale\ 1} + m_2\vec{v}_{finale\ 2}$$

$$\vec{v}_{finale\ 2} = \frac{m_1\vec{v}_{initiale\ 1} + m_2\vec{v}_{initiale\ 2} - m_1\vec{v}_{finale\ 1}}{m_2}$$

$$\vec{v}_{finale\ 2} = \frac{(0,17\ kg \times 2,5\ m/s) + (0,16\ kg \times 0\ m/s) - (0,17\ kg \times 1,1\ m/s [E\ 42^\circ\ N])}{0,16\ kg}$$

$$\vec{v}_{finale\ 2} = \frac{0,43\ kg \cdot m/s [E] - (0,17\ kg \times 1,1\ m/s [E\ 42^\circ\ N])}{0,16\ kg}$$

On calcule les composantes horizontale et verticale

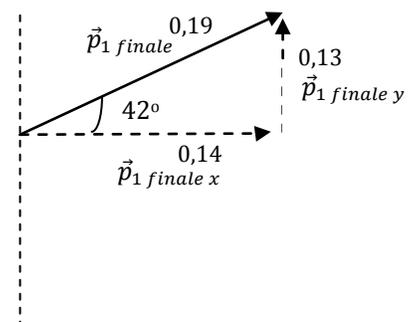
Horizontale :

$$\vec{p}_1\ initiale\ x = 0,43\ kg \cdot m/s [E]$$

$$\vec{p}_1\ finale\ x = \cos 42^\circ \times 0,19\ kg \cdot m/s$$

$$\vec{p}_1\ finale\ x = 0,14\ kg \cdot m/s [E]$$

$$\vec{p}_2\ finale\ x = 0,43\ kg \cdot m/s [E] - 0,14\ kg \cdot m/s [E] = 0,29\ kg \cdot m/s [E]$$



## ANNEXE 25 : La conservation de la quantité de mouvement – Corrigé (suite)

verticale :

$$\vec{p}_{1 \text{ initiale } y} = 0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\vec{p}_{1 \text{ finale } y} = \sin 42^\circ \times 0,19 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0,13 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [N]$$

$$\vec{p}_{2 \text{ finale } y} = 0 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 0,13 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [N] = 0,13 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [S]$$

$$\vec{p}_{2 \text{ finale } y} = 0,13 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [S]$$

On utilise la trigonométrie pour additionner les composantes x et y :

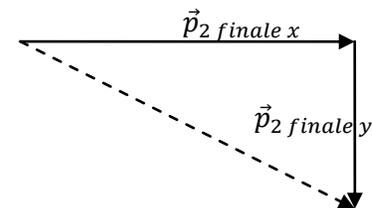
$$|p_{2 \text{ finale}}| = \sqrt{(p_{2 \text{ finale } x})^2 + (p_{2 \text{ finale } y})^2} = \sqrt{(0,29 \text{ kg} \cdot \text{m/s})^2 + (0,13 \text{ kg} \cdot \text{m/s})^2}$$

$$|p_{2 \text{ finale}}| = 0,32 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} = \frac{0,13 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{0,29 \text{ kg} \cdot \text{m/s}} = 0,45$$

$$\theta = E 24^\circ S$$

$$\vec{p}_{2 \text{ finale}} = 0,32 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E 24^\circ S]$$



Finalement, on calcule la vitesse à l'aide de la formule suivante :

$$\vec{p}_{2 \text{ finale}} = m_2 \times \vec{v}_2$$

$$\vec{v}_{2 \text{ finale}} = \frac{\vec{p}_{2 \text{ finale}}}{m_2}$$

$$\vec{v}_{2 \text{ finale}} = \frac{0,32 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E 24^\circ S]}{0,16 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{2 \text{ finale}} = 2,0 \text{ m/s} [E 24^\circ S]$$

b) Calcule la variation de quantité de mouvement de la première balle.

La variation de la quantité de mouvement peut être calculée en faisant la soustraction de la quantité de mouvement avant la collision de la quantité de mouvement après la collision. Dans ce cas, il faut faire une soustraction vectorielle. Cependant, la variation de la quantité de mouvement de la première balle est égale mais opposée à la variation de la quantité de mouvement de la deuxième balle. Ceci peut facilement être calculé car la quantité de mouvement de la deuxième balle avant la collision a une valeur de zéro.

$$\Delta \vec{p}_1 = -\Delta \vec{p}_2 = -(\vec{p}_{2 \text{ finale}} - \vec{p}_{2 \text{ initiale}})$$

$$\Delta \vec{p}_1 = -(0,32 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [E 24^\circ S] - 0 \text{ kg} \cdot \text{m/s})$$

$$\Delta \vec{p}_1 = 0,32 \text{ kg} \cdot \text{m/s} [O 24^\circ N]$$

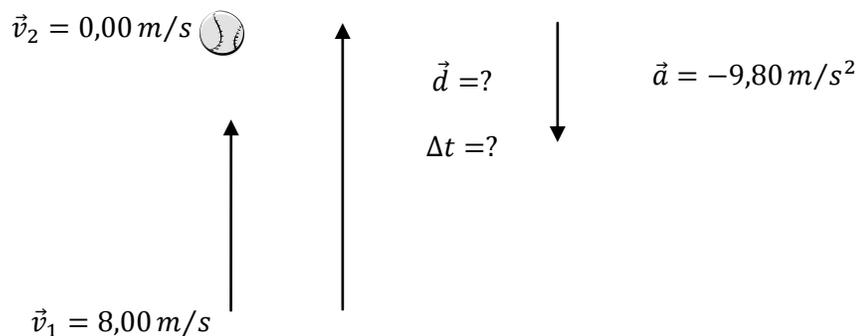


## ANNEXE 26 : La chute libre – Renseignements pour l'élève

1. Tu lances une balle de baseball à la verticale avec une vitesse de 8,00 m/s. Calcule la hauteur maximale de la balle par rapport à sa position initiale, ainsi que le temps qu'elle prendra pour atteindre cette hauteur.

$$\vec{v}_{\text{initiale}} = 8,00 \text{ m/s} \quad \vec{a} = -9,80 \text{ m/s}^2$$

Lorsqu'on tente de résoudre un problème de ce genre, on devrait premièrement tracer un diagramme de la situation.



Pour calculer la hauteur maximale, on utilise l'équation suivante :

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

$$d = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$$

$$d = \frac{(0,00 \text{ m/s})^2 - (8,00 \text{ m/s})^2}{2(-9,80 \text{ m/s}^2)} = \frac{-64,0 \text{ m}^2/\text{s}^2}{-19,6 \text{ m/s}^2} = 3,27 \text{ m}$$

Pour calculer le temps que prend la balle pour atteindre le sommet de sa trajectoire, on peut utiliser l'équation  $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a}\Delta t$ .

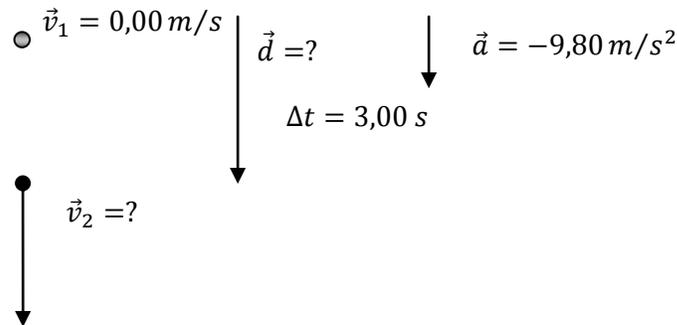
$$\Delta t = \frac{v_2 - v_1}{a} = \frac{0,00 \text{ m/s} - 8,00 \text{ m/s}}{-9,80 \text{ m/s}^2} = 0,816 \text{ s}$$



## ANNEXE 26 : La chute libre – Renseignements pour l'élève (suite)

2. On laisse tomber une petite bille d'acier du haut d'un édifice. Calcule le déplacement de la bille après 3,00 s. Quelle est la vitesse de la bille à ce point?

Diagramme de la situation



On peut calculer le déplacement de la bille après trois secondes avec l'équation  $\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2$ .

$$\vec{d} = (0,00 \text{ m/s})(3,00 \text{ s}) + \frac{1}{2}(-9,80 \text{ m/s}^2)(3,00 \text{ s})^2 = -44,1 \text{ m}$$

\*Le déplacement a une valeur négative parce que la bille tombe vers le bas.

Pour calculer la vitesse finale, on peut utiliser l'équation  $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + a\Delta t$ .

$$\vec{v}_2 = 0,00 \text{ m/s} + (-9,80 \text{ m/s}^2)(3,00 \text{ s}) = -29,4 \text{ m/s}$$

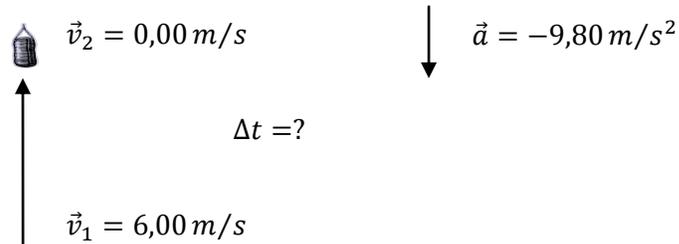
\*Le signe négatif indique que la bille se déplace vers le bas.

3. Une montgolfière monte à une vitesse de 6,00 m/s. Lorsqu'elle atteint une altitude de 90,0 m, le pilote laisse tomber un sac de sable.
- Calcule le temps que prend le sac à atteindre le sommet de sa trajectoire.
  - Calcule le temps que prend le sac à atteindre le sol à partir du sommet de sa trajectoire.



