Conforme à la PROGRESSION des apprentissages

2e cycle du secondaire | 3e année

DELTA

CAHIER D'APPRENTISSAGE

Savoirs | Exercices | Consolidations | Révision de fin d'année

PHYSIQUE

MÉCANIQUE

Ahmed Bensaada
Nicholas Desrosiers
Catherine Rhéaume

CHENELIÈRE ÉDUCATION

2e cycle du secondaire | 3e année

DELTA

CAHIER D'APPRENTISSAGE

Savoirs | Exercices | Consolidations | Révision de fin d'année

PHYSIQUE

MÉCANIQUE

Ahmed Bensaada
Nicholas Desrosiers
Catherine Rhéaume

CHENELIÈRE ÉDUCATION

Delta – Physique : Mécanique
Physique, 2e cycle du secondaire, 3e année

Cahier d'apprentissage

Ahmed Bensaada, Nicholas Desrosiers, Catherine Rhéaume

© 2015 TC Média Livres Inc.

Édition : François Moreault
Coordination : Denis Fallu, Lucie Michaud
Révision linguistique : Ginette Duphily
Correction d'épreuves : Renée Bédard
Conception graphique : Gisèle H
Infographie : Claude Bergeron
Couverture : Gisèle H
Impression : TC Imprimeries Transcontinental

Remerciements

Pour leur précieux travail de consultation, l'Éditeur tient à remercier :
Julie Anctil, C.S. des Affluents
Christian Drapeau, C.S. de Portneuf
Charles Métivier, C.S. des Appalaches
Michel Paré, C.S. du Chemin-du-Roy
Jean-Yves Roy, C.S. de la Beauce-Etchemin
Martin Trudeau, C.S. Marie-Victorin
Lucie Vallières, C.S. des Draveurs

Pour son travail de révision scientifique réalisé avec expertise, l'Éditeur tient à remercier :
Richard Leonelli, professeur titulaire, directeur, Département de physique, Université de Montréal.

Pour son travail rigoureux de vérification, l'Éditeur tient à remercier :
Martin Trudeau, C.S. Marie-Victorin.

CHENELIÈRE ÉDUCATION

5800, rue Saint-Denis, bureau 900
Montréal (Québec) H2S 3L5 Canada
Téléphone : 514 273-1066
Télécopieur : 514 276-0324 ou 1 800 814-0324
info@cheneliere.ca

TOUS DROITS RÉSERVÉS.
Toute reproduction du présent ouvrage, en totalité ou en partie, par tous les moyens présentement connus ou à être découverts, est interdite sans l'autorisation préalable de TC Média Livres Inc.
Toute utilisation non expressément autorisée constitue une contrefaçon pouvant donner lieu à une poursuite en justice contre l'individu ou l'établissement qui effectue la reproduction non autorisée.

ISBN 978-2-7650-5111-4

Dépôt légal : 2e trimestre 2015
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada

Imprimé au Canada

1 2 3 4 5 ITIB 19 18 17 16 15

Nous reconnaissons l'aide financière du gouvernement du Canada par l'entremise du Fonds du livre du Canada (FLC) pour nos activités d'édition.

TABLE DES MATIÈRES

Notions de base 1

SECTION 1 Les grandeurs et les unités de mesure 1
1.1 La différence entre grandeur et unité de mesure 1
1.2 Le système international d'unités 2
Exercices 5

SECTION 2 Les systèmes de référence 6
Exercices 9

SECTION 3 Les vecteurs 11
3.1 Les grandeurs scalaires et les grandeurs vectorielles 11
3.2 Les composantes d'un vecteur 12
3.3 L'addition des vecteurs 15
3.4 La soustraction des vecteurs et la notion de vecteur opposé 17
Exercices 19

MODULE 1

La cinématique

CHAPITRE 1 Le mouvement rectiligne uniforme 24

SECTION 1 La position, le déplacement et la distance parcourue 25
1.1 La position 25
1.2 Le déplacement 26
1.3 La distance parcourue 27
Exercices 28

SECTION 2 Le graphique de la position en fonction du temps 30
Exercices 31

SECTION 3 La vitesse 33
Exercices 35

SECTION 4 Le graphique de la vitesse en fonction du temps 37
Exercices 40

Synthèse du chapitre 1 42
Exercices du chapitre 1 43

CHAPITRE 2 Le mouvement rectiligne uniformément accéléré 45

SECTION 1 La notion d'accélération 46
Exercices 47

SECTION 2 Le graphique de la vitesse en fonction du temps 48
2.1 Le graphique de la vitesse en fonction du temps pour un MRUA 48
2.2 L'aire de la surface sous la courbe dans un graphique de la vitesse en fonction du temps 49
Exercices 50

SECTION 3 Le graphique de la position en fonction du temps 51
Exercices 52

SECTION 4 La vitesse moyenne et la vitesse instantanée 53
4.1 La distinction entre la vitesse moyenne et la vitesse instantanée 53
4.2 Déterminer la vitesse instantanée à l'aide d'un graphique 54
Exercices 55

SECTION 5 Le graphique de l'accélération en fonction du temps 57
Exercices 58

SECTION 6 Le formalisme mathématique du mouvement rectiligne uniformément accéléré 59
Exercices 62

SECTION 7 La chute libre 64
Exercices 66

SECTION 8 Le plan incliné 68
Exercices 69

Synthèse du chapitre 2 71
Exercices du chapitre 2 72

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

CHAPITRE 3 Le mouvement des projectiles 75

SECTION 1 **L'indépendance des mouvements horizontal et vertical** 76
Exercices 77

SECTION 2 **Les équations du mouvement des projectiles** 78
Exercices 80

SECTION 3 **Le mouvement des projectiles lancés horizontalement** 82
Exercices 83

SECTION 4 **Le mouvement des projectiles lancés obliquement** 85
4.1 La portée 85
4.2 La portée maximale 85
Exercices 86

Synthèse du chapitre 3 88
Exercices du chapitre 3 88
Consolidation du module 1 91

MODULE 2

La dynamique

CHAPITRE 4 Les différents types de forces 94

SECTION 1 **La notion de force** 95

SECTION 2 **La force gravitationnelle** 96
2.1 La loi de la gravitation universelle 96
2.2 L'accélération gravitationnelle et le poids 97
Exercices 100

SECTION 3 **La force normale** 102
Exercices 103

SECTION 4 **La force de frottement** 104
4.1 La nature du frottement 104
4.2 Le coefficient de frottement 105
Exercices 106

SECTION 5 **La tension** 108
Exercices 109

SECTION 6 **La force centripète** 110
6.1 Le mouvement circulaire uniforme (MCU) 110
6.2 L'expression mathématique de la force centripète 111
Exercices 112

Synthèse du chapitre 4 114
Exercices du chapitre 4 115

CHAPITRE 5 Les corps soumis à différentes forces 119

SECTION 1 **Le diagramme de corps libre** 120
Exercices 121

SECTION 2 **La résultante de plusieurs forces** 122
Exercices 124

SECTION 3 **La notion d'équilibre** 127
3.1 L'équilibre statique et l'équilibre dynamique 127
3.2 La force équilibrante 129
Exercices 130

Synthèse du chapitre 5 132
Exercices du chapitre 5 132

CHAPITRE 6 Les lois de Newton 136

SECTION 1 **La première loi de Newton** 137
1.1 La notion d'inertie 137
1.2 La première loi de Newton et ses conséquences 138
Exercices 139

SECTION 2 **La deuxième loi de Newton** 141
2.1 La relation entre l'accélération et la grandeur de la force résultante 141
2.2 La relation entre l'accélération et la masse 141
2.3 L'expression mathématique de la deuxième loi de Newton 142
Exercices 144

SECTION 3 **La troisième loi de Newton** 148
Exercices 149

Synthèse du chapitre 6 151
Exercices du chapitre 6 151
Consolidation du module 2 155

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MODULE 3

L'énergie et ses transformations

CHAPITRE 7 Le travail et la puissance mécanique 158

SECTION 1 **Le travail d'une force** 159

1.1 Le travail, la force et le déplacement 159

1.2 Les valeurs particulières du travail 161

Exercices 162

SECTION 2 **La puissance mécanique** 165

Exercices 166

Synthèse du chapitre 7 168

Exercices du chapitre 7 168

CHAPITRE 8 L'énergie mécanique 171

SECTION 1 **L'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle** 172

1.1 L'énergie cinétique 172

1.2 L'énergie potentielle gravitationnelle 174

Exercices 176

SECTION 2 **La conservation de l'énergie mécanique** 178

2.1 Les systèmes isolés et les systèmes non isolés 178

Exercices 179

2.2 La conservation de l'énergie mécanique dans un système isolé 180

Exercices 183

2.3 L'énergie dans les systèmes non isolés 186

Exercices 189

Synthèse du chapitre 8 191

Exercices du chapitre 8 192

CHAPITRE 9 L'énergie emmagasinée dans les ressorts 195

SECTION 1 **Le comportement des ressorts hélicoïdaux** 196

Exercices 198

SECTION 2 **L'énergie potentielle élastique** 200

Exercices 203

Synthèse du chapitre 9 207

Exercices du chapitre 9 208

Consolidation du module 3 210

Révision de fin d'année 213

Annexes 224

Réponses aux exercices 250

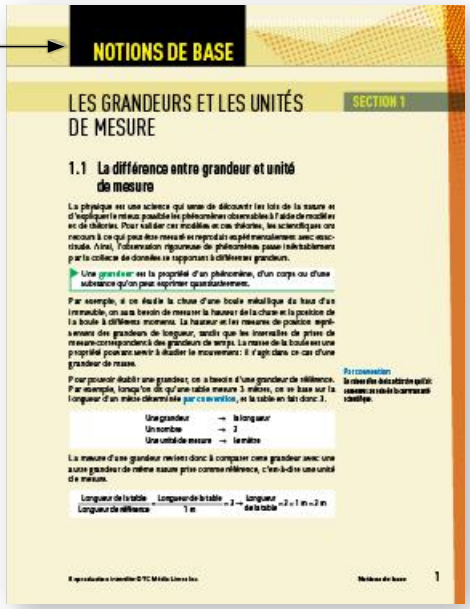
Index 253

Sources 256

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

LES NOTIONS DE BASE

Cette partie présente des concepts scientifiques et mathématiques importants pour l'analyse des situations en mécanique. Une série d'exercices permet de faire le point sur les connaissances acquises.


NOTIONS DE BASE

LES GRANDEURS ET LES UNITÉS DE MESURE

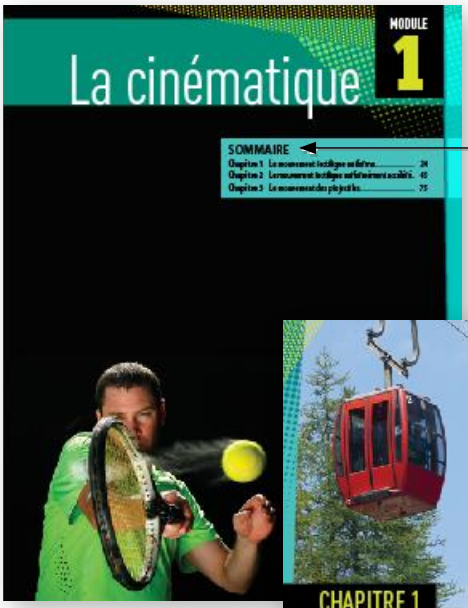
SECTION 1

1.1 La différence entre grandeur et unité de mesure

LES MODULES

L'ouverture d'un module et d'un chapitre

Le contenu notionnel du cahier *Delta Physique – Mécanique* est scindé en trois **modules** : 1. La cinématique ; 2. La dynamique ; 3. L'énergie et ses transformations.



Un **sommaire** donne le titre des chapitres du module.

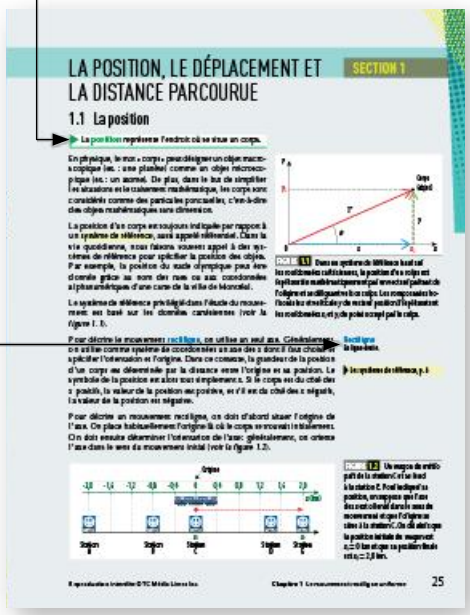
Un **texte d'introduction** présente les concepts généraux abordés dans le chapitre.

Un **sommaire** présente les sections du chapitre.

Les sections

Chaque chapitre est divisé en **sections**.

Les **concepts à l'étude**, présentés en vert, font l'objet d'une définition isolée du texte.


LA POSITION, LE DÉPLACEMENT ET LA DISTANCE PARCOURUE

SECTION 1

1.1 La position

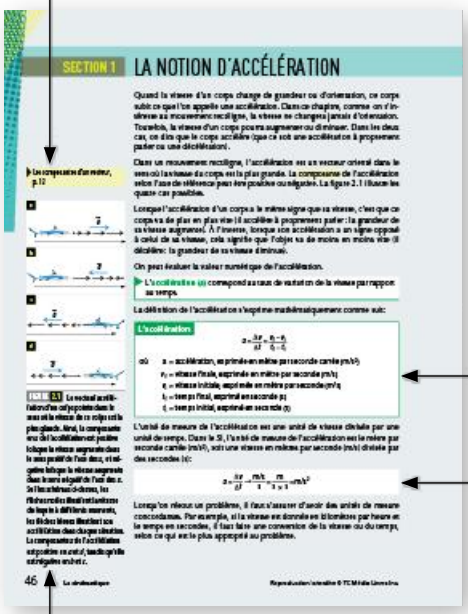
Certains **termes scientifiques** ou **mots difficiles**, présentés en bleu, sont définis dans la marge.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Des **renvois** dans la marge indiquent où trouver les concepts pertinents préalablement étudiés ou une annexe utile.

Les **formules** et les **lois** sont mises en évidence dans un encadré.

Les **développements mathématiques** ou des **informations importantes** sont isolés du texte.


SECTION 1 LA NOTION D'ACCÉLÉRATION

Quand la vitesse d'un corps change de grandeur ou d'orientation, ce corps subit ce que l'on appelle une accélération. Dans ce chapitre, comme on s'intéresse au mouvement rectiligne, la vitesse ne changera jamais d'orientation. Toutefois, la vitesse d'un corps pourra augmenter ou diminuer. Dans les deux cas, on dit que le corps accélère (que ce soit une accélération ou le proprement parler ou une décélération).

Dans un mouvement rectiligne, l'accélération est un vecteur orienté dans le sens où la vitesse du corps est la plus grande. La composante de l'accélération selon l'axe de référence peut être positive ou négative. La figure 2.1 illustre les quatre cas possibles.

Lorsque l'accélération d'un corps a le même signe que sa vitesse, c'est que ce corps va de plus en plus vite : il accélère à proprement parler : la grandeur de sa vitesse augmente. À l'inverse, lorsque son accélération a un signe opposé à celui de sa vitesse, cela signifie que l'objet va de moins en moins vite : il décélère : la grandeur de sa vitesse diminue.

On peut évaluer la valeur numérique de l'accélération.

▶ L'**accélération** (a) correspond au taux de variation de la vitesse par rapport au temps.

La définition de l'accélération s'exprime mathématiquement comme suit :

L'accélération

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

où a = accélération, en m/s/s ou en mètre par seconde carrée (m/s²)
v_f = vitesse finale, exprimée en mètre par seconde (m/s)
v_i = vitesse initiale, exprimée en mètre par seconde (m/s)
t_f = temps final, exprimé en seconde (s)
t_i = temps initial, exprimé en seconde (s)

L'unité de mesure de l'accélération est une unité de vitesse divisée par une unité de temps. Dans le SI, l'unité de mesure de l'accélération est le mètre par seconde carrée (m/s²), soit une vitesse en mètres par seconde (m/s) divisée par des secondes (s) :

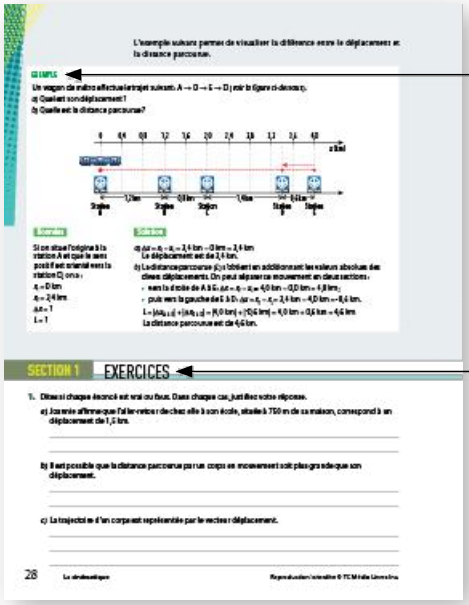
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{m/s}{s} = \frac{m}{s \times s} = m/s^2$$

Lorsqu'on résout un problème, il faut s'assurer d'avoir des unités de mesure concordantes. Par exemple, si la vitesse est donnée en kilomètres par heure et le temps en secondes, il faut faire une conversion de la vitesse ou du temps, selon ce qui est le plus approprié au problème.

46 La cinématique

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Les **figures** offrent un soutien visuel et une information schématisée qui favorisent la compréhension des notions présentées dans le texte.


L'exemple suivant permet de visualiser la différence entre le déplacement et la distance parcourue.

EXEMPLE

Un wagon de métro effectue le trajet suivant : A → D → E → D (voir la figure ci-dessous).

a) Quel est son déplacement ?

b) Quelle est la distance parcourue ?

Données

Si on situe l'origine à la station A et que le sens positif est orienté vers la station D, on a :
$x_i = 0$ km
$x_f = 2{,}4$ km
$\Delta d = ?$
$L = ?$

Solution

a) $\Delta d = x_f - x_i = 2{,}4$ km − 0 km = 2,4 km
Le déplacement est de 2,4 km.

b) La distance parcourue (L) s'obtient en additionnant les valeurs absolues des deux déplacements. On peut séparer le mouvement en deux sections :
- vers la droite de A à E : $\Delta d = x_f - x_i = 4{,}0$ km − 0,0 km = 4,0 km ;
- puis vers la gauche de E à D : $\Delta d = x_f - x_i = 2{,}4$ km − 4,0 km = −1,6 km.

$L = |\Delta d_{A \to E}| + |\Delta d_{E \to D}| = |4{,}0 \text{ km}| + |-1{,}6 \text{ km}| = 4{,}0 \text{ km} + 1{,}6 \text{ km} = 5{,}6 \text{ km}$
La distance parcourue est de 5,6 km.

SECTION 1 EXERCICES

1. Dites si chaque énoncé est vrai ou faux. Dans chaque cas, justifiez votre réponse.

a) Joannie affirme que l'aller-retour de chez elle à son école, située à 750 m de sa maison, correspond à un déplacement de 1,5 km.

b) Il est possible que la distance parcourue par un corps en mouvement soit plus grande que son déplacement.

c) La trajectoire d'un corps est représentée par le vecteur déplacement.

28 La cinématique

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Des **exemples** présentent des problèmes résolus selon une démarche claire et rigoureuse.

Chaque section est suivie d'**exercices** qui visent une intégration progressive des concepts étudiés.

Les rubriques

À travers les chapitres, des rubriques apportent des compléments d'information.

RAPPEL LA MASSE ET LE POIDS

La rubrique **Rappel** indique les notions vues dans les cours de science de 3e et de 4e secondaire.

À QUOI ÇA SERT ? L'INDICATEUR DE VITESSE

La rubrique **À quoi ça sert ?** permet de découvrir une application concrète d'un concept étudié.

ZOOM GALILÉE (1564-1642)

La rubrique **Zoom** présente un personnage ou une découverte qui a marqué l'évolution de la physique.

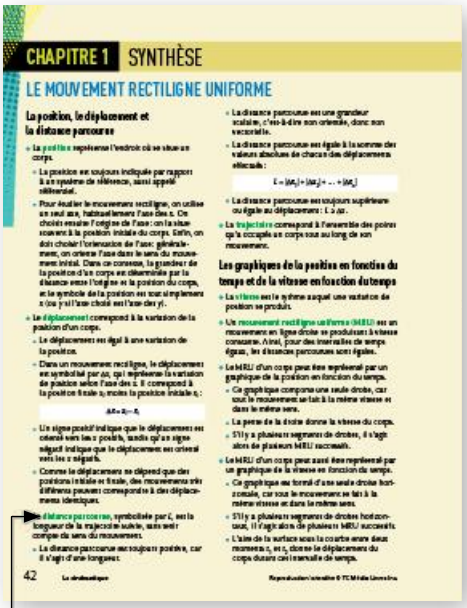
EN PLUS… LE CALCUL DIFFÉRENTIEL ET INTÉGRAL

La rubrique **En plus…** fournit des informations complémentaires d'intérêt.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

La synthèse d'un chapitre

La **synthèse** résume l'essentiel des notions à l'étude dans le chapitre.

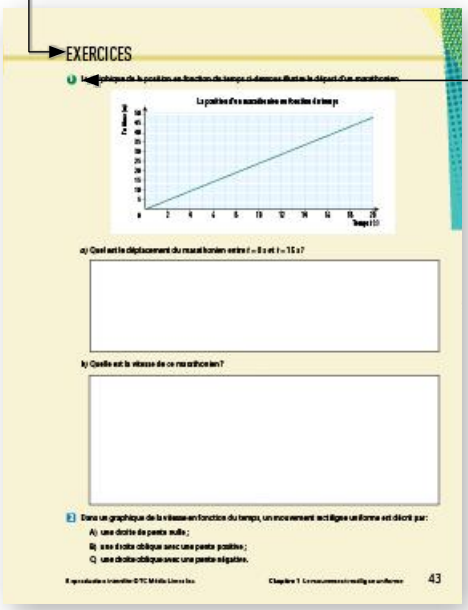

CHAPITRE 1 SYNTHÈSE

LE MOUVEMENT RECTILIGNE UNIFORME

Les graphiques de la position en fonction du temps et de la vitesse en fonction du temps

Les **concepts** définis dans le chapitre sont de nouveau indiqués en vert dans la synthèse.

Des **exercices de fin de chapitre** favorisent la compréhension et l'intégration de l'ensemble des notions acquises dans le chapitre.

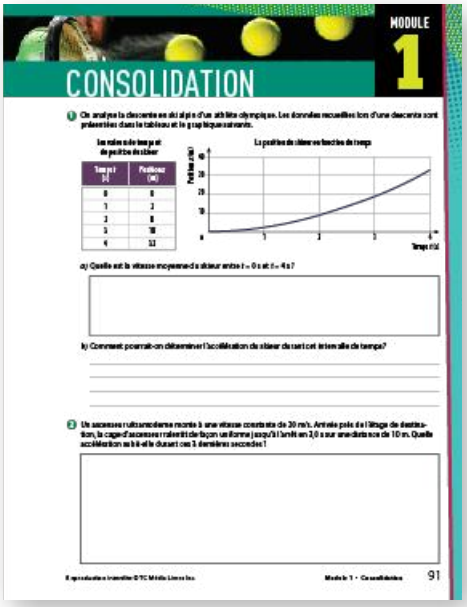

EXERCICES

Un **pictogramme** qui accompagne le numéro des exercices de fin de chapitre indique leur niveau de difficulté :

- facile
- moyen
- difficile
- DÉFI défi

La consolidation d'un module

Chaque module se termine par une série d'**exercices de consolidation** qui favorisent la compréhension et l'intégration des notions acquises dans l'ensemble du module. Le degré de difficulté des exercices de consolidation est également indiqué par un pictogramme.


MODULE 1

CONSOLIDATION

LES PAGES DE LA FIN

Les annexes

Les annexes offrent des outils utiles pour la résolution des problèmes en mécanique (notions mathématiques, formules, présentation et interprétation des résultats, etc.).

La révision de fin d'année

Il s'agit d'une banque d'exercices qui permet de revoir l'ensemble des concepts étudiés dans le cahier.

Les réponses aux exercices

Cette section contient uniquement les réponses aux exercices du cahier qui comportent des calculs.

L'index

L'index présente les mots clés accompagnés de renvois aux pages où ces mots apparaissent dans un contexte pertinent.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

LES GRANDEURS ET LES UNITÉS DE MESURE

SECTION 1

1.1 La différence entre grandeur et unité de mesure

La physique est une science qui tente de découvrir les lois de la nature et d'expliquer le mieux possible les phénomènes observables à l'aide de modèles et de théories. Pour valider ces modèles et ces théories, les scientifiques ont recours à ce qui peut être mesuré et reproduit expérimentalement avec exactitude. Ainsi, l'observation rigoureuse de phénomènes passe inévitablement par la collecte de données se rapportant à différentes grandeurs.

Une **grandeur** est la propriété d'un phénomène, d'un corps ou d'une substance qu'on peut exprimer quantitativement.

Par exemple, si on étudie la chute d'une boule métallique du haut d'un immeuble, on aura besoin de mesurer la hauteur de la chute et la position de la boule à différents moments. La hauteur et les mesures de position représentent des grandeurs de longueur, tandis que les intervalles de prises de mesure correspondent à des grandeurs de temps. La masse de la boule est une propriété pouvant servir à étudier le mouvement : il s'agit dans ce cas d'une grandeur de masse.

Pour pouvoir établir une grandeur, on a besoin d'une grandeur de référence. Par exemple, lorsqu'on dit qu'une table mesure 3 mètres, on se base sur la longueur d'un mètre déterminée **par convention**, et la table en fait donc 3.

Par convention
En raison d'un choix arbitraire qui fait consensus au sein de la communauté scientifique.

Une grandeur	→	la longueur
Un nombre	→	3
Une unité de mesure	→	le mètre

La mesure d'une grandeur revient donc à comparer cette grandeur avec une autre grandeur de même nature prise comme référence, c'est-à-dire une unité de mesure.

$$\frac{\text{Longueur de la table}}{\text{Longueur de référence}} = \frac{\text{Longueur de la table}}{1\ \text{m}} = 3 \rightarrow \text{Longueur de la table} = 3 \times 1\ \text{m} = 3\ \text{m}$$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Une **unité de mesure** est une grandeur réelle, définie et adoptée par convention, à laquelle on peut comparer toute autre grandeur de même nature pour exprimer le rapport des deux grandeurs sous la forme d'un nombre.

Historiquement, de nombreuses unités de mesure de la longueur, du temps, du poids, etc., ont été créées par l'humain. Certaines unités de mesure ont vu leur usage se répandre plus largement et ont davantage marqué l'histoire humaine (*voir le tableau 1*). Toutefois, la grandeur de certaines unités de mesure était plutôt difficile à déterminer avec précision. Par exemple, la vitesse de marche et la longueur de l'enjambée pouvait amener une variation dans la mesure d'une lieue terrestre. Des tentatives de rendre plus formelles et universelles la définition et la valeur des unités de mesure ont permis de restreindre le nombre d'unités de mesure pour chaque grandeur physique.

TABLEAU 1 Des exemples d'unités de mesure de la longueur qui ont marqué l'histoire

Unité de longueur	Définition	Longueur approximative en mètres (m)
Coudée naturelle	Longueur allant du coude jusqu'à l'extrémité de la main (24 doigts).	0,45 m
Coudée de Nippour	30 doigts	0,5185 m
Coudée égyptienne	28 doigts	0,529 m
Lieue marine	Limite du champ visuel d'un homme de taille moyenne debout, les pieds au niveau de la mer.	5556 m
Lieue terrestre	Distance que peut parcourir un homme à pied en une heure.	4000 m (lieue métrique)
Mille	Unité du système impérial britannique qui équivaut à 5280 pieds.	1609 m
Pied	Unité du système impérial britannique qui équivaut à 12 pouces.	0,3048 m
Pouce	Unité du système impérial britannique.	0,0254 m
Toise	Distance entre les deux bras étendus : il y a six pieds dans une toise.	1,80 m
Yard anglais	Coudée de trois pieds.	0,9 m

1.2 Le système international d'unités

Pour régler le problème de la disparité des unités de mesure et pour favoriser la communication à l'échelle mondiale, la presque totalité des pays a adopté un système de mesure commun : le système international d'unités (SI). Dans ce système, on a déterminé sept grandeurs de base, à partir desquelles toutes les autres grandeurs peuvent être dérivées, et on a défini de façon précise la valeur de chacune des unités de mesure (*voir le tableau 2*).

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

TABLEAU 2 **Les sept grandeurs et unités de base du SI**

Grandeur	Symbole de la grandeur	Unité de mesure et symbole de l'unité	Définition de l'unité de mesure
Longueur	l, s, h, r, x	mètre (m)	Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de 1/299 792 458 de seconde.
Masse	m	kilogramme (kg)	Le kilogramme est égal à la masse du prototype international du kilogramme.
Temps	t	seconde (s)	La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux **niveaux hyperfins** de l'état fondamental de l'atome de césium 133.
Courant électrique	I, i	ampère (A)	L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à 2×10^{-7} newtons par mètre de longueur.
Température	T	kelvin (K)	Le kelvin, unité de température thermodynamique, correspond à 1/273,16 de la température thermodynamique du **point triple** de l'eau.
Quantité de matière	n	mole (mol)	La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12. Lorsqu'on emploie la mole, les entités élémentaires doivent être spécifiées et peuvent être des atomes, des molécules, des ions, des électrons, d'autres particules ou des groupements spécifiés de telles particules.
Intensité lumineuse	I_v	candela (cd)	La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est 1/683 watt par **stéradian**.

Source : BIPM, 2006.

Note : Les symboles suggérés dans la deuxième colonne sont ceux recommandés par le Bureau international des poids et mesures (BIPM). Ainsi, la grandeur « longueur » peut être représentée par des symboles différents, selon le contexte (largeur, profondeur, distance parcourue, etc.). La lettre *s* a été ajoutée pour représenter le déplacement. Cette lettre a été préférée à la lettre *d* pour ne pas créer de confusion entre le déplacement et la distance parcourue.

Niveau hyperfin
Séparation d'un niveau d'énergie dans un atome en plusieurs sous-niveaux dont les énergies sont très proches.

Point triple
Point obtenu dans un diagramme pression-température qui correspond à la coexistence de trois états d'un corps pur : liquide, solide et gazeux. Pour l'eau, ce point correspond à $T = 273{,}16$ K et $P \approx 611$ Pa.

Stéradian
Unité de mesure du SI des angles solides qui, en mathématiques, sont les analogues tridimensionnels des angles plans (bidimensionnels).

Le SI est un système à base décimale. Le passage d'un ordre de grandeur à un autre est donc facilité, car il se fait par déplacement de la virgule. Il n'y a qu'à retenir les préfixes qui indiquent les différents ordres de grandeur (*voir le tableau 3 à la page suivante*).

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

TABLEAU 3 **Les préfixes et leurs multiplicatifs correspondants utilisés dans le système international d'unités (SI)**

Préfixe	Symbole	Multiplicatif par rapport aux unités de base (notation scientifique)	Multiplicatif par rapport aux unités de base
yotta	Y	$\times 10^{24}$	1 000 000 000 000 000 000 000 000
zetta	Z	$\times 10^{21}$	1 000 000 000 000 000 000 000
exa	E	$\times 10^{18}$	1 000 000 000 000 000 000
péta	P	$\times 10^{15}$	1 000 000 000 000 000
téra	T	$\times 10^{12}$	1 000 000 000 000
giga	G	$\times 10^{9}$	1 000 000 000
méga	M	$\times 10^{6}$	1 000 000
kilo	k	$\times 10^{3}$	1000
hecto	h	$\times 10^{2}$	100
déca	da	$\times 10^{1}$	10
Unités centrales	---	$\times 10^{0}$	1
déci	d	$\times 10^{-1}$	0,1
centi	c	$\times 10^{-2}$	0,01
milli	m	$\times 10^{-3}$	0,001
micro	µ	$\times 10^{-6}$	0,000 001
nano	n	$\times 10^{-9}$	0,000 000 001
pico	p	$\times 10^{-12}$	0,000 000 000 001
femto	f	$\times 10^{-15}$	0,000 000 000 000 001
atto	a	$\times 10^{-18}$	0,000 000 000 000 000 001
zepto	z	$\times 10^{-21}$	0,000 000 000 000 000 000 001
yocto	y	$\times 10^{-24}$	0,000 000 000 000 000 000 000 001

L'utilisation des unités du SI et de leurs symboles est soumise à des règles d'écriture qu'il importe de respecter afin de communiquer adéquatement les données scientifiques.

- Les noms d'unités sont considérés comme des noms communs. Ils commencent par une minuscule (même si le symbole de l'unité est une majuscule ou commence par une majuscule), sauf s'ils se trouvent placés au début d'une phrase ou dans un titre en majuscules.
  Exemples : 10 ampères, 2 mètres, etc.
- En général, les symboles des unités sont écrits en minuscules, mais si le nom de l'unité dérive d'un nom propre, la première lettre du symbole est majuscule. Le litre est une exception à cette règle.
  Exemples : m (mètre), A (ampère), J (joule), l ou L (litre), etc.
- Les symboles des unités sont des entités mathématiques et non des abréviations. Ils ne doivent donc pas être suivis d'un point, sauf s'ils se trouvent à la fin d'une phrase. Ils sont invariables au pluriel.
  Exemples : 10 m de hauteur ; 20 kg
- Les symboles des unités sont obligatoirement précédés d'une espace.
  Exemple : 7,5 m

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EN PLUS… UNE CONSTANTE PHYSIQUE POUR LE KILOGRAMME

Afin d'assurer la plus grande précision possible dans la définition des unités de mesure, le système international d'unités a évolué, et continue d'évoluer, dans le but qu'un jour l'ensemble des 7 unités de base soient définies selon des constantes fondamentales de la physique. Par exemple, la longueur du mètre est aujourd'hui définie selon la vitesse de la lumière dans le vide.

Actuellement, une seule unité de mesure est encore définie à l'aide d'un étalon matériel : le kilogramme. Toutefois, bien que cet étalon soit conservé sous triple cloche de verre et nettoyé régulièrement, une contamination de sa surface induit une modification de sa masse. C'est un inconvénient, car toute variation de l'unité de masse a une incidence sur les définitions de l'ampère, de la mole et de la candela, puisque ces dernières dépendent du kilogramme.

Pour régler ce problème, le Bureau international des poids et mesures (BIPM) a lancé un projet visant à redéfinir le kilogramme en fonction d'une constante fondamentale de la nature, comme la constante de Planck (qui correspond au plus petit quanta, ou paquet d'énergie, que peuvent échanger deux particules). Il se fonde pour cela sur une expérience scientifique, la balance du watt (*voir la figure 1*), qui permet de relier l'unité de masse à la constante de Planck. De plus, le BIPM a fabriqué plusieurs étalons de référence du kilogramme dans différents matériaux, conservés sous divers types d'atmosphère. Une moyenne des masses des différents étalons pourra être faite, selon le principe que la masse moyenne sera plus stable que les masses individuelles de chaque étalon. Ainsi, quand la définition du kilogramme sera fondée sur une constante de la nature, il sera possible de déterminer l'unité de masse du SI en tout lieu, à tout moment et par tous.

FIGURE 1 La balance du watt est un appareil grâce auquel la puissance mécanique peut être convertie en puissance électrique et vice-versa, ce qui pourrait permettre de relier la valeur de la constante de Planck avec celle du kilogramme.

EXERCICES

SECTION 1

1. Un chercheur en nanotechnologies est en train de concevoir une structure en couches de semi-conducteurs avec une épaisseur de 35 nm. Quelle est l'épaisseur de la structure, exprimée en mètres ?

2. Un terrain fait 50 pieds de façade sur 100 pieds de profondeur. Quelles sont les dimensions de ce terrain en mètres ?

3. Un système laser est utilisé pour « observer » des réactions chimiques en direct. Pour être en mesure de voir ces phénomènes très rapides, le laser utilise des impulsions ultracourtes. L'intervalle entre chaque impulsion est de $4{,}5 \times 10^{-15}$ s. Exprimez ce temps à l'aide des préfixes du SI.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

SECTION 2 LES SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

Corps
En physique, tout objet, qu'il soit macroscopique (par exemple, une personne ou une planète) ou microscopique (par exemple, un atome).

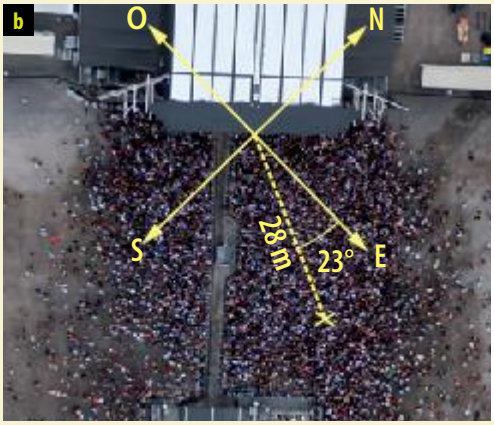
Position
Endroit où se situe un corps.

Pour décrire clairement et précisément la **position** d'un **corps**, il faut pouvoir spécifier sa position à différents moments. C'est pourquoi on utilise un système de référence, aussi appelé « référentiel ».

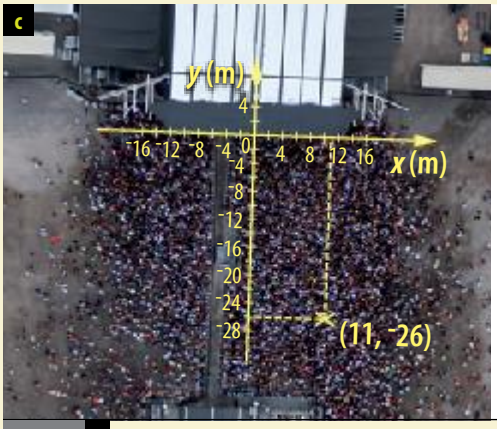
Un **système de référence** permet de situer un évènement dans l'espace et le temps. Un système de référence est constitué d'un point de repère (origine) associé à un système de coordonnées.

Comme l'illustre la figure 2, l'utilisation d'un système de référence est essentielle pour décrire la position d'un corps.

Dans une foule très dense, deux personnes s'échangent des textos. Pour décrire sa position (marquée d'un X sur la photo ci-contre), l'une d'elles écrit : « Je suis assez loin de la scène, du côté droit. » Cette information est correcte, mais elle manque de précision. Pour décrire une position de façon précise et complète, il faut utiliser un système de référence bien défini.



Un système de référence peut comporter un point de repère, une distance et les points cardinaux. Dans la situation illustrée, la personne pourrait dire, par exemple : « Je suis à 28 m du centre de l'avant de la scène, à 23° au sud par rapport à l'est. »



En physique, il arrive parfois qu'on utilise les points cardinaux pour construire un système de référence. Toutefois, dans cet ouvrage, on utilisera plutôt des systèmes de référence basés sur ce qu'on appelle les « coordonnées cartésiennes ». Les systèmes de coordonnées cartésiennes comportent une origine où se croisent des axes perpendiculaires entre eux.

Ici, en utilisant le centre de l'avant de la scène comme origine, un axe orienté le long de la scène et un second axe perpendiculaire au premier, la personne peut décrire sa position en donnant les coordonnées (11 m, -26 m). C'est une façon de décrire une position qui est peu courante dans une foule, mais très utile en physique.

FIGURE 2 L'utilisation d'un système de référence est essentielle pour décrire la position d'un corps.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Comme le montre la figure 2, plus d'un système de référence peut être utilisé pour décrire une même situation. En réalité, il y a une infinité de systèmes de référence. Quand on étudie une situation, il suffit d'en choisir un et de le préciser clairement.

La figure 3 montre un exemple de système de référence basé sur les coordonnées cartésiennes qui peut être utilisé pour décrire la **trajectoire** d'un skieur qui exécute un saut.

Trajectoire
Ensemble des points qu'un corps occupe au cours de son mouvement.

FIGURE 3 Ce système de référence peut être utilisé pour décrire le mouvement d'un skieur qui exécute un saut.

Quand un corps suit un mouvement **rectiligne**, on se contente parfois d'utiliser un système de référence unidimensionnel (à un seul axe) pour décrire sa trajectoire, comme l'illustre la figure 4. Ce type de système de référence sera vu dans les chapitres 1 et 2, qui traitent du mouvement rectiligne.