## ANNEXE 26 : La chute libre – Renseignements pour l'élève (suite)

a. Diagramme de la situation :

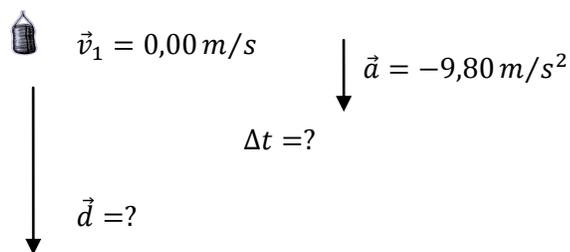


Lorsqu'on laisse tomber le sac de sable, sa vitesse initiale n'est pas égale à zéro, puisqu'il voyage avec la montgolfière à une vitesse de 6,00 m/s. Le sac va donc continuer à se déplacer vers le haut, jusqu'à ce que sa vitesse soit égale à 0,00 m/s.

On peut utiliser l'équation  $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a}\Delta t$  pour calculer le temps que prendra le sac à atteindre le sommet de sa trajectoire.

$$\Delta t = \frac{v_2 - v_1}{a} = \frac{0,00 \text{ m/s} - 6,00 \text{ m/s}}{-9,80 \text{ m/s}^2} = 0,612 \text{ s}$$

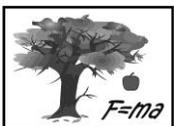
b. Pour la deuxième partie du problème, la vitesse initiale du sac est égale à zéro, puisqu'il est au sommet de sa trajectoire. On ne connaît pas sa vitesse finale, ni son déplacement (on connaît la hauteur initiale de la montgolfière, mais pas le déplacement du sac de cette altitude à sa hauteur finale), donc il n'est pas possible de calculer le temps qu'il prendra à atteindre le sol.



Cependant, on peut calculer le déplacement du sac du point où il est libéré jusqu'au sommet de sa trajectoire. On peut ensuite additionner les deux déplacements pour calculer le déplacement de sac lors de sa chute.

$$\vec{d} = \vec{v}_1\Delta t + \frac{1}{2}\vec{a}\Delta t^2 = (6,00 \text{ m/s})(0,612 \text{ s}) + \frac{1}{2}(-9,80 \text{ m/s}^2)(0,612 \text{ s})^2$$

$$\vec{d} = 1,83 \text{ m}$$



## ANNEXE 26 : La chute libre – Renseignements pour l'élève (suite)

Le sac cesse de monter à une hauteur maximale de  $90,0 \text{ m} + 1,83 \text{ m} = 91,8 \text{ m}$ .

On peut maintenant calculer le temps de chute du sac à partir de sa hauteur maximale, avec l'équation

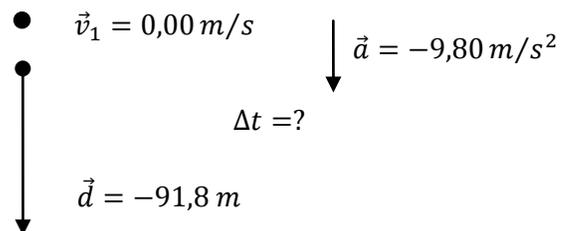
$$\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2.$$

Puisque la vitesse initiale est égale à zéro, on peut simplifier l'équation, qui devient :

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

En isolant le temps, on obtient :

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2d}{a}} = \sqrt{\frac{2(-91,8 \text{ m})}{-9,80 \text{ m/s}^2}} = 4,33 \text{ s}$$



## ANNEXE 27 : Exercice – La chute libre

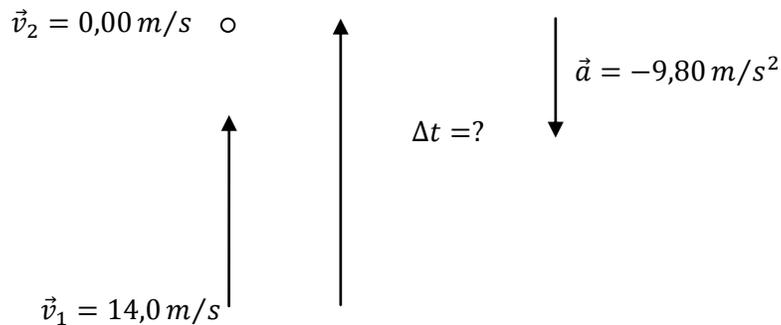
1. Une flèche est tirée à la verticale avec une vitesse initiale de 14,0 m/s. À quel instant la flèche atteint-elle le sommet de sa trajectoire? Combien de temps la flèche demeure-t-elle dans les airs?
2. Tu lances une balle de golf sur le sol pour la faire rebondir. Sa vitesse initiale lorsqu'elle rebondit est de 4,50 m/s. Quelle hauteur la balle va-t-elle atteindre lorsqu'elle rebondit?
3. Une montgolfière descend vers le sol à une vitesse de 4,00 m/s. Un sac de sable est libéré et atteint le sol 8,00 s plus tard. Calcule la hauteur de la montgolfière lorsque le sac de sable est libéré.
4. Une balle de fusil est tirée à la verticale avec une vitesse initiale de 512 m/s.
  - a) Quelle hauteur la balle atteint-elle?
  - b) Quel est le temps nécessaire pour que la balle atteigne le sommet de sa trajectoire?
  - c) Quelle est la vitesse vectorielle de la balle après 60,0 s?



## ANNEXE 28 : La chute libre – Corrigé

1. Une flèche est tirée à la verticale avec une vitesse initiale de 14,0 m/s. À quel instant la flèche atteint-elle le sommet de sa trajectoire? Combien de temps la flèche demeure-t-elle dans les airs?

$$\vec{v}_{\text{initiale}} = 14,0 \text{ m/s} \quad \vec{a} = -9,8 \text{ m/s}^2$$



Pour calculer le temps que prend la flèche pour atteindre le sommet de sa trajectoire, on peut utiliser l'équation  $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a}\Delta t$ .

$$\Delta t = \frac{v_2 - v_1}{a} = \frac{0,00 \text{ m/s} - 14,0 \text{ m/s}}{-9,8 \text{ m/s}^2} = 1,4 \text{ s}$$

Puisque la flèche prendra le même montant de temps pour tomber du sommet de sa trajectoire qu'elle a pris pour atteindre le sommet de sa trajectoire, on peut conclure que la flèche demeurera  $1,4 \text{ s} \times 2$ , donc  $2,8 \text{ s}$  dans les airs.

2. Tu lances une balle de golf sur le sol pour la faire rebondir. Sa vitesse initiale lorsqu'elle rebondit est de 4,50 m/s. Quelle hauteur la balle va-t-elle atteindre lorsqu'elle rebondit?

$$\vec{v}_{\text{initiale}} = 4,50 \text{ m/s} \quad \vec{a} = -9,80 \text{ m/s}^2 \quad \vec{v}_2 = 0,00 \text{ m/s} \quad \Delta d = ?$$

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

$$\Delta d = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$$

$$\Delta d = \frac{(0 \text{ m/s})^2 - (4,50 \text{ m/s})^2}{2(-9,80 \text{ m/s}^2)}$$

$$\Delta d = \frac{-20,25 \text{ m/s}^2}{-19,6 \text{ m/s}^2}$$

$$\Delta d = 1,03 \text{ m}$$



3. Une montgolfière descend vers le sol à une vitesse de 4,00 m/s. Un sac de sable est libéré et atteint le sol 8,00 s plus tard. Calcule la hauteur de la montgolfière lorsque le sac de sable est libéré.

$$\vec{v}_{\text{initiale}} = 4,00 \text{ m/s} \quad \vec{a} = -9,80 \text{ m/s}^2 \quad \Delta t = 8,00 \text{ s} \quad \Delta \vec{d} = ?$$

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

$$\Delta \vec{d} = (4,00 \text{ m/s})(8,00 \text{ s}) + \frac{1}{2} (9,80 \text{ m/s}^2)(8,00 \text{ s})^2 = 346 \text{ m}$$

4. Une balle de fusil est tirée à la verticale avec une vitesse initiale de 512 m/s.

- a) Quelle hauteur la balle atteint-elle?

$$\vec{v}_1 = 512 \text{ m/s} \quad \vec{v}_2 = 0 \text{ m/s} \quad \vec{a} = -9,80 \text{ m/s}^2 \quad \Delta \vec{d} = ?$$

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

$$\Delta d = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$$

$$\Delta d = \frac{(0 \text{ m/s})^2 - (512 \text{ m/s})^2}{2(-9,80 \text{ m/s}^2)}$$

$$\Delta d = 13\,400 \text{ m}$$

- b) Quel est le temps nécessaire pour que la balle atteigne le sommet de sa trajectoire?

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

$$\Delta t = \frac{v_2 - v_1}{a} = \frac{0,00 \text{ m/s} - 512 \text{ m/s}}{-9,80 \text{ m/s}^2} = 52,2 \text{ s}$$

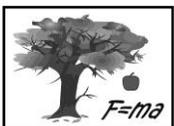
- c) Quelle est la vitesse vectorielle de la balle après 60,0 s?