Rectiligne
En ligne droite.

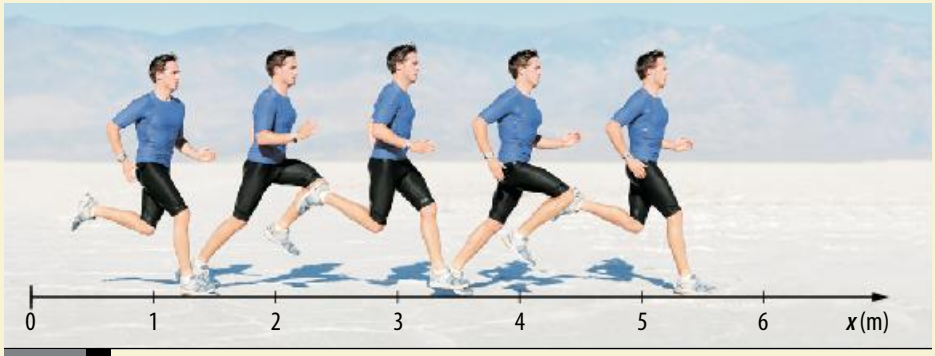


FIGURE 4 Pour décrire la trajectoire de ce coureur, un seul axe de référence suffit.

Quand on compare les points de vue de différents **observateurs**, l'expression « système de référence de tel observateur » désigne un système de référence immobile par rapport à cet observateur, quelle que soit la position de l'origine de ce système.

Observateur
En physique, un observateur est une personne qui fait des observations et prend des mesures dans un système de référence par rapport auquel il est immobile.

Ainsi, lorsque deux observateurs en mouvement l'un par rapport à l'autre étudient la trajectoire d'un corps, ils utilisent des systèmes de référence qui sont en mouvement l'un par rapport à l'autre. Dans un tel cas, il est possible que les deux observateurs perçoivent des formes différentes pour la trajectoire

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

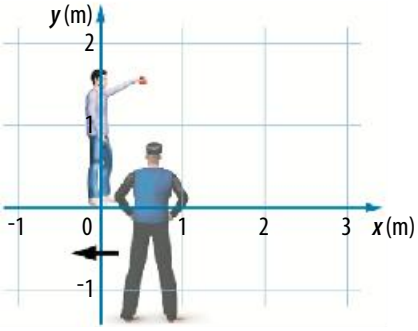
qu'ils étudient. Leurs mesures de la vitesse du corps peuvent aussi être différentes. Cette situation est démontrée à la figure 5.

a

Dans un aéroport, sur un long tapis roulant qui avance à 2,00 m/s, un homme tient une balle. Un agent de sécurité est immobile à côté du tapis roulant et regarde l'homme passer.

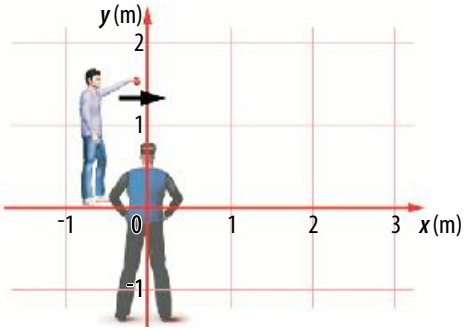
L'homme sur le tapis et l'agent de sécurité utilisent des systèmes de référence différents, qui se déplacent l'un par rapport à l'autre.

b



Pour l'homme sur le tapis, l'agent de sécurité se déplace vers l'arrière.

c

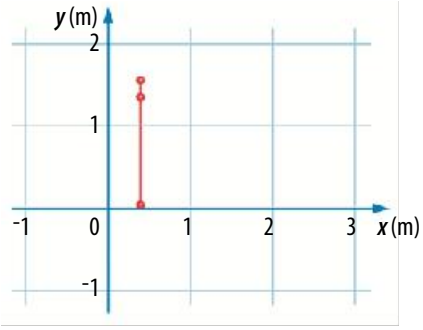


Pour l'agent de sécurité, c'est l'homme sur le tapis qui avance.

d

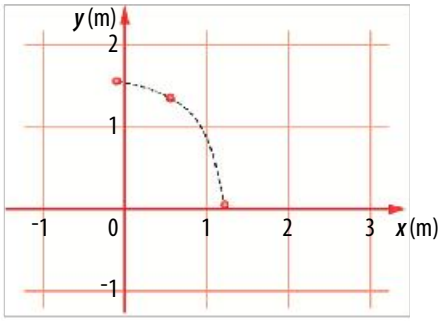
L'homme sur le tapis lâche sa balle. Sur l'illustration ci-contre, l'homme et la balle sont représentés toutes les 0,30 s, à partir du moment où l'homme lâche la balle jusqu'au moment où elle touche le sol. La chute dure 0,60 s.

e



Pour l'homme sur le tapis, la balle a eu une trajectoire verticale.

f



Pour l'agent de sécurité, la balle a suivi une trajectoire courbe.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Pour l'agent de sécurité, la balle avance tout en tombant. Elle possède donc une vitesse horizontale et une vitesse verticale. L'agent mesure que la balle avance de 1,20 m pendant sa chute, à un rythme régulier. Pour l'agent, la vitesse horizontale de la balle est donc $v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{1{,}20\ \text{m}}{0{,}60\ \text{s}} = 2{,}00\ \text{m/s}$. Cela correspond exactement à la vitesse du tapis roulant. Pour l'homme sur le tapis, la vitesse horizontale de la balle est nulle.

Il en est toujours ainsi : quand deux observateurs sont en mouvement l'un par rapport à l'autre à une vitesse relative *v*, leurs mesures de la vitesse des corps dans le sens de leur mouvement diffèrent d'une grandeur égale à *v*.

g

Voici un autre exemple. Si une femme se trouve sur le tapis et marche à la vitesse de 1,00 m/s par rapport au tapis, l'homme sur le tapis mesure qu'elle va à 1,00 m/s. L'agent, lui, mesure qu'elle avance à 3,00 m/s.

Les deux hommes donnent des valeurs différentes à la vitesse de la femme, mais ils ont tous les deux raison, dans la mesure où chacun précise qu'il a mesuré la vitesse de la femme dans son propre système de référence.

FIGURE 5 La trajectoire et la vitesse mesurées dépendent du système de référence par rapport auquel elles sont mesurées.

Le choix d'un système de référence est arbitraire. Toutefois, selon les situations, certains systèmes sont plus appropriés que d'autres, permettant une description plus simple des mouvements. Il convient donc de bien réfléchir avant de choisir un système de référence.

EXERCICES

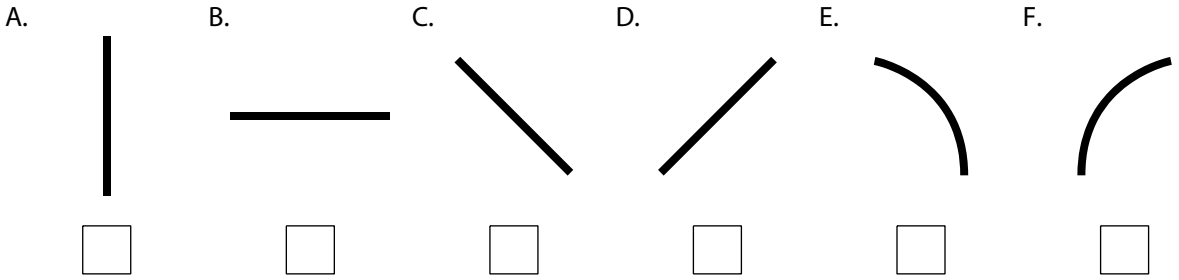
SECTION 2

1. Un bateau pirate avance à 3,00 m/s, dans la direction indiquée. Soudainement, la vigie (le pirate qui fait le guet à partir du haut du mât) échappe sa gourde. Sur la rive, un berger observe la situation.

a) Parmi les trajectoires représentées ci-dessous, indiquez par :

i) un V celle qui correspond à la trajectoire de la gourde dans le système de référence de la vigie ;

ii) un B celle qui correspond à la trajectoire de la gourde dans le système de référence du berger.



Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

b) Pendant la première seconde de la chute de sa gourde, le pirate observe que la hauteur de celle-ci diminue de 4,90 m. Dans chacun des cas ci-dessous, encerclez le groupe de mots qui complète correctement la phrase.

I) Dans le système de référence du berger, pendant la première seconde de la chute de la gourde, la hauteur de celle-ci diminue de :

A. moins de 4,90 m ; B. 4,90 m ; C. plus de 4,90 m.

II) Dans le système de référence du berger, pendant la première seconde de la chute de la gourde, celle-ci se déplace latéralement de :

A. 3,00 m vers la gauche ; B. 3,00 m vers la droite.

c) Dites si l'énoncé suivant est vrai ou faux et justifiez votre réponse.

- Dans le système de référence de la vigie, le berger se déplace latéralement.

_____

_____

2. À la fin de sa descente, un parachutiste s'approche du sol verticalement, à une vitesse constante. Son amie, qui a atterri un peu avant lui, l'attend au sol. Pendant ce temps, une voiture roule sur une route à proximité. Entre le moment où le parachutiste passe du point A au point B, la voiture avance du point C au point D.

a) Dans l'encadré ci-dessous, dessinez à main levée la forme approximative de la trajectoire du parachutiste dans le système de référence de son amie.

b) Dans l'encadré ci-dessous, dessinez à main levée la forme approximative de la trajectoire du parachutiste dans le système de référence des passagers de la voiture.

c) Si vous aviez à étudier mathématiquement la variation de la position du parachutiste en fonction du temps, serait-il plus simple de le faire dans le système de référence de l'amie ou dans celui des passagers de l'automobile ? Pourquoi ?

_____

_____

_____

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

LES VECTEURS

SECTION 3

3.1 Les grandeurs scalaires et les grandeurs vectorielles

Dans cet ouvrage, on distingue deux sortes de grandeurs : les grandeurs scalaires, aussi appelées « scalaires », et les grandeurs vectorielles, aussi appelées « vecteurs ».

La différence entre grandeur et unité de mesure, p. 1

Une grandeur scalaire ne possède pas d'orientation. Elle est complètement définie par un nombre et une unité de mesure (*voir la figure 6a*). Le tableau 4 donne des exemples de grandeurs scalaires utilisées en mécanique.

TABLEAU 4 Quelques exemples de grandeurs scalaires

Grandeurs scalaires
Temps
Masse
Longueur
Superficie
Volume
Énergie

Une grandeur vectorielle (un vecteur) possède une orientation. Pour la définir, on doit donc lui donner un nombre, une unité de mesure et aussi une orientation (*voir la figure 6b*). Le tableau 5 donne des exemples de grandeurs vectorielles utilisées en mécanique.

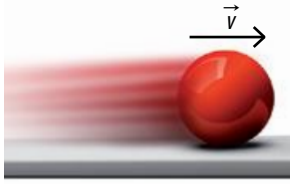
TABLEAU 5 Quelques exemples de grandeurs vectorielles

Grandeurs vectorielles
Déplacement
Vitesse
Accélération
Force

a

Le temps est un exemple de grandeur scalaire. Par exemple, dans l'information : « Le temps écoulé depuis le début de la course est égal à 10 s », on donne un nombre (10) et une unité de mesure (secondes).

b



La vitesse est une grandeur vectorielle. Pour donner toute l'information nécessaire sur la vitesse de la boule, on doit dire dans quelle direction elle se déplace. Par exemple, lorsqu'on dit : « La vitesse de cette boule est égale à 4,1 m/s vers la droite », on donne un nombre (4,1), une unité de mesure (mètres par seconde) et une orientation (vers la droite).

FIGURE 6 La distinction entre une grandeur scalaire et une grandeur vectorielle.

Dans un texte ou une équation, on indique qu'une grandeur est vectorielle en la représentant par une lettre surmontée d'une petite flèche vers la droite. Par exemple, la vitesse est représentée par le symbole $\vec{v}$. La norme, c'est-à-dire la grandeur du vecteur vitesse, est représentée simplement par v.

Dans cet ouvrage, il sera uniquement question de vecteurs en deux dimensions (dans un plan).

Pour représenter un vecteur dans un schéma, on utilise une flèche caractérisée par :

- une norme (aussi appelée « module », ou simplement « grandeur »), qui correspond à la longueur de la flèche ;
- une orientation.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Symbole θ
Le symbole θ est la lettre grecque « thêta » minuscule. En physique et en mathématique, ce symbole est très souvent utilisé pour désigner un angle, quel qu'il soit.

Dans un système de référence à deux dimensions basé sur des coordonnées cartésiennes, on exprime, par convention, l'orientation d'un vecteur par un angle (représenté par le **symbole θ**) mesuré par rapport à l'axe des x positifs. Aussi par convention, l'angle est mesuré dans le sens contraire par rapport aux aiguilles d'une montre (sens antihoraire). L'angle aura une valeur négative s'il est mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre (sens horaire). On en donne des exemples à la figure 7.

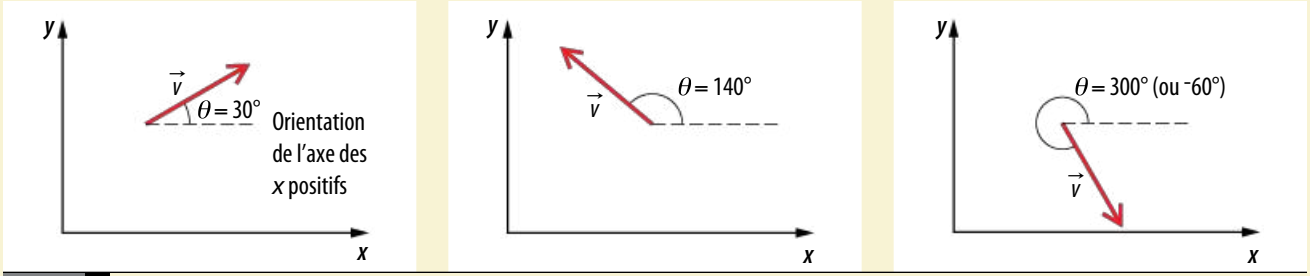


FIGURE 7 L'orientation de trois vecteurs.

3.2 Les composantes d'un vecteur

Composante
Projection orthogonale d'un vecteur sur un axe d'un système de coordonnées.

Quand on utilise un système de référence basé sur des coordonnées cartésiennes, comme on le fera dans cet ouvrage, les vecteurs peuvent être décomposés en deux **composantes** : une composante x et une composante y (*voir la figure 8*).

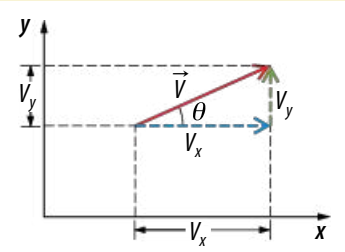


FIGURE 8 Les composantes d'un vecteur.

Trouver les composantes d'un vecteur

En observant la figure 8, on peut constater que les valeurs des composantes V_x et V_y d'un vecteur $\vec{V}$ sont données par :

Les composantes d'un vecteur $\vec{V}$

$$V_x = V\cos\theta \qquad V_y = V\sin\theta$$

où V_x = composante x du vecteur $\vec{V}$
V_y = composante y du vecteur $\vec{V}$
V = norme du vecteur $\vec{V}$
θ = orientation du vecteur $\vec{V}$, mesurée en sens antihoraire par rapport à l'axe des x positifs

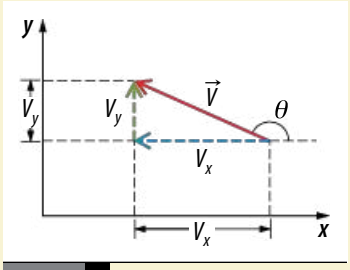


FIGURE 9 La composante x du vecteur $\vec{V}$ est négative, alors que sa composante y est positive.

Puisque les fonctions sinus et cosinus peuvent prendre des valeurs négatives, les composantes peuvent être négatives.

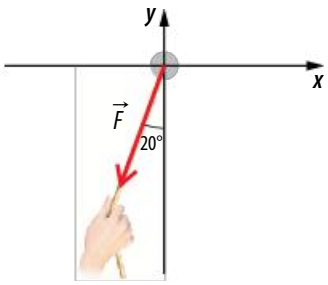
La composante x est positive quand le vecteur est orienté dans le sens positif de l'axe des x, et négative quand il est orienté dans le sens négatif de l'axe. Il en va de même pour la composante y. La figure 8 illustre un cas où les deux composantes sont positives. La figure 9 illustre un cas où la composante x est négative et la composante y est positive. L'exemple suivant traite d'un cas où les deux composantes sont négatives.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE

Une personne exerce une force de tension de 125 N dans une corde attachée à un poteau. Le schéma ci-contre illustre cette situation.

Quelles sont les composantes *x* et *y* de la force ?



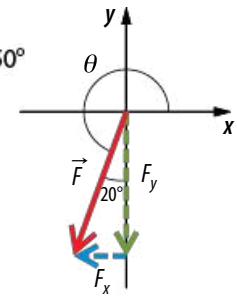
Données

$F = 125\,\text{N}$

$\theta = 270° - 20° = 250°$

$F_x = ?$

$F_y = ?$



Solution

$F_x = F\cos\theta$

$= 125\,\text{N}\cos 250° = -42{,}8\,\text{N}$

$F_y = F\sin\theta$

$= 125\,\text{N}\sin 250° = -117\,\text{N}$

$F_x = -42{,}8\,\text{N}$ et $F_y = -117\,\text{N}$

Trouver la norme et l'orientation d'un vecteur à partir de ses composantes

Quand on connaît les composantes *x* et *y* d'un vecteur, on peut en calculer la norme et l'orientation.

En observant la figure 10, on peut déduire qu'il est possible d'appliquer la relation de Pythagore pour trouver la norme (V) du vecteur $\vec{V}$:

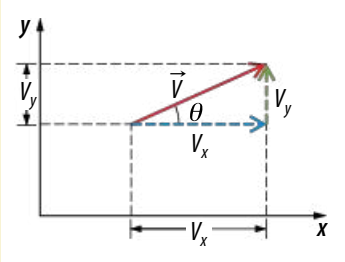


FIGURE 10 La relation entre les composantes d'un vecteur et sa norme.

La norme d'un vecteur $\vec{V}$

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

où V = norme du vecteur $\vec{V}$

V_x = composante *x* du vecteur $\vec{V}$

V_y = composante *y* du vecteur $\vec{V}$

On détermine l'orientation θ d'un vecteur en utilisant la fonction tangente. On pose $\tan\theta = \frac{V_y}{V_x}$, donc $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_y}{V_x}\right)$. Ce raisonnement est exact. Toutefois, un problème pratique survient lorsqu'on utilise l'équation $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_y}{V_x}\right)$. En effet, quand on évalue une fonction $\tan^{-1}$ à l'aide d'une calculatrice, on lit toujours une valeur comprise entre -90° et 90°. Autrement dit, si la composante *x* du vecteur est négative, la calculatrice donne une mauvaise valeur.

Pour contourner ce problème, on utilise le **symbole α** pour désigner un angle défini comme suit :

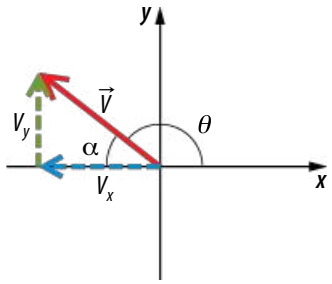
Symbole α
Le symbole α est la lettre grecque « alpha » minuscule, la première lettre de l'alphabet grec.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{V_y}{V_x}\right|\right)$$

À l'aide de la valeur de α, on calcule θ comme indiqué à la figure 11 (*voir à la page suivante*). Il y a quatre cas possibles.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

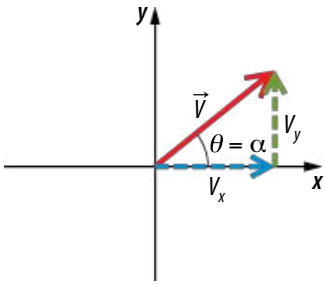
a



La composante en *x* est négative et la composante en *y* est positive (*θ* est compris entre 90° et 180°).

$\theta = 180° - \alpha$

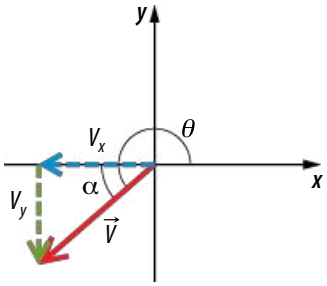
b



La composante en *x* et la composante en *y* sont positives (*θ* est compris entre 0 et 90°).

$\theta = \alpha$

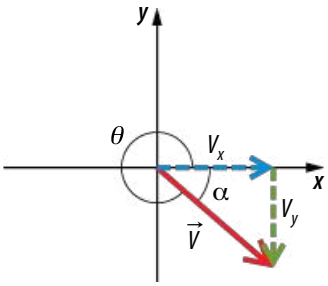
c



La composante en *x* et la composante en *y* sont négatives (*θ* est compris entre 180° et 270°).

$\theta = 180° + \alpha$

d



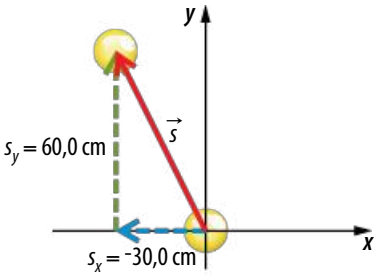
La composante en *x* est positive et la composante en *y* est négative (*θ* est compris entre 270° et 360°).

$\theta = 360° - \alpha$

FIGURE 11 Les quatre façons d'évaluer la valeur de l'orientation *θ* d'un vecteur.

EXEMPLE

L'illustration ci-contre montre que la composante *x* du déplacement d'une boule de billard est de -30,0 cm, et sa composante *y*, de 60,0 cm. Quelles sont la norme et l'orientation du vecteur $\vec{s}$ qui représente le déplacement de cette boule ?



Données

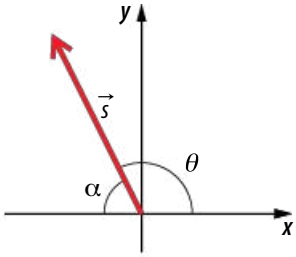
$s_x = -30{,}0$ cm $\quad s_y = 60{,}0$ cm $\quad \theta = ?$ $\quad s = ?$

Solution

Calcul de la norme (*s*) du vecteur :

$$s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$$
$$= \sqrt{(-30{,}0\text{ cm})^2 + (60{,}0\text{ cm})^2}$$
$$= 67{,}1\text{ cm}$$

Calcul de l'orientation (*θ*) du vecteur :



$$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{s_y}{s_x}\right|\right) = \tan^{-1}\left(\left|\frac{60{,}0\text{ cm}}{-30{,}0\text{ cm}}\right|\right) = 63{,}4°$$

Comme la composante *x* (s_x) est négative et que la composante *y* (s_y) est positive (*θ* est compris entre 90° et 180°) :

$$\theta = 180° - \alpha = 180° - 63{,}4° = 116{,}6°$$

Le vecteur $\vec{s}$ a une norme de 67,1 cm et une orientation de 116,6°.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

3.3 L'addition des vecteurs

Additionner des vecteurs (faire une addition vectorielle) revient à les mettre bout à bout, comme l'illustre la figure 12.

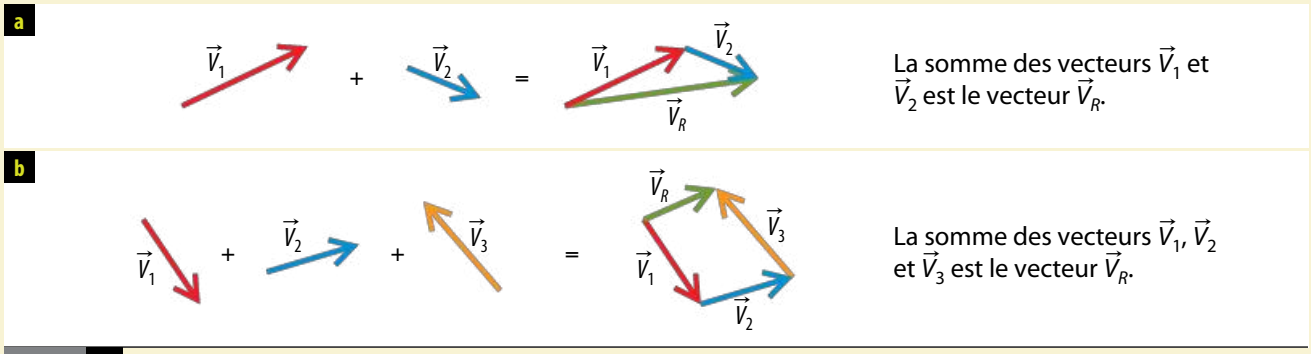


FIGURE 12 La somme de deux (ou plusieurs) vecteurs est un vecteur. Pour trouver ce vecteur, il faut placer les différents vecteurs à additionner bout à bout, l'extrémité de l'un coïncidant avec l'origine du suivant. Le vecteur résultant ($\vec{V}_R$) relie l'origine du premier vecteur à l'extrémité du dernier.

Ainsi, pour trouver la norme (ou l'orientation) du vecteur qui correspond à une somme d'autres vecteurs, il ne suffit pas de faire la somme des normes (ou des orientations) des vecteurs à additionner.

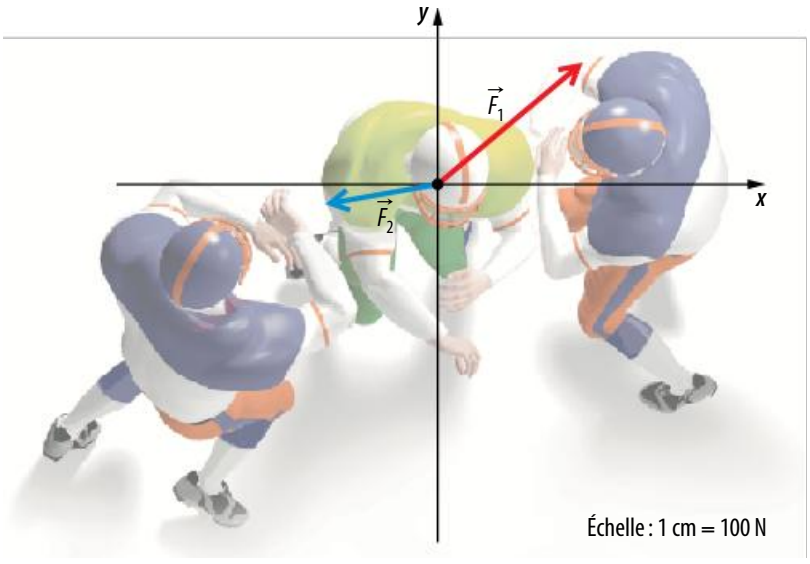
La méthode graphique

Pour trouver la norme et l'orientation du vecteur résultant d'une addition vectorielle, on peut utiliser une méthode graphique, comme illustré à la figure 12. Pour que le résultat soit précis, il faut tracer les vecteurs à additionner à l'échelle avec précision, comme dans l'exemple suivant.

EXEMPLE

Un joueur de football est plaqué par deux joueurs adverses, comme illustré.

À l'aide de la méthode graphique, déterminez la norme et l'orientation de la force résultante exercée sur le joueur par ses adversaires.

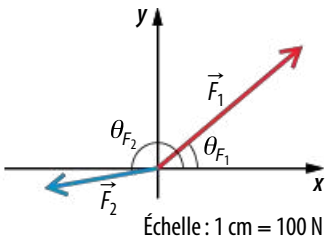


Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE (*suite*)

Données

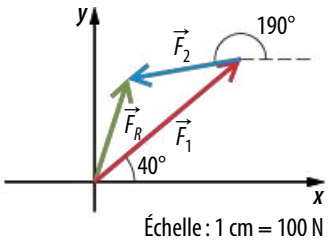
Pour résoudre le problème à l'aide de la méthode graphique, on doit mesurer, à l'aide d'une règle et d'un rapporteur d'angle, la norme et l'orientation de chaque vecteur.



Le vecteur $\vec{F}_1$ mesure 2,5 cm (ce qui correspond à $2{,}5 \times 10^2$ N) et est orienté à 40°.

Le vecteur $\vec{F}_2$ mesure 1,5 cm (ce qui correspond à $1{,}5 \times 10^2$ N) et est orienté à 190°.

Solution



En redessinant à l'échelle les vecteurs $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ de façon à les placer bout à bout, on trouve que le vecteur résultant $\vec{F}_R$ mesure $1{,}4 \times 10^2$ N (ce qui correspond à 1,4 cm sur le schéma ci-dessus). Il est orienté à 72° par rapport à l'axe des *x* positifs.

$\vec{F}_R = 1{,}4 \times 10^2$ N à 72°

La méthode graphique est valable, mais il est difficile d'en obtenir un résultat très précis. Pour cette raison, on lui préfère généralement la méthode des composantes.

La méthode des composantes

Plutôt que d'exiger un tracé précis à l'échelle, la méthode des composantes consiste à utiliser des calculs algébriques pour déterminer le vecteur résultant d'une addition vectorielle.

La méthode des composantes se base sur le fait que la composante *x* du vecteur résultant d'une addition correspond à la somme des composantes *x* des vecteurs à additionner, et identiquement pour les composantes *y* :

$$V_{Rx} = V_{1x} + V_{2x} + \ldots + V_{nx}$$
$$V_{Ry} = V_{1y} + V_{2y} + \ldots + V_{ny}$$

Une fois qu'on a calculé les composantes *x* et *y* du vecteur résultant, on peut en trouver la norme et l'orientation à l'aide des équations vues à la section Trouver la norme et l'orientation d'un vecteur à partir de ses composantes (*voir la page 13*).

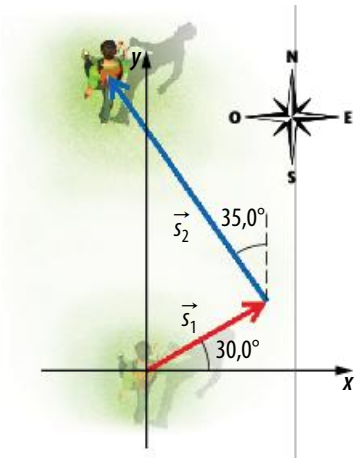
L'exemple de la page suivante permet de comprendre comment il faut procéder.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE

Lors d'une géocache (chasse au trésor à l'aide du GPS), un participant se déplace de 400 m à 30,0° au nord de l'est, puis de 800 m à 35,0° à l'ouest du nord. On oriente l'axe des *x* vers l'est et l'axe des *y* vers le nord, comme illustré.

Quel est le déplacement total du participant ?

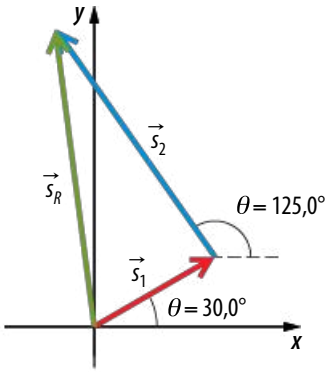


Données

$\vec{s}_1 = 400\,\text{m à } 30,0°$

$\vec{s}_2 = 800\,\text{m à } 125,0°$

$\vec{s}_R = ?$



Solution

1. Calcul des composantes de $\vec{s}_1$:

$$s_{1x} = s_1 \cos\theta = 400\,\text{m} \times \cos 30,0° = 346\,\text{m}$$

$$s_{1y} = s_1 \sin\theta = 400\,\text{m} \times \sin 30,0° = 200\,\text{m}$$

2. Calcul des composantes de $\vec{s}_2$:

$$s_{2x} = s_2 \cos\theta = 800\,\text{m} \times \cos 125,0° = {}^{-}459\,\text{m}$$

$$s_{2y} = s_2 \sin\theta = 800\,\text{m} \times \sin 125,0° = 655\,\text{m}$$

3. Addition des composantes :

$$s_{Rx} = s_{1x} + s_{2x} = 346\,\text{m} + {}^{-}459\,\text{m} = {}^{-}113\,\text{m}$$

$$s_{Ry} = s_{1y} + s_{2y} = 200\,\text{m} + 655\,\text{m} = 855\,\text{m}$$

4. Calcul de la norme de $\vec{s}_R$:

$$s_R = \sqrt{s_{Rx}^2 + s_{Ry}^2} = \sqrt{({}^{-}113\,\text{m})^2 + (855\,\text{m})^2} = 862\,\text{m}$$

5. Calcul de l'orientation de $\vec{s}_R$:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{s_{Ry}}{s_{Rx}}\right|\right) = \tan^{-1}\left(\left|\frac{855\,\text{m}}{{}^{-}113\,\text{m}}\right|\right) = 82,5°$$

Puisque s_{Rx} est négative et que s_{Ry} est positive :

$$\theta = 180° - \alpha = 180° - 82,5° = 97,5°$$

Le déplacement total est $\vec{s}_R$ = 862 m à 97,5°.

3.4 La soustraction des vecteurs et la notion de vecteur opposé

En arithmétique, soustraire un nombre équivaut à additionner son opposé. Par exemple : 8 – 5 = 8 + (-5). La situation est analogue quand on travaille avec les vecteurs : la soustraction d'un vecteur équivaut à l'addition d'un vecteur opposé. Ainsi :

$$\vec{V}_1 - \vec{V}_2 = \vec{V}_1 + (-\vec{V}_2)$$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Pour bien comprendre cette notion, il faut savoir ce que signifie « vecteur opposé ». Deux vecteurs sont opposés si leur orientation diffère de 180° (*voir la figure 13a*). Des vecteurs opposés ont des composantes de la même grandeur, mais de signe opposé (*voir la figure 13b*).

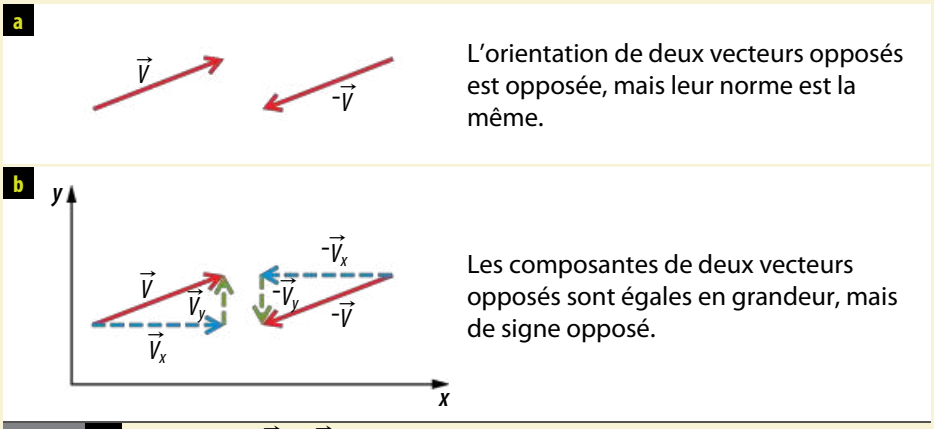


FIGURE 13 Les vecteurs $\vec{V}$ et $-\vec{V}$ sont opposés.

Comme pour l'addition vectorielle, il est possible de faire une soustraction vectorielle en utilisant une méthode graphique (*voir la figure 14*).

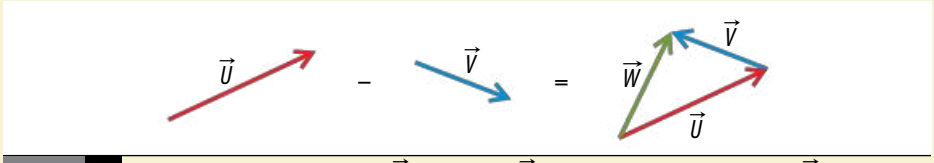
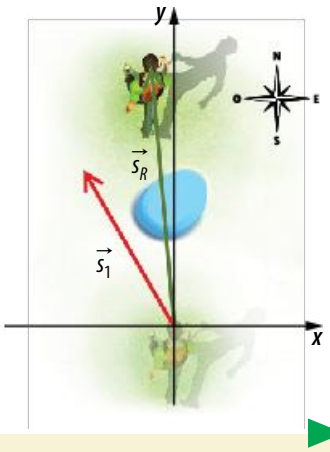


FIGURE 14 Pour soustraire le vecteur $\vec{V}$ du vecteur $\vec{U}$, il faut dessiner le vecteur $-\vec{V}$ à l'extrémité du vecteur $\vec{U}$. Le vecteur résultant $\vec{W}$ part de l'origine du vecteur $\vec{U}$ et se termine à l'extrémité du vecteur $-\vec{V}$.

La méthode des composantes est plus précise que la méthode graphique pour faire une soustraction vectorielle. Pour soustraire le vecteur $\vec{V}_2$ du vecteur $\vec{V}_1$, il faut trouver les composantes du vecteur opposé $-\vec{V}_2$ et les additionner à celles de $\vec{V}_1$. Cela revient à soustraire les composantes de $\vec{V}_2$ de celles de $\vec{V}_1$. L'exemple suivant illustre la soustraction vectorielle à l'aide de la méthode des composantes.

EXEMPLE

Lors d'une géocache, un participant doit se déplacer de 800 m à 95,0° par rapport à un axe de référence pour atteindre son but. Cependant, il ne peut effectuer ce déplacement en ligne droite, car un obstacle bloque son chemin. Il doit d'abord se déplacer de 550 m à 120,0°. Quel déplacement doit-il effectuer ensuite pour atteindre son but ?



Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

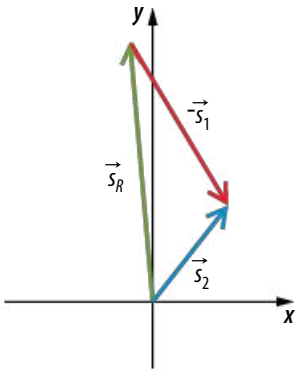
EXEMPLE (*suite*)

Données

$\vec{s}_R = 800\,\text{m à } 95{,}0°$

$\vec{s}_1 = 550\,\text{m à } 120{,}0°$

$\vec{s}_2 = ?$



Solution

1. Calcul des composantes de $\vec{s}_R$:

$s_{Rx} = s_R \cos\theta = 800\,\text{m} \times \cos 95{,}0° = {}^{-}69{,}7\,\text{m}$

$s_{Ry} = s_R \sin\theta = 800\,\text{m} \times \sin 95{,}0° = 797\,\text{m}$

2. Calcul des composantes de $\vec{s}_1$:

$s_{1x} = s_1 \cos\theta = 550\,\text{m} \times \cos 120{,}0° = {}^{-}275\,\text{m}$

$s_{1y} = s_1 \sin\theta = 500\,\text{m} \times \sin 120{,}0° = 476\,\text{m}$

3. Soustraction de $\vec{s}_1$ à $\vec{s}_R$:

$s_{2x} = s_{Rx} - s_{1x} = {}^{-}69{,}7\,\text{m} - ({}^{-}275\,\text{m}) = 205\,\text{m}$

$s_{2y} = s_{Ry} - s_{1y} = 797\,\text{m} - 476\,\text{m} = 321\,\text{m}$

4. Calcul de la norme de $\vec{s}_2$:

$s_2 = \sqrt{{s_{2x}}^2 + {s_{2y}}^2} = \sqrt{(205\,\text{m})^2 + (321\,\text{m})^2} = 381\,\text{m}$

5. Calcul de l'orientation de $\vec{s}_2$:

$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{s_{2y}}{s_{2x}}\right|\right) = \tan^{-1}\left(\left|\frac{321\,\text{m}}{205\,\text{m}}\right|\right) = 57{,}4°$

Puisque les deux composantes sont positives :

$\theta = \alpha = 57{,}4°$

Le déplacement total est $\vec{s}_2 = 381\,\text{m à } 57{,}4°$.

EXERCICES

SECTION 3

1. Dites si chacune des quantités suivantes est un scalaire ou un vecteur en cochant la case appropriée.

	Scalaire	Vecteur
La superficie d'un entrepôt.		
Le temps nécessaire à la cuisson d'un rôti.		
La force de frottement qui agit sur une caisse qu'on pousse sur le sol.		
La vitesse d'un camion sur l'autoroute.		
La taille d'un enfant.		
Le déplacement d'un insecte sur une nappe.		
Le volume d'une piscine.		