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

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

$$\vec{v}_2 = 512 \text{ m/s} + (-9,80 \text{ m/s}^2)(60,0 \text{ s})$$

$$\vec{v}_2 = -76 \text{ m/s}$$

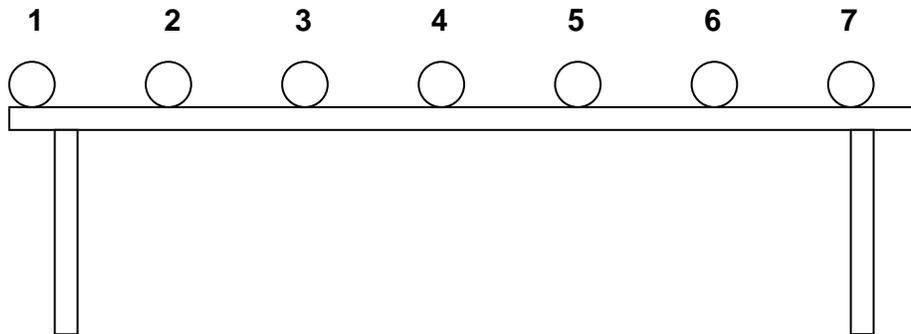


## ANNEXE 29 : Le mouvement projectile – Renseignements pour l'enseignant

Galilée (1564 – 1642) est le premier scientifique à décrire de façon précise le mouvement des projectiles. Il démontre que le mouvement d'un projectile peut être compris en analysant les composantes verticale et horizontale du mouvement de façon séparée.

### Projectile lancé horizontalement

Une balle se déplace à une vitesse vectorielle de 1,0 m/s vers la droite sur une table. S'il n'y a pas de frottement, la balle se déplace à une vitesse constante et avance de un mètre chaque seconde. Aucune force n'agit sur la balle donc elle va continuer à se déplacer à une vitesse constante (première loi de Newton).



Si la balle atteint le bout de la table et tombe, on peut étudier de façon séparée son mouvement vertical et son mouvement horizontal.

### Mouvement vertical

Une seule force agit sur la balle. C'est la force gravitationnelle (on ne tient pas compte de la résistance de l'air). L'objet subit donc une accélération constante vers le sol.

La balle continue donc de voyager à une vitesse constante horizontale mais accélère vers le bas lorsqu'elle tombe. Ceci donne à la balle une trajectoire courbée.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

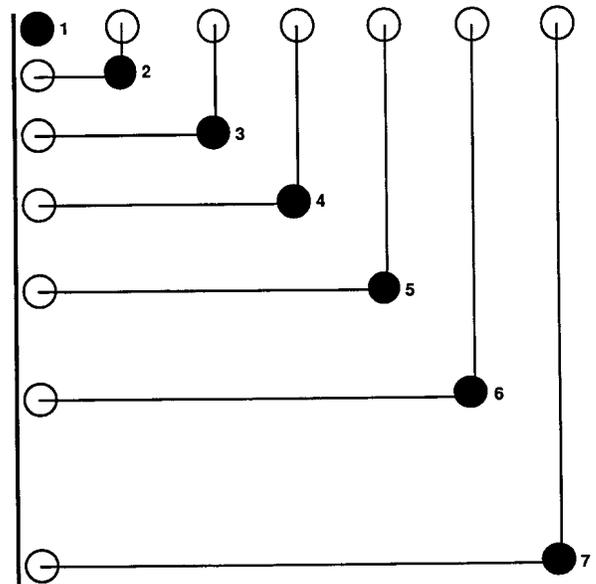


## ANNEXE 29 : Le mouvement projectile – Renseignements pour l’enseignant (suite)

Voici les deux mouvements de la balle sur un même diagramme :

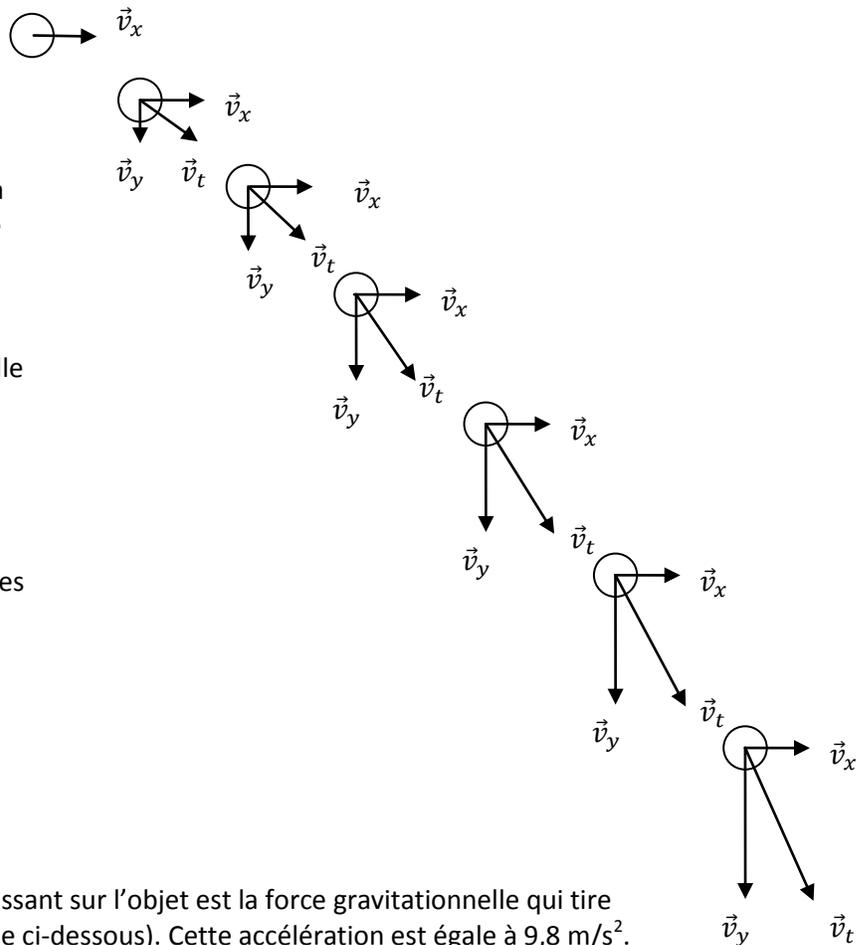
- |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     |
| <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | 2                     |                       |                       |                       |                       |                       |
| <input type="radio"/> | 3                     |                       |                       |                       |                       |                       |
| <input type="radio"/> | 4                     |                       |                       |                       |                       |                       |
| <input type="radio"/> | 5                     |                       |                       |                       |                       |                       |
| <input type="radio"/> | 6                     |                       |                       |                       |                       |                       |
| <input type="radio"/> | 7                     |                       |                       |                       |                       |                       |

En combinant ces deux mouvements, on obtient la trajectoire de la balle. Cette trajectoire courbée est le résultat de la combinaison de son mouvement horizontal à vitesse vectorielle constante et de son mouvement vertical accéléré. La **seule** force qui agit sur l’objet est la force gravitationnelle.



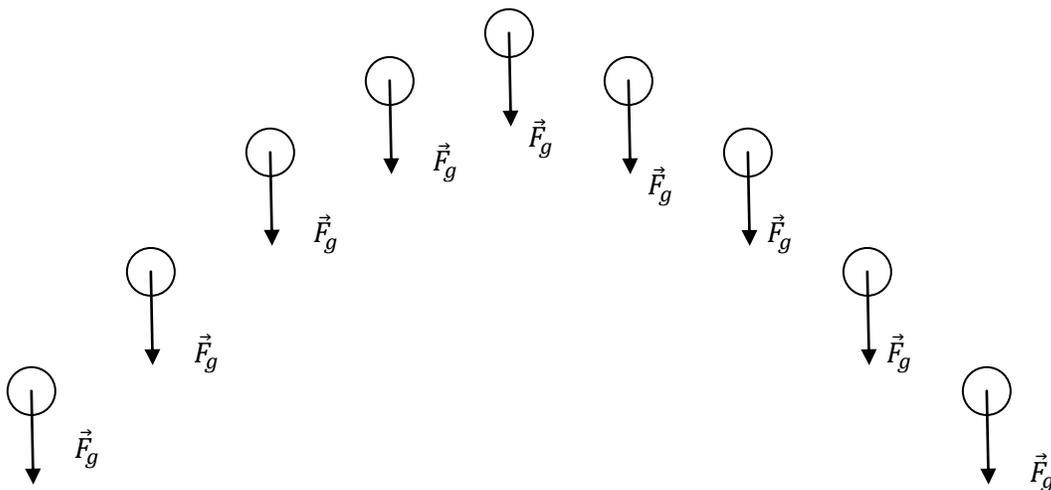
## ANNEXE 29 : Le mouvement projectile – Renseignements pour l’enseignant (suite)

Ajoutons des vecteurs vitesse à la balle. La composante verticale de la vitesse vectorielle augmente graduellement à mesure que la balle tombe. La composante horizontale de la vitesse vectorielle demeure constante. La vitesse vectorielle totale pour chaque position est orientée vers la direction du mouvement du projectile à cet instant. Elle est égale à la somme des composantes horizontale et verticale.