2. Est-il exact de dire que si la norme du vecteur $\vec{V}_1$ est de 3 m et que celle du vecteur $\vec{V}_2$ est de 4 m, alors la norme du vecteur $\vec{V}_R$ qui correspond à $\vec{V}_1 + \vec{V}_2$ sera nécessairement de 7 m ? Justifiez votre réponse.

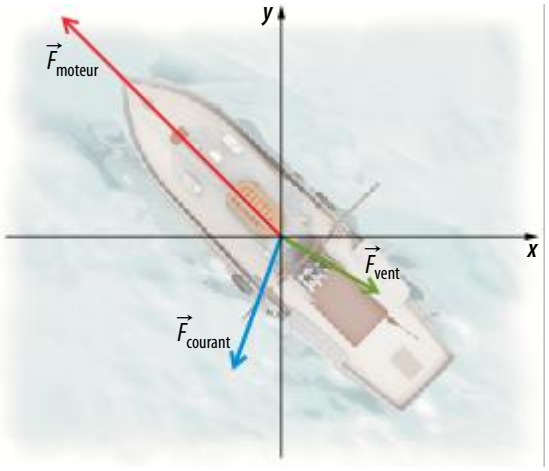
_____

_____

_____

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

3. Un bateau subit trois forces. La force exercée sur lui par son moteur ($\vec{F}_{moteur}$) mesure 7,50 kN et est orientée à 135°. La force exercée sur lui par le vent ($\vec{F}_{vent}$) mesure 2,00 kN et est orientée à 330°. La force exercée sur lui par le courant ($\vec{F}_{courant}$) mesure 2,50 kN et est orientée à 250°.



a) Utilisez la méthode graphique pour trouver les valeurs approximatives de la norme et de l'orientation du vecteur correspondant à la force résultante qui agit sur ce bateau. (Faites votre tracé de la façon la plus précise possible.)

Échelle : 1 cm = 1 kN

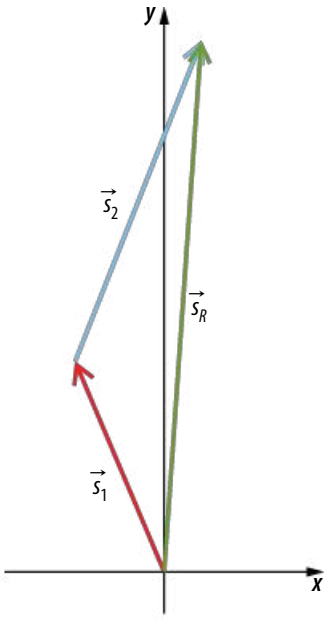
b) Utilisez maintenant la méthode des composantes pour trouver les valeurs exactes de la norme et l'orientation du vecteur correspondant à la force résultante qui agit sur ce bateau.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

4. Le déplacement d'un avion a une composante *x* de 850 m et une composante *y* de ⁻475 m. Quelles sont la norme et l'orientation du vecteur correspondant au déplacement de cet avion ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

5. À la patinoire, un hockeyeur se déplace de 15,0 m à 113,0° par rapport à un axe de référence, puis change de direction et patine un peu avant de prendre possession de la rondelle. Quand il prend possession de la rondelle, il est à 35,0 m de son point de départ, et à 86,0° par rapport à celui-ci. Quelles ont été la norme et l'orientation de son mouvement durant la deuxième phase de son déplacement ?



Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MODULE 1

La cinématique

SOMMAIRE

Chapitre 1 Le mouvement rectiligne uniforme 24
Chapitre 2 Le mouvement rectiligne uniformément accéléré... 45
Chapitre 3 Le mouvement des projectiles..... 75

CHAPITRE 1

LE MOUVEMENT RECTILIGNE UNIFORME

Ce premier chapitre porte sur le mouvement rectiligne uniforme. Dans la section 1, nous allons définir clairement les notions de déplacement (variation de position) et de distance parcourue, qui permettent une première description du mouvement.

Dans la section 2, nous verrons comment le mouvement d'un corps peut être décrit par un graphique de sa position en fonction du temps. L'interprétation de ce type de graphique nous permettra d'extraire des informations comme la vitesse, le déplacement et la distance parcourue.

Dans la section 3, la notion de vitesse sera revue afin de bien intégrer les aspects mathématiques en lien avec sa nature vectorielle.

Finalement, dans la section 4, nous étudierons la représentation graphique de la vitesse d'un corps en fonction du temps.

SOMMAIRE

Section 1 La position, le déplacement et la distance parcourue 25

Section 2 Le graphique de la position en fonction du temps 30

Section 3 La vitesse 33

Section 4 Le graphique de la vitesse en fonction du temps 37

LA POSITION, LE DÉPLACEMENT ET LA DISTANCE PARCOURUE

SECTION 1

1.1 La position

La **position** représente l'endroit où se situe un corps.

En physique, le mot « corps » peut désigner un objet macroscopique (ex. : une planète) comme un objet microscopique (ex. : un atome). De plus, dans le but de simplifier les situations et le traitement mathématique, les corps sont considérés comme des particules ponctuelles, c'est-à-dire des objets mathématiques sans dimension.

La position d'un corps est toujours indiquée par rapport à un système de référence, aussi appelé référentiel. Dans la vie quotidienne, nous faisons souvent appel à des systèmes de référence pour spécifier la position des objets. Par exemple, la position du stade olympique peut être donnée grâce au nom des rues ou aux coordonnées alphanumériques d'une carte de la ville de Montréal.

Le système de référence privilégié dans l'étude du mouvement est basé sur les données cartésiennes (*voir la figure 1.1*).

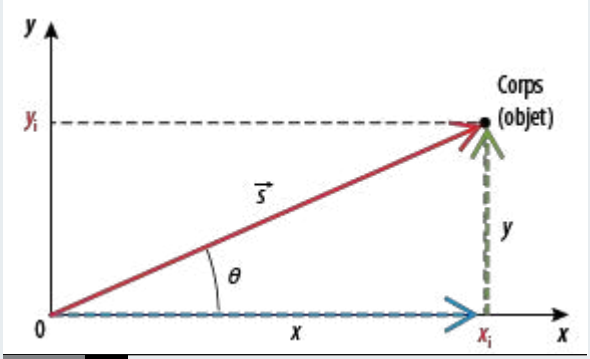


FIGURE 1.1 Dans un système de référence basé sur les coordonnées cartésiennes, la position d'un corps est représentée mathématiquement par un vecteur partant de l'origine et se dirigeant vers ce corps. Les composantes horizontale x et verticale y du vecteur position $\vec{s}$ représentent les coordonnées x_i et y_i du point occupé par le corps.

Pour décrire le mouvement **rectiligne**, on utilise un seul axe. Généralement, on utilise comme système de coordonnées un axe des x dont il faut choisir et spécifier l'orientation et l'origine. Dans ce contexte, la grandeur de la position d'un corps est déterminée par la distance entre l'origine et sa position. Le symbole de la position est alors tout simplement x. Si le corps est du côté des x positifs, la valeur de la position est positive, et s'il est du côté des x négatifs, la valeur de la position est négative.

Rectiligne
En ligne droite.

Les systèmes de référence, p. 6

Pour décrire un mouvement rectiligne, on doit d'abord situer l'origine de l'axe. On place habituellement l'origine là où le corps se trouvait initialement. On doit ensuite déterminer l'orientation de l'axe : généralement, on oriente l'axe dans le sens du mouvement initial (*voir la figure 1.2*).

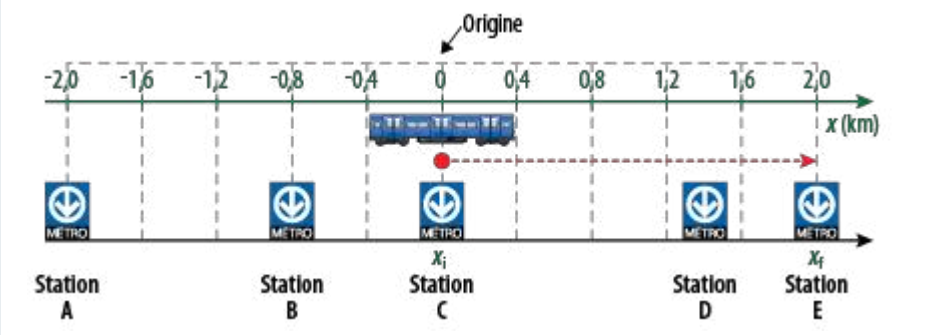


FIGURE 1.2 Un wagon de métro part de la station C et se rend à la station E. Pour indiquer sa position, on suppose que l'axe des x est orienté dans le sens du mouvement et que l'origine se situe à la station C. On dit alors que la position initiale du wagon est $x_i = 0$ km et que sa position finale est $x_f = 2{,}0$ km.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Faire coïncider l'origine de l'axe avec la position initiale du corps est un choix intéressant, mais il n'est pas obligatoire. La figure 1.3 illustre comment le choix d'une origine différente influe sur la description d'un même mouvement du wagon de métro.

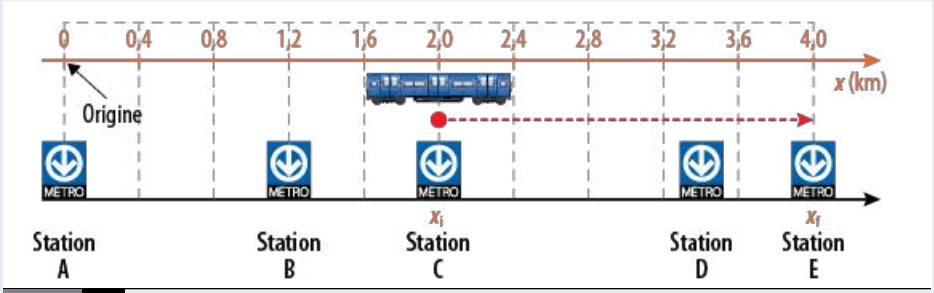


FIGURE 1.3 Avec la station A comme origine, on obtiendrait $x_i = 2{,}0$ km et $x_f = 4{,}0$ km.

1.2 Le déplacement

Symbole Δ
Le symbole Δ est la lettre grecque « delta » majuscule et indique la variation d'une grandeur en mathématique.

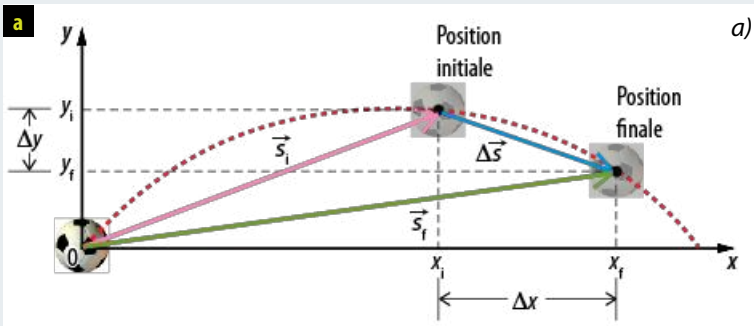
Les vecteurs, p. 11

Le **déplacement** correspond à la variation de position d'un corps et est représenté par le **symbole** $\Delta\vec{s}$.

Le déplacement, qui est égal à une variation de la position, est un vecteur. Dans le cas d'un mouvement rectiligne, le déplacement correspond à la variation de position selon l'axe des x (ou l'axe des y si le système de référence choisi est l'axe des ordonnées). Symbolisé par Δx (ou Δy), il correspond à la différence entre la position finale et la position initiale.

On explique comment on passe de la notation $\Delta\vec{s}$ à la notation Δx en considérant le mouvement rectiligne comme un cas particulier où le mouvement s'effectue selon un seul axe (*voir la figure 1.4*).

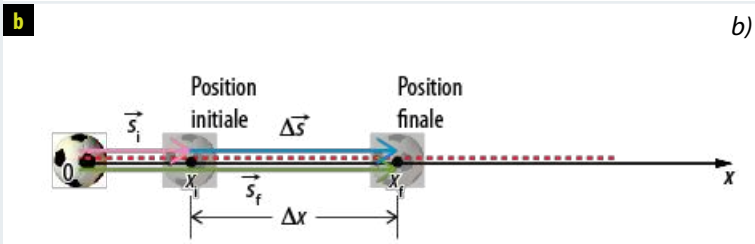
a



a) La figure ci-contre représente un mouvement selon les axes x et y.

- Les vecteurs $\vec{s}_i$ et $\vec{s}_f$ décrivent respectivement la position initiale et la position finale d'un corps.
- Le déplacement $\Delta\vec{s}$ correspond à la différence entre le vecteur position finale $\vec{s}_f$ et le vecteur position initiale $\vec{s}_i$: $\Delta\vec{s} = \vec{s}_f - \vec{s}_i$.
- Δy représente la composante en y du déplacement $\Delta\vec{s}$ et Δx, la composante en x.

b



b) La figure ci-contre représente un mouvement rectiligne.

- Les vecteurs $\vec{s}_i$ et $\vec{s}_f$ décrivent la position initiale et la position finale d'un corps.
- Comme le déplacement est rectiligne (dans une seule dimension), le déplacement en y est nul et le vecteur $\Delta\vec{s}$ correspond uniquement à Δx.
- Puisque les grandeurs Δx, x_i et x_f coïncident avec les composantes horizontales des vecteurs déplacement et position, les symboles Δx, x_i et x_f ne sont pas surmontés d'une flèche.

FIGURE 1.4 Passage de la notation $\Delta\vec{s}$ à la notation Δx dans le cas du mouvement rectiligne.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Le déplacement dans un mouvement rectiligne s'exprime de la façon suivante :

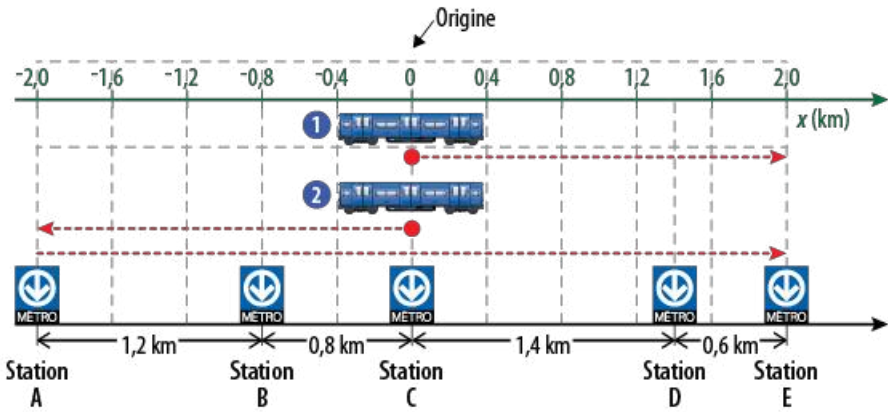
Le déplacement

$$\Delta x = x_f - x_i{}^*$$

où Δx = déplacement, exprimé en mètres (m)
x_f = position finale, exprimée en mètres (m)
x_i = position initiale, exprimée en mètres (m)

* (ou $\Delta y = y_f - y_i$, si le système de référence choisi est l'axe des y)

Comme le déplacement ne dépend que des positions initiale et finale, des mouvements très différents peuvent donner des déplacements identiques (*voir la figure 1.5*).



- Le wagon de métro 1 part de la station C et va jusqu'à la station E. On obtient un déplacement $\Delta x = x_f - x_i$ = 2,0 km – 0 km = 2,0 km orienté vers la droite.
- Le wagon 2 part de la station C pour aller à la station A, puis rebrousse chemin et se rend jusqu'à la station E. Cela donne aussi un déplacement $\Delta x = x_f - x_i$ = 2,0 km – 0 km = 2,0 km orienté vers la droite.

FIGURE 1.5 Même si le wagon 2 parcourt une plus grande distance que le wagon 1, leur déplacement est le même, car leur position initiale et leur position finale sont les mêmes.

1.3 La distance parcourue

- La **distance parcourue**, symbolisée par L, est la longueur de la trajectoire suivie, sans tenir compte du sens du mouvement.
- La **trajectoire** correspond à l'ensemble des points qu'a occupés un corps tout au long de son mouvement.

Les vecteurs, p. 11

Alors qu'un déplacement peut avoir une valeur négative, la distance parcourue a toujours une valeur positive, car il s'agit d'une longueur (*voir la figure 1.6*). Étant donné qu'elle n'est pas influencée par le sens du mouvement, la distance parcourue n'est pas une grandeur vectorielle, mais une grandeur scalaire.

Dans le cas du mouvement rectiligne, la distance parcourue est égale à la somme des valeurs absolues de chacun des déplacements (ou la somme des normes des vecteurs déplacement). Il en résulte que la distance parcourue L est toujours plus grande ou égale au déplacement Δx.

FIGURE 1.6 Pour bien saisir le concept de distance parcourue, on n'a qu'à penser à l'odomètre d'une voiture, qui mesure la distance que la voiture parcourt, peu importe le sens emprunté par cette dernière : la valeur affichée par un odomètre ne fait qu'augmenter.

La distance parcourue

$$L = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \ldots + |\Delta x_n|$$

où L = distance parcourue, exprimée en mètres (m)
$|\Delta x_1|, |\Delta x_2| \ldots |\Delta x_n|$ = valeur absolue des déplacements, exprimée en mètres (m)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

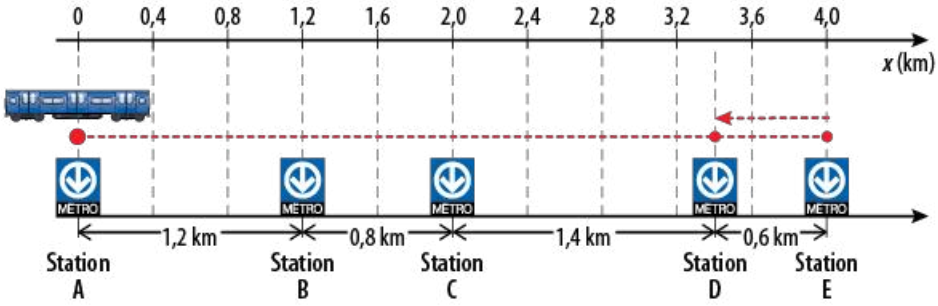
L'exemple suivant permet de visualiser la différence entre le déplacement et la distance parcourue.

EXEMPLE

Un wagon de métro effectue le trajet suivant : A → D → E → D (*voir la figure ci-dessous*).

a) Quel est son déplacement ?

b) Quelle est la distance parcourue ?



Données

Si on situe l'origine à la station A et que le sens positif est orienté vers la station D, on a :

$x_i = 0$ km

$x_f = 3{,}4$ km

$\Delta x = ?$

$L = ?$

Solution

a) $\Delta x = x_f - x_i = 3{,}4 \text{ km} - 0 \text{ km} = 3{,}4 \text{ km}$

Le déplacement est de 3,4 km.

b) La distance parcourue (L) s'obtient en additionnant les valeurs absolues des divers déplacements. On peut séparer ce mouvement en deux sections :

- vers la droite de A à E : $\Delta x = x_f - x_i = 4{,}0 \text{ km} - 0{,}0 \text{ km} = 4{,}0 \text{ km}$;
- puis vers la gauche de E à D : $\Delta x = x_f - x_i = 3{,}4 \text{ km} - 4{,}0 \text{ km} = {}^{-}0{,}6 \text{ km}$.

$L = |\Delta x_{A \text{ à } E}| + |\Delta x_{E \text{ à } D}| = |4{,}0 \text{ km}| + |{}^{-}0{,}6 \text{ km}| = 4{,}0 \text{ km} + 0{,}6 \text{ km} = 4{,}6 \text{ km}$

La distance parcourue est de 4,6 km.

SECTION 1 EXERCICES

1. Dites si chaque énoncé est vrai ou faux. Dans chaque cas, justifiez votre réponse.

a) Joannie affirme que l'aller-retour de chez elle à son école, située à 750 m de sa maison, correspond à un déplacement de 1,5 km.

b) Il est possible que la distance parcourue par un corps en mouvement soit plus grande que son déplacement.

c) La trajectoire d'un corps est représentée par le vecteur déplacement.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2. Qui suis-je ?

a) Je suis l'ensemble des points où un corps s'est trouvé au cours d'un mouvement. _____

b) Je suis la grandeur physique que peut mesurer l'odomètre d'une voiture. _____

c) Je peux être déterminé en soustrayant la position de départ de la position d'arrivée. _____

d) Je suis une quantité scalaire qui donne la longueur de la trajectoire d'un corps. _____

e) Je suis l'endroit où se situe un corps dans l'espace. _____

3. Les situations suivantes décrivent un mouvement rectiligne. Dans chacune, calculez la grandeur du déplacement et la distance parcourue.

a) Pierre part de chez lui, se rend à la bibliothèque qui est située à 1,2 km, va ensuite faire des achats au supermarché qui est 200 m plus loin, puis il revient chez lui.

b) Maryse part de chez elle et va à l'école située à 1,8 km au nord de chez elle, puis elle refait le chemin en sens inverse et se rend faire ses devoirs chez une amie qui habite à 0,7 km au sud de sa maison.

c) Un train part de la station X pour se rendre à la station Y située à 15 km, puis roule 34 km de plus jusqu'à la station Z.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

SECTION 2

LE GRAPHIQUE DE LA POSITION EN FONCTION DU TEMPS

Un **mouvement rectiligne uniforme (MRU)** est un mouvement en ligne droite se produisant à vitesse constante. Ainsi, pour des intervalles de temps égaux, les distances parcourues sont égales.

Pour décrire le mouvement d'un corps, on doit connaître les différentes positions de ce corps à différents moments. Il suffit de découper le mouvement en intervalles de temps appropriés (*voir la figure 1.7*).

FIGURE 1.7 Pour décrire le mouvement d'une automobile d'une ville à une autre, l'heure est un intervalle de temps adéquat et généralement utilisé. Le millionième de seconde serait un intervalle de temps inapproprié, car il fournit trop d'informations superflues. Un intervalle trop grand, comme l'année, se révélerait tout aussi inadéquat, car la durée du mouvement est inférieure à cet intervalle de temps.

On peut représenter le mouvement d'un corps à l'aide d'un tableau des valeurs de la position du corps à différents temps donnés ou, plus visuellement, par un graphique de la position en fonction du temps (*voir la figure 1.8*).

a

Les valeurs de temps et de position d'un enfant

Temps t (s)	Position x (m)
0	0
50	37,5
100	75,0
150	112,5

b

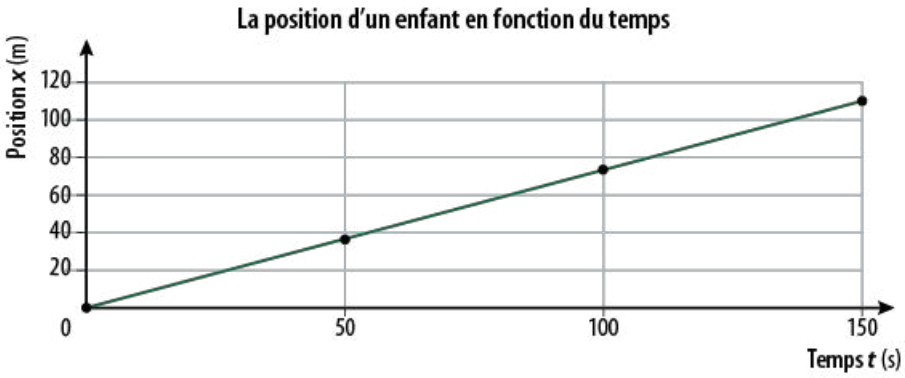


FIGURE 1.8 Le mouvement d'un enfant marchant à vitesse constante et dans le même sens. Le graphique représente un mouvement rectiligne uniforme, car il est constitué d'une seule droite : tout le mouvement se fait à la même vitesse et dans le même sens.

Pour représenter une suite de mouvements rectilignes uniformes différents, le graphique de la position en fonction du temps sera constitué de plusieurs segments de droites. L'exemple suivant permet de comprendre cette situation.

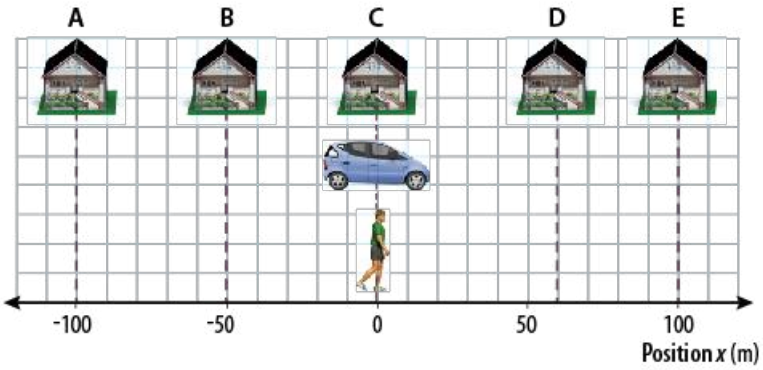
Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE

Un camelot se déplace pour livrer le journal (*voir la figure ci-dessous*). Après avoir stationné sa voiture devant la maison C, il marche à vitesse constante jusqu'à la maison D en 70 s, puis encore à vitesse constante jusqu'à la maison E en 60 s, et revient en joggant à vitesse constante à sa voiture en 35 s. Après s'être arrêté 20 s à sa voiture pour prendre un journal, le camelot met 120 s pour atteindre à vitesse constante la maison A, avant de revenir à vitesse constante à sa voiture en 90 s.

a) Construire un tableau de la position en fonction du temps qui décrit le mouvement du camelot. Pour ce faire, on situe l'origine à la maison C et on oriente le sens positif vers la maison D.

b) Tracer un graphique de la position en fonction du temps à l'aide des couples temps-position de votre tableau.



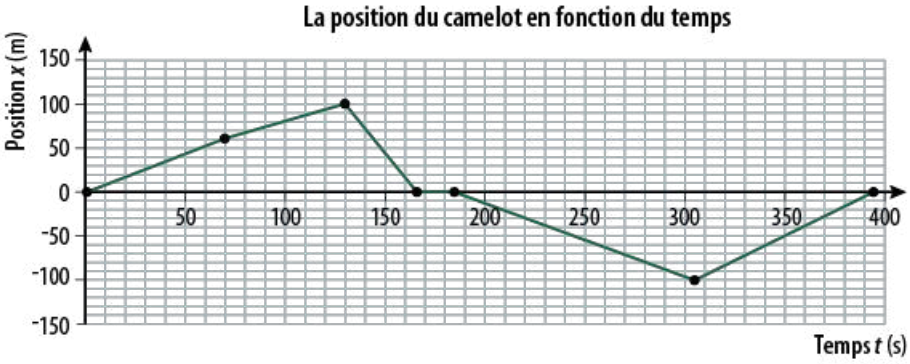
Solution

a)

Les valeurs de temps et de position du camelot

Temps *t* (s)	Position *x* (m)
0	0
70	60
130	100
165	0
185	0
305	-100
395	0

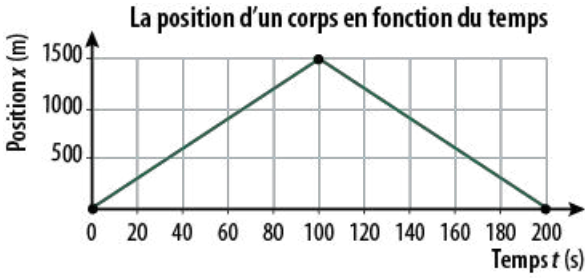
b)



La trajectoire du camelot est une succession de six mouvements rectilignes uniformes distincts. Ces mouvements sont caractérisés par des vitesses et des sens différents.

SECTION 2 EXERCICES

1. Entourez l'énoncé qui correspond au graphique ci-dessous.



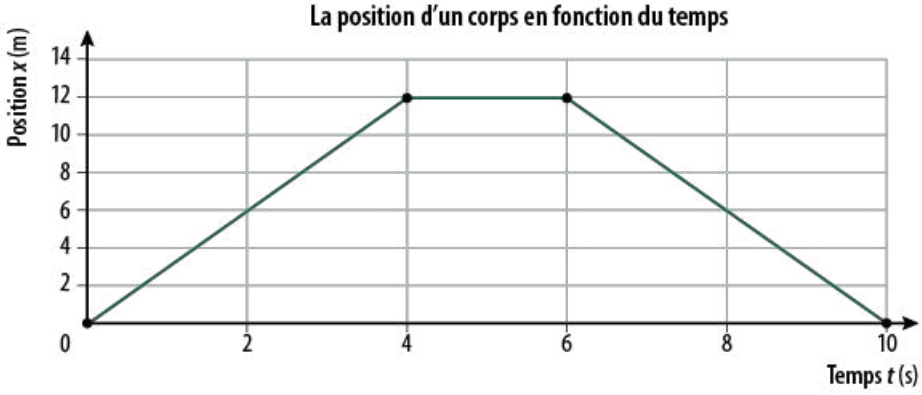
A. Un cycliste fait 1000 m à vitesse constante, puis revient chez lui, toujours à la même vitesse.

B. Joelle doit parcourir 3 km pour effectuer l'aller-retour entre son lieu de travail et sa maison.

C. Un piéton va lire environ une demi-heure au parc, situé à 1 km de chez lui, avant de retourner chez lui.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2. Le graphique suivant décrit la position d'un corps en fonction du temps.



a) Quel est le déplacement de ce corps ?

b) Quelle distance totale ce corps a-t-il parcourue ?

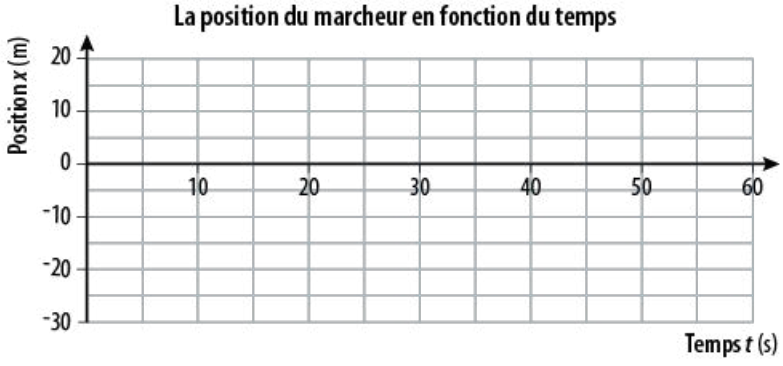
c) Que se passe-t-il entre $t = 4$ s et $t = 6$ s ?

3. Un adepte de la marche rapide placé à 30 m d'une intersection prend 30 secondes pour se rapprocher à vitesse constante de l'intersection et la dépasser de 15 m. Il revient ensuite à vitesse constante sur ses pas jusqu'à l'intersection en 20 s et s'immobilise.

Remplissez le tableau, puis tracez le graphique de la position du marcheur en fonction du temps, en choisissant l'intersection comme origine du système de référence.

Les valeurs de temps et de position du marcheur

Temps *t* (s)	Position *x* (m)



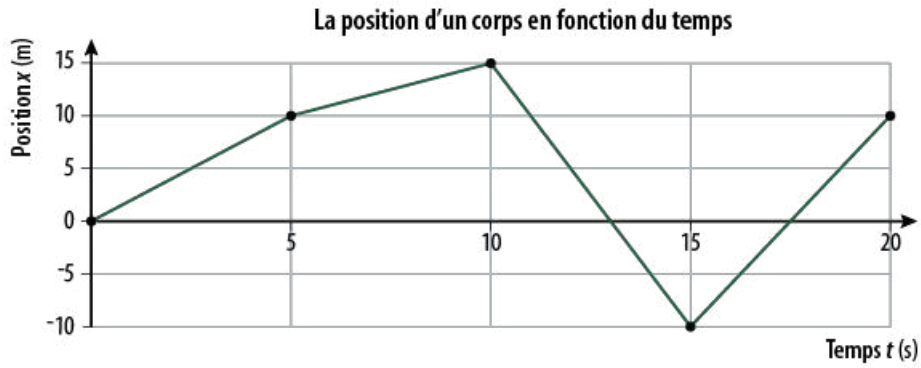
Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

4. Dans un graphique de la position en fonction du temps, que signifie une position négative ?

_____

_____

5. Selon vous, dans le graphique de la position en fonction du temps suivant, durant quel intervalle de temps le corps se déplace-t-il plus rapidement ? Expliquez votre raisonnement en quelques mots.



_____

_____

LA VITESSE

SECTION 3

RAPPEL LA RELATION ENTRE LA VITESSE CONSTANTE, LA DISTANCE ET LE TEMPS

En 4e secondaire, vous avez vu que la relation entre la vitesse constante (v), la distance parcourue (d) et l'intervalle de temps (Δt) s'exprime par l'équation suivante :

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

Lorsque la vitesse d'un corps n'est pas constante, on peut utiliser la vitesse moyenne (v_{moy}). Cette dernière se calcule de la même façon que la vitesse constante et se traduit par l'équation suivante :

$$v_{moy} = \frac{d}{\Delta t}$$

Les unités de mesure d'une vitesse sont donc formées d'unités de longueur divisées par des unités de temps. L'unité de vitesse la plus couramment utilisée dans la vie de tous les jours est le kilomètre par heure (km/h). En physique, le mètre par seconde (m/s) est très utilisé : il s'agit d'ailleurs de l'unité SI de la vitesse. Cependant, selon la situation et le mouvement à décrire, rien n'empêche de choisir une autre unité de vitesse, dans la mesure où elle est composée d'unités de longueur divisées par des unités de temps. Par exemple, dans une étude sur les répercussions des changements climatiques, le rythme de l'élévation du niveau des océans pourrait être exprimé en centimètres par an (cm/an).

La vitesse permet de décrire le mouvement d'un corps, c'est-à-dire la variation de sa position.

La **vitesse** est le rythme auquel une variation de position se produit. La vitesse (v) d'un corps est égale à la variation de position Δx de ce corps durant un intervalle de temps Δt.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

L'équation de la vitesse établit la relation générale suivante entre deux valeurs temps-position (t_i, x_i) et (t_f, x_f) :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

où t_i = temps initial, exprimé en secondes (s)
t_f = temps final, exprimé en secondes (s)
x_i = position initiale, exprimée en mètres (m)
x_f = position finale, exprimée en mètres (m)

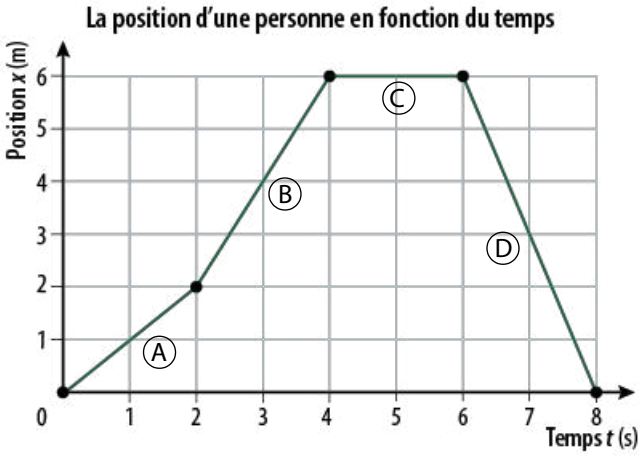
Cette équation a une similarité importante avec la formule qui permet de calculer la pente m d'un segment de droite dans le plan cartésien entre les points (x_1, y_1) et (x_2, y_2) :

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Comme le taux $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ correspond à la définition de la vitesse v, on peut déduire que la pente d'une droite ou d'un segment de droite reliant les points (t_i, x_i) et (t_f, x_f) dans un graphique de la position d'un corps en fonction du temps représente la vitesse de ce corps.

$$\text{Pente} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = v$$

Le déplacement étant une grandeur vectorielle, la vitesse est donc également vectorielle et orientée dans le même sens. Ainsi, en une dimension, la vitesse v aura une valeur positive quand un corps se déplace dans le sens des x positifs, et une valeur négative quand il va dans le sens inverse (*voir la figure 1.9*).



A. Une pente (ou vitesse) positive indique que la personne se déplace dans le sens des x positifs.
B. Entre t = 2 s et t = 4 s, la valeur de la pente est plus élevée que dans les deux premières secondes : la vitesse de la personne est donc plus grande.
C. Une pente nulle indique une vitesse nulle.
D. Une pente (ou vitesse) négative indique que la personne se déplace dans le sens des x négatifs, donc dans le sens inverse par rapport aux 4 premières secondes.

FIGURE 1.9 Ce graphique de la position en fonction du temps présente quatre mouvements rectilignes uniformes successifs, chacun étant représenté par un segment de droite. Au terme de la 8e seconde, la personne est revenue à sa position initiale.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

1. Une personne parcourt à vitesse constante les 450 m qui séparent deux coins de rue en 180 s. Quelle est sa vitesse ?

2. Un bateau se déplace à une vitesse constante sur un lac tranquille. Il met exactement 5 minutes pour aller en ligne droite d'une bouée à une autre. Il y a 3,0 km entre les bouées. Quelle est la vitesse du bateau en km/h ?

3. Le tableau ci-contre indique les positions (*x*) en fonction du temps (*t*) d'une voiture qui roule sur une route parfaitement droite.

Les valeurs de temps et de position d'une voiture

x (m)	0	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200
t (s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160

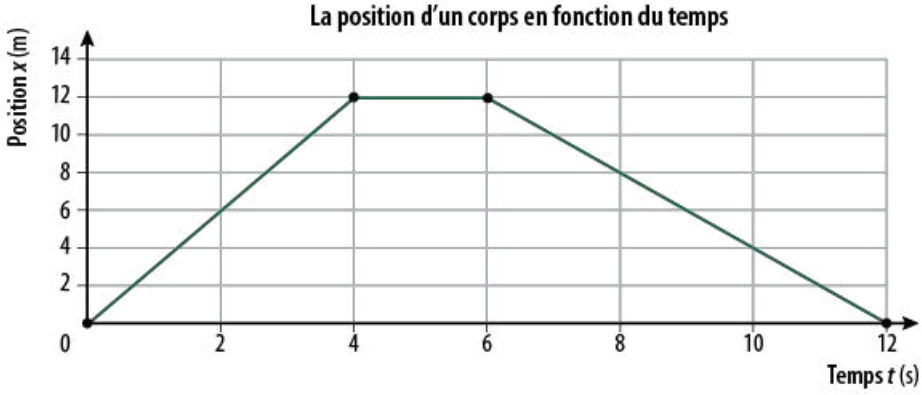
a) S'agit-il d'un mouvement rectiligne uniforme ? Justifiez votre réponse.

b) Quelle est la vitesse de la voiture en m/s ?

4. Vous roulez sur une autoroute à vitesse constante. Les numéros de sortie correspondant à leur position en kilomètres par rapport au début de l'autoroute, quelle est votre vitesse en km/h si vous chronométrez exactement 20 minutes entre la sortie 107 et la sortie 137 ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

5. Le graphique suivant représente la position d'un corps en fonction du temps.



a) Quelle est la vitesse du corps entre $t = 0$ s et $t = 4$ s ?

b) Quelle est la vitesse du corps entre $t = 6$ s et $t = 12$ s ?

c) Expliquez pourquoi les réponses que vous avez trouvées en *a)* et en *b)* n'ont pas le même signe.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

d) Quelle est la vitesse du corps entre $t = 4$ s et $t = 6$ s.

LE GRAPHIQUE DE LA VITESSE EN FONCTION DU TEMPS

SECTION 4

On a vu dans les sections précédentes qu'il est possible de représenter le mouvement d'un corps à l'aide d'un graphique de sa position en fonction du temps. Le mouvement d'un corps peut aussi être représenté à l'aide d'un graphique de la vitesse en fonction du temps (*voir la figure 1.10*).

Un graphique de la vitesse d'un corps en fonction du temps permet de déterminer le déplacement du corps pour un intervalle de temps donné. En effet, en reprenant l'équation de la vitesse, on peut obtenir, en isolant Δx :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \rightarrow \quad \Delta x = v \times \Delta t = v \times (t_f - t_i)$$

La variation de position est égale au produit de la vitesse et d'un intervalle de temps. Dans un graphique de la vitesse en fonction du temps, cette relation correspond à l'aire de la surface sous la courbe, entre les temps t_i et t_f (*voir la figure 1.11*).

Lorsqu'on calcule l'aire de la surface sous la courbe, on obtient une valeur associée à des unités de longueur. En effet, la formule pour calculer l'aire du rectangle est $A = bh$. Comme les unités de mesure de la base b (axe des x) sont des secondes (s) et que celles de la hauteur h (axe des y) sont des mètres par seconde (m/s), alors :

$$A = bh \quad \rightarrow \quad \Delta x = \text{temps}(\cancel{s}) \times \text{vitesse}\left(\frac{\text{m}}{\cancel{s}}\right) = \text{distance (m)}$$

On obtient bien des unités de longueur, soit des mètres, dans ce cas. On peut donc en déduire que l'aire sous la courbe correspond au déplacement.