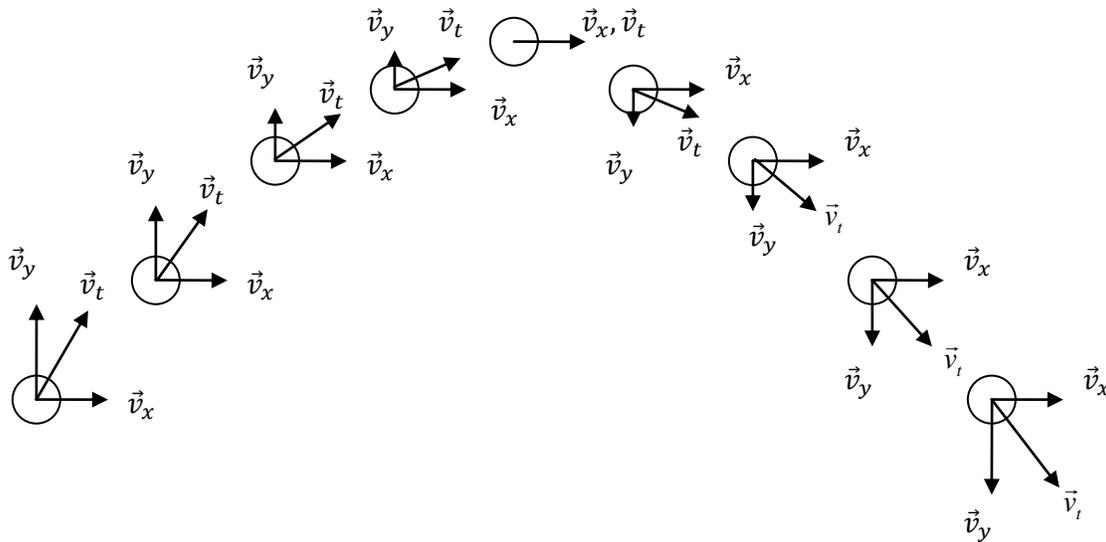
### Projectile lancé à un angle

Encore une fois, la seule force agissant sur l’objet est la force gravitationnelle qui tire l’objet vers le bas (voir diagramme ci-dessous). Cette accélération est égale à  $9,8 \text{ m/s}^2$ .



## ANNEXE 29 : Le mouvement projectile – Renseignements pour l’enseignant (suite)

Le diagramme suivant montre les vecteurs vitesse de l’objet à chaque position. La composante horizontale de la vitesse vectorielle demeure constante.



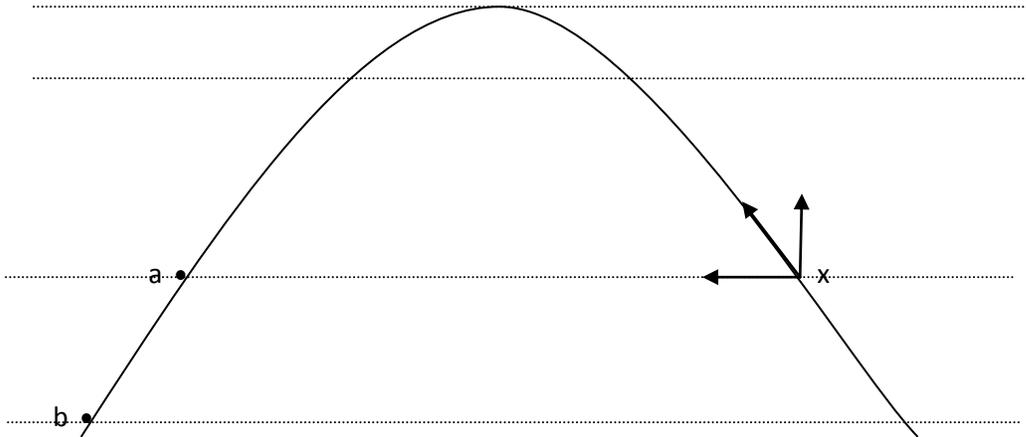
Au début de sa trajectoire, l’objet est lancé dans l’air. Sa vitesse vectorielle est à son maximum et dirigée vers le haut. Aux trois prochaines positions, l’objet continue à se déplacer vers le haut, mais sa vitesse vectorielle diminue. Au sommet de sa trajectoire la vitesse vectorielle de l’objet est égale à zéro, donc il n’y a aucun mouvement vertical. Aux trois prochaines positions, l’objet tombe donc sa vitesse vectorielle augmente. La seule force qui agit sur l’objet est la force gravitationnelle (on ne tient pas compte de la résistance de l’air), donc l’objet accélère de façon uniforme.

On peut calculer le mouvement horizontal avec l’équation pour la vitesse vectorielle constante,  $\vec{d}_x = \vec{v}_x \Delta t$ . On peut calculer le mouvement vertical avec les équations d’accélération constante,  $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$ ;  $\Delta \vec{d} = \left( \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2} \right) \Delta t$ ;  $\Delta \vec{d} = \vec{v}_1 t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2$ ;  $v_2^2 = v_1^2 + 2a \Delta d$ .



## ANNEXE 30 : Exercice – Le mouvement projectile

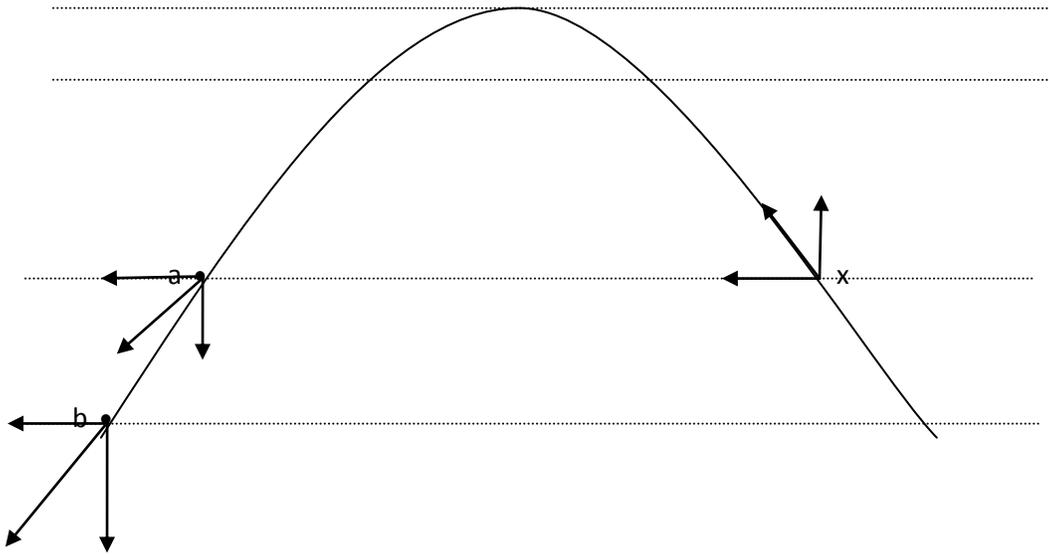
1. Réponds aux questions suivantes à l'aide du diagramme :



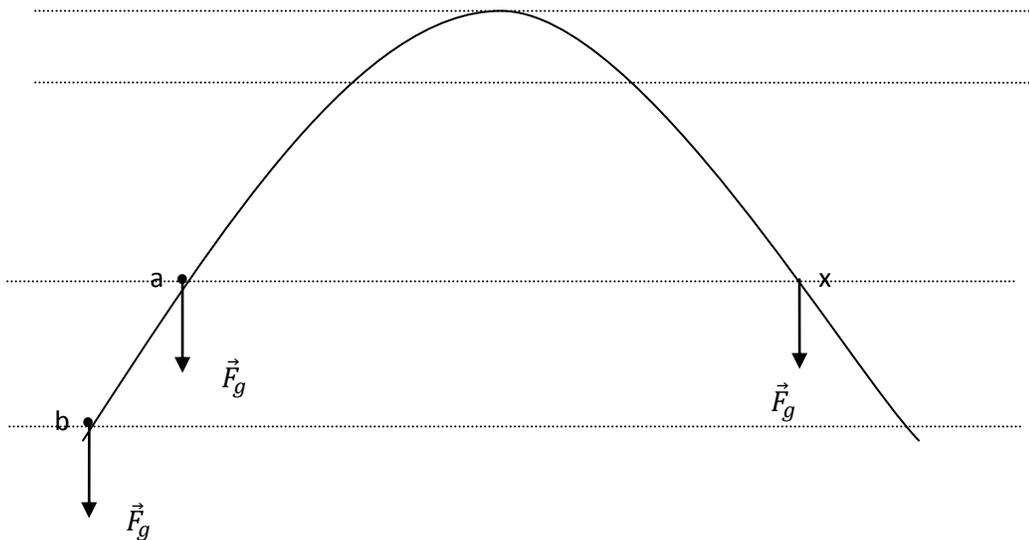
- Le point a est à la même hauteur que le point x. Dessine le vecteur vitesse horizontal, le vecteur vitesse vertical et le vecteur vitesse total pour le point a.
  - Dessine le vecteur vitesse horizontal, le vecteur vitesse vertical et le vecteur vitesse total pour le point b.
  - Dessine un vecteur représentant la force nette agissant sur l'objet aux positions x, a et b.
  - La composante verticale de la vitesse vectorielle est égale à zéro à quel point de sa trajectoire?
2. Chelsea est debout sur un balcon d'une hauteur de 26,4 m. Elle se penche et lance une balle directement vers le haut à une vitesse de 15,5 m/s. La balle monte, s'arrête, puis se remet à tomber pour finalement atteindre le sol sous le balcon.
- Calcule la vitesse de la balle au moment de l'impact avec le sol.
  - La balle est dans l'air pour combien de temps?
3. Justin lance une roche horizontalement d'une falaise de 58,4 m à une vitesse de 22,6 m/s. Calcule :
- son temps de trajet dans l'air;
  - son déplacement horizontal;
  - son vecteur vitesse au moment de l'impact.
4. Un boulet de canon est tiré selon un angle d'élévation de 50° à 125 m/s. En négligeant la résistance de l'air, détermine :
- la durée de vol de la balle;
  - sa portée.