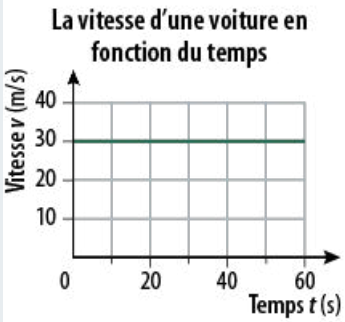


FIGURE 1.10 Dans le cas d'un mouvement rectiligne uniforme, comme la vitesse est constante, le graphique est une droite horizontale.

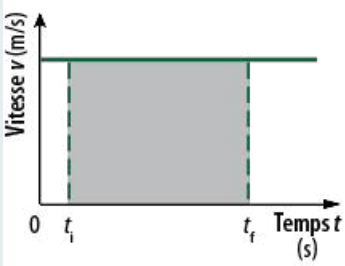


FIGURE 1.11 La droite étant horizontale, la surface sous la courbe, entre les temps t_i et t_f, forme un rectangle. L'aire de ce rectangle est égale à sa base $(t_f - t_i)$ multipliée par sa hauteur (v).

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE

Le graphique de la figure 1.10 (*voir la page précédente*) décrit le mouvement d'une voiture. Si on situe la position initiale de la voiture à 100 m, quelle est sa position à $t = 30$ s ?

Données

$t_i = 0$ s $\quad t_f = 30$ s $\quad v = 30$ m/s $\quad x_i = 100$ m $\quad x_f = ?$

Solution

Le déplacement de la voiture entre 0 s et 10 s vaut :

$\Delta x = v \times \Delta t = v \times (t_f - t_i) = 30 \text{ m/s} \times (30 \text{ s} - 0 \text{ s}) = 30 \text{ m/}\cancel{\text{s}} \times 30\ \cancel{\text{s}} = 900 \text{ m}$

Puisque $\Delta x = x_f - x_i$, alors la position de la voiture à $t = 30$ s vaut :

$x_f = x_i + \Delta x = 100 \text{ m} + 900 \text{ m} = 1000 \text{ m}$

À $t = 30$ s, la voiture se trouve à 1000 m.

Lorsqu'il y a plusieurs mouvements rectilignes uniformes successifs, comme dans le graphique de la figure 1.9 (*voir la page 34*), le graphique de la vitesse en fonction du temps correspondant ressemble à la représentation d'une fonction par paliers, formée uniquement par des segments de droites horizontaux (*voir la figure 1.12*).

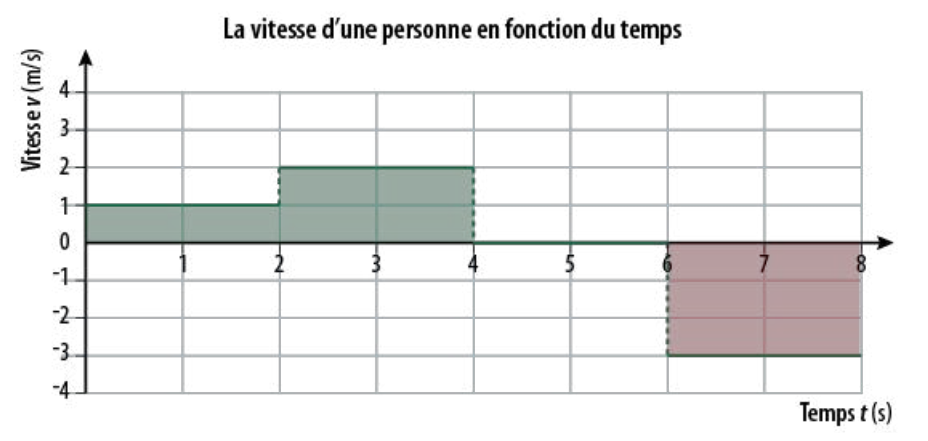


FIGURE 1.12 Ce graphique met en évidence l'aspect vectoriel du déplacement. Le calcul des aires au-dessus de l'axe des x donne un déplacement positif (entre $t = 0$ s et $t = 4$ s), alors que l'aire du rectangle situé sous le même axe représente un déplacement dans le sens contraire (entre $t = 6$ s et $t = 8$ s).

L'aire de la surface sous la courbe d'un segment de mouvement rectiligne uniforme indique le déplacement effectué durant ce segment. Pour connaître la distance parcourue par le corps pour l'ensemble des segments représentés, s'il y en a plus d'un, on doit additionner les valeurs absolues des déplacements. L'exemple suivant permet de mieux comprendre.

EXEMPLE

Un père va chercher à pied sa fille au service de garde de son école. Sa trajectoire est représentée par un graphique de la vitesse en fonction du temps (*voir la page suivante*). On situe la position initiale du père à 0 km.

a) Quelle est la position du père à $t = 600$ s ?

b) Quelle est la position du père à $t = 900$ s ?

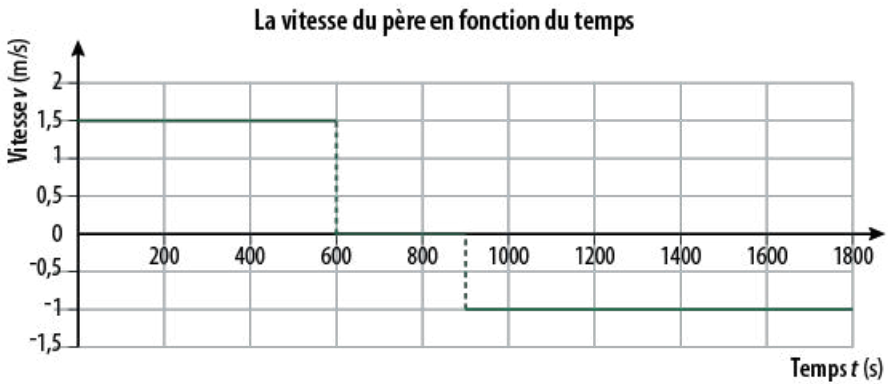
c) Quelle est la position du père à $t = 1800$ s ?

d) Quelle est la distance totale parcourue par le père ?

e) Quel est le déplacement total du père ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE (*suite*)



Solution

a) Aire de la surface sous la courbe de $t = 0$ s à $t = 600$ s :

$$\Delta x_{0 \text{ à } 600 \text{ s}} = v \times \Delta t = 1{,}5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times (600 \text{ s} - 0 \text{ s}) = 900 \frac{\text{m} \times \cancel{\text{s}}}{\cancel{\text{s}}} = 900 \text{ m}$$

$$x_f = x_i + \Delta x = 0 \text{ m} + 900 \text{ m} = 900 \text{ m}$$

b) Aire de la surface sous la courbe de $t = 0$ s à $t = 900$ s :

On a déjà calculé en *a)* l'aire de la surface sous la courbe de $t = 0$ s à $t = 600$ s. Il faut donc calculer l'aire de la surface sous la courbe de $t = 600$ s à $t = 900$ s.

$$\Delta x_{600 \text{ à } 900 \text{ s}} = v \times \Delta t = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times (900 \text{ s} - 600 \text{ s}) = 0 \text{ m}$$

La position du père est alors la somme des aires calculées, soit :

$$x_f = 900 \text{ m} + 0 \text{ m} = 900 \text{ m}$$

c) Aire de la surface sous la courbe de $t = 0$ s à $t = 1800$ s :

On a déjà calculé en *b)* l'aire de la surface sous la courbe de $t = 0$ s à $t = 900$ s. Il faut donc calculer l'aire de la surface sous la courbe de $t = 900$ s à $t = 1800$ s.

$$\Delta x_{900 \text{ à } 1800 \text{ s}} = v \times \Delta t = {}^{-}1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times (1800 \text{ s} - 900 \text{ s}) = {}^{-}900 \frac{\text{m} \times \cancel{\text{s}}}{\cancel{\text{s}}} = {}^{-}900 \text{ m}$$

La position du père est alors la somme des aires calculées, soit :

$$x_f = 900 \text{ m} + 0 \text{ m} + {}^{-}900 \text{ m} = 0 \text{ m}$$

d) La distance totale parcourue :

$$L = |\Delta x_{0 \text{ à } 600 \text{ s}}| + |\Delta x_{600 \text{ à } 900 \text{ s}}| + |\Delta x_{900 \text{ à } 1800 \text{ s}}|$$

$$= |900 \text{ m}| + |0 \text{ m}| + |{}^{-}900 \text{ m}| = 1800 \text{ m}$$

e) Le déplacement total :

$$\Delta x = x_f - x_i = 0 \text{ m} - 0 \text{ m} = 0 \text{ m}$$

En résumé, un graphique de la vitesse en fonction du temps permet de déterminer le déplacement, pour un intervalle de temps donné, d'un corps qui suit un mouvement rectiligne uniforme. De manière générale, le déplacement $\Delta x = v \times \Delta t = v \times (t_f - t_i)$ correspond à l'aire de la surface sous la courbe, entre les temps t_i et t_f. Il faut toutefois s'assurer que les unités de vitesse utilisées correspondent bien aux unités de temps choisies. Par exemple, si un graphique présente la vitesse en kilomètres par heure et le temps en minutes, on doit transformer les unités de mesure adéquatement avant de calculer l'aire de la surface sous la courbe pour déterminer le déplacement.

À QUOI ÇA SERT ?

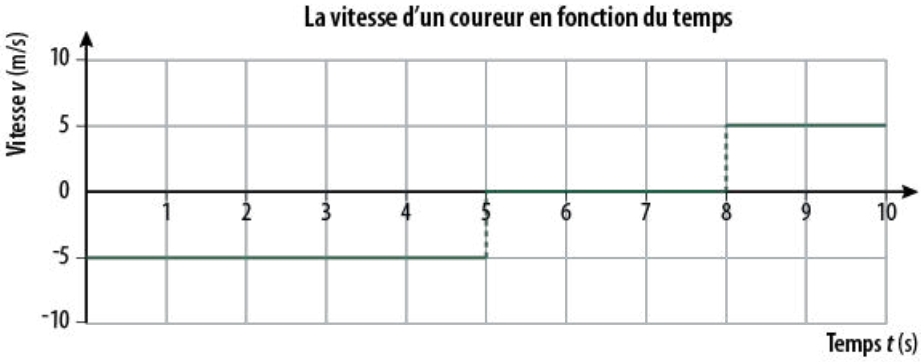
LES APPAREILS D'EXERCICE

La relation mathématique qui lie la distance, la vitesse et le temps ainsi que la représentation graphique de la vitesse en fonction du temps sont présentes dans différents domaines de la vie quotidienne. Par exemple, certains appareils d'exercice comme les tapis roulants et les vélos stationnaires (*voir la figure 1.13*) sont munis d'un écran sur lequel on peut voir des graphiques. C'est par l'intermédiaire des équations du mouvement que peuvent être déterminées la distance parcourue selon la durée de l'exercice ainsi que la vitesse moyenne. D'autres paramètres peuvent aussi être calculés, comme le nombre de calories brûlées, le nombre de battements cardiaques par minute, etc. La valeur de chacune de ces variables est obtenue par la programmation de formules mathématiques dans l'ordinateur de l'appareil.

FIGURE 1.13 Les variables calculées par l'ordinateur du vélo stationnaire permettent à l'utilisateur de suivre sa performance.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

1. Le graphique suivant représente la vitesse d'un coureur en fonction du temps.



a) Quelle est la position du coureur à $t = 5$ s (on suppose que la position initiale est fixée à 0 m) ?

b) Quelle est la position du coureur à $t = 8$ s ?

c) Quelle est la position finale du coureur ?

d) Quelle est la distance totale parcourue par le coureur ?

e) Quel est le déplacement total du coureur ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2. Le tableau suivant présente des données relatives au déplacement d'un piston qui effectue un mouvement rectiligne.

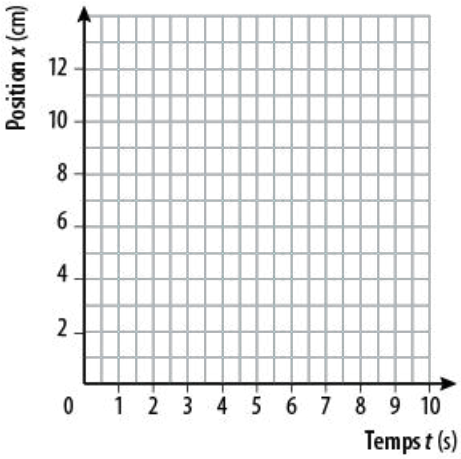
a) Tracez un graphique de la position du piston en fonction du temps.

b) Tracez un graphique de la vitesse du piston en fonction du temps. Laissez des traces de vos calculs.

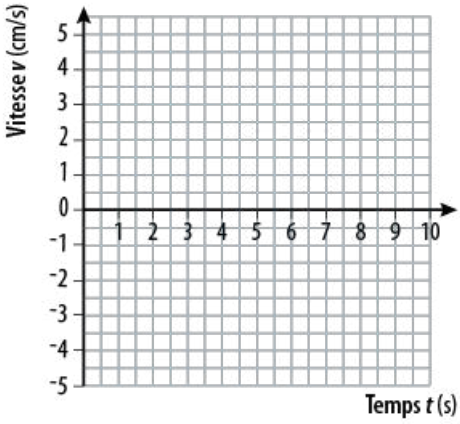
Les valeurs de temps et de position du piston

Temps t (s)	Position x (cm)
0	0
2,0	5,0
4,0	10,0
6,0	10,0
8,0	2,0
10,0	12,0

La position du piston en fonction du temps



La vitesse du piston en fonction du temps

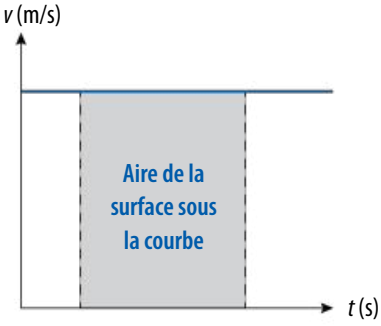


Calculs

3. Associez les notions suivantes à leurs représentations graphique et mathématique.

Vitesse : _____ Déplacement : _____

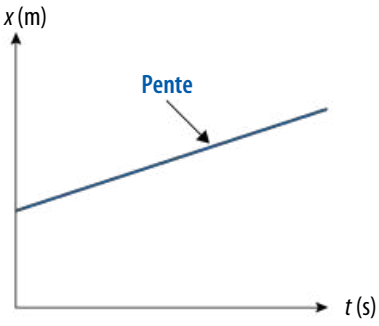
REPRÉSENTATIONS



A

$x_f - x_i$

B



C

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

CHAPITRE 1 SYNTHÈSE

LE MOUVEMENT RECTILIGNE UNIFORME

La position, le déplacement et la distance parcourue

- La **position** représente l'endroit où se situe un corps.
  - La position est toujours indiquée par rapport à un système de référence, aussi appelé référentiel.
  - Pour étudier le mouvement rectiligne, on utilise un seul axe, habituellement l'axe des x. On choisit ensuite l'origine de l'axe : on la situe souvent à la position initiale du corps. Enfin, on doit choisir l'orientation de l'axe : généralement, on oriente l'axe dans le sens du mouvement initial. Dans ce contexte, la grandeur de la position d'un corps est déterminée par la distance entre l'origine et la position du corps, et le symbole de la position est tout simplement x (ou y si l'axe choisi est l'axe des y).
- Le **déplacement** correspond à la variation de la position d'un corps.
  - Le déplacement est égal à une variation de la position.
  - Dans un mouvement rectiligne, le déplacement est symbolisé par Δx, qui représente la variation de position selon l'axe des x. Il correspond à la position finale x_f moins la position initiale x_i :

$$\Delta x = x_f - x_i$$

  - Un signe positif indique que le déplacement est orienté vers les x positifs, tandis qu'un signe négatif indique que le déplacement est orienté vers les x négatifs.
  - Comme le déplacement ne dépend que des positions initiale et finale, des mouvements très différents peuvent correspondre à des déplacements identiques.
- La **distance parcourue**, symbolisée par L, est la longueur de la trajectoire suivie, sans tenir compte du sens du mouvement.
  - La distance parcourue est toujours positive, car il s'agit d'une longueur.
  - La distance parcourue est une grandeur scalaire, c'est-à-dire non orientée, donc non vectorielle.
  - La distance parcourue est égale à la somme des valeurs absolues de chacun des déplacements effectués :

$$L = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \ldots + |\Delta x_n|$$

  - La distance parcourue est toujours supérieure ou égale au déplacement : $L \geq \Delta x$.
- La **trajectoire** correspond à l'ensemble des points qu'a occupés un corps tout au long de son mouvement.

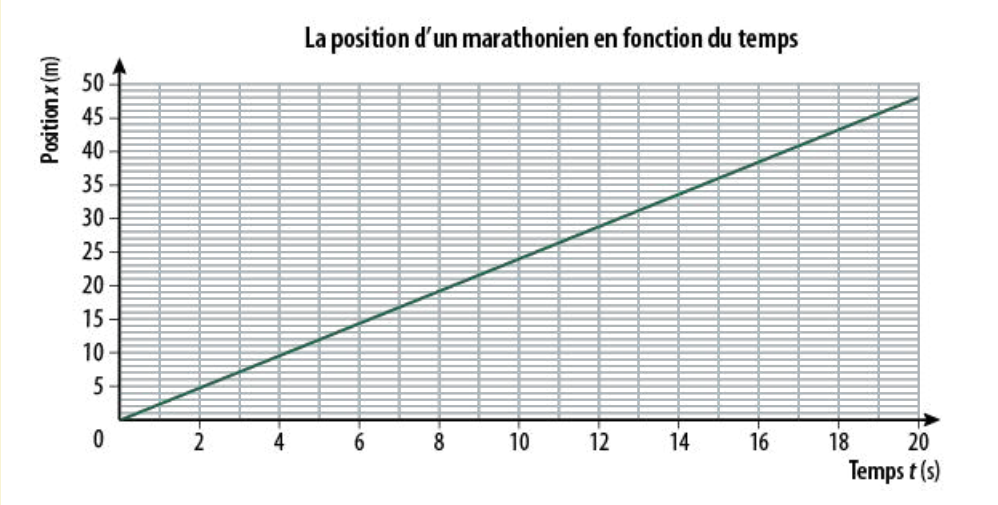
Les graphiques de la position en fonction du temps et de la vitesse en fonction du temps

- La **vitesse** est le rythme auquel une variation de position se produit.
- Un **mouvement rectiligne uniforme (MRU)** est un mouvement en ligne droite se produisant à vitesse constante. Ainsi, pour des intervalles de temps égaux, les distances parcourues sont égales.
- Le MRU d'un corps peut être représenté par un graphique de la position en fonction du temps.
  - Ce graphique comporte une seule droite, car tout le mouvement se fait à la même vitesse et dans le même sens.
  - La pente de la droite donne la vitesse du corps.
  - S'il y a plusieurs segments de droites, il s'agit alors de plusieurs MRU successifs.
- Le MRU d'un corps peut aussi être représenté par un graphique de la vitesse en fonction du temps.
  - Ce graphique est formé d'une seule droite horizontale, car tout le mouvement se fait à la même vitesse et dans le même sens.
  - S'il y a plusieurs segments de droites horizontaux, il s'agit alors de plusieurs MRU successifs.
  - L'aire de la surface sous la courbe entre deux moments t_1 et t_2 donne le déplacement du corps durant cet intervalle de temps.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXERCICES

1 Le graphique de la position en fonction du temps ci-dessous illustre le départ d'un marathonien.



a) Quel est le déplacement du marathonien entre $t = 0$ s et $t = 15$ s ?

b) Quelle est la vitesse de ce marathonien ?

2 Dans un graphique de la vitesse en fonction du temps, un mouvement rectiligne uniforme est décrit par :

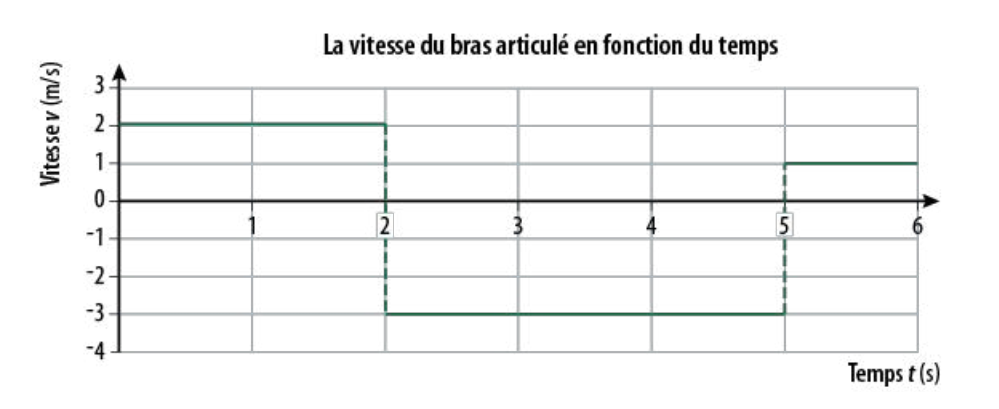
A) une droite de pente nulle ;

B) une droite oblique avec une pente positive ;

C) une droite oblique avec une pente négative.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

3 Le mouvement d'un bras articulé dans une chaîne de montage est représenté par le graphique de la vitesse en fonction du temps suivant.



a) Quelle est la vitesse du bras à $t = 3$ s ? _____

b) Quelle est la position finale du bras ?

c) Quelle est la distance parcourue par le bras durant la totalité du mouvement décrit ?

d) Quel est le déplacement du bras durant la totalité du mouvement décrit ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

CHAPITRE 2

LE MOUVEMENT RECTILIGNE UNIFORMÉMENT ACCÉLÉRÉ

Ce chapitre porte sur les équations permettant de décrire un mouvement qui s'effectue en ligne droite et qui a une accélération constante, appelé mouvement rectiligne uniformément accéléré. Les graphiques liés à ce type de mouvement représentent l'accélération en fonction du temps, la vitesse en fonction du temps ou encore la position en fonction du temps.

Dans les sections 1 à 6, vous apprendrez à interpréter ces graphiques, notamment en déterminant l'aire de la surface sous la courbe ou encore la pente de la courbe.

Enfin, les sections 7 et 8 présentent deux mouvements uniformément accélérés : la chute libre et le mouvement d'un corps sur un plan incliné. Vous y verrez comment l'analyse mathématique permet de mieux comprendre ces types de mouvement.

SOMMAIRE

Section 1 La notion d'accélération 46
Section 2 Le graphique de la vitesse en fonction du temps 48
Section 3 Le graphique de la position en fonction du temps 51
Section 4 La vitesse moyenne et la vitesse instantanée 53
Section 5 Le graphique de l'accélération en fonction du temps 57
Section 6 Le formalisme mathématique du mouvement rectiligne uniformément accéléré 59
Section 7 La chute libre 64
Section 8 Le plan incliné 68

SECTION 1 LA NOTION D'ACCÉLÉRATION

Quand la vitesse d'un corps change de grandeur ou d'orientation, ce corps subit ce que l'on appelle une accélération. Dans ce chapitre, comme on s'intéresse au mouvement rectiligne, la vitesse ne changera jamais d'orientation. Toutefois, la vitesse d'un corps pourra augmenter ou diminuer. Dans les deux cas, on dira que le corps accélère (que ce soit une accélération à proprement parler ou une décélération).

Les composantes d'un vecteur, p. 12

Dans un mouvement rectiligne, l'accélération est un vecteur orienté dans le sens où la vitesse du corps est la plus grande. La composante de l'accélération selon l'axe de référence peut être positive ou négative. La figure 2.1 illustre les quatre cas possibles.

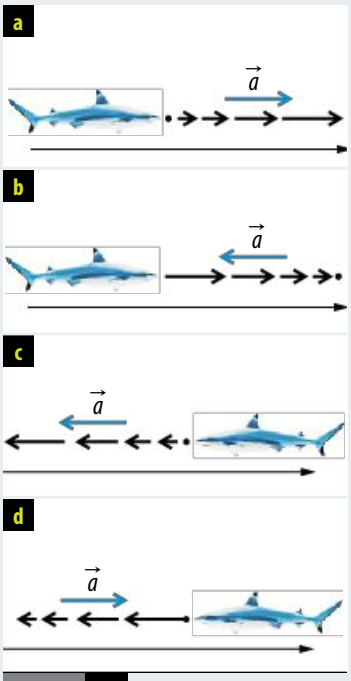


FIGURE 2.1 Le vecteur accélération d'un corps pointe dans le sens où la vitesse de ce corps est la plus grande. Ainsi, la composante en *x* de l'accélération est positive lorsque la vitesse augmente dans le sens positif de l'axe des *x*, et négative lorsque la vitesse augmente dans le sens négatif de l'axe des *x*. Sur les schémas ci-dessus, les flèches noires illustrent la vitesse du requin à différents moments, les flèches bleues illustrent son accélération dans chaque situation. La composante *x* de l'accélération est positive en *a* et *d*, tandis qu'elle est négative en *b* et *c*.

Lorsque l'accélération d'un corps a le même signe que sa vitesse, c'est que ce corps va de plus en plus vite (il accélère à proprement parler : la grandeur de sa vitesse augmente). À l'inverse, lorsque son accélération a un signe opposé à celui de sa vitesse, cela signifie que l'objet va de moins en moins vite (il décélère : la grandeur de sa vitesse diminue).

On peut évaluer la valeur numérique de l'accélération.

L'**accélération (*a*)** correspond au taux de variation de la vitesse par rapport au temps.

La définition de l'accélération s'exprime mathématiquement comme suit :

L'accélération

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

où
- a = accélération, exprimée en mètre par seconde carrée (m/s^2)
- v_f = vitesse finale, exprimée en mètre par seconde (m/s)
- v_i = vitesse initiale, exprimée en mètre par seconde (m/s)
- t_f = temps final, exprimé en seconde (s)
- t_i = temps initial, exprimé en seconde (s)

L'unité de mesure de l'accélération est une unité de vitesse divisée par une unité de temps. Dans le SI, l'unité de mesure de l'accélération est le mètre par seconde carrée (m/s^2), soit une vitesse en mètres par seconde (m/s) divisée par des secondes (s) :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow \frac{m/s}{s} = \frac{m}{s \times s} = m/s^2$$

Lorsqu'on résout un problème, il faut s'assurer d'avoir des unités de mesure concordantes. Par exemple, si la vitesse est donnée en kilomètres par heure et le temps en secondes, il faut faire une conversion de la vitesse ou du temps, selon ce qui est le plus approprié au problème.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

1. Vrai ou faux ? Justifiez votre réponse lorsque vous jugez qu'un énoncé est faux.

	VRAI	FAUX
a) Une variation de temps divisée par une variation de distance donne une vitesse.	☐	☐
b) Plus l'intervalle de temps est court pour une même variation de vitesse, plus la norme du vecteur accélération est grande.	☐	☐
c) Dans un mouvement rectiligne, l'accélération est un vecteur orienté dans le sens où la vitesse du corps est la plus grande.	☐	☐

Justification : _____

_____

2. Un cheval trotte à 4,2 m/s. Il accélère uniformément pour atteindre la vitesse de 18,9 m/s en 5,0 s. Quelle est son accélération pendant cet intervalle de temps ?

3. Une balle de paintball se déplace à une vitesse de 100 m/s et percute une cible, s'y écrasant en 0,60 s. Quelle est l'accélération de la balle durant la collision ?

4. Le conducteur d'une voiture se déplaçant à 40,0 m/s appuie sur les freins de sorte que la voiture s'immobilise en 5,0 s. Quelle est l'accélération de la voiture pendant cet intervalle de temps ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

SECTION 2

LE GRAPHIQUE DE LA VITESSE EN FONCTION DU TEMPS

Un **mouvement rectiligne uniformément accéléré (MRUA)** est un mouvement qui s'effectue en ligne droite et qui a une accélération constante.

Le mouvement rectiligne uniforme, p. 24

On a vu au chapitre 1 que dans un mouvement rectiligne uniforme, la vitesse est constante et sa direction ne change pas. Dans un mouvement rectiligne uniformément accéléré, la vitesse varie d'instant en instant, et c'est le taux de variation de la vitesse en fonction du temps qui est constant.

2.1 Le graphique de la vitesse en fonction du temps pour un MRUA

On a vu au chapitre 1 que dans un mouvement rectiligne uniforme, donc à vitesse constante, le graphique de la vitesse en fonction du temps a l'allure :

- d'une droite horizontale, si tout le mouvement se fait à la même vitesse et dans la même direction ;
- de plusieurs segments de droites horizontaux, si la trajectoire du corps est constituée d'une suite de mouvements rectilignes uniformes différents.

Dans le cas d'un mouvement uniformément accéléré, comme la vitesse varie, le graphique de la vitesse en fonction du temps a l'allure :

- d'une droite oblique, si tout le mouvement se fait à la même accélération et dans la même direction (*voir la figure 2.2*) ;
- de plusieurs segments de droites obliques, si la trajectoire du corps est constituée d'une suite de mouvements rectilignes uniformément accélérés différents (*voir la figure 2.3*).

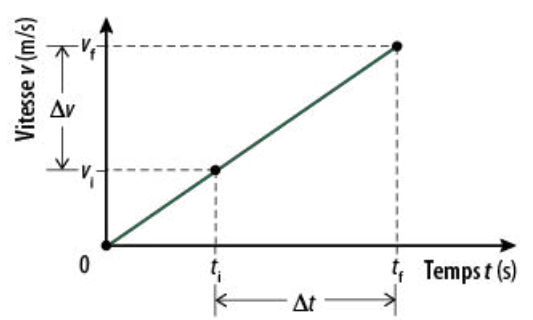


FIGURE 2.2 Si l'accélération est toujours la même, la courbe du graphique de la vitesse en fonction du temps a la même pente : elle est donc une droite oblique.

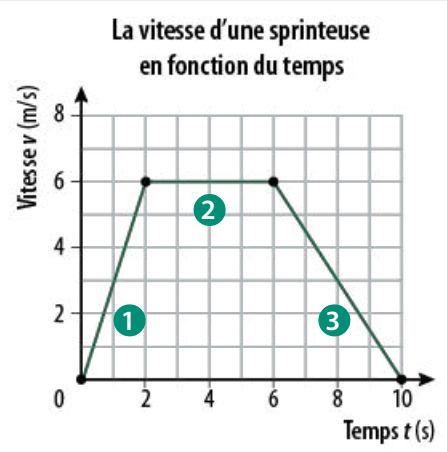


FIGURE 2.3 Si un mouvement présente une succession d'accélérations différentes, la courbe du graphique de la vitesse en fonction du temps présente plusieurs segments de droite. Par exemple, dans le graphique du mouvement d'une sprinteuse, on peut avoir trois segments de droites : 1 un segment de pente positive lorsque la sprinteuse accélère uniformément (elle accroît sa vitesse de façon constante) ; 2 un segment horizontal lorsque la sprinteuse n'accélère pas (sa vitesse est constante) ; 3 un segment de pente négative lorsque la sprinteuse ralentit uniformément (sa vitesse est positive, mais diminue de façon constante).

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

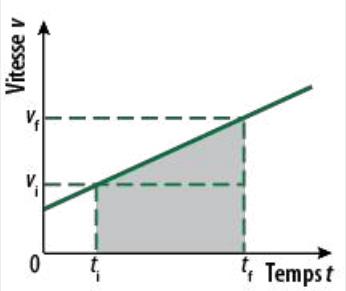
À l'aide de la figure 2.2, on constate que la formule permettant de déterminer la pente de la droite correspond exactement à la formule de l'accélération (*voir la page 46*) et que les unités de mesure sont les mêmes :

$$\text{pente} = a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \rightarrow a = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow \frac{\text{m/s}}{\text{s}} = \text{m/s}^2$$

2.2 L'aire de la surface sous la courbe dans un graphique de la vitesse en fonction du temps

Pour un MRUA, comme dans le cas d'un MRU, l'aire de la surface sous la courbe d'un graphique de la vitesse en fonction du temps représente le déplacement du corps (*voir la figure 2.4*).

L'exemple suivant montre comment déterminer la vitesse d'un corps en mouvement, son déplacement ainsi que la distance parcourue à partir d'un graphique de la vitesse en fonction du temps.



Δx = Aire totale sous la courbe

Δx = Aire du triangle + Aire du rectangle

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_f - v_i)(t_f - t_i) + v_i \times (t_f - t_i)$$

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_f + v_i)(t_f - t_i)$$

(aire d'un trapèze)

FIGURE 2.4 Il faut calculer l'aire de la surface sous la courbe d'un graphique de la vitesse en fonction du temps pour déterminer le déplacement du corps.

EXEMPLE

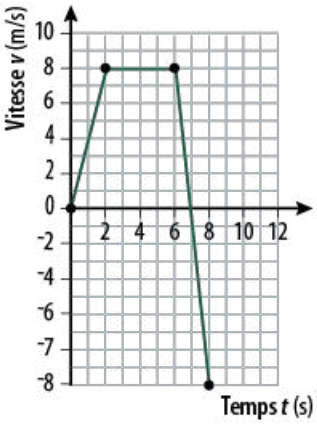
Le graphique ci-contre décrit la vitesse d'un corps en fonction du temps.

a) Quelle est, en valeur absolue, la vitesse maximale atteinte par le corps ? La vitesse minimale (en valeur absolue) ?

b) Que signifie la portion du graphique après $t = 7$ s ?

c) Quel est le déplacement du corps ?

d) Quelle est la distance parcourue par le corps ?



Solution

a) La vitesse maximale atteinte par le corps est de 8 m/s (entre $t = 2$ s et $t = 6$ s et à $t = 8$ s). La vitesse minimale du corps est de 0 m/s (à $t = 0$ s et $t = 7$ s).

b) La vitesse du corps passe de 0 m/s à 8 m/s dans la direction opposée à celle du mouvement précédent.

c) On calcule d'abord l'aire sous la courbe de $t = 0$ s à $t = 7$ s, qui correspond à la partie au-dessus de l'axe des x. Il s'agit de l'aire d'un rectangle et de deux triangles, donc :

Le déplacement du corps de $t = 0$ s à $t = 2$ s vaut :

$$\Delta x_1 = \frac{1}{2}(v_i + v_f)(t_f - t_i) = \frac{1}{2}(0\text{ m/s} + 8\text{ m/s})(2\text{ s} - 0\text{ s}) = 8\text{ m}$$

Le déplacement du corps de $t = 2$ s à $t = 6$ s vaut :

$$\Delta x_2 = v \times \Delta t = v \times (t_f - t_i) = 8\text{ m/s} \times (6\text{ s} - 2\text{ s}) = 8\text{ m/s} \times 4\text{ s} = 32\text{ m}$$

Le déplacement du corps de $t = 6$ s à $t = 7$ s vaut :

$$\Delta x_3 = \frac{1}{2}(v_i + v_f)(t_f - t_i) = \frac{1}{2}(8\text{ m/s} + 0\text{ m/s})(7\text{ s} - 6\text{ s}) = 4\text{ m}$$

On calcule ensuite l'aire sous la courbe de $t = 7$ s à $t = 8$ s, qui correspond à un déplacement négatif. Il s'agit d'un triangle, donc :

Le déplacement du corps de $t = 7$ s à $t = 8$ s vaut :

$$\Delta x_4 = \frac{1}{2}(v_i + v_f)(t_f - t_i) = \frac{1}{2}(0\text{ m/s} + (^-8\text{ m/s}))(8\text{ s} - 7\text{ s}) = {}^-4\text{ m}$$

Le déplacement de $t = 0$ s à $t = 8$ s est donc :

$$\Delta x = 8\text{ m} + 32\text{ m} + 4\text{ m} + {}^-4\text{ m} = 40\text{ m}$$

d) La distance parcourue L correspond à la somme des valeurs absolues des déplacements, donc :

$$L = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| + |\Delta x_3| + |\Delta x_4|$$

$$L = |8\text{ m}| + |32\text{ m}| + |4\text{ m}| + |{}^-4\text{ m}| = 48\text{ m}$$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

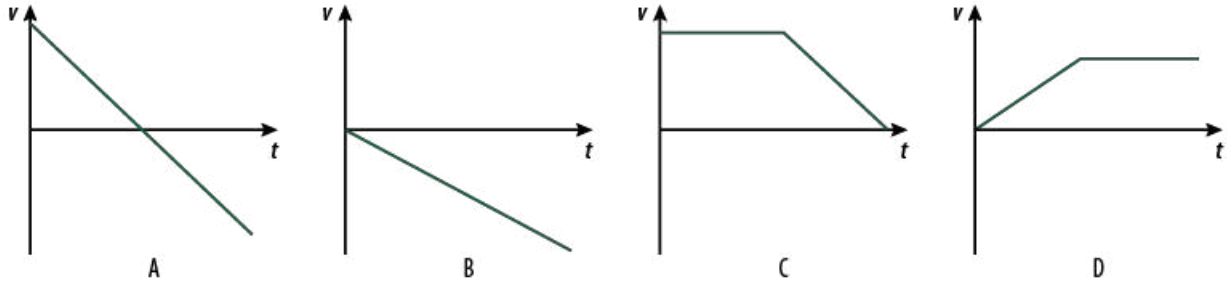
1. Associez chaque mouvement à sa représentation graphique.

a) On laisse tomber une bille d'acier du haut d'un immeuble. _____

b) Un train accélère avant d'atteindre sa vitesse de croisière. _____

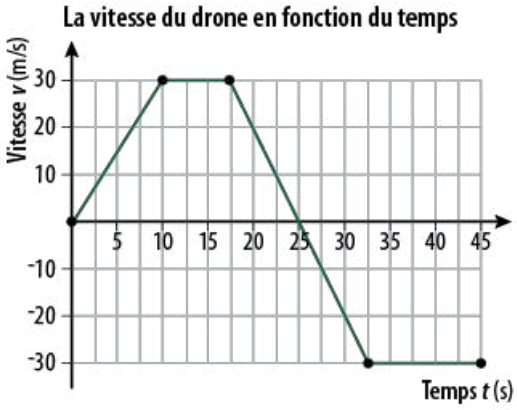
c) Une balle est lancée vers le haut puis redescend. _____

d) Une voiture roule à vitesse constante, puis s'arrête à un arrêt obligatoire. _____



2. Un spécialiste vous montre un drone. Il vous fait une démonstration. Le graphique suivant décrit la vitesse du drone en fonction du temps.

À l'aide du graphique, répondez aux questions suivantes.



a) Quelle est l'accélération du drone entre $t = 0$ s et $t = 10$ s ?

b) Quel est le déplacement du drone entre $t = 0$ s et $t = 45$ s ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

c) Quelle est la distance parcourue par le drone entre $t = 0\,\text{s}$ et $t = 45\,\text{s}$?

d) Quelle est l'accélération entre $t = 17{,}5\,\text{s}$ et $t = 32{,}5\,\text{s}$?

LE GRAPHIQUE DE LA POSITION EN FONCTION DU TEMPS

SECTION 3

Dans un mouvement rectiligne uniforme, les distances parcourues sont égales pour des intervalles de temps égaux. Ainsi, un graphique de la position en fonction du temps qui décrit ce type de mouvement comporte une droite (ou plusieurs segments de droite, s'il représente une suite de mouvements rectilignes uniformes différents). La pente de la droite correspond à la vitesse et est la même à chaque instant du mouvement.

Le mouvement rectiligne uniforme, p. 24

Dans un mouvement rectiligne uniformément accéléré, l'accélération d'un corps implique une variation de sa vitesse. Ainsi, les distances parcourues varient au cours d'intervalles de temps égaux (*voir la figure 2.5*). Dans un graphique de la position d'un corps en fonction du temps, un mouvement uniformément accéléré est représenté par une courbe (*voir la figure 2.6*).