## ANNEXE 31 : Le mouvement projectile – Corrigé

a) et b)



c)



d) *La composante verticale de la vitesse vectorielle est égale à zéro lorsque l'objet est au sommet de sa trajectoire.*



## ANNEXE 31 : Le mouvement projectile – Corrigé (suite)

2. Chelsea est debout sur un balcon d'une hauteur de 26,4 m. Elle se penche et lance une balle directement vers le haut à une vitesse de 15,5 m/s. La balle monte, s'arrête, puis se met à tomber pour finalement atteindre le sol sous le balcon.
- Calcule la vitesse de la balle au moment de l'impact.
  - La balle est dans l'air pour combien de temps?

$$a) v_1 = 15,5 \text{ m/s} \quad \Delta d = 26,4 \text{ m}$$

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

$$v_2 = \sqrt{(15,5 \text{ m/s})^2 + 2(-9,80 \text{ m/s}^2)(-26,4 \text{ m})} = 27,5 \text{ m/s [bas]}$$

La balle a une vitesse de 27,5 m/s au moment de l'impact.

b)

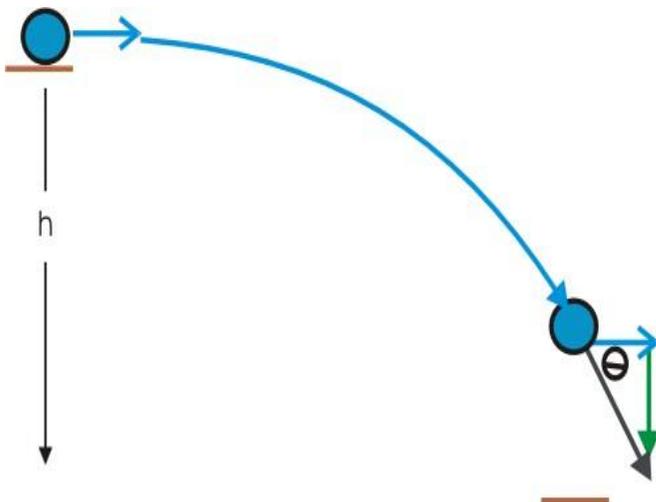
$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a}\Delta t$$

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

$$\Delta t = \frac{-27,5 \text{ m/s} - 15,5 \text{ m/s}}{-9,8 \text{ m/s}^2} = 4,4 \text{ s}$$

La balle est dans l'air pour 4,4 s.

3. Justin lance une roche horizontalement d'une falaise de 58,4 m à une vitesse de 22,6 m/s. Calcule:
- son temps de trajet dans l'air;
  - son déplacement horizontal;
  - son vecteur vitesse au moment de l'impact.



$$\vec{v}_h = 22,6 \text{ m/s}$$

$$h = 58,4 \text{ m}$$

## ANNEXE 31 : Le mouvement projectile – Corrigé (suite)

a)

$\Delta \vec{d}_v = \vec{v}_{v1} \Delta t + \frac{1}{2} \vec{a} (\Delta t)^2$  Puisque la vitesse verticale initiale est égale à zéro, l'équation peut être simplifiée.

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2(\Delta d_v)}{a}}$$

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2(-58,4 \text{ m})}{-9,8 \text{ m/s}^2}}$$

$$\Delta t = 3,5 \text{ s}$$

b)

$$\Delta \vec{d}_h = \vec{v}_h \Delta t = 22,6 \text{ m/s} \times 3,5 \text{ s} = 79,1 \text{ m}$$

c)

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_{v2} - \vec{v}_{v1}}{\Delta t}$$

$$\vec{v}_{v2} = \vec{v}_{v1} + \vec{a} \Delta t$$

$$\vec{v}_{v2} = 0 \text{ m/s} + (-9,8 \text{ m/s}^2)(3,5 \text{ s}) = -34,3 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_h = 22,6 \text{ m/s}$$

Afin de déterminer sa vitesse vectorielle au moment de l'impact, il faut déterminer la somme des composantes horizontale et verticale de la vitesse.

$$v_t = \sqrt{(v_{v2})^2 + (v_h)^2} = \sqrt{(-34,3 \text{ m/s})^2 + (22,6 \text{ m/s})^2} = 41 \text{ m/s}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} = \frac{-34,3 \text{ m/s}}{22,6 \text{ m/s}} = 1,52$$

$$\theta = 57^\circ$$

La vitesse vectorielle au moment de l'impact est de 41 m/s [57° sous l'horizontale]

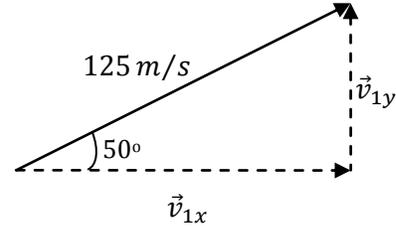


## ANNEXE 31 : Le mouvement projectile – Corrigé (suite)

4. Un boulet de canon est tiré selon un angle d'élévation de  $50^\circ$  à  $125 \text{ m/s}$ . En négligeant la résistance de l'air, détermine:

- la durée de vol de la balle;
- sa portée.

$$\vec{v}_1 = 125 \text{ m/s}, 50^\circ \text{ de l'horizontal}$$



$$\vec{v}_{1x} = \vec{v}_1 \cos \theta$$

$$\vec{v}_{1y} = \vec{v}_1 \sin \theta$$

$$\vec{v}_{1x} = (125 \text{ m/s})(\cos 50^\circ)$$

$$\vec{v}_{1y} = (125 \text{ m/s})(\sin 50^\circ)$$

$$\vec{v}_{1x} = 80,3 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_{1y} = 95,8 \text{ m/s}$$

a) Puisque le boulet de canon revient à sa hauteur de lancement,  $\Delta \vec{d}_y = 0$ .

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

$$0 = 95,8 \text{ m/s} \Delta t + \frac{1}{2} (-9,8 \text{ m/s}^2) \Delta t^2$$

$$0 = 95,8 \text{ m/s} \Delta t - 4,9 \text{ m/s}^2 \Delta t^2$$

$$4,9 \text{ m/s}^2 \Delta t^2 = 95,8 \text{ m/s} \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{95,8 \text{ m/s}}{4,9 \text{ m/s}^2}$$

$$\Delta t = 19,5 \text{ s} = 20 \text{ s}$$

b)

$$\Delta \vec{d}_x = \vec{v}_{1x} \Delta t$$

$$\Delta \vec{d}_x = (80,3 \text{ m/s})(20 \text{ s})$$

$$\Delta \vec{d}_x = 1606 \text{ m}$$

$$\Delta \vec{d}_x = 2000 \text{ m}$$



## ANNEXE 32 : Feuille de route – Processus de design

Nom: \_\_\_\_\_

Date: \_\_\_\_\_

Le défi :

Les critères :

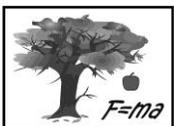
Le remue-méninges (Comment pourrait-on...?) :

Le plan :

Marche à suivre :

Matériel :

Consignes de sécurité :



La mise à l'essai :

Critères

Test utilisé

Résultats des tests: joindre les données pertinentes à la feuille de route

Évaluation et Réflexion :

- Justification des modifications faites au prototype :

- Ce qui a bien fonctionné :

- Ce qui n'a pas bien fonctionné :

- La prochaine fois je :



Schéma du prototype :





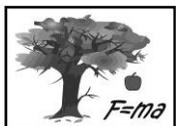
## ANNEXE 34 : Évaluation du processus de design

Noms : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_

	très bien	assez bien	pas encore
1. comprend le problème			
2. participe activement au remue-méninges			
3. participe activement à l'élaboration du plan			
4. communique ses idées			
5. est attentif aux autres			
6. participe activement à la fabrication du prototype			
7. respecte les consignes de sécurité			
8. peut justifier les changements apportés au prototype			
9. a réfléchi sérieusement à son apprentissage			

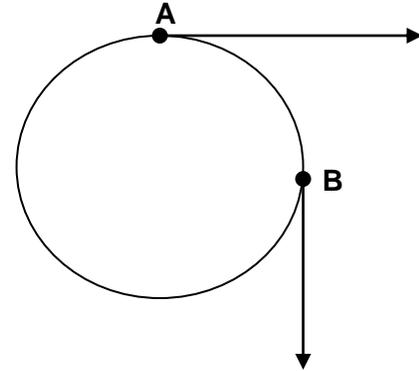
Noms : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_

	très bien	assez bien	pas encore
1. comprend le problème			
2. participe activement au remue-méninges			
3. participe activement à l'élaboration du plan			
4. communique ses idées			
5. est attentif aux autres			
6. participe activement à la fabrication du prototype			
7. respecte les consignes de sécurité			
8. peut justifier les changements apportés au prototype			
9. a réfléchi sérieusement à son apprentissage			



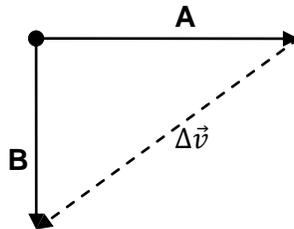
## ANNEXE 35 : Le mouvement circulaire – Renseignements pour l’enseignant

Lorsqu’un objet se déplaçant à vitesse constante change de direction, il se produit une variation de vitesse vectorielle. Prenons l’exemple d’une balle retenue par une corde que l’on fait tourner. À la position **A**, la balle se déplace vers la droite. À la position **B**, elle se déplace vers le bas. Puisque la vitesse vectorielle change constamment de direction, l’objet doit accélérer, même si la vitesse demeure constante. On nomme ce type d’accélération, l’**accélération centripète**.

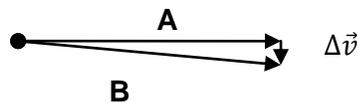


L’équation pour le calcul de l’accélération est  $\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$ .

Disons que la balle se déplace de la position **A** à la position **B** durant un certain intervalle de temps. La vitesse vectorielle instantanée à ces deux points est calculée en traçant une tangente. Ces vitesses ont la même grandeur, mais ont des directions différentes. Pour calculer la variation de vitesse vectorielle, on doit soustraire les deux vecteurs.