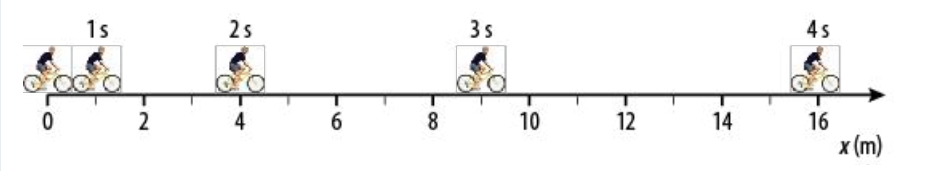


FIGURE 2.5 La position de ce cycliste en fonction du temps constitue un exemple de mouvement rectiligne uniformément accéléré. On peut constater qu'à chaque seconde, le cycliste parcourt une distance de plus en plus grande. En effet, il parcourt 3 m entre $t = 1$ s et $t = 2$ s, alors qu'il parcourt 7 m entre $t = 3$ s et $t = 4$ s.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

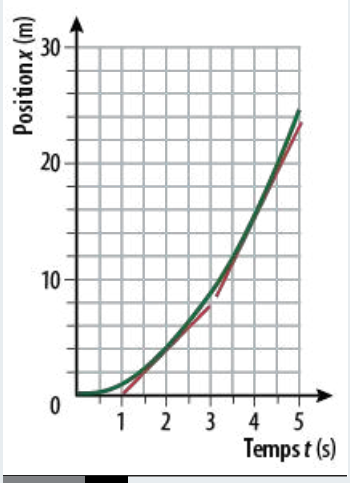


FIGURE 2.6 Le MRUA du cycliste de la figure 2.5 est représenté par une courbe. On peut constater qu'il va de plus en plus vite parce que la pente de la tangente à la courbe (la vitesse) est plus forte à $t = 4$ s qu'à $t = 2$ s.

Dans un mouvement accéléré, la pente de la tangente à la courbe d'un graphique de la position en fonction du temps varie à chaque instant, et nous informe donc sur la vitesse du corps à chaque instant. La figure 2.7 illustre bien cette situation.

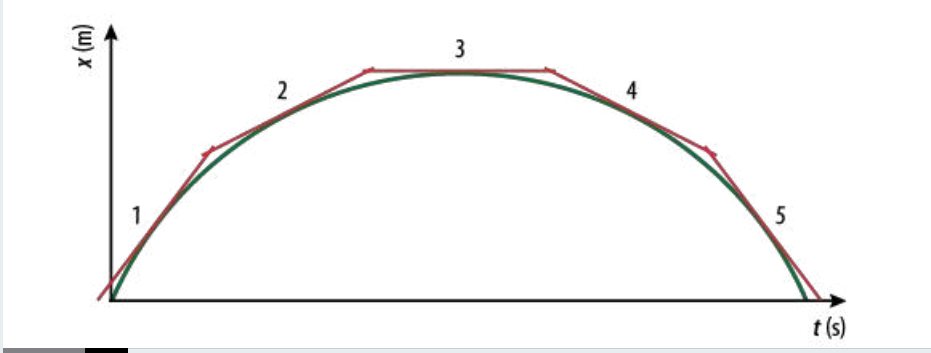


FIGURE 2.7 À la position 1, la vitesse est positive. À la position 2, la vitesse est positive, mais moins grande. À la position 4, la vitesse est négative, ce qui signifie que le corps revient vers son point de départ. Finalement, à la position 5, la vitesse est négative mais plus grande qu'en 4. Dans un graphique de la position en fonction du temps, le ou les sommets correspondent à une vitesse nulle (pente = 0). Ici, à la position 3, le corps est immobile.

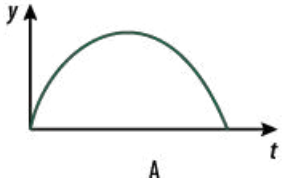
SECTION 3 EXERCICES

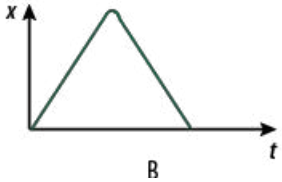
1. Associez les mouvements suivants avec le bon graphique de la position en fonction du temps.

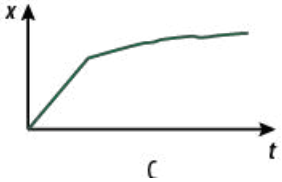
a) Un coureur de marathon commence sa course à vitesse constante, puis perd graduellement de la vitesse au long du parcours. _____

b) Une balle se déplace horizontalement à vitesse constante et rebondit sur un mur. _____

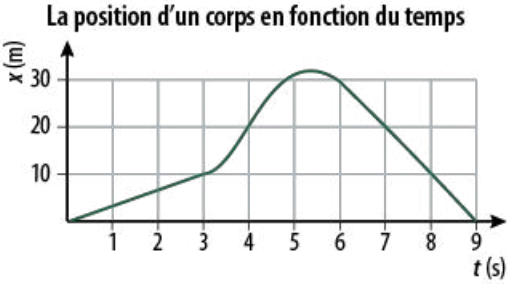
c) Une flèche est tirée à la verticale vers le haut et retombe quelques instants plus tard. _____







2. Le graphique ci-contre illustre la position d'un corps en fonction du temps.



Entourez les deux énoncés qui peuvent décrire le mouvement représenté par le graphique.

A. Le corps se déplace vers la gauche à vitesse constante, puis sa vitesse augmente, avant que le corps ne commence à ralentir jusqu'à l'arrêt, puis il repart vers la droite à vitesse constante.

B. Le corps accélère jusqu'à atteindre une vitesse constante, puis revient vers son point de départ à vitesse constante.

C. Le corps ralentit lentement jusqu'au repos en s'éloignant, puis repart à vitesse constante vers son point de départ.

D. Le corps se déplace vers la droite à vitesse constante, puis sa vitesse augmente, avant que le corps ne commence à ralentir jusqu'à l'arrêt, puis il repart vers la gauche à vitesse constante.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

3. Répondez aux questions suivantes à l'aide du graphique de l'exercice 2.

a) Quelle est la vitesse du corps entre $t = 0$ et $t = 3$ s ?

b) Pendant quel intervalle de temps la vitesse du corps varie-t-elle ? Justifiez votre réponse.

LA VITESSE MOYENNE ET LA VITESSE INSTANTANÉE

SECTION 4

Pour décrire mathématiquement le mouvement accéléré, il est important de faire la distinction entre la vitesse moyenne et la vitesse instantanée.

4.1 La distinction entre la vitesse moyenne et la vitesse instantanée

- La **vitesse moyenne** d'un corps est égale au rapport du déplacement (Δx) de ce corps et de l'intervalle de temps (Δt) durant lequel ce déplacement s'effectue, quand l'intervalle de temps (Δt) est assez long.
- La **vitesse instantanée** d'un corps est la vitesse de ce corps à un moment donné. Il s'agit du rapport du déplacement (Δx) de ce corps et de l'intervalle de temps (Δt) durant lequel ce déplacement s'effectue, quand l'intervalle de temps (Δt) est très court.

Mathématiquement, ces deux vitesses s'expriment de la façon suivante :

Vitesse moyenne	Vitesse instantanée
$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$ avec Δt assez long	$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$ avec Δt très petit

Dans un mouvement rectiligne uniforme, à vitesse constante, ces deux vitesses sont évidemment les mêmes. Peu importe l'intervalle de temps considéré, le calcul de la pente du segment de droite donnera un résultat identique.

Cependant, la distinction entre vitesse moyenne et vitesse instantanée est importante dans le cas de mouvements qui ne se déroulent pas à vitesse constante, comme le mouvement rectiligne uniformément accéléré.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

4.2 Déterminer la vitesse instantanée à l'aide d'un graphique

La simple lecture d'un graphique de la vitesse en fonction du temps fournit la vitesse instantanée d'un corps à n'importe quel moment.

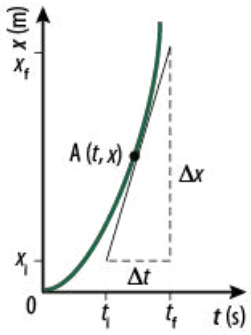
Dans un graphique de la position en fonction du temps, pour un mouvement uniformément accéléré, on peut déterminer la pente de la courbe à un instant précis à l'aide de deux méthodes : celle de la pente de la tangente à la courbe et celle de la pente d'une droite sécante (*voir les figures 2.8 et 2.9*).

Le calcul de la pente de la tangente à la courbe au temps *t*

Dans un graphique de la position en fonction du temps, on peut déterminer la vitesse instantanée en calculant la pente d'une tangente à la courbe tracée en un point précis (noté A sur le graphique ci-contre). Pour ce faire, il faut :

1) tracer une tangente à la courbe au point A (la pente de la tangente doit être la même que la courbe en ce point) ;
2) choisir deux points de la tangente pour calculer sa pente ;
3) calculer la pente de la tangente selon l'équation :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$



Avantage

- Comme on choisit des points éloignés l'un de l'autre pour calculer la pente de la tangente, une petite imprécision des coordonnées utilisées amène une erreur non significative dans le calcul de la vitesse instantanée.

Inconvénient

- En ne considérant que le point situé au temps *t*, le tracé de la droite tangente se fait plutôt à l'œil, ce qui peut apporter une imprécision (la tangente est bien orientée si la courbe s'en écarte de façon à peu près symétrique de part et d'autre du point A).

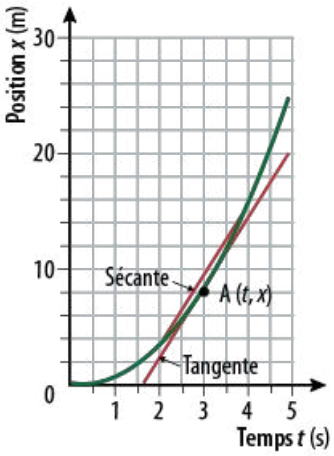
FIGURE 2.8 La méthode de la pente de la tangente à la courbe.

Le calcul de la pente d'une droite sécante passant par des points rapprochés du temps *t*

Dans un graphique de la position en fonction du temps, on peut déterminer la vitesse instantanée en un point précis (noté A sur le graphique ci-contre) en calculant la pente d'une sécante à peu près parallèle à la tangente au point A. Pour ce faire, il faut :

1) choisir deux points situés à égale distance du temps *t* où on veut connaître la vitesse instantanée afin d'obtenir une sécante dont la pente serait à peu près égale à celle de la tangente ;
2) minimiser l'intervalle de temps Δ*t* pour avoir la sécante qui se rapproche le plus de la droite tangente ;
3) calculer la pente de la sécante selon l'équation :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$



Avantage

- On peut choisir des points de la courbe elle-même qui sont à égale distance du temps *t* où on veut connaître la vitesse instantanée.

Inconvénients

- Il peut être difficile de mesurer précisément les valeurs situées entre les graduations du graphique.
- Une petite imprécision dans les coordonnées utilisées pour le calcul de la droite tangente amène une grande erreur dans le résultat obtenu.

FIGURE 2.9 La méthode de la pente d'une droite sécante ou méthode des intervalles.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EN PLUS… LE CALCUL DIFFÉRENTIEL ET INTÉGRAL

FIGURE 2.10 Isaac Newton.

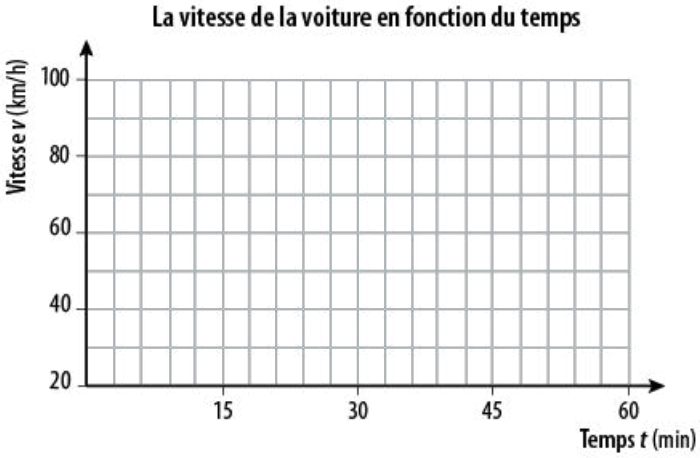
Le calcul différentiel et intégral est un outil mathématique qui permet, entre autres, de calculer précisément la pente de la droite tangente à une courbe et de déterminer exactement l'aire sous une courbe, pourvu que l'équation du mouvement soit connue. Au cégep, les concepts mathématiques tels que la dérivée et l'intégrale, qui permettent de calculer la vitesse instantanée exacte d'un corps en mouvement, sont à l'étude.

Les bases du calcul différentiel et intégral ont été développées notamment par le mathématicien et physicien anglais Isaac Newton (1642-1727). Les lois de la dynamique qu'il a développées seront vues dans le module 2 du présent ouvrage.

EXERCICES

SECTION 4

1. Pour aller au travail, un banlieusard roule en voiture à 100 km/h sur l'autoroute durant 15 min. Pris dans un bouchon de circulation, il réduit alors sa vitesse à 60 km/h pendant 30 minutes. Une fois sorti de l'autoroute, il circule sur un boulevard à 40 km/h durant 15 min.



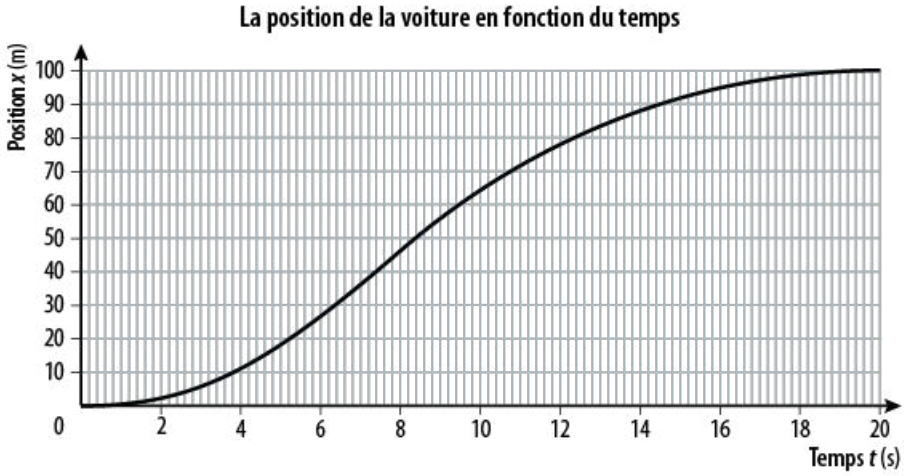
a) Tracez un graphique qui traduit le mouvement de la voiture selon les renseignements fournis ci-dessus.

b) Quelle est la vitesse instantanée du conducteur, exprimée en km/h, 35 min après son départ ?

_____

c) Quelle est sa vitesse moyenne exprimée en km/h ?

2. Le graphique suivant décrit la position en fonction du temps d'une voiture qui roule entre deux coins de rue comprenant des arrêts.



a) Dans quelle partie du graphique :

- la vitesse instantanée augmente-t-elle ? Justifiez votre réponse.

_____

_____

_____

- la vitesse instantanée diminue-t-elle ? Justifiez votre réponse.

_____

_____

_____

b) À quel moment la voiture atteint-elle sa vitesse maximale ? Justifiez votre réponse.

_____

_____

_____

c) Quelle est la vitesse atteinte par la voiture à $t = 8$ s ?

d) Quelle est la vitesse moyenne de la voiture ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

LE GRAPHIQUE DE L'ACCÉLÉRATION EN FONCTION DU TEMPS

SECTION 5

Dans le cas d'un mouvement uniformément accéléré, le graphique de l'accélération en fonction du temps donne une droite horizontale (ou une succession de droites horizontales s'il y a plusieurs sections de mouvement caractérisées par des accélérations différentes). L'aire de la surface sous la courbe représente la variation de vitesse, car elle est définie par une accélération a multipliée par un intervalle de temps Δt (*voir la figure 2.11*). En effet, si on se réfère à la formule de l'accélération, en isolant Δv, on obtient le produit découlant du calcul de l'aire :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow \Delta v = a \times \Delta t$$

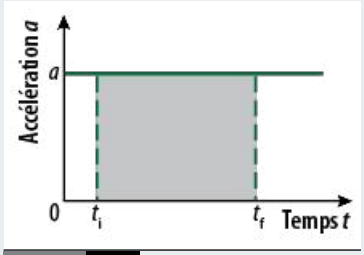


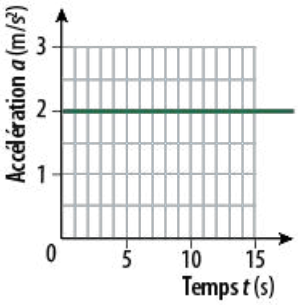
FIGURE 2.11 Mouvement uniformément accéléré.

EXEMPLE

Une moto initialement au repos se met en mouvement. Le graphique ci-contre représente son accélération.

a) Quelle est sa vitesse à $t = 10$ s ?

b) Après combien de temps cette moto atteindra-t-elle une vitesse de 26 m/s ?



Données

a) $t_i = 0$ s
$t_f = 10$ s
$v_i = 0$ m/s
$v_f = ?$
$a = 2{,}0$ m/s²

b) $t_i = 0$ s
$t_f = ?$
$v_i = 0$ m/s
$v_f = 26$ m/s
$a = 2{,}0$ m/s²

Solution

a) La variation de vitesse correspond à l'aire de la surface sous la courbe entre $t = 0$ s et $t = 10$ s.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow \Delta v = a \times \Delta t$$

$\Delta v = a \times \Delta t$

$v_f - v_i = a \times (t_f - t_i)$

$v_f = a \times (t_f - t_i) + v_i$

$v_f = 2{,}0 \text{ m/s}^2 \times (10 \text{ s} - 0 \text{ s}) + 0 \text{ m/s} = 20 \text{ m/s}$

La vitesse de la moto sera de 20 m/s après 10 s.

b) $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{\Delta v}{a}$

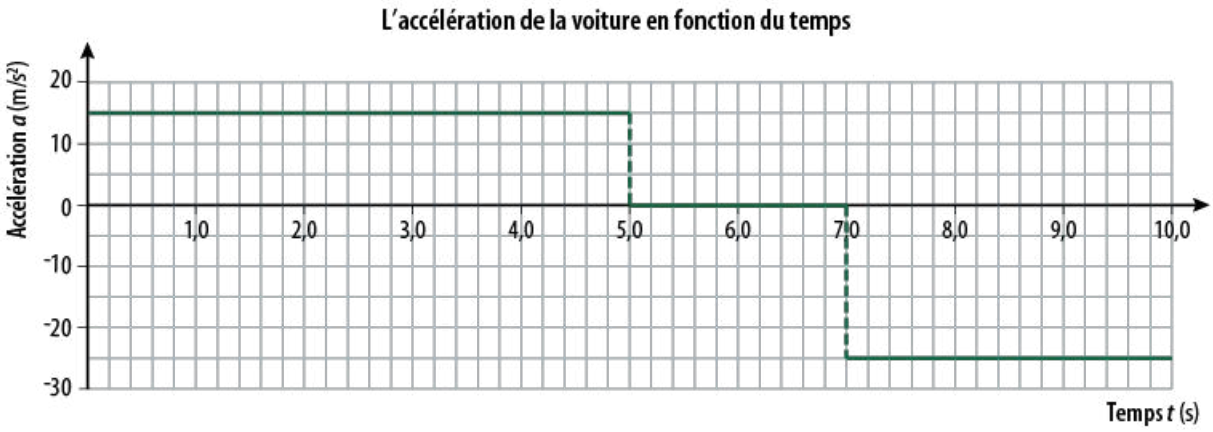
$\Delta t = \frac{\Delta v}{a}$

$(t_f - t_i) = \frac{(v_f - v_i)}{a}$

$t_f = \frac{(26 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s})}{2{,}0 \text{ m/s}^2} + 0 \text{ s} = 13 \text{ s}$

La moto atteindra une vitesse de 26 m/s à $t = 13$ s.

1. Le graphique suivant représente l'accélération d'une voiture de course en fonction du temps. La vitesse initiale de la voiture est de 0 m/s.



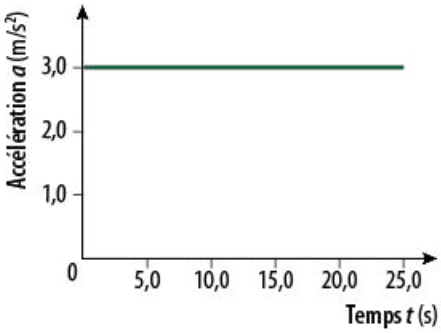
a) Déterminez la vitesse de la voiture à t = 8,0 s.

b) Que se passe-t-il entre t = 5,0 s et t = 7,0 s ?

c) La voiture revient-elle vers son point de départ ? Expliquez.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2. Un avion est immobile sur la piste. Le pilote pousse la manette des gaz pour le décollage. Le graphique ci-contre représente son accélération.



a) Quelle sera la vitesse de l'avion après 20,0 s ?

b) Après combien de temps l'avion atteindra-t-il une vitesse de 250 km/h ?

LE FORMALISME MATHÉMATIQUE DU MOUVEMENT RECTILIGNE UNIFORMÉMENT ACCÉLÉRÉ

SECTION 6

Quatre équations reliant la variation de position, la vitesse, l'accélération et le temps peuvent être déduites des graphiques et des formules présentées précédemment (*voir le tableau 2.1, à la page suivante*).

En mathématique, on peut déterminer la valeur d'une variable à l'aide d'une équation si toutes les autres variables de cette équation sont connues. En choisissant, parmi les équations du tableau 2.1, une équation qui contient la variable inconnue dont on veut connaître la valeur, on est en mesure de déterminer cette variable inconnue si toutes les autres données sont connues.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

TABLEAU 2.1 Les équations du MRUA

Équation 1	Équation 3
$v_f = v_i + a \times \Delta t$	$x_f = x_i + v_i \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2$
Équation 2	**Équation 4**
$x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_i + v_f)\Delta t$	$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$

Les équations du mouvement rectiligne uniformément accéléré contiennent un grand nombre de variables. Il est important de bien déterminer au départ ce qu'on connaît, ce qu'on cherche et la façon d'y arriver. L'encadré ci-dessous présente les étapes d'une méthode permettant de résoudre des problèmes de cinématique.

Méthode générale de résolution de problèmes de cinématique

1. Tracer un schéma de la situation et choisir le sens et l'origine de l'axe des *x* (en général, le sens positif est le sens du mouvement initial).
2. Identifier les variables dont on connaît la valeur.
3. Sélectionner l'équation dans laquelle la valeur cherchée est la seule inconnue et isoler la valeur cherchée.

Les exemples suivants permettent de comprendre comment cette méthode doit être appliquée.

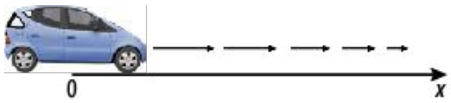
EXEMPLE 1

Le conducteur d'une voiture roulant à 50,0 km/h freine brusquement et s'immobilise après 30,0 m.

a) Quelle est l'accélération de la voiture durant le freinage ?

Données

1. Tracer un schéma de la situation et choisir le sens et l'origine de l'axe. Ici, les flèches représentent différents vecteurs vitesses successifs.



2. Identifier les variables dont on connaît la valeur.

   Ici $t_i = 0$ s, car il correspond à l'instant où commence le freinage ; t_f correspond au moment où la voiture s'arrête ($v_f = 0$ km/h) ; $x_i = 0$ m puisque l'origine de l'axe des *x* correspond à l'endroit où commence le freinage. Les inconnues sont *a* et t_f.

   $x_i = 0$ m $v_i = 50{,}0$ km/h $t_i = 0$ s $a = ?$
   $x_f = 30{,}0$ m $v_f = 0$ km/h $t_f = ?$

   Il faut transformer les unités de la vitesse pour travailler en m/s :

$$v_i = 50{,}0\ \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}} \times \frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}} = 13{,}9\ \text{m/s}$$

Solution

3. Sélectionner l'équation. L'équation 4 convient pour trouver l'accélération :

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x \rightarrow a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2(x_f - x_i)} = \frac{(0\ \text{m/s})^2 - (13{,}9\ \text{m/s})^2}{2(30{,}0\ \text{m} - 0\ \text{m})} = \frac{-193{,}21\ \text{m}^2/\text{s}^2}{60{,}0\ \text{m}} = -3{,}22\ \text{m/s}^2$$

L'accélération de la voiture durant le freinage est de $-3{,}22$ m/s^2.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE 1 (*suite*)

b) En combien de temps la voiture s'immobilise-t-elle ?

Données

2. Identifier les variables dont on connaît la valeur.

$x_i = 0$ m	$v_i = 13{,}9$ m/s	$t_i = 0$ s	$a = -3{,}22$ m/s^2
$x_f = 30{,}0$ m	$v_f = 0$ km/h	$t_f = ?$	

Solution

3. Sélectionner l'équation. L'équation 1, l'équation 2 ou l'équation 3 peuvent être utilisées. Elles mènent toutes au même résultat. Ici, on choisit d'utiliser l'équation 1.

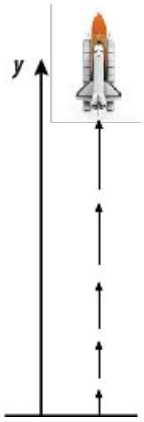
Équation 1

$$v_f = v_i + a \times \Delta t \rightarrow \Delta t = \frac{v_f - v_i}{a} = \frac{0 \text{ m/s} - 13{,}9 \text{ m/s}}{-3{,}22 \text{ m/s}^2} = 4{,}31 \text{ s}$$

La voiture s'immobilise en 4,31 s.

EXEMPLE 2

Une fusée quitte le sol et accélère uniformément à 15,0 m/s^2.



a) Quelle est l'altitude atteinte par la fusée au bout de 35,0 s ?

Données

1. Tracer un schéma de la situation et choisir le sens et l'origine de l'axe.
2. Identifier les variables dont on connaît la valeur.

   Ici $t_i = 0$ s, car il correspond à l'instant où la fusée quitte le sol, v_i est alors de 0 m/s ;

   $y_i = 0$ m puisque l'origine de l'axe des y correspond à l'endroit où commence le mouvement (quand le mouvement est vertical, on travaille avec les variables y_i et y_f pour désigner les positions initiale et finale. y_i et y_f remplacent x_i et x_f dans les équations 1 et 4).

$y_i = 0$ m	$v_i = 0$ m/s	$t_i = 0$ s	$a = 15{,}0$ m/s^2
$y_f = ?$	$v_f = ?$	$t_f = 35{,}0$ s	

Solution

3. Sélectionner l'équation. L'équation 3 convient pour trouver y_f.

$$y_f = y_i + v_i\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2 = 0 \text{ m} + 0 \text{ m/s} \times 35{,}0 \text{ s} + \frac{1}{2} \times (15{,}0 \text{ m/s}^2) \times (35{,}0 \text{ s})^2 = 9{,}19 \times 10^3 \text{ m}$$

L'altitude de la fusée au bout de 35,0 s est de $9{,}19 \times 10^3$ m.

b) Quelle est sa vitesse à ce moment-là ?

Données

2. Identifier les variables dont on connaît la valeur.

$y_i = 0$ m	$v_i = 0$ m/s	$t_i = 0$ s	$a = 15{,}0$ m/s^2
$y_f = 9{,}19 \times 10^3$ m	$v_f = ?$	$t_f = 35{,}0$ s	

Solution

3. Sélectionner l'équation. L'équation 4 convient pour trouver v_f :

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta y \rightarrow v_f = \sqrt{v_i^2 + 2a\Delta y}$$

$$v_f = \sqrt{(0 \text{ m/s})^2 + 2 \times (15{,}0 \text{ m/s}^2) \times (9{,}19 \times 10^3 \text{ m})} = 525 \text{ m/s}$$

La vitesse de la fusée 35,0 s après le décollage est de 525 m/s.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

À QUOI ÇA SERT ? L'INDICATEUR DE VITESSE

L'indicateur de vitesse permet de connaître la vitesse instantanée d'un véhicule à tout moment. Le fonctionnement de cet appareil est basé sur les équations du mouvement puisqu'il met en relation la distance parcourue et le temps requis pour la parcourir. La distance parcourue est liée à la circonférence des roues et, donc, à leur diamètre, tandis que la vitesse est fonction du nombre de tours que font les roues par unité de temps. Par exemple, pour une voiture ayant des roues de 0,65 m de diamètre (incluant les pneus), un rapport de 7 révolutions par seconde correspond à une vitesse de 52,9 km/h. Ainsi, les constructeurs automobiles calibrent les indicateurs de vitesse en fonction du diamètre des roues. Ils sont tenus de le faire de façon que la vitesse indiquée soit légèrement supérieure ou égale à la vitesse réelle, afin d'éviter la possibilité d'un excès de vitesse (dans le cas où la valeur indiquée serait inférieure à la vitesse réelle).

FIGURE 2.12 Pour des raisons de performance ou d'apparence, certains propriétaires de véhicules souhaitent des jantes plus petites ou plus grandes. Ils doivent alors s'assurer que le diamètre total jante-roue soit identique à celui de la roue initiale pour que l'indicateur de vitesse garde sa précision.

SECTION 6 EXERCICES

1. On doit ralentir une sonde spatiale se déplaçant en ligne droite à une vitesse de $3{,}13 \times 10^4$ km/h. Pour la ralentir suffisamment, la poussée des moteurs, qui occasionne une accélération de $^-2{,}00$ m/s^2, doit durer 30,0 min.

a) Quelle sera la vitesse de la sonde après la poussée des moteurs ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

b) Sur quelle distance s'effectuera la poussée des moteurs ?

2. Compte tenu de la longueur réduite de la piste sur les porte-avions, un système de catapulte permet aux avions de décoller avec une accélération constante de 30 m/s^2 sur une distance de 80 m.

a) Quelle est la durée de l'accélération sur la piste ?

b) Quelle est la vitesse des avions au bout de la piste ?

SECTION 7 LA CHUTE LIBRE

La force gravitationnelle, p. 96

La **chute libre** est un mouvement qui se produit quand un objet n'est soumis qu'à la force gravitationnelle.

Pour qu'un corps soit considéré en chute libre, les effets de la résistance de l'air doivent être négligeables. Dans ce module, ces effets seront toujours négligés (*voir la rubrique Zoom ci-dessous*).

Dans cette section, on s'intéresse au mouvement des corps qui sont lâchés à partir du repos ou qui sont lancés verticalement. Ceux-ci effectuent un mouvement de chute libre verticale : c'est un cas particulier de MRUA.

Quel que soit le sens de son mouvement, un corps en chute libre subit une accélération constante orientée vers le bas. Cela est dû au fait que, sur Terre, la force gravitationnelle qui agit sur les corps est toujours orientée vers le centre de la Terre. Puisque l'accélération des corps en chute libre est due à la force gravitationnelle, on l'appelle accélération gravitationnelle. Près de la surface de la Terre, l'accélération gravitationnelle moyenne est notée par le symbole $\vec{g}$ et vaut :

$$\vec{g} = 9{,}80 \text{ m/s}^2 \text{ vers le bas}$$

Toutes les équations du MRUA vue à la section précédente s'appliquent à la chute libre verticale (les x devant être remplacés par des y puisque le mouvement s'effectue verticalement, le long d'un axe de référence y).

Quand l'axe des y pointe vers le haut, la composante y de l'accélération gravitationnelle est $-9{,}80$ m/s^2.

ZOOM L'ACCÉLÉRATION GRAVITATIONNELLE ET LA RÉSISTANCE DE L'AIR

L'accélération gravitationnelle est la même pour tous les objets, quelle que soit leur masse. Toutefois, si l'on tient compte de la friction de l'air, tous les objets en chute libre ne tombent pas avec une accélération égale à g. Ainsi, si on laisse tomber une bille de métal et un bouchon de liège, on constate que le bouchon arrive un peu moins rapidement que la bille au sol parce qu'il offre plus de prise à la résistance de l'air : en l'absence d'air, ils toucheraient le sol en même temps (*voir la figure 2.13*). Dans le traitement mathématique des problèmes de cinématique, on considère comme négligeable la résistance de l'air et on n'en tiendra pas compte.

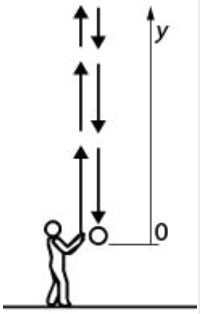
FIGURE 2.13 En 1971, l'astronaute David Scott de la mission *Apollo 15* a fait une expérience : il a laissé tomber à la surface de la Lune un marteau et une plume. En l'absence d'air, les deux objets, lâchés en même temps et de la même hauteur, ont touché le sol au même moment.

La chute libre étant un mouvement uniformément accéléré, son analyse s'effectue à l'aide des équations établies à la section 6, si on considère comme négligeable la résistance de l'air. Un exemple est donné à la page suivante.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE

Une personne au sol lance une balle à la verticale vers le haut à une vitesse de 30,0 m/s et la rattrape.



a) Quelle est la hauteur maximale atteinte par la balle ?

Données

1. Tracer le schéma de la situation.
2. Identifier les variables dont on connaît la valeur.

   On choisit la position initiale de la balle $y_i = 0$ m (correspondant à la main). La vitesse initiale de la balle est $v_i = 30{,}0$ m/s et elle diminue au fur et à mesure que la balle prend de l'altitude, jusqu'à ce qu'elle soit immobile au sommet de sa trajectoire ($v_f = 0$ m/s). On cherche la hauteur maximale de la balle par rapport à la main du lanceur, soit y_f.

$y_i = 0$ m $y_f = ?$ $v_i = 30{,}0$ m/s $v_f = 0$ m/s $t_i = 0$ s $t_f = ?$ $a = {}^{-}9{,}80$ m/s^2

Solution

3. Sélectionner l'équation. L'équation 4 contient le déplacement et tous les autres paramètres sont connus :

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta y = v_i^2 + 2a(y_f - y_i) \rightarrow y_f = \frac{v_f^2 - v_i^2 + 2ay_i}{2a}$$

$$y_f = \frac{0\ \text{m}^2/\text{s}^2 - 900\ \text{m}^2/\text{s}^2 + 2(^{-}9{,}80\ \text{m/s}^2) \times 0\ \text{m}}{2(^{-}9{,}80\ \text{m/s}^2)} = \frac{^{-}900\ \text{m}^2/\text{s}^2}{^{-}19{,}6\ \text{m/s}^2} = 45{,}9\ \text{m}$$

La hauteur maximale atteinte par la balle est de 45,9 m.

b) Combien de temps la balle met-elle à atteindre le sommet de sa trajectoire ?

Données

2. Identifier les variables dont on connaît la valeur.

$y_i = 0$ m $y_f = 45{,}9$ m $v_i = 30{,}0$ m/s $v_f = 0$ m/s $t_i = 0$ s $t_f = ?$ $a = {}^{-}9{,}80$ m/s^2

Solution

3. Sélectionner l'équation. Pour déterminer le temps que met la balle à atteindre le sommet de la trajectoire, on peut utiliser l'équation 1.

$$v_f = v_i + a \times \Delta t \rightarrow t_f = \frac{v_f - v_i + at_i}{a}$$

$$t_f = \frac{0\ \text{m/s} - 30{,}0\ \text{m/s} + (^{-}9{,}80\ \text{m/s}^2) \times 0\ \text{s}}{^{-}9{,}80\ \text{m/s}^2} = 3{,}06\ \text{s}$$

Pour atteindre le sommet de sa trajectoire, la balle met 3,06 s.

c) Quelle est la durée totale de la trajectoire de la balle ?

Données

2. Pour déterminer la durée totale de la trajectoire, il faut calculer le temps que la balle prend pour revenir à son point de départ. En partant de la hauteur maximale, on a les données suivantes.

$y_i = 45{,}9$ m $y_f = 0$ m $v_i = 0$ m/s $v_f = ?$ $t_i = 0$ s $t_f = ?$ $a = {}^{-}9{,}80$ m/s^2

Solution

3. L'équation 3 contient le temps final et toutes les autres valeurs sont connues.

$$y_f = y_i + v_i\,\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2 = y_i + v_i(t_f - t_i) + \frac{1}{2}a(t_f - t_i)^2$$

$$0\ \text{m} = 45{,}9\ \text{m} + 0\ \text{m/s}(t_f - 0\ \text{s}) + \frac{1}{2}(^{-}9{,}80\ \text{m/s}^2)(t_f - 0\ \text{s})^2 = 45{,}9\ \text{m} - 4{,}90\ \text{m/s}^2 \times t_f^2$$

$$4{,}90\ \text{m/s}^2 \times t_f^2 = 45{,}9\ \text{m}$$

$$t_f^2 = 9{,}37\ \text{s}^2 \rightarrow t_f = \sqrt{9{,}37\ \text{s}^2} = 3{,}06\ \text{s}$$

Le temps que met la balle à redescendre est le même que pour atteindre le sommet.
La durée totale de la trajectoire de la balle est donc de 6,12 s.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXERCICES

1. Au cours d'une scène d'action, un cascadeur doit se laisser tomber du toit d'un immeuble. La vitesse prévue à l'atterrissage est de 25 m/s. Déterminez le temps que durera la chute du cascadeur.

2. Un archer tire une flèche vers le haut. Cette dernière retombe au sol 7,0 s plus tard. On considère la distance entre le sol et la position de l'arc au moment du lancer comme négligeable.

a) Quelle est la vitesse initiale de la flèche ?

b) Quelle est la vitesse de la flèche après 2,0 s ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

c) Quelle est la hauteur maximale atteinte par la flèche ?

3. Du sommet d'une falaise de 25,0 m de hauteur, on lance à une vitesse de 15,0 m/s vers le haut une pierre qui retombe au pied de la falaise.

a) Quelle hauteur maximale la pierre atteint-elle par rapport au sommet de la falaise ?

b) Quelle est la position verticale de la pierre par rapport au sommet de la falaise à t = 4,00 s ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

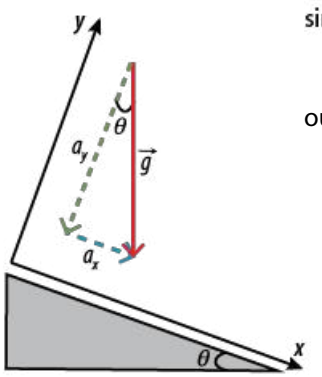
SECTION 8 LE PLAN INCLINÉ

Plan incliné
Surface oblique par rapport à l'horizontale.

▶ La force normale, p.102

▶ Les composantes d'un vecteur, p. 12

Quand un corps se déplace sur un **plan incliné** sans frottement, il est soumis à la force gravitationnelle, mais aussi à la force que le plan exerce pour l'empêcher de traverser sa surface, nommée force normale. En conséquence, seule la composante de la force gravitationnelle qui est parallèle à la surface du plan incliné participe à l'accélération du corps. L'accélération que subit un corps sur un plan incliné sans frottement est donc égale à la composante de l'accélération gravitationnelle qui est parallèle à la surface du plan (*voir la figure 2.14*):



$$\sin\theta = \frac{a_x}{g} \rightarrow \boxed{a_x = g\sin\theta}$$

où θ = angle d'inclinaison du plan incliné

g = accélération gravitationnelle

FIGURE 2.14 Il est plus facile de faire coïncider l'axe des x avec le plan incliné.

$$a_x = \pm g\sin\theta$$

On retient le signe positif si l'axe des x est orienté vers le bas du plan incliné, et négatif s'il est orienté vers le haut. Le mouvement d'un objet sur un plan incliné étant un mouvement uniformément accéléré, son analyse se fait de la même manière qu'à la section 6 du présent chapitre. On choisit cependant un système de référence faisant coïncider le plan incliné avec l'axe des x et on utilise uniquement la composante x de l'accélération gravitationnelle : a_x. Le frottement avec le plan incliné ne sera pas considéré (ou sera supposé nul).

L'exemple de la page suivante montre comment on analyse le mouvement d'un corps sur un plan incliné.

ZOOM GALILÉE (1564-1642)

Galilée (1564-1642), de son nom italien Galileo Galilei, est un mathématicien, géomètre et astronome italien qui a marqué l'histoire de la science. Ses observations novatrices sur de nombreux phénomènes physiques font qu'il est considéré par plusieurs comme le père de la physique. Entre autres sujets, Galilée a étudié le mouvement d'une bille sur un plan incliné : il est plus facile d'étudier ce mouvement plutôt que la chute libre, car il se produit à vitesse moins élevée (*voir la figure 2.15*).

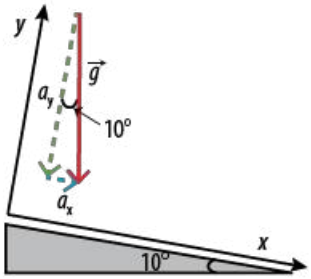
FIGURE 2.15 Un plan incliné semblable à celui qu'aurait utilisé Galilée. Pour mesurer le temps, Galilée aurait installé des clochettes à intervalles réguliers le long de la rampe. Il aurait observé que les tintements provoqués par la bille qui descend ne se faisaient pas de façon régulière, mais qu'ils étaient de plus en plus rapprochés. Il en aurait déduit que la bille accélère uniformément et que la distance parcourue est proportionnelle au carré du temps.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE

Supposons qu'une bille, initialement au repos, est lâchée du sommet d'un plan incliné de 10° par rapport à l'horizontale. Elle met 5,0 s pour atteindre l'extrémité du plan incliné.

a) Quelle est la longueur du plan incliné ?



Données

$x_i = 0$ m $\quad v_f = ?$ $\quad a_x = g\sin\theta = 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times \sin 10° = 1{,}7\ \text{m/s}^2$

$x_f = ?$ $\quad t_i = 0$ s

$v_i = 0$ m/s $\quad t_f = 5{,}0$ s

Solution

Pour déterminer la longueur du plan incliné, on peut utiliser l'équation 3.

$$x_f = x_i + v_i\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2 = 0\ \text{m} + 0\ \text{m/s} \times 5{,}0\ \text{s} + \frac{1}{2} \times (1{,}7\ \text{m/s}^2) \times (5{,}0\ \text{s})^2 = 21\ \text{m}$$

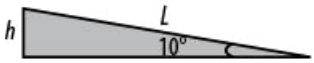
$$\text{Longueur} = x_f - x_i = 21\ \text{m} - 0\ \text{m} = 21\ \text{m}$$

La longueur du plan incliné est de 21 m.

b) Quelle est la hauteur du plan incliné ?

Comme on connaît la longueur du plan incliné et son angle d'inclinaison, il est facile de déterminer sa hauteur par relation trigonométrique :

$$\sin\theta = \frac{h}{L} \rightarrow h = L\sin\theta$$



$$h = 21{,}25\ \text{m} \times \sin 10° = 3{,}69\ \text{m}$$

La hauteur du plan incliné est de 3,69 m.

c) Quelle est la vitesse de la bille à l'extrémité du plan incliné ?

Données

$x_i = 0$ m $\quad v_i = 0$ m/s $\quad t_i = 0$ s $\quad a_x = g\sin\theta = 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times \sin 10° = 1{,}7\ \text{m/s}^2$

$x_f = 21$ m $\quad v_f = ?$ $\quad t_f = 5{,}0$ s

Solution

Pour déterminer la vitesse de la bille à l'extrémité du plan incliné, on peut utiliser l'équation 1.

$$v_f = v_i + a \times \Delta t = 0\ \text{m/s} + \left(1{,}7\ \text{m/s}^2\right) \times 5{,}0\ \text{s} = 8{,}5\ \text{m/s}$$

La vitesse de la bille à l'extrémité du plan incliné est de 8,5 m/s.

EXERCICES

SECTION 8

1. Une boîte glisse sans frottement sur une surface lisse ayant une inclinaison de 32°. La boîte est initialement immobile au sommet du plan incliné et ce dernier fait 2,5 m de longueur.

a) Quelle est l'accélération de la boîte ?

b) Quelle est la vitesse de la boîte lorsqu'elle arrive à l'extrémité du plan incliné ?

2. On s'amuse à lancer une rondelle de plastique sur une longue table à coussin d'air de 4,00 m de long qu'on a inclinée selon un angle de 8,0°.

a) Quelle distance la rondelle parcourra-t-elle avant de s'immobiliser, si on la lance avec une vitesse initiale de 2,0 m/s du bas vers le haut du plan incliné ?

b) Si on laisse glisser la rondelle, initialement au repos, à partir du haut du plan incliné, combien de temps mettra-t-elle pour atteindre le bas du plan incliné ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

CHAPITRE 2 SYNTHÈSE

LE MOUVEMENT RECTILIGNE UNIFORMÉMENT ACCÉLÉRÉ

La notion d'accélération

- L'**accélération** correspond au taux de variation de la vitesse par rapport au temps.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

- L'accélération est une quantité vectorielle au même titre que le déplacement et la vitesse. Dans le SI, l'unité de l'accélération est le mètre par seconde carrée (m/s^2).

Les graphiques de la vitesse en fonction du temps et de la position en fonction du temps

- Un **mouvement rectiligne uniformément accéléré** (MRUA) est un mouvement qui s'effectue en ligne droite et qui a une accélération constante.
- Dans la représentation graphique de la vitesse en fonction du temps d'un MRUA :
  - Le mouvement est représenté par des droites ou des segments de droites obliques.
  - La pente de chaque segment correspond à l'accélération du corps durant l'intervalle de temps correspondant.
  - L'aire sous la courbe entre deux temps donnés représente le déplacement durant cet intervalle de temps.
- Dans la représentation graphique de la position en fonction du temps d'un MRUA :
  - Le mouvement est représenté par une courbe.
  - La pente de la droite tangente à un point de la courbe représente la vitesse à ce point.
  - Le ou les sommets du graphique correspondent à une vitesse nulle (pente = 0).

La vitesse moyenne et la vitesse instantanée

- La **vitesse moyenne** d'un corps correspond au rythme de sa variation de position Δx durant un intervalle de temps Δt relativement long. La **vitesse instantanée** d'un corps correspond à sa vitesse à un moment donné. Il s'agit du rythme de la variation de position Δx d'un corps durant un intervalle de temps Δt très petit.

Le graphique de l'accélération en fonction du temps

- Dans la représentation graphique de l'accélération en fonction du temps d'un MRUA :
  - Le mouvement est représenté par une seule droite horizontale, ou une succession de plusieurs droites horizontales s'il y a plusieurs MRUA.
  - L'aire sous la courbe entre deux temps donnés représente la variation de vitesse durant cet intervalle de temps.

Les équations du mouvement rectiligne uniformément accéléré

- Les quatre équations ci-dessous établissent les relations entre les variables du mouvement, soit l'accélération, la position, la vitesse et le temps.

Équation 1 : $v_f = v_i + a \times \Delta t$

Équation 2 : $x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_i + v_f)\Delta t$

Équation 3 : $x_f = x_i + v_i \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2$

Équation 4 : $v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$

La chute libre et le plan incliné

- L'accélération gravitationnelle moyenne à la surface terrestre est d'environ 9,80 m/s^2. Elle est représentée par le vecteur $\vec{g}$ = 9,80 m/s^2 vers le bas.
- La chute libre verticale est un MRUA qui s'exerce selon une orientation verticale et qui est soumis à l'accélération gravitationnelle.
- Le mouvement sur un plan incliné est un MRUA qui est soumis à la composante de l'accélération gravitationnelle parallèle au plan (dans la direction du mouvement). Avec un axe des x orienté le long du plan incliné vers le bas, on utilise donc uniquement la composante x de l'accélération gravitationnelle : $a_x = g \sin\theta$.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

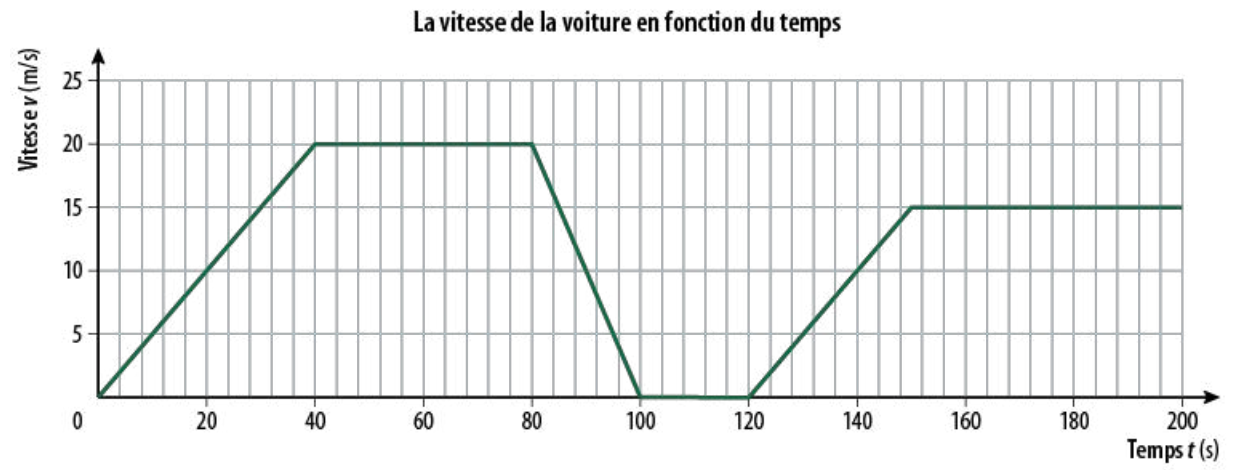
EXERCICES

1 Un cycliste a mis 30 min pour parcourir un trajet de 20 km. Son indicateur de vitesse est défectueux, mais il souhaite quand même connaître sa performance.

a) Calculez sa vitesse moyenne en kilomètres par heure.

b) Le cycliste affirme qu'il a atteint des pointes de vitesse de 50 km/h. Est-ce possible ? Justifiez votre réponse.

2 Le graphique suivant représente la vitesse d'une voiture en fonction du temps. Calculez la distance parcourue entre $t = 0$ s et $t = 200$ s.



Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

3 Du haut d'une tourelle de 70,0 m de hauteur, un archer tire un carreau d'arbalète enflammé directement à la verticale. Le carreau retombe au pied de la structure en 20,0 s. Quelle est la vitesse initiale du carreau d'arbalète ?

4 Anne-Sophie s'adonne à la luge sur rail. Le dernier tronçon du parcours est en ligne droite et incliné de 15,0°, et la vitesse de sa luge au début de ce tronçon est de 12,0 m/s. On néglige le frottement.

À quelle vitesse Anne-Sophie arrivera-t-elle à la fin du dernier tronçon si celui-ci mesure 50,0 m de long et si elle ne freine pas ?

5 Entourez les affirmations qui peuvent décrire le mouvement d'un corps en chute libre.

A. La vitesse initiale du corps est non nulle et sa vitesse diminue durant la chute.

B. La vitesse initiale du corps est nulle et sa vitesse augmente de manière uniforme durant la chute.

C. La vitesse initiale du corps est non nulle et sa vitesse demeure uniforme durant la chute.

D. La vitesse initiale du corps est non nulle et sa vitesse augmente de manière constante durant la chute.

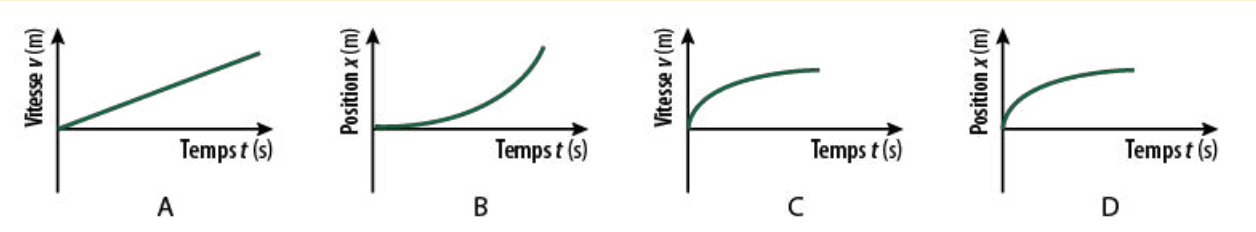
Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

6 Un avion atterrit à une vitesse de 60,0 m/s et s'arrête au bout de 30,0 s après avoir touché le sol.

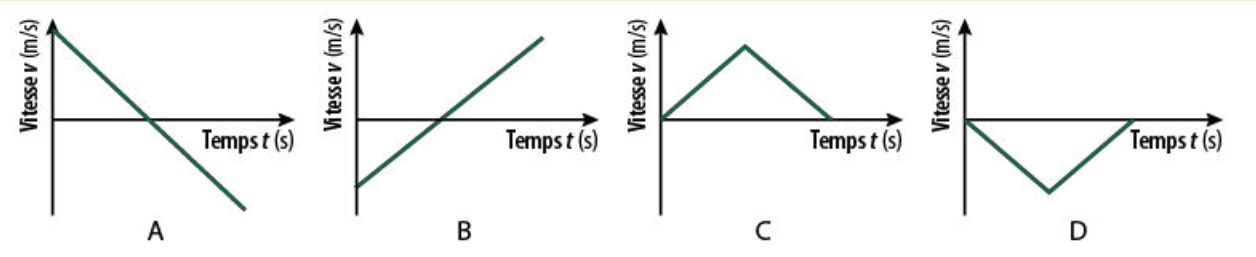
a) Quelle est l'accélération de l'avion durant ce mouvement ?

b) Quelle est la distance parcourue par l'avion avant de s'immobiliser ?

7 Un sprinter est capable d'atteindre une vitesse de 10,0 m/s en 2 s à partir du repos, avec une accélération constante. Entourez les graphiques qui décrivent cette situation.



8 On lance verticalement une balle vers le haut et elle retombe un peu plus tard au sol. Entourez le graphique qui représente le mieux la vitesse de la balle en fonction du temps.



Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

CHAPITRE 3

LE MOUVEMENT DES PROJECTILES

Le mouvement d'un projectile est souvent un peu plus complexe à décrire qu'un mouvement rectiligne uniformément accéléré. En effet, les projectiles lancés horizontalement ou obliquement suivent une trajectoire courbe : on ne peut donc pas décrire leur mouvement selon un seul axe.

Dans la section 1 de ce chapitre, vous verrez qu'on peut décrire le mouvement d'un projectile en considérant de manière indépendante deux mouvements simultanés, l'un s'effectuant verticalement, et l'autre, horizontalement.

Dans les sections 2, 3 et 4, vous utiliserez les équations du mouvement vues au chapitre 2 en les adaptant au traitement de situations impliquant des projectiles. Entre autres, le vecteur vitesse initiale devra être décomposé selon ses composantes verticale et horizontale. Vous découvrirez de nouveaux concepts comme la portée et le temps de vol.

SOMMAIRE

Section 1 L'indépendance des mouvements horizontal et vertical 76

Section 2 Les équations du mouvement des projectiles 78

Section 3 Le mouvement des projectiles lancés horizontalement 82

Section 4 Le mouvement des projectiles lancés obliquement 85

SECTION 1

L'INDÉPENDANCE DES MOUVEMENTS HORIZONTAL ET VERTICAL

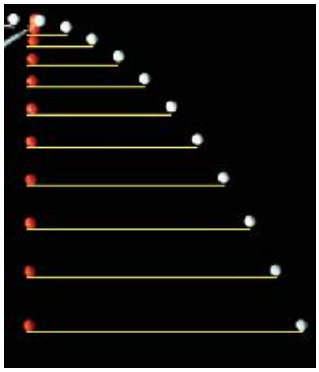
Un **projectile** est un corps lancé dans les airs et qui retombe sous la seule influence de la force gravitationnelle.

La chute libre, p. 64

Curviligne
Qui forme une courbe.

Puisqu'un projectile n'est soumis qu'à la force gravitationnelle, il est en chute libre. Cela ne veut toutefois pas dire que le mouvement d'un projectile est forcément rectiligne. En effet, si le projectile est lancé horizontalement ou obliquement, sa trajectoire est **curviligne**. Dans ces cas, le mouvement ne s'effectue pas selon un seul axe, mais simultanément selon l'axe des *x* et l'axe des *y*.

Lorsqu'on analyse la trajectoire d'un projectile en mouvement curviligne, on observe que le mouvement horizontal est indépendant du mouvement vertical (*voir les figures 3.1 et 3.2*).



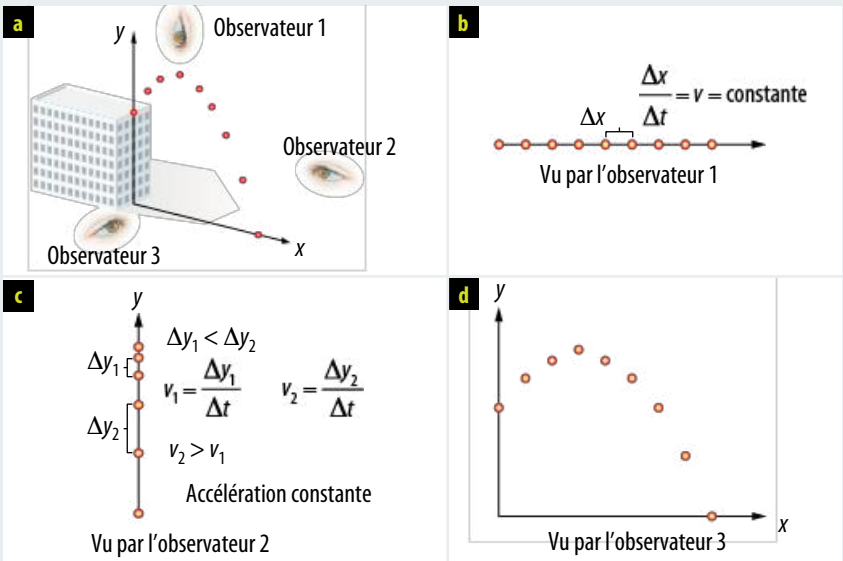
Mouvement vertical (selon l'axe des *y*)

- La balle rouge, qui était initialement au repos, représente un cas de chute libre, soit un mouvement rectiligne uniformément accéléré.
- La balle blanche, lancée horizontalement, a aussi un mouvement vertical :
  - elle commence à chuter dès son lancement ;
  - les positions verticales successives correspondent exactement à celles de la balle rouge lâchée initialement au repos.

Mouvement horizontal (selon l'axe des *x*)

- L'espacement entre les différentes positions horizontales demeure le même tout au long du mouvement, ce qui indique que le mouvement horizontal s'effectue à vitesse constante.

FIGURE 3.1 Deux balles lancées simultanément : une balle blanche lancée horizontalement (avec une vitesse initiale selon l'axe des *x*), et une balle rouge lâchée avec une vitesse initiale nulle.



a) Une balle est lancée obliquement du haut d'un immeuble. Trois personnes observent la balle et, selon leur emplacement, perçoivent trois mouvements différents.

b) L'observateur 1 voit le mouvement comme un mouvement rectiligne uniforme.

c) L'observateur 2 perçoit le mouvement présenté comme un mouvement rectiligne uniformément accéléré.

d) L'observateur 3 voit un mouvement curviligne selon l'axe des *x* et l'axe des *y* : la trajectoire d'un projectile.

FIGURE 3.2 Le mouvement d'un projectile vu par trois observateurs ayant un point de vue différent.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

1. Observez attentivement la figure 3.1. Citez une similitude et une différence entre les trajectoires des deux balles.

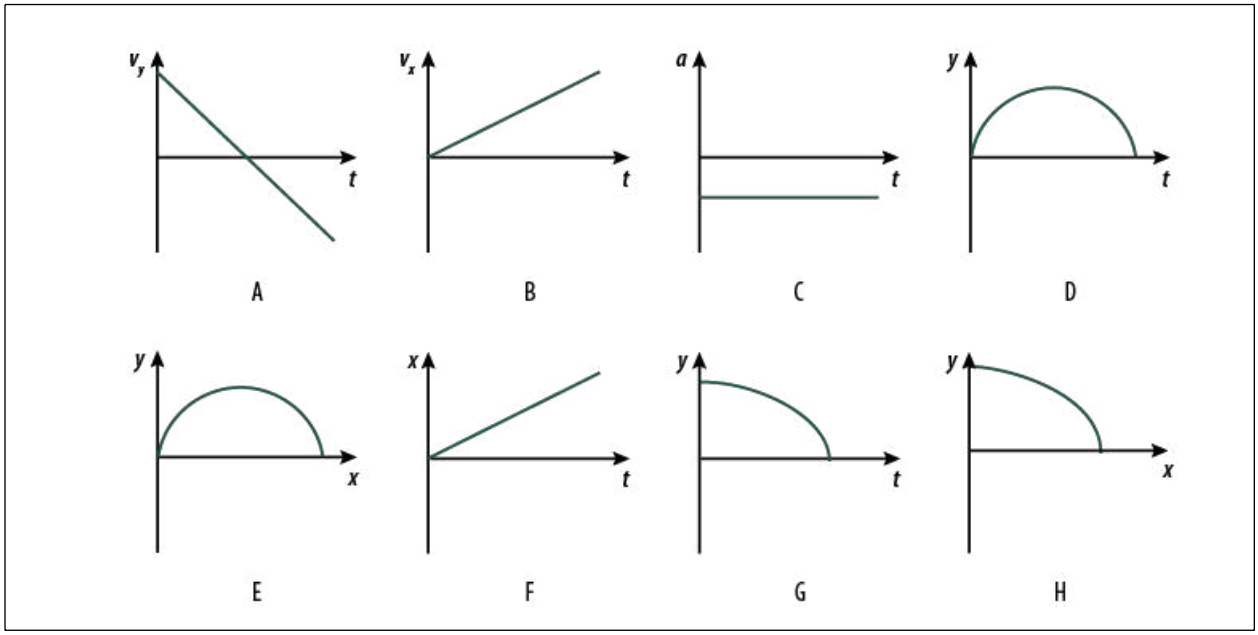
Similitude : _____

_____

Différence : _____

_____

2. On botte un ballon obliquement à partir du sol. Lequel ou lesquels des graphiques suivants pourraient représenter ce mouvement ?



3. Une flèche est tirée horizontalement depuis le haut d'une colline. Sa trajectoire est semblable à celle de la balle blanche illustrée à la figure 3.1.

a) Qu'adviendrait-il de la distance horizontale parcourue si la vitesse initiale de la flèche était doublée ? Justifiez votre réponse.

_____

_____

_____

b) Qu'adviendrait-il de la distance horizontale parcourue si la vitesse initiale de la flèche était diminuée du quart ? Justifiez votre réponse.

_____

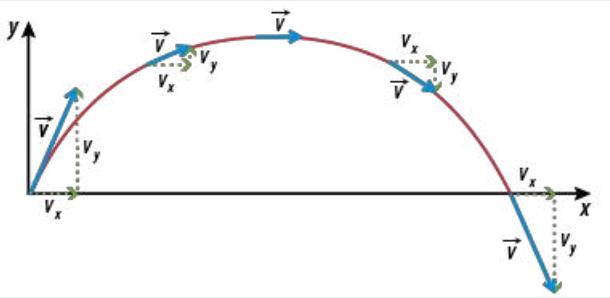
_____

_____

_____

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

SECTION 2 LES ÉQUATIONS DU MOUVEMENT DES PROJECTILES



Le vecteur vitesse peut comporter une composante horizontale et une composante verticale. La figure 3.3 montre l'évolution des composantes *x* et *y* du vecteur vitesse le long de la trajectoire d'un projectile.

FIGURE 3.3 La composante v_x demeure constante alors que la composante v_y, positive au départ, diminue jusqu'à devenir nulle au sommet de la trajectoire, puis devient négative et augmente en grandeur sur l'autre partie du trajet.

Les vecteurs, p. 11

Si on connaît les composantes v_x et v_y du vecteur vitesse à un instant donné, on peut calculer la grandeur de la vitesse en utilisant le théorème de Pythagore et on peut déterminer l'angle θ entre le vecteur vitesse et l'axe des *x* à l'aide d'une relation trigonométrique simple.

Comme le mouvement d'un projectile peut être traité en *x* et en *y* de manière indépendante, les équations du mouvement vues au chapitre 2 peuvent être mises à profit, avec quelques ajustements (*voir le tableau 3.1*).

TABLEAU 3.1 Les équations du mouvement des projectiles

Équations générales du MRUA	Équations du mouvement des projectiles	
	Équations décrivant le mouvement horizontal (MRU , selon l'axe des *x*)	Équations décrivant le mouvement vertical (MRUA , selon l'axe des *y*)
$v_f = v_i + a \times \Delta t$	$v_{fx} = v_{ix}$	$v_{fy} = v_{iy} + a_y \times \Delta t$ (équation 2)
$x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_i + v_f)\Delta t$	$x_f = x_i + v_{ix}\Delta t$ (équation 1)	$y_f = y_i + \frac{1}{2}(v_{iy} + v_{fy})\Delta t$ (équation 3)
$x_f = x_i + v_i\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2$	$x_f = x_i + v_{ix}\Delta t$	$y_f = y_i + v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y\Delta t^2$ (équation 4)
$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$	$v_{fx} = v_{ix}$	$v_{fy}^2 = v_{iy}^2 + 2a_y\Delta y$ (équation 5)

Note : En examinant les équations du tableau 3.1, on remarque que pour l'axe des *x*, il n'y a qu'une seule équation. En effet, en posant une accélération horizontale nulle ($a_x = 0$), l'équation 1 et l'équation 4 deviennent $v_{fx} = v_{ix}$. L'emploi de cette relation réduit les équations décrivant le mouvement horizontal à celle-ci : $x_f = x_i + v_{ix}\Delta t$. Ainsi, il y a cinq équations de base permettant d'analyser numériquement les mouvements des projectiles.

Voici un exemple où la vitesse initiale est uniquement horizontale.

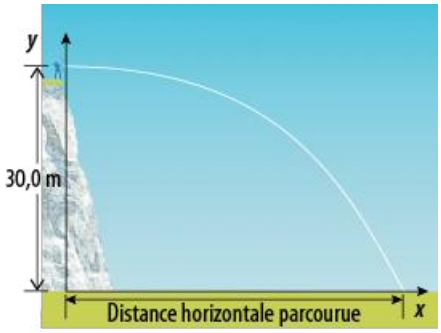
EXEMPLE 1

Un archer décoche une flèche à l'horizontale du sommet d'une colline de 30,0 m de hauteur. La vitesse initiale de la flèche est de 20,0 m/s. Déterminer la distance horizontale parcourue par la flèche.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE 1 (*suite*)

Données



1. On situe l'origine du référentiel à la base de la colline, sous l'archer.
2. La vitesse initiale est selon l'axe des *x* seulement ($v_{iy} = 0$).

$x_i = 0$ m	$y_i = 30{,}0$ m	$v_{ix} = 20{,}0$ m/s	$t_i = 0$ s	$a_y = {}^{-}9{,}80$ m/s^2
$x_f = ?$	$y_f = 0$ m	$v_{iy} = 0$ m/s	$t_f = ?$	

Solution

3. Pour trouver la distance horizontale parcourue, on doit connaître le temps requis pour que la flèche touche le sol. Pour cela, on traite le mouvement vertical en premier. Avec l'équation 4 du tableau 3.1, on peut déterminer cet intervalle de temps.

$$y_f = y_i + v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y\Delta t^2$$

$$0\text{ m} = 30{,}0\text{ m} + 0\text{ m/s} \times \Delta t + \frac{1}{2} \times {}^{-}9{,}80\text{ m/s}^2 \times \Delta t^2$$

$$= 30{,}0\text{ m} - 4{,}90\text{ m/s}^2 \times \Delta t^2 \rightarrow \Delta t^2 = \frac{0\text{ m} - 30{,}0\text{ m}}{{}^{-}4{,}90\text{ m/s}^2} = \Delta t = \sqrt{\frac{{}^{-}30\text{ m}}{{}^{-}4{,}90\text{ m/s}^2}} = 2{,}474\text{ s}$$

Maintenant que l'on connaît le temps mis par la flèche pour toucher le sol, on peut trouver la distance horizontale parcourue avec l'équation 1 :

$$x_f = x_i + v_{ix}\Delta t$$

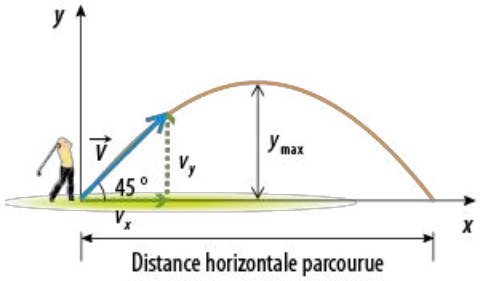
$$= 0\text{ m} + 20{,}0\text{ m/s} \times 2{,}47\text{ s} = 49{,}5\text{ m}$$

La distance horizontale parcourue par la flèche est de 49,5 m.

Voici un exemple où la vitesse initiale n'est pas uniquement à l'horizontale.

EXEMPLE 2

L'illustration ci-contre présente la trajectoire d'une balle frappée par un golfeur à un angle de 45° avec le sol. La vitesse initiale de la balle est de 18,0 m/s.



a) Déterminer la hauteur maximale atteinte par la balle.

b) Trouver la distance horizontale parcourue par la balle.

On situe l'origine du système à l'endroit où se trouve la balle au départ, donc la position initiale est : $x_i = 0$ m, $y_i = 0$ m.

Comme le vecteur vitesse fait un angle de 45° avec le sol, la composante *x* de la vitesse est égale à la composante *y*. En effet,

$$v_{iy} = v\sin 45° = 18{,}0\text{ m/s} \times 0{,}707 = 12{,}7\text{ m/s} \qquad v_{ix} = v\cos 45° = 18{,}0\text{ m/s} \times 0{,}707 = 12{,}7\text{ m/s}$$

a) Calcul de la hauteur maximale. Au sommet, la vitesse en *y* est nulle.

Données

$x_i = 0$ m	$v_{iy} = 12{,}7$ m/s
$x_f = ?$	$v_{fy} = 0$ m/s
$y_i = 0$ m	$t_f = 0$ s
$y_f = ?$	$t_i = ?$
$v_{ix} = 12{,}7$ m/s	$a_y = {}^{-}9{,}8$ m/s^2
$v_{fx} = 12{,}7$ m/s	

Solution

On doit choisir une équation qui peut fournir y_f en fonction des valeurs que l'on connaît. Il s'agit de l'équation 5 :

$$v_{fy}^2 = v_{iy}^2 + 2a_y\Delta y \quad \rightarrow \quad \Delta y = \frac{v_{fy}^2 - v_{iy}^2}{2a_y} = \frac{(0\text{ m/s})^2 - (12{,}7\text{ m/s})^2}{2 \times ({}^{-}9{,}80\text{ m/s}^2)} = 8{,}23\text{ m}$$

$$\Delta y = y_f - y_i$$

$$y_f = \Delta y + y_i = 8{,}23\text{ m} + 0\text{ m} = 8{,}23\text{ m}$$

La hauteur maximale atteinte par la balle est de 8,23 m.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE 2 (*suite*)

b) Calcul de la distance horizontale parcourue.

Données

$x_i = 0\,m$

$x_f = ?$

$y_i = 0\,m$

$y_f = 0\,m$

$v_{ix} = 12{,}7\,m/s$

$v_{fx} = 12{,}7\,m/s$

$v_{iy} = 12{,}7\,m/s$

$v_{fy} = ?$

$t_i = 0\,s$

$t_f = ?$

$a_y = -9{,}80\,m/s^2$

Solution

On doit choisir une équation qui peut fournir x_f en fonction des valeurs que l'on connaît. Ce sont les équations 4 et 1.

Trouvons Δt avec l'équation 4 :

$$y_f = y_i + v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y\Delta t^2$$

On peut placer l'équation du second degré sous la forme générale $ax^2 + bx + c = 0$:

Annexe 1.2 La résolution des équations du second degré, p. 226

$$\frac{1}{2}a_y\Delta t^2 - v_{iy}\Delta t + \Delta y = 0 \rightarrow 4{,}90\,m/s^2 \times \Delta t^2 - 12{,}7\,m/s \times \Delta t = 0\,m$$

Après factorisation :

$\Delta t \times (4{,}90\,m/s^2 \times \Delta t - 12{,}7\,m/s) = 0\,m$

$4{,}90\,m/s^2 \times \Delta t - 12{,}7\,m/s = 0\,m$

$\Delta t = 2{,}60\,s$

On trouve deux solutions :

$\Delta t = 0\,s$ (à rejeter)

$\Delta t = 2{,}6\,s$

On utilise l'équation 1 pour trouver x_f :

$x_f = x_i + v_{ix}\Delta t$

$x_f = 0 + 12{,}7\,m/s \times 2{,}6\,s = 33{,}1\,m$

La distance horizontale parcourue par la balle est de 33,0 m.

SECTION 2 EXERCICES

1. Un chasseur propulse une lance horizontalement à partir du sommet d'une falaise de 15 m de hauteur. La vitesse initiale de la lance est de 10 m/s.

a) Déterminez la distance horizontale parcourue par la lance.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

b) Déterminez la grandeur de la vitesse finale de la lance.

c) Quel est l'angle du vecteur vitesse avec l'horizontale lors du contact avec le sol ?

2. Un projectile est lancé à partir du sol selon un angle d'élévation de 45° et avec une vitesse initiale de 69,0 m/s. Il atteint le sommet de sa trajectoire après 5,00 s, puis il retombe au sol. Le graphique ci-contre illustre la trajectoire de ce projectile.

a) Quelles sont les composantes horizontale et verticale du vecteur vitesse initiale ?

b) Déterminez la norme du vecteur vitesse du projectile à t = 4,00 s.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

SECTION 3 LE MOUVEMENT DES PROJECTILES LANCÉS HORIZONTALEMENT

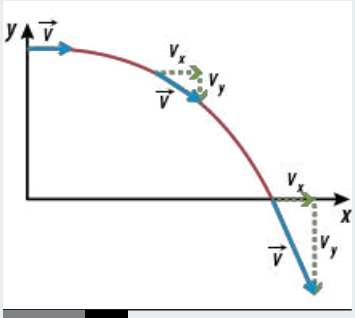


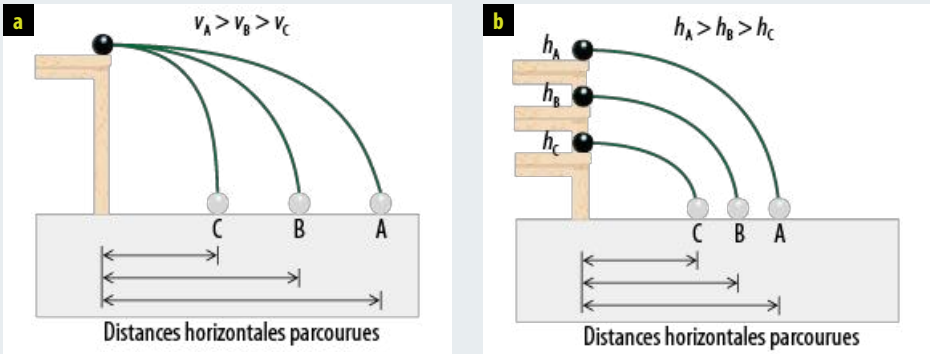
FIGURE 3.4 Dans le cas d'un projectile lancé horizontalement, la composante v_x demeure constante alors que la composante v_y, nulle au départ, devient négative et augmente en grandeur au fil du mouvement.

Comme on l'a constaté à la section précédente, les équations du mouvement permettent de traiter les problèmes liés au mouvement des projectiles, qu'ils soient lancés horizontalement ou obliquement.

Dans la présente section, on consolidera ses habiletés à analyser des situations où les projectiles sont lancés horizontalement, ayant donc une vitesse initiale v_{iy} nulle.

La figure 3.4 montre l'évolution des composantes x et y du vecteur vitesse le long de la trajectoire d'un projectile lancé à l'horizontale.

Ce cas se produit lorsqu'un objet est projeté à partir d'une certaine hauteur. La distance horizontale parcourue par le projectile dépend alors de la hauteur initiale, ainsi que de la vitesse initiale. La figure 3.5 illustre l'influence de ces deux facteurs sur la distance horizontale parcourue.



Pour une hauteur donnée, la distance horizontale parcourue dépend de la vitesse initiale.

Pour une vitesse initiale donnée, la distance horizontale parcourue dépend de la hauteur de départ.

FIGURE 3.5 L'influence de la hauteur initiale et de la vitesse initiale sur la distance horizontale parcourue par un projectile lancé horizontalement.

EXEMPLE

Dans un film d'action, une scène montre la chute d'une voiture roulant horizontalement à 40,0 m/s du haut d'une falaise de 70,0 m de haut.

a) Combien de temps la voiture met-elle avant de s'écraser au sol ?

b) À quelle distance du pied de la falaise ira-t-elle se fracasser ?

c) À quelle vitesse percutera-t-elle le sol ? Quelle sera l'orientation du vecteur vitesse à ce moment ?

Données

À l'arrivée de la voiture au sol, on peut dire que $y_f = 0$ m. La composante v_x demeure constante, donc $v_{ix} = v_{fx}$, tandis que la composante $v_{iy} = 0$ m/s.

$x_i = 0$ m	$y_i = 70{,}0$ m	$v_{ix} = 40{,}0$ m/s	$v_{iy} = 0$ m/s	$t_i = 0$ s	$a_y = -9{,}80$ m/s^2
$x_f = ?$	$y_f = 0$ m	$v_{fx} = 40{,}0$ m/s	$v_{fy} = ?$	$t_f = ?$	

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE (*suite*)

Solution

a) Il faut choisir une équation où seule t_f est inconnue. Il s'agit de l'équation 4.

$$y_f = y_i + v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y\Delta t^2$$

$$0\text{ m} = 70{,}0\text{ m} + (0\text{ m/s} \times \Delta t) + \frac{1}{2}(^-9{,}80\text{ m/s}^2 \times \Delta t^2)$$

$$\Delta t^2 = \frac{(0\text{ m} - 70{,}0\text{ m})}{^-4{,}90\text{ m/s}^2}$$

$$\Delta t = \sqrt{\frac{(0\text{ m} - 70{,}0\text{ m})}{^-4{,}90\text{ m/s}^2}} = 3{,}78\text{ s}$$

La voiture s'écrasera à $t = 3{,}78$ s.

b) Pour trouver x_f, on utilise l'équation 1 :

$$x_f = x_i + v_{ix}\Delta t$$

$$x_f = 0\text{ m} + 40{,}0\text{ m/s} \times 3{,}78\text{ s} = 151\text{ m}$$

La voiture s'écrasera à 151 m du pied de la falaise.

c) Pour trouver v_{fy}, on utilise l'équation 2 :

$$v_{fy} = v_{iy} + a_y \times \Delta t$$

$$v_{fy} = 0\text{ m/s} + {}^-9{,}80\text{ m/s}^2 \times 3{,}78\text{ s} = {}^-37{,}0\text{ m/s}$$

La grandeur du vecteur vitesse lors de l'impact se calcule à l'aide du théorème de Pythagore :

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$v = \sqrt{(40{,}0\text{ m/s})^2 + (^-37{,}0\text{ m/s})^2} = 54{,}5\text{ m/s}$$

On calcule l'orientation du vecteur vitesse.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{v_y}{v_x}\right|\right) = \tan^{-1}\left(\left|\frac{^-37{,}0\text{ m/s}}{40{,}0\text{ m/s}}\right|\right) = 42{,}8°$$

Puisque la composante x de la vitesse est positive et la composante y est négative :

$$\theta = 360° - \alpha = 360° - 42{,}8° = 317{,}2°$$

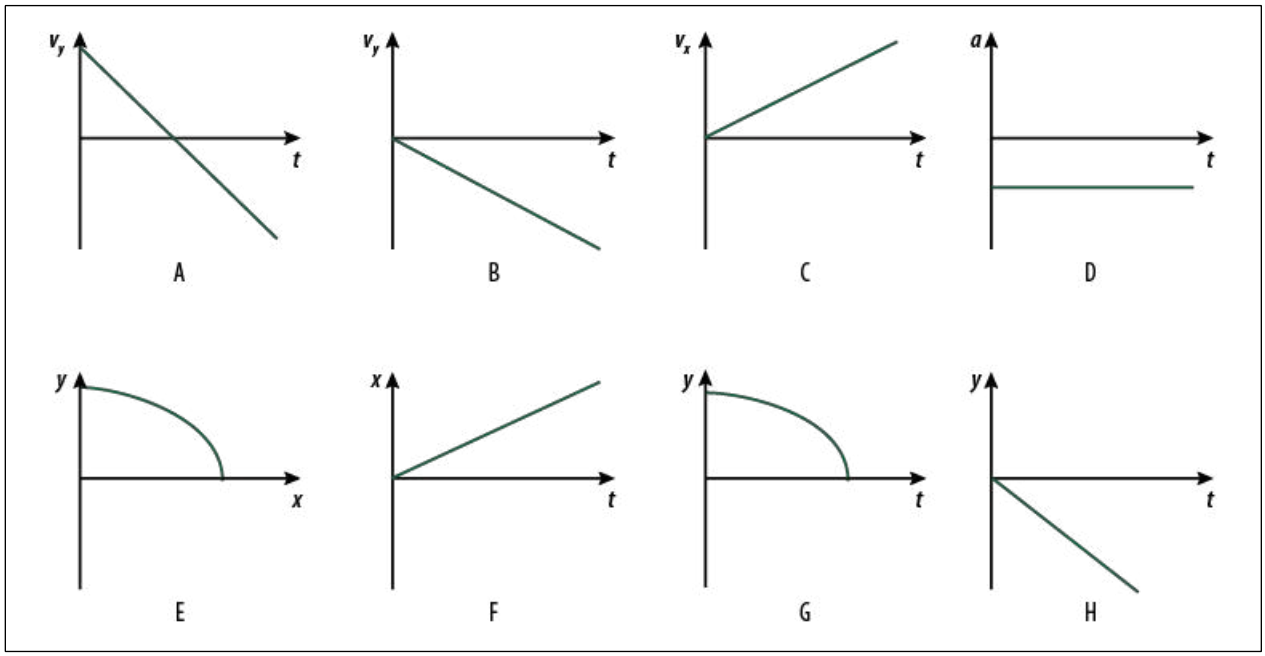
La voiture percutera le sol à une vitesse de 54,5 m/s orientée à 317,2° avec l'horizontale (mesuré en sens antihoraire à partir de l'axe des x positifs).