L’accélération change continuellement car la direction du mouvement change continuellement. Si on diminue l’intervalle de temps pour que les points **A** et **B** se rapprochent, l’angle entre les vecteurs diminue. Éventuellement, l’angle devient si petit que les vecteurs sont presque parallèles et leur différence ( $\Delta\vec{v}$ ) est presque perpendiculaire aux deux vecteurs.



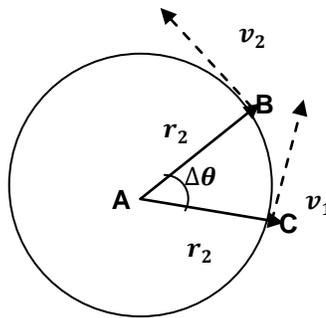
Donc, l’accélération instantanée, qui est dans la même direction que  $\Delta\vec{v}$ , est dirigée vers le centre du cercle.

## ANNEXE 36 : L'accélération centripète – Renseignements pour l'enseignant

Il y a plusieurs façons de dériver l'équation pour calculer l'accélération centripète. Cette annexe présente une méthode.

Un objet qui se déplace à vitesse constante sur une trajectoire circulaire accélère même si sa vitesse demeure constante, car sa direction change continuellement. Si un objet se déplace du point A au point B pendant un intervalle de temps, l'équation pour le calcul de l'accélération moyenne entre ces points

est  $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$  ou  $\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$ . Si cet intervalle de temps s'approche de zéro, l'accélération moyenne se rapproche de l'accélération instantanée.



Puisque AB est perpendiculaire à  $v_2$  et que AC est perpendiculaire à  $v_1$ , l'angle entre AB et AC ( $\Delta\theta$ ) a la même valeur que l'angle entre  $v_2$  et  $v_1$ . Puisque les rayons ont la même longueur et les vecteurs vitesse ont la même valeur (la vitesse est constante), les triangles sont semblables. On peut donc conclure que

$\frac{|\Delta\vec{v}|}{v} = \frac{|\Delta\vec{r}|}{r}$  car le rapport entre les côtés correspondants de 2 triangles semblables sont égaux.

On utilise les symboles  $v$  et  $r$  car  $v_1 = v_2$  et  $r_1 = r_2$ .

Pour des intervalles de temps très courtes, l'angle ( $\Delta\theta$ ) est très petit et la longueur du vecteur  $\Delta r$  est très proche de la longueur de l'arc circulaire qui rejoint les deux bouts des vecteurs de rayon ( $r_1$  et  $r_2$ ).

On peut dire que cet arc est une ligne droite car il s'agit d'une très petite distance. La longueur de cet arc est égale à la distance parcourue par l'objet lors de l'intervalle de temps ( $d = v\Delta t$ ). On peut donc

conclure que  $|\Delta r| \approx v\Delta t$ . En substituant cette valeur dans l'équation  $\frac{|\Delta\vec{v}|}{v} = \frac{|\Delta\vec{r}|}{r}$ , on obtient  $\frac{|\Delta\vec{v}|}{v} = \frac{v\Delta t}{r}$ .

Si on isole  $\Delta\vec{v}$ , on obtient  $|\Delta\vec{v}| = \frac{v^2\Delta t}{r}$ .



## ANNEXE 36 : L'accélération centripète – Renseignements pour l'enseignant (suite)

Puisque l'équation pour l'accélération est  $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ , en substituant la valeur de  $\Delta\vec{v}$ , on obtient la formule suivante:  $\vec{a} = \frac{v^2\Delta t}{r\Delta t}$ , donc  $a = \frac{v^2}{r}$ . Le vecteur de l'accélération centripète est toujours orienté vers le centre du cercle et change continuellement de direction lors du mouvement de l'objet. Un objet qui se déplace avec un mouvement circulaire uniforme a une vitesse constante. L'équation pour le calcul d'une vitesse constante est  $v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$ .

Puisque l'objet se déplace autour d'un cercle, la distance parcourue par l'objet lors d'une révolution peut être déterminée en calculant la circonférence du cercle ( $2\pi r$ ).

L'intervalle de temps nécessaire pour compléter un tour du cercle (cycle) se nomme la période. Son symbole est T. L'équation pour calculer la vitesse d'un objet qui se déplace avec un mouvement circulaire uniforme peut donc être écrite de cette façon :  $\vec{v} = \frac{2\pi r}{T}$ . En substituant cette valeur dans l'équation  $a = \frac{v^2}{r}$ , on obtient  $a = \frac{\left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ .

Selon la deuxième loi de Newton, un objet qui accélère doit subir une force nette. Pour le mouvement circulaire, cette force se nomme force centripète et est orientée vers le centre du cercle, comme l'accélération centripète. Puisque  $F = ma$  et que  $a = \frac{v^2}{r}$ , l'équation pour la force centripète peut être écrite de cette façon :  $\vec{F}_c = \frac{m\vec{v}^2}{r}$ .



## ANNEXE 37 : Exercice – Mouvement circulaire

- 1) Cabrel a une masse de 30,0 kg. Sur un manège, il subit une force centripète de 75 N. Le rayon du manège mesure 1,2 m. Calcule :
  - a) son accélération centripète;
  - b) sa vitesse;
  - c) la période de la révolution du manège;
  - d) la fréquence de la révolution du manège.
  
- 2) Un satellite orbite la Terre (qui a un rayon de  $6,4 \times 10^6$  m) à une altitude de 600 km. L'accélération gravitationnelle à ce niveau n'est que 8,2 N/kg. Si sa vitesse de rotation est  $7,6 \times 10^3$  m/s, calcule :
  - a) la période de l'orbite;
  - b) la vitesse du satellite.
  
- 3) Calcule l'accélération centripète d'une roche au bout d'un fil de 1,5 m, tournant dans un cercle sur la glace à une fréquence de 1,25 Hz.
  
- 4) La planète Mercure est à une distance moyenne de  $5,8 \times 10^{10}$  m du Soleil et effectue une orbite circulaire autour de ce dernier. Elle a une accélération centripète de  $0,04 \text{ m/s}^2$ . Calcule sa période de révolution autour du soleil.



## ANNEXE 38 : Mouvement circulaire – Corrigé

1)  $F_c = 75 \text{ N}$        $R = 1,2 \text{ m}$        $m = 30,0 \text{ kg}$

a)  $F_c = ma_c$      $a_c = \frac{F_c}{m} = \frac{75 \text{ N}}{30,0 \text{ kg}} = 2,5 \text{ m/s}^2$

Son accélération centripète est  $2,5 \text{ m/s}^2$ .

b)  $a_c = \frac{v^2}{R}$      $v = \sqrt{a_c R} = \sqrt{(2,5 \text{ m/s}^2)(1,2 \text{ m})} = 1,7 \text{ m/s}$

Sa vitesse est  $1,7 \text{ m/s}$ .

c)  $v = \frac{2\pi R}{T}$      $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi(1,2 \text{ m})}{1,7 \text{ m/s}} = 4,4 \text{ s}$

d)  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4,4 \text{ s}} = 0,23 \text{ Hz}$

La fréquence de révolution est  $0,23 \text{ Hz}$

2)  $R = 6,4 \times 10^6 \text{ m}$     altitude =  $600 \text{ km}$      $a_g = a_c = 8,2 \text{ N/kg}$      $v = 7,6 \times 10^3 \text{ m/s}$

$\text{rayon}_{\text{total}} = \text{rayon}_{\text{Terre}} + \text{altitude} = 7,0 \times 10^6 \text{ m}$

$v = \frac{2\pi R}{T}$      $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi(7,0 \times 10^6 \text{ m})}{7,6 \times 10^3 \text{ m/s}} = 5,8 \times 10^3 \text{ s}$

La période de l'orbite est  $5,8 \times 10^3 \text{ s}$ .

b)  $a_c = \frac{v^2}{R}$      $v = \sqrt{a_c R} = \sqrt{(8,2 \text{ N/kg})(7,0 \times 10^6 \text{ m})} = 7576 \text{ m/s}$

Sa vitesse est  $7,6 \times 10^3 \text{ m/s}$

3)  $R = 1,5 \text{ m}$        $f = 1,25 \text{ Hz}$

$a_c = 4\pi^2 R f^2 = 4\pi^2 (1,5 \text{ m})(1,25 \text{ Hz})^2 = 92,5 \text{ m/s}^2 = 93 \text{ m/s}^2$

L'accélération centripète est  $93 \text{ m/s}^2$ .