Les vecteurs, p. 11

EXERCICES

SECTION 3

1. Lesquels parmi les graphiques suivants pourraient décrire le mouvement d'une balle de baseball lancée horizontalement ?



Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2. D'une falaise abrupte de 85,0 m de hauteur, on lance horizontalement une pierre qui tombe à 50,0 m du pied de la falaise.

a) Combien de temps la pierre prendra-t-elle pour toucher le sol ?

b) Quelle est la vitesse horizontale initiale de la pierre ?

3. Du haut d'une crête rocheuse de 6,00 m de hauteur, un chasseur primitif voit un animal. Il projette sa lance à l'horizontale à une vitesse de 15,0 m/s. Atteindra-t-il l'animal si ce dernier se trouve à 17,0 m du pied de la crête rocheuse ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

LE MOUVEMENT DES PROJECTILES LANCÉS OBLIQUEMENT

SECTION 4

Dans la section 3, il était question des projectiles lancés horizontalement. Toutefois, dans la réalité, la majorité des projectiles sont lancés obliquement. La présente section portera spécifiquement sur ces projectiles. Comme l'exemple 2 de la section 2 le montre (*voir à la page 79*), les équations du mouvement s'appliquent aussi à ce type de situations.

4.1 La portée

La **portée** d'un projectile correspond à la distance horizontale qu'il peut parcourir de son point de départ à son point d'arrivée.

La portée peut être calculée à l'aide des équations du mouvement (*voir la section 2*). Toutefois, dans le cas où le point de départ et le point d'arrivée sont à la même hauteur ($y_i = y_f$), on peut dériver une équation générale nous permettant de la calculer directement (les unités sont celles du SI) :

$$\text{Portée} = \frac{v_i^2 \sin 2\theta_i}{g}$$

où Portée = portée, exprimée en mètres (m)

v_i = grandeur de la vitesse initiale, exprimée en mètres par seconde (m/s)

θ_i = angle de départ par rapport à l'horizontale, exprimé en degrés

g = grandeur de l'accélération gravitationnelle, exprimée en mètres par seconde carrée (m/s^2)

Le **temps de vol (Δt)** d'un projectile correspond à l'intervalle de temps entre son lancer ($t_i = 0$) et le moment où le projectile touche le sol (t_f), soit le temps durant lequel le projectile se trouve dans les airs.

TABLEAU 3.2 La portée en fonction de l'angle, pour v_i = 10 m/s

θ_i (°)	Portée (m)
0	0
10	3,5
20	6,6
30	8,8
40	10,0
45	10,2
50	10,0
60	8,8
70	6,6
80	3,5
90	0

4.2 La portée maximale

Le tableau 3.2 permet de constater que, pour une même vitesse initiale, et en négligeant la résistance de l'air, on obtient la portée maximale d'un projectile pour un angle de 45°. Ce tableau démontre également que, pour une portée donnée, il y a deux valeurs possibles de θ_i (*voir la figure 3.6*).

À QUOI ÇA SERT ? LA BALISTIQUE JUDICIAIRE

La balistique est la science qui étudie le mouvement des projectiles. Dans le domaine judiciaire, les experts en balistique sont d'une aide précieuse. En effet, lorsqu'on connaît la vitesse initiale des projectiles et les angles de tir, il est possible de recréer des scènes de crime.

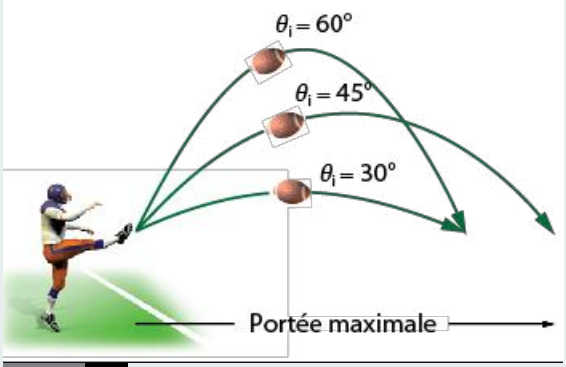


FIGURE 3.6 La portée en fonction de l'angle de départ.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EN PLUS… L'EFFET DE LA TRAÎNÉE SUR LES PROJECTILES

En absence de résistance de l'air, l'angle de portée maximale est de 45°. Cependant, dans plusieurs situations, la résistance de l'air vient diminuer la portée maximale d'un projectile.

Par exemple, lorsqu'une balle lisse est lancée, une poche d'air de pression plus faible se forme derrière elle : cela s'appelle une traînée. En aspirant la balle, la traînée contribue donc à la faire ralentir (*voir la figure 3.7a*). Par ailleurs, les alvéoles présentes sur les balles de golf créent de la turbulence autour de la balle, amenant l'air à épouser plus étroitement la forme de la balle. Cela réduit ainsi la traînée aérodynamique que subirait normalement la balle si sa surface était lisse (*voir la figure 3.7b*). Une balle avec alvéoles produit une traînée environ deux fois moins importante qu'une balle lisse et va plus loin qu'une balle lisse à cause d'une moins grande résistance de l'air.

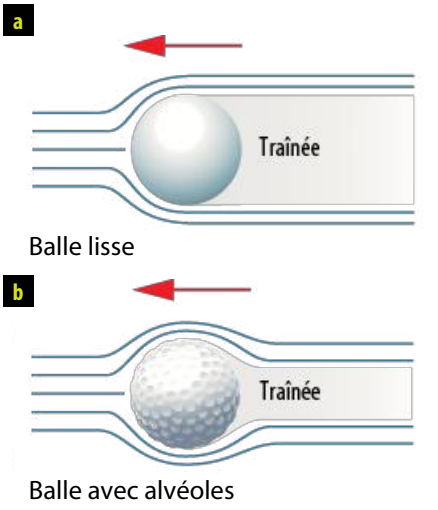


FIGURE 3.7 L'effet des alvéoles d'une balle de golf sur la traînée.

SECTION 4 EXERCICES

1. Une balle est lancée avec une vitesse initiale ayant une composante horizontale de 10,0 m/s et une composante verticale de 15,0 m/s.

a) Quelle est la grandeur du vecteur vitesse correspondant ?

b) Avec quel angle initial la balle est-elle lancée ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2. Un ballon de soccer est botté à un angle de 30° avec une vitesse initiale de 18,0 m/s.

a) Quelle sera la portée de ce botté ?

b) Si on garde la même vitesse initiale, quelle aurait pu être la portée maximale du botté ?

3. Une balle de fusil à air comprimé est tirée sous un angle de tir de 40° par rapport à l'horizontale. La vitesse initiale du projectile à la sortie du canon est de 200 m/s (on considère que $y_i = y_f = 0$).

a) Quelle est la portée du projectile s'il retombe au même niveau que celui où il a été lancé ?

b) Quel est le temps de vol du projectile ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

CHAPITRE 3 SYNTHÈSE

LE MOUVEMENT DES PROJECTILES

- Un **projectile** est un corps lancé dans les airs et qui retombe sous la seule influence de la force gravitationnelle.
- Le mouvement d'un projectile peut être décomposé en un mouvement vertical rectiligne uniformément accéléré et un mouvement horizontal rectiligne uniforme, les deux mouvements étant indépendants l'un de l'autre.
- Les équations du mouvement d'un projectile sont les suivantes :

Selon *x*	
$x_f = x_i + v_{ix}\Delta t$	(équation 1)
Selon *y*	
$v_{fy} = v_{iy} + a_y \times \Delta t$	(équation 2)
$y_f = y_i + \frac{1}{2}(v_{iy} + v_{fy})\Delta t$	(équation 3)
$y_f = y_i + v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y\Delta t^2$	(équation 4)
$v_{fy}^2 = v_{iy}^2 + 2a_y\Delta y$	(équation 5)

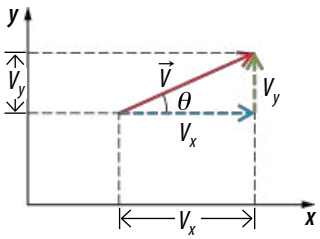
- Le vecteur vitesse peut comporter une composante verticale et une composante horizontale.

Par construction géométrique :

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$v_x = v\cos\theta$$

$$v_y = v\sin\theta$$



où θ est l'angle que forme le vecteur vitesse avec l'horizontale. La valeur de θ est calculée à partir de la valeur d'un angle α défini tel que :

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{V_y}{V_x}\right|\right)$$

selon quatre cas possibles (*voir la figure 11, à la page 14*) :

$\theta = 180° - \alpha$ $\qquad$ $\theta = \alpha$

$\theta = 180° + \alpha$ $\qquad$ $\theta = 360° - \alpha$

- La **portée** d'un projectile correspond à la distance horizontale qu'il peut parcourir de son point de départ à son point d'arrivée. Quand $y_i = y_f$, on peut utiliser la formule suivante :

$$\text{Portée} = \frac{v_i^2 \sin 2\theta_i}{g}$$

- Le temps de vol d'un projectile correspond à l'intervalle de temps entre son lancer (t_i) et son contact avec le sol (t_f), soit le temps durant lequel le projectile se trouve dans les airs.

EXERCICES

1 Parmi les énoncés suivants, entourez celui qui ne correspond pas aux caractéristiques d'un projectile.

A. Un caillou est lancé du haut d'un édifice. Il tombe à 30 m du pied de celui-ci.

B. Un pot de fleurs chute verticalement d'un balcon.

C. Un chasseur manque sa cible qui était à 20 m de lui.

D. Un joueur de baseball frappe une balle.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2 Vous vous trouvez au fameux club de golf *Le bouton à 18 trous.* Pour l'avoir fait plusieurs fois, vous savez qu'au 14e trou on peut atteindre le vert du premier coup lorsque la balle parcourt une distance horizontale de 204 m. Quelle doit être la vitesse initiale de la balle pour réussir ce coup si la balle quitte le sol avec un angle de 24° ?

3 Un participant à l'émission *Défis extrêmes* doit sauter par-dessus un vide de 2,50 m de large. Comme il est sur une surface glissante, il doit se propulser avec la plus petite vitesse initiale possible pour éviter de tomber, tout en ayant une portée d'au moins 3,00 m.

a) Avec quel angle devrait-il sauter pour avoir une portée d'au moins 3,00 m ? _____

b) Quelle est la grandeur du vecteur de cette vitesse initiale minimale ?

4 D'une fenêtre située à 20,0 m du sol, on lance horizontalement une flèche avec une vitesse de 150 m/s.

a) Quel sera le temps de vol de la flèche ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

b) Quelle sera la distance horizontale parcourue par la flèche ?

5 Dans une démonstration de ski acrobatique, un skieur quitte le tremplin selon un angle d'inclinaison de 20°. Il est en vol durant 3,00 s avant de retomber 20,0 m plus bas que son point d'envol. Déterminez les composantes de sa vitesse initiale juste avant qu'il ne quitte le tremplin ainsi que la grandeur du vecteur vitesse initiale.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

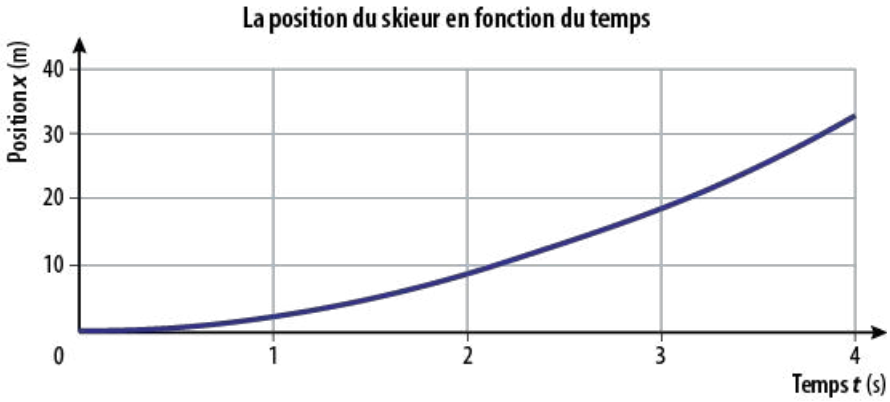
MODULE 1

CONSOLIDATION

1 On analyse la descente en ski alpin d'un athlète olympique. Les données recueillies lors d'une descente sont présentées dans le tableau et le graphique suivants.

Les valeurs de temps et de position du skieur

Temps t (s)	Position x (m)
0	0
1	2
2	8
3	18
4	32



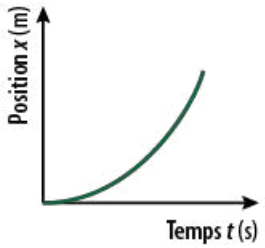
a) Quelle est la vitesse moyenne du skieur entre $t = 0$ s et $t = 4$ s ?

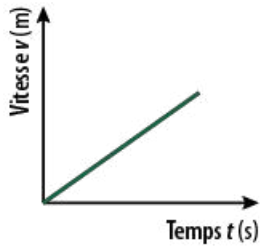
b) Comment pourrait-on déterminer l'accélération du skieur durant cet intervalle de temps ?

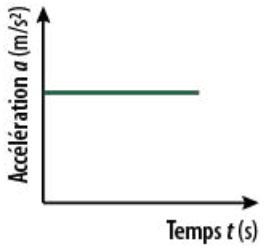
2 Un ascenseur ultramoderne monte à une vitesse constante de 20 m/s. Arrivée près de l'étage de destination, la cage d'ascenseur ralentit de façon uniforme jusqu'à l'arrêt en 3,0 s sur une distance de 10 m. Quelle accélération subit-elle durant ces 3 dernières secondes ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

3 Samir a réalisé les trois graphiques suivants en lien avec une expérience de cinématique.







Il a oublié d'indiquer à quel type de mouvement sont associés ces trois graphiques. Parmi les trois situations ci-dessous, laquelle ne peut pas correspondre à l'expérience de Samir ?

A. Un objet en chute libre.

B. Un objet qui glisse sur un plan incliné.

C. Un objet en mouvement rectiligne uniforme.

4 Un ballon est lancé à partir du sol selon un angle de 28° au-dessus du sol et avec une vitesse initiale de 35,0 m/s. Il atteint le sommet de sa trajectoire après 1,70 s, puis il retombe au sol. Le graphique ci-contre illustre la trajectoire de ce ballon.

a) Selon une simple estimation, combien de temps le ballon se trouve-t-il dans les airs ?

b) Quelles sont les composantes horizontale et verticale du vecteur vitesse initiale ?

c) Déterminez la norme du vecteur vitesse du projectile à t = 1,00 s.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MODULE 2

La dynamique

SOMMAIRE

Chapitre 4 Les différents types de forces 94
Chapitre 5 Les corps soumis à différentes forces 119
Chapitre 6 Les lois de Newton 136

CHAPITRE 4

LES DIFFÉRENTS TYPES DE FORCES

Le module précédent portait sur la cinématique, domaine de la physique qui s'intéresse au mouvement des corps sans considérer ce qui provoque ou modifie ce mouvement. Avec ce nouveau chapitre, nous abordons maintenant la dynamique. Ce domaine de la physique étudie les causes du mouvement, soit les différentes forces qui exercent une influence sur un corps.

Plusieurs types de forces sont à l'origine des phénomènes qui nous entourent : la force gravitationnelle qui régit le ballet cosmique des corps célestes, la force d'interaction, faible ou forte, qui s'exerce à l'intérieur des atomes, la force électromotrice induite par un champ magnétique, etc.

Dans ce chapitre, nous définirons en premier lieu ce qu'est une force. Nous verrons ensuite cinq exemples de forces : la force gravitationnelle, la force normale, la force de frottement, la tension et la force centripète. Nous nous servirons de la force centripète pour décrire un nouveau type de mouvement : le mouvement circulaire uniforme.

SOMMAIRE

Section 1 La notion de force 95
Section 2 La force gravitationnelle 96
Section 3 La force normale 102
Section 4 La force de frottement 104
Section 5 La tension 108
Section 6 La force centripète 110

LA NOTION DE FORCE

SECTION 1

Une **force** est une grandeur vectorielle dont l'action sur un corps fait subir à ce dernier une déformation ou une modification de son mouvement.

Une modification du mouvement d'un corps peut se manifester de différentes manières. Si un corps est initialement au repos, il peut s'agir de l'amorce d'un mouvement. Si le corps est en mouvement, l'effet d'une force peut se manifester par une accélération, que ce soit une augmentation de la vitesse, une diminution de la vitesse ou un changement de direction (*voir le tableau 4.1*).

La notion d'accélération, p. 46

TABLEAU 4.1 L'accélération d'un corps (mise en mouvement, augmentation ou diminution de la vitesse, changement de direction) selon la force exercée sur ce corps

Force exercée	Description	Résultat
Force	Une force exercée sur un corps initialement au repos peut amorcer une mise en mouvement du corps.	Mise en mouvement
Force	Une force exercée sur un corps en mouvement dans le même sens[1] que le mouvement peut amener une augmentation de la vitesse.	Augmentation de la vitesse
Force	Une force exercée sur un corps en mouvement dans le sens[1] contraire au mouvement peut amener une diminution de la vitesse.	Diminution de la vitesse
Force	Une force exercée sur un corps en mouvement dans une direction[1] différente du mouvement peut provoquer un changement de direction du corps. Dans tous les cas, une variation dans la direction du vecteur vitesse est une accélération.	Changement de direction

1. La direction et le sens qui définissent l'orientation d'un vecteur ne doivent pas être confondus : la direction est déterminée par le segment de droite tandis que le sens est indiqué par la pointe de la flèche. Par exemple, un vecteur qui pointe vers le nord a une direction nord-sud, mais son sens est orienté vers le nord.

Les vecteurs, p. 11

Si aucune force n'est exercée sur un corps, celui-ci demeure au repos ou conserve son mouvement rectiligne uniforme. Cette notion sera approfondie au chapitre 6.

Dans le SI, l'unité de la force est le newton (N). Le newton est défini comme la force requise pour donner à une masse de 1 kg une accélération de 1 m/s^2. Autrement dit, il faut 1 N pour augmenter la vitesse d'une masse de 1 kg de 1 m/s à chaque seconde. Ainsi, le newton s'exprime comme suit :

$$1\,\text{N} = 1\,\frac{\text{kg} \times \text{m}}{\text{s}^2}$$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

SECTION 2 LA FORCE GRAVITATIONNELLE

La **force gravitationnelle ($\vec{F}_g$)** est l'attraction mutuelle des corps due à leur masse.

2.1 La loi de la gravitation universelle

Selon l'anecdote bien connue, le physicien et mathématicien anglais Isaac Newton (1643-1727) aurait établi la loi de la gravitation après avoir observé une pomme tomber d'un pommier. D'après cette loi, deux corps sont attirés l'un vers l'autre par une force appelée « force gravitationnelle ». Ainsi, la Terre attire la pomme et la pomme attire la Terre, même si cette dernière attraction et le mouvement qu'elle provoque sont imperceptibles.

Mathématiquement, la loi de la gravitation universelle se formule ainsi :

La loi de la gravitation universelle

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

où F_g = grandeur de la force gravitationnelle entre deux corps, exprimée en newtons (N)

G = constante gravitationnelle = $6{,}67 \times 10^{-11} \frac{\text{N} \times \text{m}^2}{\text{kg}^2}$

m_1 = masse d'un corps, exprimée en kilogrammes (kg)

m_2 = masse de l'autre corps, exprimée en kilogrammes (kg)

r = distance entre les deux corps, exprimée en mètres (m)

Cette équation montre premièrement que la force d'attraction gravitationnelle est proportionnelle aux masses des deux corps en interaction : plus les masses sont grandes, plus la force d'attraction gravitationnelle entre les corps est grande. Deuxièmement, elle montre que la force gravitationnelle agit à distance et qu'elle est inversement proportionnelle au carré de la distance qui sépare les deux corps : plus la distance qui sépare deux corps est grande, moins la force d'attraction gravitationnelle est grande.

Les exemples suivants mettent en application la formule de la gravitation universelle dans deux situations courantes.

EXEMPLE 1

Quelle est la force gravitationnelle entre un manuel de physique de 2,00 kg et la Terre ? La masse de la Terre est de $5{,}98 \times 10^{24}$ kg et son rayon moyen est de $6{,}37 \times 10^6$ m.

Données

$r = 6{,}37 \times 10^6$ m

$m_1 = 5{,}98 \times 10^{24}$ kg

$m_2 = 2{,}00$ kg

$F_g = ?$

Solution

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

$$F_g = \frac{\left(6{,}67 \times 10^{-11} \frac{\text{N} \times \text{m}^2}{\text{kg}^2}\right) \times \left(5{,}98 \times 10^{24}\ \text{kg}\right) \times 2{,}00\ \text{kg}}{\left(6{,}37 \times 10^6\ \text{m}\right)^2} = 19{,}7\ \text{N}$$

La force gravitationnelle qui s'exerce entre le manuel et la Terre est de 19,7 N.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE 2

Quelle est la force gravitationnelle entre un livre de 2,00 kg et une gomme à effacer de 100 g situés à 2,00 m l'un de l'autre ?

Données

$r = 2{,}00$ m

$m_1 = 2{,}00$ kg

$m_2 = 100$ g $= 0{,}100$ kg

$F_g = ?$

Solution

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

$$F_g = \frac{\left(6{,}67\times10^{-11}\frac{\text{N}\times\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\times(2{,}00\text{ kg})\times(0{,}100\text{ kg})}{(2{,}00\text{ m})^2} = 3{,}34\times10^{-12}\text{ N}$$

La force gravitationnelle qui s'exerce entre le livre et la gomme à effacer est de $3{,}34\times10^{-12}$ N.

ZOOM JOHANNES KEPLER ET ISAAC NEWTON

FIGURE 4.1 Johannes Kepler (1571-1630).

Astronome, physicien et mathématicien allemand, Johannes Kepler est un précurseur d'Isaac Newton. En plus de ses découvertes dans le domaine de l'optique (*voir le cahier* Delta *Optique, à la page 66*), il a établi trois lois, d'ailleurs appelées lois de Kepler, fondées sur une observation rigoureuse du mouvement des astres. Ces lois décrivent les mouvements des planètes autour du Soleil.

Quant à Isaac Newton (*voir aussi le chapitre 2 à la page 55*), il a unifié les concepts de force gravitationnelle terrestre et de force gravitationnelle céleste en une seule loi : la loi de la gravitation universelle. C'est à partir des trois lois démontrées par Johannes Kepler qu'il établit, en 1687, un modèle plus général de la force gravitationnelle, ce qui lui a permis du même coup de démontrer théoriquement les lois de Kepler.

La loi de la gravitation universelle, qui stipule que deux corps sont attirés mutuellement en fonction de leur masse respective et de la distance qui les sépare, permet d'expliquer différents phénomènes comme les marées et le mouvement des comètes.

2.2 L'accélération gravitationnelle et le poids

RAPPEL LA MASSE ET LE POIDS

En 4e secondaire, on a vu que la masse et le poids sont deux choses différentes.

La masse (m) d'un corps correspond à la quantité de matière que ce corps contient. Le poids ($\vec{F_g}$) d'un corps correspond à la force gravitationnelle exercée sur lui par la Terre.

L'**accélération gravitationnelle ($\vec{g}$)** est l'accélération subie par un corps en chute libre près de la surface de la Terre ou de la surface d'un autre astre.

Le sens commun suggère qu'un objet lourd tombe plus rapidement qu'un objet léger. Cependant, Galilée a démontré au 17e siècle que des objets de masse différente lâchés d'une même hauteur arrivaient systématiquement au sol en même temps, si les effets de la résistance de l'air sont négligeables. Il a ainsi mis en lumière le fait que les objets en chute libre subissent tous la même accélération orientée vers le centre de la Terre, et ce, indépendamment de leur masse. La grandeur de cette accélération, appelée accélération gravitationnelle, est $g = 9{,}80$ m/s^2 sur la Terre.

La chute libre, p. 64

L'accélération gravitationnelle, p. 64

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

La valeur de g est obtenue à partir de la loi de la gravitation universelle. Elle est tributaire de la masse de la planète et de son rayon et elle est la même pour tout objet de masse différente (à la condition qu'il soit situé près de la surface de la Terre).

Si on utilise, dans l'équation de la loi de la gravitation universelle, les paramètres connus suivants :

$m_1 = m_T =$ masse de la Terre $= 5{,}98 \times 10^{24}$ kg

$r = r_T =$ rayon moyen de la Terre $= 6{,}37 \times 10^6$ m

et qu'on note la masse du deuxième corps par m plutôt que m_2, on obtient :

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2} = \frac{Gm_Tm}{r_T^2} = \left(\frac{Gm_T}{r_T^2}\right) \times m = \left(\frac{\left(6{,}67 \times 10^{-11} \frac{\text{N} \times \text{m}^2}{\text{kg}^2}\right) \times \left(5{,}98 \times 10^{24}\ \text{kg}\right)}{(6{,}37 \times 10^6\ \text{m})^2}\right) \times m = \left(9{,}83 \frac{\text{N}}{\text{kg}}\right) \times m$$

Puisque $1\ \text{N} = 1 \frac{\text{kg} \times \text{m}}{\text{s}^2}$, on peut établir que $1 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Donc :

$F_g = (9{,}83\ \text{m/s}^2) \times m$

Ainsi, une force peut s'exprimer comme une masse multipliée par une accélération : l'accélération gravitationnelle. Toutefois, la valeur de l'accélération que donnent nos calculs (9,83 m/s^2) diffère légèrement de la valeur attendue pour l'accélération gravitationnelle (g) sur Terre, qui est de 9,80 m/s^2. On explique cette situation principalement par le fait que la Terre n'est pas parfaitement sphérique. De plus, sur Terre, l'accélération d'un corps en chute libre est influencée par la rotation de la Terre. Cela implique que la valeur apparente de g varie en fonction de la latitude. D'autre part, g varie également en fonction de l'altitude et des légères variations locales de la masse volumique de la Terre. Par conséquent, il a été convenu pour simplifier d'utiliser dans ce cahier g = 9,80 m/s^2 comme valeur pour l'accélération gravitationnelle.

Ainsi, on utilisera :

$$g = \frac{Gm_T}{r_T^2} = 9{,}80\ \text{m/s}^2$$

et

$$F_g = mg = m \times (9{,}80\ \text{m/s}^2)$$

Quand un corps est sur la surface ou près de la surface d'une planète, la force gravitationnelle exercée sur lui par cette planète est appelée « poids ». Ainsi, sur Terre, le poids d'une personne correspond à la force gravitationnelle exercée sur cette personne par la Terre.

Tout comme le vecteur accélération gravitationnelle ($\vec{g}$), le vecteur poids ($\vec{F}_g$) est toujours orienté vers le centre de la Terre.

La force gravitationnelle (le poids)

$$\vec{F}_g = m\vec{g}$$

où $\vec{F}_g$ = force gravitationnelle qui s'exerce sur un corps près de la surface de la Terre (poids du corps), exprimée en newtons (N)

m = masse du corps, exprimée en kilogrammes (kg)

$\vec{g}$ = accélération gravitationnelle, exprimée en mètres par seconde carrée (m/s^2) (g = 9,80 m/s^2 sur Terre)

L'exemple suivant illustre une application de la formule de la force gravitationnelle.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE

a) Quel est le poids d'une personne de 65,0 kg sur la Terre ?

b) Quel est le poids de cette même personne sur la planète Mars ?

c) Quel est le rapport entre le poids de la personne sur la Terre et son poids sur Mars ?

Solution

a) Le poids d'une personne de 65,0 kg sur la Terre est obtenu à l'aide de la formule de la force gravitationnelle exercée par la Terre sur un corps situé près de sa surface :

$$F_g = mg = 65{,}0\ \text{kg} \times (9{,}80\ \text{m/s}^2) = 637\ \text{N}$$

Le poids de la personne sur la Terre est de 637 N.

b) Le poids d'une personne de 65,0 kg sur la planète Mars est obtenu à l'aide de la loi de la gravitation universelle :

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \qquad \text{où} \quad m_1 = 6{,}39 \times 10^{23}\ \text{kg}$$

$$m_2 = 65{,}0\ \text{kg}$$

$$r = r_{\text{moyen de Mars}} = 3{,}39 \times 10^6\ \text{m}$$

$$F_g = \frac{\left(6{,}67 \times 10^{-11}\ \frac{\text{N} \times \text{m}^2}{\text{kg}^2}\right) \times (6{,}39 \times 10^{23}\ \text{kg}) \times 65{,}0\ \text{kg}}{(3{,}39 \times 10^6\ \text{m})^2} = 241\ \text{N}$$

Le poids de la personne sur Mars est de 241 N.

c) $\frac{F_{g\,\text{Terre}}}{F_{g\text{Mars}}} = \frac{637\ \text{N}}{241\ \text{N}} = 2{,}64$

Le poids d'une personne est 2,64 fois plus grand sur la Terre que sur Mars.

À QUOI ÇA SERT ? LA GRAVIMÉTRIE

FIGURE 4.3 Un gravimètre portatif.

La gravimétrie est une technique géophysique qui permet de mesurer la valeur de l'accélération gravitationnelle (*g*) en un point donné de la Terre. Cette valeur n'est pas uniforme partout. Comme la Terre a une forme légèrement écrasée, son rayon à l'équateur est plus grand que celui aux pôles, ce qui influe sur la valeur de *g*. La composition du sol et l'altitude font aussi varier *g*.

La géologie est un domaine qui a beaucoup bénéficié de la gravimétrie. Les relevés pris sur le terrain à l'aide d'un gravimètre (*voir la figure 4.3*) permettent de créer des représentations des structures souterraines sans avoir à effectuer de multiples forages. L'industrie tire aussi profit de cette technique, qui permet de détecter autant un gisement riche en métaux (valeur de *g* plus élevée) qu'un réservoir d'hydrocarbures (valeur de *g* plus faible).

EN PLUS…

LA BALANCE ET LE DYNAMOMÈTRE

Dans la vie de tous les jours, on ne fait pas de distinction entre les concepts de masse et de poids. Mais en physique, on doit bien distinguer les deux, car ils décrivent des grandeurs différentes.

La masse est une propriété intrinsèque d'un corps, car elle est une mesure de la quantité de matière qu'il contient. Elle s'obtient à l'aide d'une balance (*voir la figure 4.2a*) et son unité de mesure est le kilogramme (kg).

Le poids est une mesure de la force gravitationnelle exercée sur un corps par un astre. Il s'obtient à l'aide d'un dynamomètre (*voir la figure 4.2b*) et son unité de mesure est le newton (N).

Une balance à contrepoids mesure la masse d'un objet par comparaison à une masse étalon. Ce type de balance est utilisé dans de nombreux marchés à travers le monde.

Un dynamomètre utilisé dans les laboratoires de physique pour mesurer le poids d'un objet. Les pèse-personnes sont des dynamomètres calibrés pour une utilisation à la surface de la Terre.

FIGURE 4.2 Une balance et un dynamomètre.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXERCICES

Données utiles pour la réalisation de certains exercices :

- Masse de la Terre : $m_T = 5{,}98 \times 10^{24}$ kg
- Rayon moyen de la Terre : $r_T = 6{,}37 \times 10^{6}$ m
- $G = 6{,}67 \times 10^{-11} \dfrac{\text{N} \times \text{m}^2}{\text{kg}^2}$

1. Vrai ou faux ? Justifiez votre réponse lorsque vous jugez qu'un énoncé est faux.

	VRAI	FAUX
a) 1 N équivaut à la force requise pour donner à un objet de 10 kg une accélération de 1 m/s^2.	☐	☐
b) Si aucune force n'est exercée sur un objet, celui-ci demeure au repos ou conserve son mouvement rectiligne uniforme.	☐	☐
c) 1 N correspond à la force requise pour donner à un objet de 100 g une accélération de 10 m/s^2.	☐	☐

Justification : _____

_____

_____

2. Vrai ou faux ? Justifiez votre réponse lorsque vous jugez qu'un énoncé est faux.

	VRAI	FAUX
a) L'accélération gravitationnelle diminue si on s'éloigne de la surface de la Terre.	☐	☐
b) Si un objet est immobile, cela implique nécessairement qu'aucune force gravitationnelle ne s'exerce sur lui.	☐	☐
c) Le poids d'un alpiniste est plus faible au sommet de l'Everest que lorsqu'il se trouve près du niveau de la mer.	☐	☐
d) Pour une même masse planétaire, plus le diamètre d'une planète est grand, plus la force gravitationnelle est importante à sa surface.	☐	☐
e) *g* (9,80 m/s^2) est une constante universelle.	☐	☐
f) La masse d'un objet dépend de la planète sur laquelle il se trouve.	☐	☐

Justification : _____

_____

_____

_____

_____

3. Calculez la force gravitationnelle exercée par la Terre sur une personne de 80,0 kg.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

4. Quelle est la valeur de l'accélération gravitationnelle terrestre à une altitude de quatre rayons terrestres ?

5. Quel est le poids d'une personne de 85,0 kg qui se trouve sur la Lune, considérant que l'accélération gravitationnelle y est environ six fois plus faible que sur la Terre ?

6. Une planète extrasolaire a été découverte à plusieurs années-lumière de la Terre. Les scientifiques ont réussi à estimer sa masse à environ 18 fois celle de la Terre pour un diamètre environ 5 fois plus grand.

a) En vous servant des variations de diamètre et de masse de la nouvelle planète par rapport aux paramètres de la Terre, calculez l'accélération gravitationnelle à la surface de cette planète.

b) Quel serait le poids d'une personne de 70,0 kg sur cette planète ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

SECTION 3 LA FORCE NORMALE

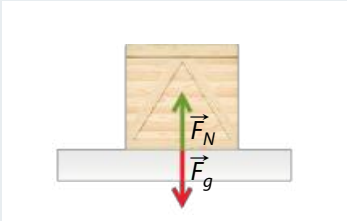


FIGURE 4.4 La force normale. Lorsqu'un corps est déposé sur une surface plane horizontale, la force normale qui s'exerce sur ce corps est égale à la force gravitationnelle, mais de sens opposé.

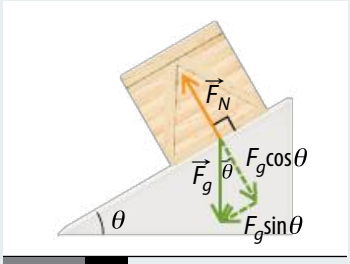


FIGURE 4.5 La force normale exercée sur un corps par la surface d'un plan incliné.

La **force normale ($\vec{F}_N$)** est la résistance de la surface d'un corps à une force exercée par un autre corps en contact.

Toute surface applique une force qui empêche un corps sur laquelle il est appuyé de s'y enfoncer. Cette force, appelée « force normale », est perpendiculaire à la surface de contact (*voir la figure 4.4*). La force normale découle de la troisième loi de Newton, qui sera vue en détail au chapitre 6. La figure 4.5 illustre un corps posé sur un plan incliné qui n'est soumis qu'aux forces gravitationnelle et normale. On utilise la formule suivante pour déterminer la force normale exercée par la surface du plan incliné sur le corps :

La force normale exercée par la surface d'un plan incliné sur un corps

$$F_N = mg\cos\theta$$

où F_N = force normale, exprimée en newtons (N)

m = masse du corps soumis à l'accélération gravitationnelle, exprimée en kilogrammes (kg)

g = accélération gravitationnelle, exprimée en mètres par seconde carrée (m/s²)

θ = angle d'inclinaison du plan incliné par rapport à l'horizontale, exprimé en degrés (°)

Voici deux exemples de calcul de la force normale qui s'exerce sur un corps (l'un sur un plan horizontal et l'autre sur un plan incliné).

EXEMPLE 1

On place un bloc de bois de 3,00 kg sur une table. Quelle est la force normale exercée par la table sur le bloc ?

La force normale ($\vec{F}_N$) est égale à la force gravitationnelle ($\vec{F}_g$) qui s'exerce sur le bloc, mais en sens opposé.

Données

$g = 9{,}80\ \text{m/s}^2$

$m = 3{,}00\ \text{kg}$

$\vec{F}_g = ?$

$\vec{F}_N = ?$

Solution

$F_g = mg = 3{,}00\ \text{kg} \times (9{,}80\ \text{m/s}^2) = 29{,}4\ \text{N}$

$\vec{F}_N = -\vec{F}_g$

$F_N = F_g = 29{,}4\ \text{N}$

La force normale exercée par la table sur le bloc est de 29,4 N vers le haut.

EXEMPLE 2

Une caisse de 20,0 kg est installée sur une rampe inclinée selon un angle de 25,0° au-dessus de l'horizontale. Quelle est la force normale exercée par la rampe sur la caisse ?

La force normale correspond à la composante de la force gravitationnelle perpendiculaire au plan incliné.

Données

$g = 9{,}80\ \text{m/s}^2$

$m = 20{,}0\ \text{kg}$

$\theta = 25{,}0°$

$\vec{F}_N = ?$

Solution

$F_N = mg\cos\theta = 20{,}0\ \text{kg} \times (9{,}80\ \text{m/s}^2) \times \cos 25{,}0° = 178\ \text{N}$

La force normale exercée par la rampe sur la caisse est de 178 N perpendiculaire au plan incliné et vers le haut.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

1. Vrai ou faux ? Justifiez votre réponse lorsque vous jugez qu'un énoncé est faux.

	VRAI	FAUX
a) En toute circonstance, il y a une force normale qui s'applique.	☐	☐
b) La force normale est perpendiculaire à la surface de contact.	☐	☐
c) La force normale correspond toujours à l'inverse de la force gravitationnelle.	☐	☐
d) La force normale est une force qui agit à distance.	☐	☐

Justification : _____

_____

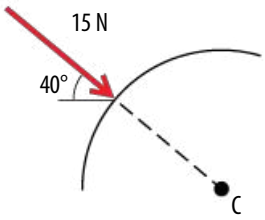
_____

_____

2. Déterminez la force normale exercée par une table d'opération sur un patient de 90,0 kg.

3. Calculez la force normale exercée par un plan incliné de 15,0° sur une caisse de bois de 60,0 kg placée dessus.

4. On applique une force de 15 N sur une sphère de centre C. Quelles sont la grandeur et l'orientation de la force normale exercée par la surface de la sphère ?



Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

SECTION 4 LA FORCE DE FROTTEMENT

RAPPEL LE FROTTEMENT

En 4e secondaire, on a vu que le frottement est une force qui s'oppose au glissement d'une surface sur une autre.

4.1 La nature du frottement

Lorsque deux corps solides sont en contact et qu'on en déplace un par rapport à l'autre ou qu'on tente d'en déplacer un par rapport à l'autre, il y a un frottement entre les deux. Le frottement est la force exercée par une surface sur un corps, dans le sens opposé au mouvement relatif du corps sur cette surface (*voir la figure 4.6*).

La **force de frottement ($\vec{F}_f$)** est une force qui s'oppose au mouvement.

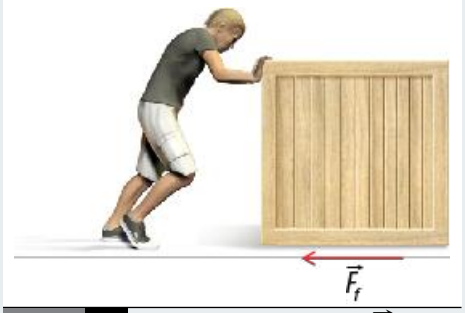


FIGURE 4.6 La force de frottement ($\vec{F}_f$).