4)  $R = 5,8 \times 10^{10} \text{ m}$      $a_c = 0,04 \text{ m/s}^2$

$a_c = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$      $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 (5,8 \times 10^{10} \text{ m})}{0,04 \text{ m/s}^2}} = 7,6 \times 10^6 \text{ s}$

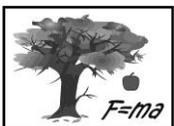
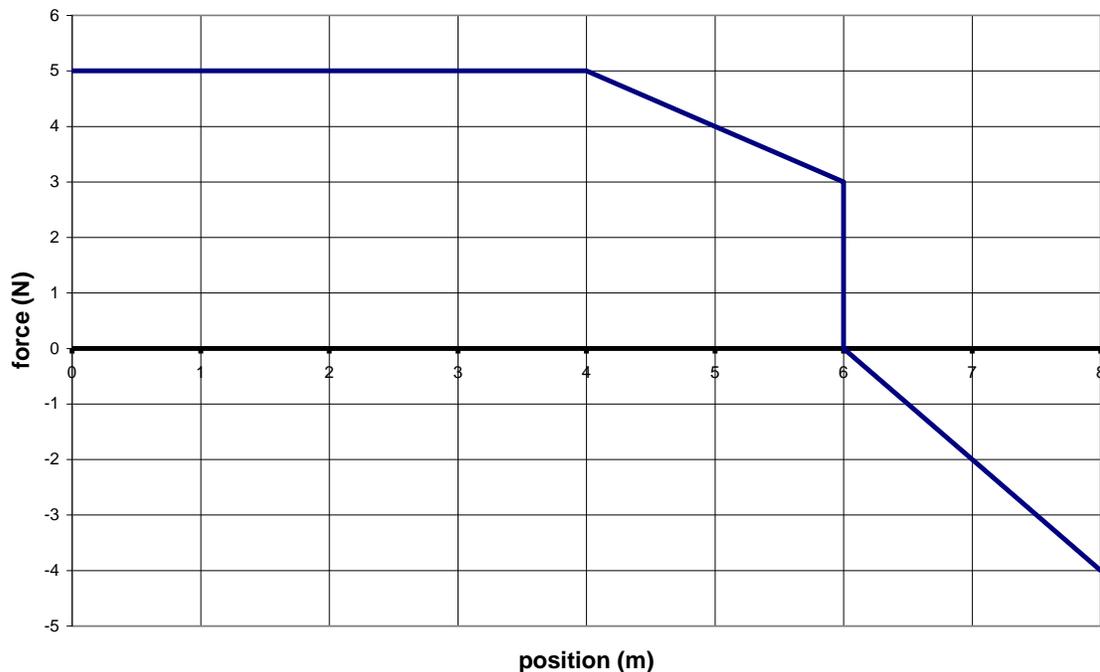
Sa période de révolution autour du soleil est  $7,6 \times 10^6 \text{ s}$ .



## ANNEXE 39 : Exercice – Le travail

1. Colette tire un traîneau sur une distance de 35,0 m. La corde fait un angle de  $25,0^\circ$  par rapport au sol. La tension dans la corde est de 94,0 N. Calcule le travail effectué par Colette.
2. Une caisse de 20,0 kg est poussée le long d'une surface horizontale sur une distance de 50,0 m. La force exercée sur la caisse est de  $1,00 \times 10^2$  N. Cette force agit à un angle de  $20,0^\circ$  par rapport à l'horizontale. La surface est rugueuse et exerce une force de frottement de 15,0 N sur la caisse. Calcule le travail effectué par chaque force agissant sur la caisse ainsi que le travail net effectué sur la caisse.
3. Le graphique suivant représente la force exercée sur un objet en fonction de son déplacement. Calcule :
  - a) le travail effectué après 4 mètres;
  - b) le travail effectué entre 4 et 6 mètres;
  - c) le travail effectué entre 6 et 8 mètres;
  - d) le travail total effectué sur l'objet.

La force en fonction de la position



## ANNEXE 40 : Le travail – Corrigé

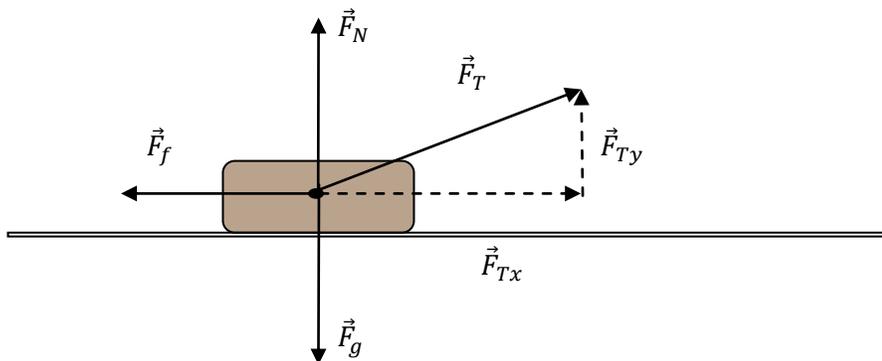
1. Colette tire un traîneau sur une distance de 35,0 m. La corde fait un angle de 25,0° par rapport au sol. La tension dans la corde est de 94,0 N. Calcule le travail effectué par Colette.

$$W = (F \cos \theta) \Delta d = (94,0 \text{ N})(\cos 25^\circ)(35,0 \text{ m})$$

$$W = 2982 \text{ J} = 2980 \text{ J}$$

2. Une caisse de 20,0 kg est tirée le long d'une surface horizontale sur une distance de 50,0 m. La force exercée sur la caisse est de  $1,00 \times 10^2 \text{ N}$ . Cette force agit à un angle de 20,0° par rapport à l'horizontale. La surface est rugueuse et exerce une force de frottement de 15,0 N sur la caisse. Calcule le travail effectué par chaque force agissant sur la caisse ainsi que le travail net effectué sur la caisse.

*Afin de mieux identifier les forces agissant sur la caisse, on devrait dessiner un diagramme de forces.*



*La force gravitationnelle et la force normale n'effectuent aucun travail car elles ne sont pas parallèles au mouvement de la caisse.*

*Travail effectué par la personne tirant la caisse :*

$$W = F_T \cos \theta \Delta d$$

$$W = 1,0 \times 10^2 \text{ N} \times \cos 20,0^\circ \times 50,0 \text{ m}$$

$$W = 4698 \text{ J} = 4,70 \times 10^3 \text{ J}$$

*Travail effectué par le frottement :*

$$W = F_f \cos \theta \Delta d$$

$$W = 15,0 \text{ N} \times \cos 180^\circ \times 50,0 \text{ m}$$

$$W = -750 \text{ J} \text{ (Le signe négatif signifie que le travail effectué s'oppose au mouvement de la caisse.)}$$

*Travail net :*

$$W_{net} = W_T + W_f = 4,70 \times 10^3 + (-7,50 \times 10^2 \text{ J}) = 3950 \text{ J}$$



3. Le graphique suivant représente la force exercée sur un objet en fonction de son déplacement.  
Calcule :

1) le travail effectué après 4 mètres;

$$5 \text{ N} \times 4 \text{ m} = 20 \text{ J}$$

2) le travail effectué entre 4 et 6 mètres;

$$(3 \text{ N} \times 2 \text{ m}) + \left( \frac{2 \text{ N} \times 2 \text{ m}}{2} \right) = 8 \text{ J}$$

3) le travail effectué entre 6 et 8 mètres;

$$\frac{-4 \text{ N} \times 2 \text{ m}}{2} = -4 \text{ J}$$

4) le travail total effectué sur l'objet.

$$W_t = 20 \text{ J} + 8 \text{ J} + (-4 \text{ J}) = 24 \text{ J}$$



## ANNEXE 41 : Exercice – Énergie cinétique et énergie potentielle

1. Calcule l'énergie cinétique des objets suivants :
  - a) une voiture de 800 kg qui se déplace à 15 m/s.
  - b) une roche de 0,25 kg attachée au bout d'un fil d'une longueur de 2,0 m qui fait un trajet circulaire avec une période de  $\pi / 4s$ .
2. Deux petits jouets, le premier ayant une masse de 3,2 kg et l'autre une vitesse de 2,4 m/s, ont tous deux une énergie cinétique de 16 J. Détermine la vitesse du premier jouet et la masse du deuxième jouet.
3. Une balle de baseball de 250 g est lancée à une vitesse de 40 m/s. Elle est attrapée par le receveur. Le gant du receveur recule de 0,25 m à cause de la balle de baseball.
  - a) Calcule l'énergie cinétique de la balle.
  - b) Combien de travail le gant du receveur a-t-il effectué sur la balle de baseball ?
  - c) Quelle force a été appliquée sur la balle de baseball pour l'arrêter ?
4. Andrea, qui a une masse de 50,0 kg, monte un escalier de 15 marches. Chaque marche a une hauteur de 20,0 cm. Détermine l'énergie potentielle gravitationnelle d'Andréa au sommet de l'escalier.



## ANNEXE 42 : Énergie cinétique et énergie potentielle – Corrigé

1. Calcule l'énergie cinétique des objets suivants :

a. une voiture de 800 kg qui se déplace à 15 m/s.

$$m = 800 \text{ kg} \quad v = 15 \text{ m/s}$$

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(800 \text{ kg})(15 \text{ m/s})^2 = 90\,000 \text{ J}$$

L'énergie cinétique de la voiture est 90 000 J.

b. une roche de 0,25 kg attachée au bout d'un fil d'une longueur de 2,0 m qui fait un trajet circulaire avec une période de  $\pi/4$ s.

$$m = 0,25 \text{ kg} \quad R = 2,0 \text{ m} \quad T = \frac{\pi}{4 \text{ s}}$$

$$v = \frac{2\pi R}{T} = \frac{2\pi(2,0 \text{ m})}{\frac{\pi}{4 \text{ s}}} = 16 \text{ m/s}$$

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(0,25 \text{ kg})(16 \text{ m/s})^2 = 32 \text{ J}$$

L'énergie cinétique de la roche est 32 J.

2. Deux petits jouets, le premier ayant une masse de 3,2 kg et l'autre une vitesse de 2,4 m/s, ont tous deux une énergie cinétique de 16 J. Détermine la vitesse du premier jouet et la masse du deuxième jouet.

$$m_1 = 3,2 \text{ kg} \quad v_2 = 2,4 \text{ m/s} \quad E_{c1} = 16 \text{ J} \quad E_{c2} = 16 \text{ J}$$

Premier jouet:

$$v = \sqrt{\frac{2(E_c)}{m}} = \sqrt{\frac{2(16 \text{ J})}{3,2 \text{ kg}}} = 3,2 \text{ m/s}$$

Deuxième jouet:

$$m = \frac{2(E_c)}{v^2} = \frac{2(16 \text{ J})}{(2,4 \text{ m/s})^2} = 5,6 \text{ kg}$$

La vitesse du premier jouet est 3,2 m/s et la masse du deuxième jouet est 5,6 kg



## ANNEXE 42 : Énergie cinétique et énergie potentielle – Corrigé (suite)

3. Une balle de baseball de 250 g est lancée à une vitesse de 40 m/s. Elle est attrapée par le receveur. Le gant du receveur recule 0,25 m à cause de la balle de baseball.

$$m = 250 \text{ g} = 0,250 \text{ kg} \quad v = 40 \text{ m/s} \quad \Delta d = 0,25 \text{ m}$$

- a. Calcule l'énergie cinétique de la balle.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(0,250 \text{ kg})(40 \text{ m/s})^2 = 200 \text{ J}$$

*L'énergie cinétique de la balle est 200 J.*

- b. Combien de travail le gant du receveur a-t-il effectué sur la balle de baseball?

$$W = \Delta E_c = E_{c2} - E_{c1} = 0 - 200 \text{ J} = -200 \text{ J}$$

*Le gant du receveur a effectué -200 J de travail.*

- c. Quelle force a été appliquée sur la balle de baseball pour l'arrêter?

$$W = F\Delta d$$

$$F = \frac{W}{\Delta d} = \frac{-200 \text{ J}}{0,25 \text{ m}} = -800 \text{ N}$$

*La force est -800 N.*

4. Andréa, qui a une masse de 50,0 kg, monte un escalier de 15 marches. Chaque marche a une hauteur de 20,0 cm. Détermine l'énergie potentielle gravitationnelle d'Andréa au sommet de l'escalier.

$$m = 50,0 \text{ kg} \quad \Delta h = 15(0,20 \text{ m}) = 3,0 \text{ m}$$

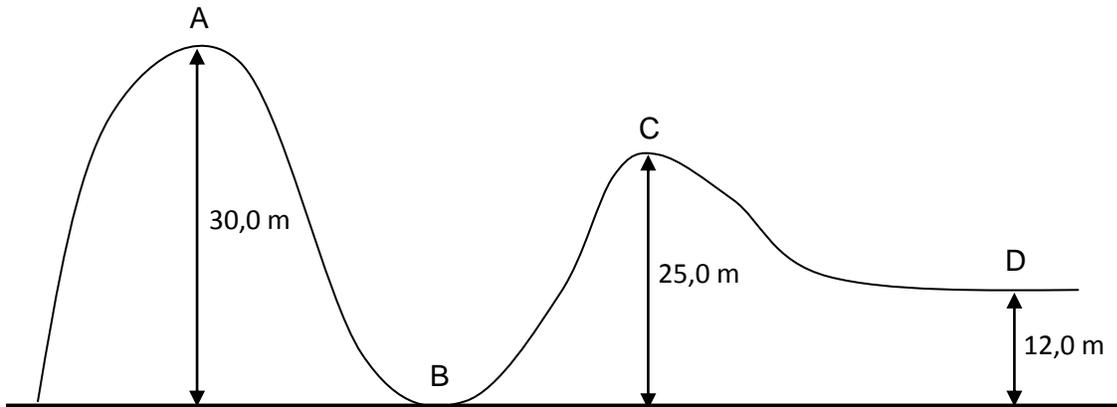
$$\Delta E_g = mg\Delta h = (50,0 \text{ kg})(9,8 \text{ N/kg})(3,0 \text{ m}) = 1470 \text{ J} = 1500 \text{ J}$$

*Sa variation d'énergie potentielle gravitationnelle est 1500 J.*

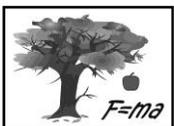


## ANNEXE 43 : Exercice – La conservation de l'énergie

1. Un chariot de montagne russe voyage du point A jusqu'au point D. Le chariot a une masse de 1000,0 kg et une vitesse de 1,80 m/s au point A.



- a) Quelle est l'énergie mécanique (énergie totale) du chariot au point A?  
b) Quelle est la vitesse du chariot au point B?  
c) Quelle est l'énergie potentielle et l'énergie cinétique du chariot au point C?  
e) Quelle est la vitesse du chariot au point D?
2. Une bille ( $m = 50,0$  g) repose sur un ressort vertical dont la constante de force est égale à 120,0 N/m. La position initiale du ressort est à 0,00 m.
- a) Le ressort est comprimé de 0,200 m vers le bas. Comment haut la bille sera-t-elle projetée à partir de cette position?  
b) Quelle est l'énergie cinétique de la bille lorsqu'elle est projetée? (Suppose que toute l'énergie est convertie en énergie cinétique.)  
c) Quelle est la vitesse maximale de la bille?  
d) Quel sera l'effet sur la vitesse maximale de la bille si le ressort est comprimé deux fois plus?  
e) Quel sera l'effet sur la hauteur atteinte par la bille si le ressort est comprimé deux fois plus?



## ANNEXE 44 : La conservation de l'énergie – Corrigé

1. Un chariot de montagne russe voyage du point A jusqu'au point D. Le chariot a une masse de 1000,0 kg et a une vitesse de 1,80 m/s au point A.
- a) Quelle est l'énergie mécanique (énergie totale) du chariot au point A?

*L'énergie mécanique est la somme de l'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle.*

$$E_m = E_g + E_c = mgh + \frac{1}{2}mv^2 = (1000,0 \text{ kg})(9,80 \text{ N/kg})(30,0 \text{ m}) + \frac{1}{2}(1000,0 \text{ kg})(1,80 \text{ m/s})^2$$

$$E_m = 2,96 \times 10^5 \text{ J}$$

- b) Quelle est la vitesse du chariot au point B?

*Au point B, toute l'énergie est transformée en énergie cinétique. On peut donc calculer la vitesse du chariot avec la formule  $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ .*

$$v = \sqrt{\frac{2(E_c)}{m}} = \sqrt{\frac{2(2,96 \times 10^5 \text{ J})}{1000,0 \text{ kg}}} = 24,3 \text{ m/s}$$

- c) Quelle est l'énergie potentielle et l'énergie cinétique du chariot au point C?  
*On peut calculer l'énergie potentielle du chariot au point C de cette façon :*

$$E_g = mgh = (1000,0 \text{ kg})(9,80 \text{ N/kg})(25,0 \text{ m}) = 2,45 \times 10^5 \text{ J}$$

*Selon le principe de la conservation de l'énergie,  $E_m = E_g + E_c$ .*

$$E_c = E_m - E_g = 2,96 \times 10^5 \text{ J} - 2,45 \times 10^5 \text{ J} = 5,10 \times 10^5 \text{ J}$$

- d) Quelle est la vitesse du chariot au point D?

$$E_c = E_m - E_g = E_m - mgh = 2,96 \times 10^5 \text{ J} - (1000,0 \text{ kg})(9,80 \text{ N/kg})(12,0 \text{ m}) \\ = 2,96 \times 10^5 \text{ J} - 1,18 \times 10^5 \text{ J} = 1,78 \times 10^5 \text{ J}$$

$$v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2(1,78 \times 10^5 \text{ J})}{1000,0 \text{ kg}}} = 18,9 \text{ m/s}$$



## ANNEXE 44 : La conservation de l'énergie – Corrigé (suite)

2. Une bille ( $m = 50,0 \text{ g}$ ) repose sur un ressort vertical dont la constante de force est égale à  $120,0 \text{ N/m}$ . La position initiale du ressort est à  $0,00 \text{ m}$ .
- a) Le ressort est comprimé de  $0,200 \text{ m}$  vers le bas. Comment haut la bille sera-t-elle projetée à partir de cette position?

*L'énergie mécanique totale du système est égale à l'énergie potentielle du ressort lorsqu'il est comprimé. Cette énergie potentielle élastique est totalement convertie en énergie potentielle gravitationnelle lorsque la balle atteint sa hauteur maximale.*

$$\frac{1}{2}kx^2 = mgh$$

$$h = \frac{kx^2}{2mg} = \frac{120,0 \text{ N/m} (0,200 \text{ m})^2}{2(0,0500 \text{ kg})(9,80 \text{ N/kg})} = 4,90 \text{ m}$$

- b) Quelle est l'énergie cinétique de la bille lorsqu'elle est projetée? (Suppose que toute l'énergie est convertie en énergie cinétique.)

*L'énergie cinétique de la bille est égale à l'énergie potentielle du ressort lorsqu'il est comprimé.*

$$E_c = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}(120,0 \text{ N/m})(0,200 \text{ m})^2 = 2,40 \text{ J}$$

- c) Quelle est la vitesse maximale de la bille?

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2(2,40 \text{ J})}{0,0500 \text{ kg}}} = 9,80 \text{ m/s}$$

- d) Quel sera l'effet sur la vitesse maximale de la bille si le ressort est comprimé deux fois plus?

*Si on compare les équations pour l'énergie cinétique est l'énergie potentielle élastique,  $\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv^2$ , on peut voir que la compression du ressort est directement reliés à la vitesse de la bille. Donc, si on comprime le ressort deux fois plus, la vitesse sera deux fois plus grande.*

- e) Quel sera l'effet sur la hauteur atteinte par la bille si le ressort est comprimé deux fois plus?

*Encore une fois on peut comparer les équations, cette fois d'énergie potentielle élastique et d'énergie potentielle gravitationnelle :  $\frac{1}{2}kx^2 = mgh$ . La hauteur est proportionnelle au carré de la distance de compression ( $h \propto x^2$ ). Si le ressort est comprimé deux fois plus, la hauteur sera donc quatre fois plus grande.*