Le frottement est une force de contact. Lorsque deux corps ne sont pas en contact, il n'y a pas de force de frottement.

Des surfaces qui paraissent lisses à l'œil nu peuvent montrer au microscope de nombreuses anfractuosités et un relief rugueux. Cette rugosité crée des points d'ancrage, comme le montre la figure 4.7. Lorsque deux corps sont immobiles l'un contre l'autre, il se forme des liaisons entre leurs multiples points de contact. Il est donc plus difficile de mettre en mouvement un objet initialement au repos que d'entretenir un mouvement déjà amorcé, car il faut briser les liaisons qui se sont formées entre les deux surfaces en contact l'une avec l'autre.

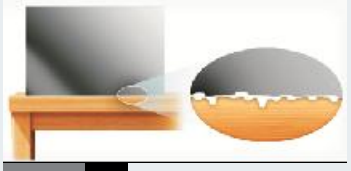


FIGURE 4.7 Deux surfaces en contact, apparemment lisses, révèlent une rugosité de surface à l'échelle microscopique.

Le frottement entre deux corps qui glissent l'un sur l'autre est proportionnel à la force normale qui s'exerce entre eux. Il dépend aussi de la nature des surfaces en contact (matériaux), de leur rugosité et de leur état (surfaces lubrifiées ou sèches). Par contre, le frottement est indépendant de la forme ou de l'aire des surfaces en contact.

Lorsqu'il y a un frottement entre deux corps solides, deux cas peuvent survenir. Premièrement, il se peut que les deux corps ne glissent pas l'un sur l'autre, malgré une force exercée latéralement. Il s'agit alors d'un **frottement statique** ou d'adhérence. Le frottement statique est une force qui empêche un glissement. Par exemple, sans frottement statique entre la semelle de nos souliers et le sol, nous ne pourrions pas marcher. Sans frottement statique entre les pneus d'une voiture et la chaussée, on ne pourrait pas circuler sans déraper. Dans le deuxième cas, les deux corps glissent l'un sur l'autre. Il s'agit alors d'un **frottement cinétique**.

Pour qu'un corps initialement immobile se mette en mouvement sur une surface, il faut exercer sur lui, parallèlement à cette surface, une force plus grande que la valeur maximale que peut prendre le frottement statique entre ce corps et cette surface.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

4.2 Le coefficient de frottement

Le frottement dépend de la nature des surfaces en contact et de leur rugosité. Le frottement est lié à la force normale (*voir la section 3*) qui s'exerce perpendiculairement à la surface des corps en contact.

La force normale, p. 102

De plus, la force de frottement entre deux matériaux donnés est proportionnelle à un coefficient de frottement (**μ**). Ce coefficient, établi expérimentalement, est le rapport entre la force de frottement et la force normale. Le coefficient de frottement n'a pas d'unité, car il s'agit d'un rapport.

μ
Ce symbole est la lettre grecque *mu* minuscule.

On distingue deux types de coefficient de frottement :

- Le **coefficient de frottement statique (μ_s)** représente le rapport maximal entre la force de frottement et la force normale avant que les corps se mettent en mouvement. Comme la mise en mouvement nécessite le bris des liens qui se sont formés entre les surfaces en contact, la force requise est plus grande.
- Le **coefficient de frottement cinétique (μ_c)** est le rapport entre la force de frottement et la force normale durant le mouvement des corps.

Dans tous les cas, le coefficient de frottement statique est plus grand que le coefficient de frottement cinétique. Le tableau 4.2 présente quelques coefficients de frottement.

TABLEAU 4.2 Le coefficient de frottement approximatif de différents matériaux

Matériaux en contact	Coefficient de frottement statique (μ_s)	Coefficient de frottement cinétique (μ_c)	Matériaux en contact	Coefficient de frottement statique (μ_s)	Coefficient de frottement cinétique (μ_c)
Cuivre sur cuivre	1,6	1,0	Caoutchouc sur asphalte mouillé	0,6	0,5
Acier sur acier sec	0,41	0,38	Caoutchouc sur béton sec	1,0	0,7
Acier sur acier graissé	0,15	0,09	Caoutchouc sur béton mouillé	0,7	0,5
Chêne sec sur chêne sec	0,5	0,3	Caoutchouc sur glace	0,006	0,005
Caoutchouc sur asphalte sec	1,2	0,8	Corde sur métal	0,03	0,2

Pour bien percevoir la différence entre le frottement statique et le frottement cinétique, imaginons qu'on déplace un gros meuble. Pour le mettre en mouvement, on doit exercer une force importante, mais une fois le mouvement amorcé, la force requise pour continuer à déplacer le meuble est moins grande.

Les formules suivantes permettent de calculer les forces de frottement entre deux corps solides.

Les forces de frottement

La force de frottement statique, avant la mise en mouvement d'un corps :

$$F_{f(\text{statique})} \leq \mu_s F_N$$

La force de frottement cinétique, après la mise en mouvement d'un corps :

$$F_{f(\text{cinétique})} = \mu_c F_N$$

où F_f = force de frottement, exprimée en newtons (N)

F_N = force normale, exprimée en newtons (N)

μ_s = coefficient de frottement statique

μ_c = coefficient de frottement cinétique

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

L'exemple suivant montre comment calculer la force de frottement entre un corps et une surface plane.

EXEMPLE

On veut déplacer latéralement une commode en bois de 80,0 kg. Les coefficients de frottement statique et de frottement cinétique entre la commode et le sol sont respectivement de 0,500 et de 0,300.

a) Quelle force minimale doit-on fournir pour mettre la commode en mouvement ?

Données

$m = 80{,}0$ kg

$F_g = ?$

$F_N = ?$

$\mu_s = 0{,}500$

$F_{f(\text{statique})} = ?$

Solution

La grandeur de la force minimale à fournir pour mettre la commode en mouvement est égale à la grandeur maximale de la force de frottement statique.

On doit d'abord calculer la force gravitationnelle pour déterminer la force normale exercée par le sol.

$F_N = F_g = mg$

$F_N = 80{,}0 \text{ kg} \times (9{,}80 \text{ m/s}^2) = 784 \text{ N}$

On doit utiliser le signe d'égalité, puisqu'on cherche la force de frottement maximale juste avant la mise en mouvement.

$F_{f(\text{statique})} \leq \mu_s F_N \rightarrow F_{f(\text{statique})\max} = \mu_s F_N$

$F_{f(\text{statique})\max} = 0{,}500 \times 784 \text{ N} = 392 \text{ N}$

On doit fournir 392 N pour mettre la commode en mouvement.

b) Une fois la commode en mouvement, quelle force doit-on fournir pour entretenir ce mouvement ?

Données

$m = 80{,}0$ kg

$F_N = 784$ N

$\mu_c = 0{,}300$

$F_{f(\text{cinétique})} = ?$

Solution

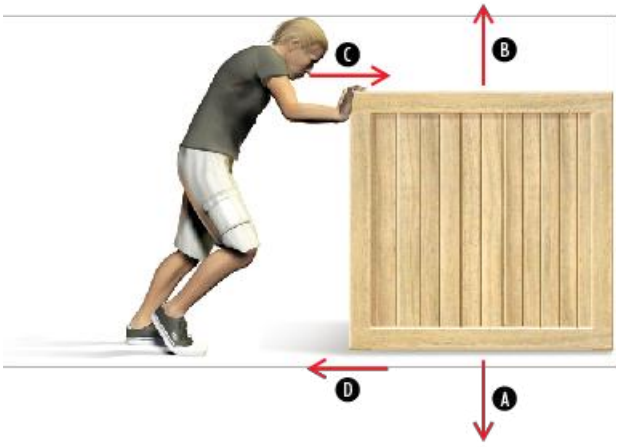
On doit calculer la force de frottement cinétique.

$F_{f(\text{cinétique})} = \mu_c F_N = 0{,}300 \times 784 \text{ N} = 235 \text{ N}$

On doit fournir 235 N pour entretenir ce mouvement.

SECTION 4 EXERCICES

1. Nommez les quatre forces représentées dans l'illustration ci-dessous.



A : _____

B : _____

C : _____

D : _____

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2. Expliquez dans vos mots la différence entre le frottement statique et le frottement cinétique.

_____

_____

3. Pour chaque énoncé, indiquez s'il s'agit de frottement statique ou de frottement cinétique.

a) Un installateur de toiture est assis sur un toit en pente. _____

b) Un enfant descend d'un module de jeu en utilisant la glissoire. _____

c) Un piéton glisse sur une plaque de glace. _____

4. Citez deux disciplines sportives qu'on ne pourrait pas pratiquer sans la force de frottement.

_____

5. On doit déplacer des caisses en les glissant sur le sol. Parmi les facteurs suivants, lesquels jouent un rôle sur la force de frottement entre les caisses et le sol ? Encerclez-les et justifiez vos réponses.

A. Le type de matériau qui compose les caisses et le sol.

B. La rugosité du sol.

C. La masse des caisses.

D. L'aire des surfaces en contact.

Justification : _____

_____

_____

_____

6. Une caisse de bois de 45 kg repose sur le trottoir. Un enfant tente de la déplacer, mais sans succès.

Si la valeur maximale que peut prendre la force de frottement statique entre la caisse et le trottoir est de 265 N, pouvez-vous donner la grandeur de la force déployée par l'enfant ? Justifiez votre réponse.

_____

_____

7. Une boîte de 20,0 kg est déposée sur une table horizontale. Graduellement, on exerce sur la boîte une force latérale qui atteint 50 N avant qu'elle se mette en mouvement.

a) Quelle est la force de frottement entre la boîte et la table juste avant que la boîte commence à bouger ?

_____

b) Quel est le coefficient de frottement entre la boîte et la table juste avant que la boîte commence à bouger ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

SECTION 5 LA TENSION

La **tension ($\vec{F}_T$)** est la force de traction qu'une corde ou tout objet long et mince exerce sur un corps.

FIGURE 4.8 Un câble tendu est nécessairement soumis à une tension. L'orientation de la tension est toujours parallèle au câble.

La tension est une force à l'œuvre dans de nombreuses situations de la vie courante. C'est le cas, par exemple, au souque à la corde, où l'équipe qui tire le plus fort sur son extrémité de la corde gagne la partie. La force qui s'exerce alors dans la corde correspond à une tension, tout comme celle qui s'exerce dans un câble qui retient un navire au port (*voir la figure 4.8*).

Les problèmes de dynamique qui mettent en jeu des systèmes de masses suspendues à des câbles sont nombreux. Pour simplifier l'analyse de telles situations, il faut cependant faire quelques approximations. Ainsi, on suppose que :

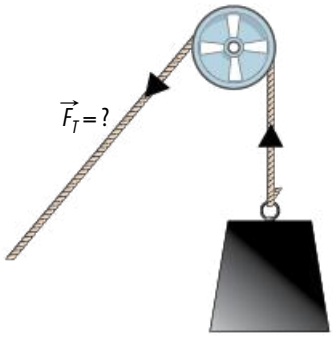
- la masse du câble lui-même est négligeable ;
- l'épaisseur du câble est négligeable ;
- le câble ne s'étire pas.

Il est important de noter que lorsqu'un câble passe par une poulie fixe, la norme de la tension n'est pas modifiée ; seule sa direction change.

La tension est une force qui ne peut pas être directement déterminée à l'aide d'une formule, car elle dépend de la situation. Pour calculer la tension, il faut connaître la force qui s'y oppose. L'exemple suivant montre comment déterminer la tension.

EXEMPLE

On soulève à vitesse constante une masse de 50,0 kg à l'aide d'un câble suspendu à une poulie. Quelle est la tension dans le câble ?



Données

$m = 50{,}0$ kg

$F_T = ?$

Solution

Ici, la force qui détermine la tension du câble est la force gravitationnelle. La grandeur de la tension est égale à celle de la force gravitationnelle tandis que le sens et la direction de la tension sont parallèles au câble.

$F_g = mg = 50{,}0 \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 = 490 \text{ N}$

Puisque $F_T = F_g$:

$F_T = 490$ N

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

1. Un lustre de 10 kg est suspendu immobile au plafond par une chaîne. Quelle est la grandeur de la tension dans la chaîne ?

2. Si votre fil de pêche peut supporter une tension de 60 N, quelle est la masse du plus gros poisson que vous pourrez pêcher sans crainte de casser votre fil ?

3. Pour contourner un obstacle, deux alpinistes doivent s'accrocher à une même corde. Cette dernière peut supporter une tension de $1{,}25 \times 10^3$ N. Si les alpinistes ont respectivement une masse de 75,0 kg et de 60,0 kg, la corde pourra-t-elle les supporter sans danger ? Laissez des traces de vos calculs.

4. Une boîte de 30,0 kg se trouve sur une plate-forme horizontale. On utilise une chaîne pour la tirer le long de la plate-forme.

Quelle tension minimale doit-on appliquer dans la chaîne pour mettre la boîte en mouvement si la force de frottement statique maximale entre la boîte et la plate-forme est de 45,0 N ?

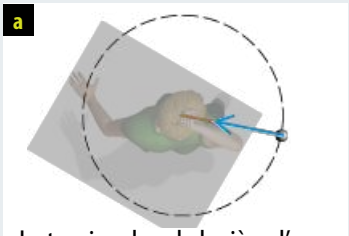
Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

SECTION 6 LA FORCE CENTRIPÈTE

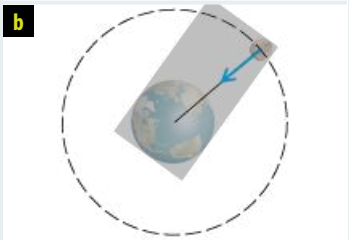
Les composantes d'un vecteur, p. 12

La **force centripète ($\vec{F}_c$)** permet de maintenir un corps dans un mouvement circulaire.

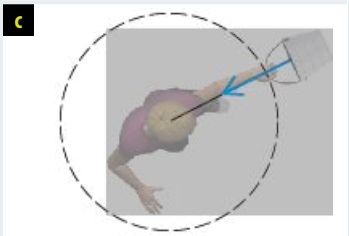
Une force centripète n'est pas à proprement parler un type de force différent. Le terme centripète est un qualificatif signifiant qu'une force a une composante orientée vers le centre d'une trajectoire circulaire, contribuant ainsi à produire une accélération centripète (qui pointe vers le centre). Plusieurs situations peuvent donner lieu à un mouvement circulaire uniforme. L'une ou l'autre des forces vues dans les sections précédentes peut donc jouer le rôle de force centripète dans un problème de dynamique (*voir la figure 4.9*).



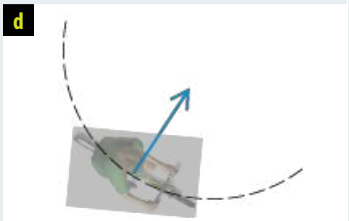
La tension dans la lanière d'une fronde.



La force gravitationnelle entre la Terre et la Lune.



La force normale exercée par le fond d'un seau sur l'eau.



La force de frottement entre les pneus d'une bicyclette et le sol.

FIGURE 4.9 Selon la situation, diverses forces peuvent jouer le rôle de force centripète.

La notion d'accélération, p. 46

6.1 Le mouvement circulaire uniforme (MCU)

Un mouvement circulaire uniforme (MCU) est un mouvement dans lequel la norme de la vitesse est constante, mais dont l'orientation change constamment pour former une trajectoire circulaire. La figure 4.10 montre un enfant faisant tourner horizontalement une fronde au-dessus de sa tête selon une trajectoire circulaire à vitesse constante.

- La force centripète ($\vec{F}_c$) est dirigée vers le centre de rotation C.
- Le vecteur vitesse est toujours tangent à la trajectoire circulaire et perpendiculaire au rayon de courbure r.
- La norme du vecteur vitesse est constante.
- La direction du vecteur vitesse $\vec{v}$ est modifiée constamment par l'action de la force centripète $\vec{F}_c$.

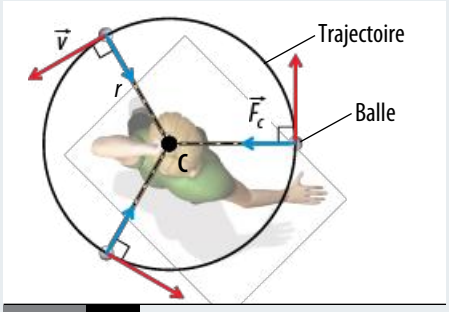


FIGURE 4.10 Un exemple de mouvement circulaire uniforme (MCU).

Comme la direction du vecteur vitesse change constamment et que l'accélération est définie comme le taux de variation du vecteur vitesse, un corps se déplaçant selon un MCU est en constante accélération. L'accélération est toujours orientée vers le centre de la trajectoire circulaire et sa norme est constante. L'accélération qui permet à un objet d'effectuer une trajectoire circulaire de rayon r à vitesse constante v s'appelle « accélération centripète (a_c) » (*voir la figure 4.11*).

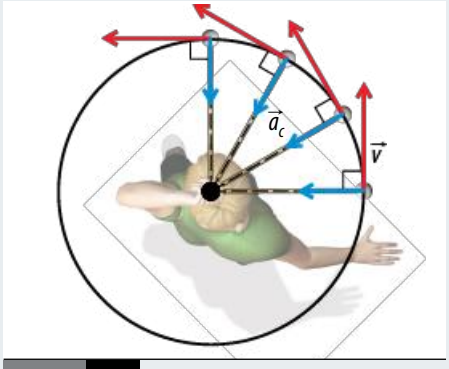


FIGURE 4.11 Dans un mouvement circulaire uniforme (MCU), l'accélération est dirigée vers le centre : elle est centripète.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

6.2 L'expression mathématique de la force centripète

L'équation qui permet de calculer la force centripète est :

La force centripète

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

où F_c = force centripète, exprimée en newtons (N)

m = masse du corps soumis à la force, exprimée en kilogrammes (kg)

v = vitesse du corps, exprimée en mètres par seconde (m/s)

r = rayon de la trajectoire, exprimé en mètres (m)

Cette équation permet de faire quelques observations importantes :

- La force centripète est directement proportionnelle à la masse.
- Plus la vitesse de l'objet en mouvement circulaire augmente (avec un rayon constant), plus le vecteur vitesse change de direction rapidement et ainsi plus l'accélération est grande.
- Plus le rayon de la trajectoire augmente (avec une vitesse constante), plus la force centripète diminue.

L'exemple suivant montre comment utiliser cette formule.

EXEMPLE

On attache un bloc de 3,00 kg avec une corde à un crochet fixé au centre d'une table à air (frottement négligeable). On fait tourner le bloc sur une trajectoire circulaire dont le rayon est égal à 0,500 m. Le bloc met 4,00 s pour faire un tour. Quelle est la tension dans la corde ?

Données

$m = 3{,}00$ kg

$r = 0{,}500$ m

$v = ?$

$F_c = ?$

$F_T = ?$

Solution

Dans cette situation, c'est la tension de la corde qui fait office de force centripète. Pour déterminer la force centripète, il faut d'abord calculer la circonférence de la trajectoire afin de trouver la vitesse du bloc en m/s.

Calcul de la circonférence :

$$C = 2\pi r = 2 \times 3{,}14 \times 0{,}500 \text{ m} = 3{,}14 \text{ m}$$

Calcul de la vitesse :

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{3{,}14 \text{ m}}{4{,}00 \text{ s}} = 0{,}785 \text{ m/s}$$

Calcul de la force centripète :

$$F_c = \frac{mv^2}{r} = \frac{3{,}00 \text{ kg} \times (0{,}785 \text{ m/s})^2}{0{,}500 \text{ m}} = 3{,}70 \text{ N}$$

Ainsi,

$$F_T = F_c = 3{,}70 \text{ N}$$

La tension dans la corde est de 3,70 N.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXERCICES

1. Un conducteur roule à 90,0 km/h sur une chaussée détrempée. Il amorce un virage de 75,0 m de rayon. La force de frottement statique entre les pneus et la chaussée est de 7056 N. Pour que le virage puisse être fait sans que la voiture dérape, il faut que la force de frottement statique entre les pneus et la chaussée soit suffisamment grande pour jouer le rôle de force centripète. Le conducteur pourra-t-il effectuer la manœuvre sans déraper, si la masse de la voiture combinée à la sienne est de 1200 kg ? Justifiez votre réponse par des calculs.

2. Un bloc de plastique de 500 g est relié par une corde de 0,400 m à un crochet fixé au centre d'une table à air, dont le frottement est négligeable. On fait tourner le bloc sur une trajectoire circulaire.

a) Si le bloc fait 40,0 tours par minute, quelle est la tension dans la corde ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

b) Si la corde peut supporter une tension maximale de 10,0 N avant de se rompre, quel est le nombre maximal de tours par minute que peut faire le bloc ?

3. Un enfant fait tourner une balle de 500 g attachée à une corde en lui faisant décrire un cercle vertical de 45,0 cm de rayon. La balle se déplace à 5,00 m/s en tout temps.

a) Calculez la norme de la tension dans la corde au sommet de la trajectoire.

b) Calculez la norme de la tension dans la corde au bas de la trajectoire.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

LES DIFFÉRENTS TYPES DE FORCES

- Une **force** est une grandeur vectorielle dont l'action sur un corps fait subir à ce dernier une déformation ou une modification de son mouvement.

La force gravitationnelle

- La **force gravitationnelle** ($\vec{F}_g$) est l'attraction mutuelle entre des corps due à leur masse.
- On calcule la grandeur de la force gravitationnelle qui s'exerce entre deux corps à l'aide de l'équation suivante :

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

- L'**accélération gravitationnelle** (g) est l'accélération constante subie par un corps en chute libre près de la surface de la Terre ou de la surface d'un autre astre.
- L'accélération gravitationnelle près de la surface de la Terre est de 9,80 m/s^2.
- Le poids est la mesure de la force gravitationnelle qui est exercée sur un corps par un astre. La masse représente une quantité de matière.
- Sur Terre, on calcule le poids d'un corps à l'aide de l'équation suivante :

$$\vec{F}_g = m\vec{g}$$

La force normale

- La **force normale** ($\vec{F}_N$) est la résistance de la surface d'un corps à une force exercée par un autre corps en contact.
- La force normale est toujours perpendiculaire à la surface de contact entre les deux corps.

La force de frottement

- La **force de frottement** ($\vec{F}_f$) est une force qui s'oppose au mouvement.
- Le frottement est dirigé dans le sens contraire du mouvement ou de la tendance au mouvement.
- Il y a frottement statique lorsque deux corps ne glissent pas l'un sur l'autre.
- Il y a frottement cinétique lorsque deux corps glissent l'un sur l'autre.
- Le coefficient de frottement statique est toujours plus grand que le coefficient de frottement cinétique ($\mu_s > \mu_c$). On peut calculer les forces de frottement à l'aide des équations suivantes :

$$F_{f(\text{statique})} \leq \mu_s F_N \quad \text{et} \quad F_{f(\text{cinétique})} = \mu_c F_N$$

La tension

- La **tension** ($\vec{F}_T$) est la force de traction qu'une corde ou tout objet long et mince exerce sur un corps.
- Lorsqu'un câble passe par une ou plusieurs poulies fixes, la norme de la tension n'est pas modifiée ; seule sa direction change.

La force centripète

- La **force centripète** ($\vec{F}_c$) permet de maintenir un corps dans un mouvement circulaire.
- Dans un mouvement circulaire uniforme, la norme de la vitesse est constante, mais sa direction change constamment. Le vecteur vitesse est toujours tangent à la trajectoire et perpendiculaire au rayon de courbure.
- On calcule la force centripète à l'aide de l'équation suivante :

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXERCICES

1 Vrai ou faux ? Encerclez les énoncés qui sont faux et corrigez-les.

A. Puisque la masse de la Lune est de $7{,}35 \times 10^{22}$ kg et que la masse de la Terre est de $5{,}98 \times 10^{24}$ kg, un astronaute qui flotterait dans l'espace exactement à mi-chemin entre la Terre et la Lune serait attiré davantage par la Terre.

B. Deux corps célestes de masse identique n'ont aucune influence gravitationnelle l'un sur l'autre.

C. La valeur de l'accélération gravitationnelle terrestre g est constante partout à la surface de la Terre.

D. Un satellite artificiel en orbite autour de la Terre est constamment en train de « tomber » vers elle.

E. Deux objets de masse différente sont lâchés simultanément d'une même hauteur sur Mars. L'objet le plus massif arrive en premier au sol.

Justification : _____

2 Une planète a un rayon de 5000 km. L'accélération des corps à sa surface est de 12,0 m/s^2.

a) Quelle est la masse de la planète ?

b) La masse d'un être humain y serait-elle plus grande que sur la Terre ? Justifiez votre réponse.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

3 Vrai ou faux ?

	VRAI	FAUX
a) La force de frottement cinétique est toujours plus grande que la force de frottement statique pour un même objet dans la même situation.	☐	☐
b) En poussant un objet plus rapidement, la force de frottement cinétique augmente.	☐	☐
c) Pour des corps en mouvement, c'est la force de frottement statique qui est considérée.	☐	☐
d) Pour un corps posé sur un plan incliné et sur lequel seules $\vec{F}_g$ et $\vec{F}_N$ s'exercent, la force normale est plus petite que si le même corps était posé sur une surface horizontale.	☐	☐
e) Sur un plan incliné, la force gravitationnelle est plus petite que sur une surface horizontale.	☐	☐
f) Il n'y a pas de surface parfaitement lisse.	☐	☐
g) Le frottement est une force qui agit à distance.	☐	☐

4 Les missions lunaires *Apollo* ont permis de ramener environ 385 kg de matériau lunaire sur la Terre.

a) Quelle force gravitationnelle subissaient ces roches sur la Lune, si le rayon de cette dernière est de $1{,}737 \times 10^6$ km et que sa masse est de $7{,}35 \times 10^{22}$ kg ?

b) Quelle force gravitationnelle subissent ces roches sur la Terre, si on considère que le rayon de cette dernière est de $6{,}37 \times 10^6$ km et que sa masse est de $5{,}98 \times 10^{24}$ kg ?

c) D'après ces résultats, que peut-on dire de la force gravitationnelle sur la Lune en comparaison avec celle de la Terre ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

5 Quelle est la vitesse maximale (en km/h) qu'une voiture de 850 kg peut avoir pour que son conducteur puisse négocier une courbe de 50,0 m de rayon sans déraper ? Pour que le virage puisse être fait sans que la voiture dérape, il faut que la force de frottement statique entre les pneus et la chaussée soit suffisamment grande pour jouer le rôle de force centripète. La force de frottement statique entre les pneus et la chaussée qui garde la voiture sur la route est de $5{,}83 \times 10^3$ N.

6 Un bloc de 20 kg repose sur une surface horizontale. Il est relié à une masse suspendue par une corde qui passe par une poulie. Si la force de frottement statique entre le bloc et la surface est de 137 N, quelle est la masse m_2 nécessaire pour mettre le bloc en mouvement ? Justifiez votre réponse par des calculs.

7 On traîne une caisse de bois sur un plancher de bois à l'aide d'une corde. La force de frottement statique entre la caisse et le sol est de 250 N. L'angle entre la corde et le sol est de 40,0°. Dans cette situation, la composante horizontale de la tension est égale à la grandeur de la tension multipliée par le cosinus de 40,0°.

Quelle doit être la tension dans la corde pour mettre la caisse en mouvement ?

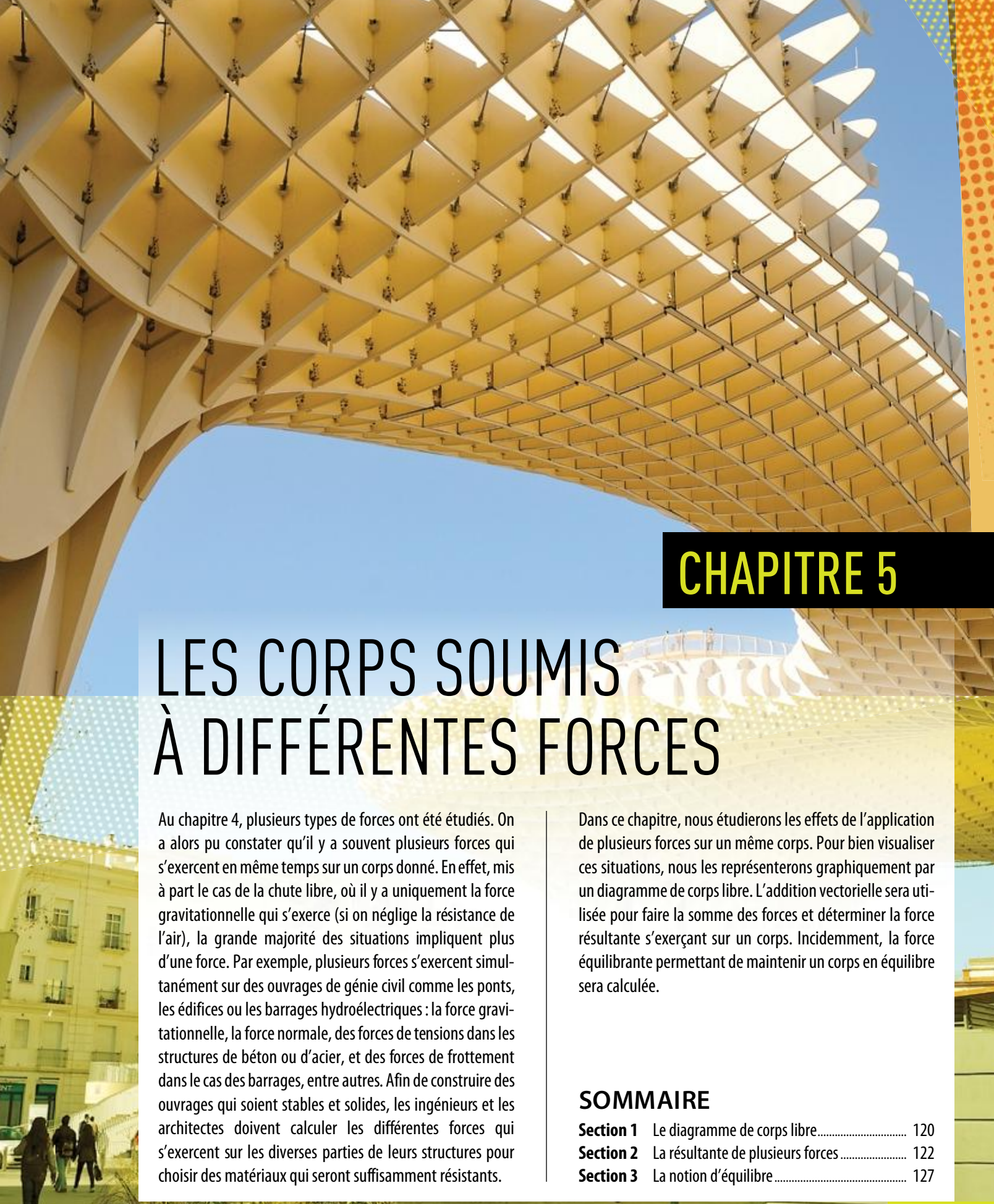
Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

8 Un satellite artificiel de 90,0 kg tourne autour de la Terre sur une orbite stable à une vitesse de 200 m/s. Quel est le rayon de son orbite ? La masse de la Terre est de $5{,}98 \times 10^{24}$ kg.

9 **DÉFI** Un vaisseau spatial est constitué d'un axe central et d'un anneau tubulaire. L'anneau, qui abrite un corridor circulaire constituant la section habitée du vaisseau, est en rotation autour de l'axe, ce qui crée une gravité artificielle à bord du vaisseau. Ainsi, toute personne présente dans l'anneau se retrouve poussée contre la paroi du corridor circulaire.

Si le rayon de l'anneau est de 50,0 m, à quelle vitesse l'anneau doit-il tourner pour qu'un astronaute de 75,0 kg qui y habite ait le même poids apparent que sur la Terre ? Utilisez $g = 9{,}80$ m/s^2.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.



CHAPITRE 5

LES CORPS SOUMIS À DIFFÉRENTES FORCES

Au chapitre 4, plusieurs types de forces ont été étudiés. On a alors pu constater qu'il y a souvent plusieurs forces qui s'exercent en même temps sur un corps donné. En effet, mis à part le cas de la chute libre, où il y a uniquement la force gravitationnelle qui s'exerce (si on néglige la résistance de l'air), la grande majorité des situations impliquent plus d'une force. Par exemple, plusieurs forces s'exercent simultanément sur des ouvrages de génie civil comme les ponts, les édifices ou les barrages hydroélectriques : la force gravitationnelle, la force normale, des forces de tensions dans les structures de béton ou d'acier, et des forces de frottement dans le cas des barrages, entre autres. Afin de construire des ouvrages qui soient stables et solides, les ingénieurs et les architectes doivent calculer les différentes forces qui s'exercent sur les diverses parties de leurs structures pour choisir des matériaux qui seront suffisamment résistants.

Dans ce chapitre, nous étudierons les effets de l'application de plusieurs forces sur un même corps. Pour bien visualiser ces situations, nous les représenterons graphiquement par un diagramme de corps libre. L'addition vectorielle sera utilisée pour faire la somme des forces et déterminer la force résultante s'exerçant sur un corps. Incidemment, la force équilibrante permettant de maintenir un corps en équilibre sera calculée.

SOMMAIRE

Section 1 Le diagramme de corps libre 120
Section 2 La résultante de plusieurs forces 122
Section 3 La notion d'équilibre 127

SECTION 1 LE DIAGRAMME DE CORPS LIBRE

En général, plusieurs forces s'exercent simultanément sur un corps. Prenons le cas simple d'une personne debout immobile sur le sol. Au moins deux forces sont ici à l'œuvre : la force gravitationnelle, qui s'exerce vers le bas sur la personne, et une force normale, d'égale grandeur mais de sens opposé, qui s'exerce vers le haut.

Dans une situation où plusieurs forces s'exercent simultanément sur un objet, il est utile de réaliser un diagramme de corps libre.

Un **diagramme de corps libre** est un diagramme où sont représentées par des flèches toutes les forces qui s'exercent sur un corps.

Le diagramme de corps libre est un outil qui peut permettre un traitement graphique et mathématique des forces selon leurs composantes en *x* et en *y* (*voir la figure 5.1*).

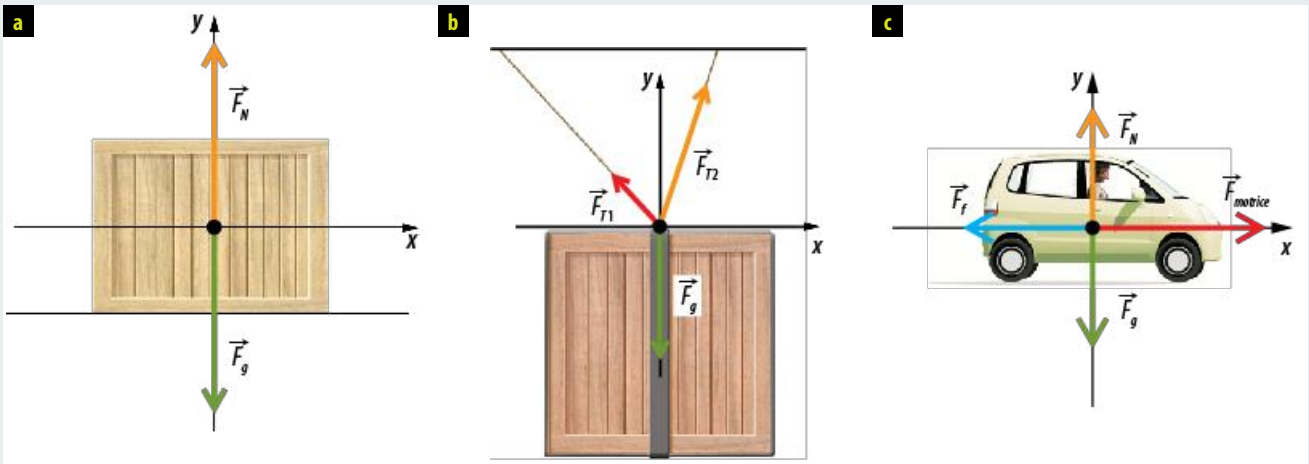
Méthode pour tracer un diagramme de corps libre

1. Identifier le corps à analyser.
2. Représenter le corps par un point qui correspond généralement au centre du corps.
3. Tracer les axes d'un système de référence. (On fait généralement coïncider l'origine du système de référence avec le point représentant le corps.)
4. Représenter par des flèches les différentes forces qui s'exercent sur lui.

Les systèmes de référence, p. 6

Les différents types de forces, p. 94

Dans un diagramme de corps libre, il est possible de représenter les différentes forces vues jusqu'ici comme la force gravitationnelle ($\vec{F}_g$), la force normale ($\vec{F}_N$), la force de frottement ($\vec{F}_f$) et la force de tension ($\vec{F}_T$). Aussi, certaines forces qui n'ont pas été explicitement abordées comme la résistance de l'air ($\vec{F}_{air}$) et la force motrice ($\vec{F}_{motrice}$) peuvent également être représentées, selon la situation. Trois exemples de diagrammes de corps libre sont présentés à la figure 5.1.



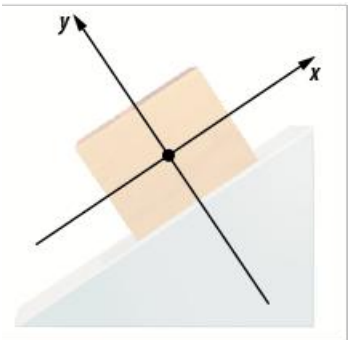
Une caisse sur le sol. Une caisse suspendue à deux cordes. Une voiture qui accélère.

FIGURE 5.1 Quelques exemples de diagrammes de corps libre.

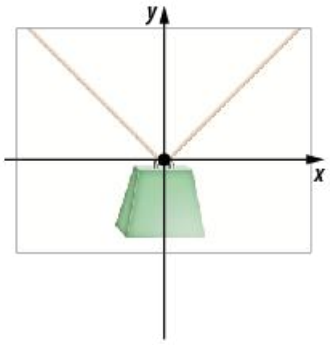
Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

1. Pour chacune des situations suivantes, complétez le diagramme de corps libre en représentant par des flèches les différentes forces exercées sur le corps. Indiquez le symbole de chacune des forces en présence.

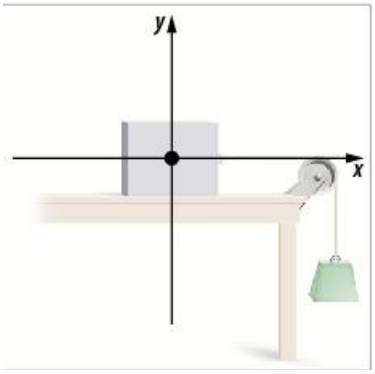
a) Une caisse de bois immobile située sur un plan incliné.



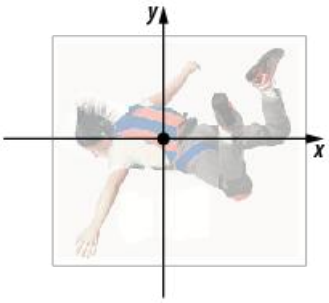
b) Une masse suspendue à deux câbles.



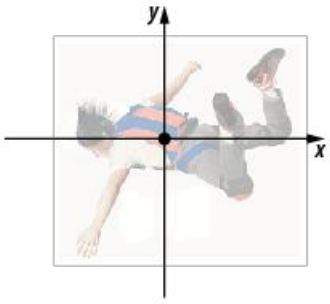
c) Un bloc immobile sur une table.



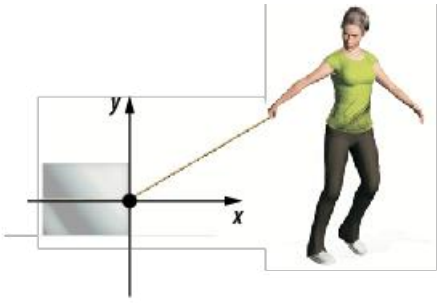
d) Un parachutiste en chute libre, en absence de résistance de l'air.



e) Un parachutiste en chute libre, en présence de résistance de l'air.



f) Une personne qui tire un bloc de pierre.



Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

SECTION 2 LA RÉSULTANTE DE PLUSIEURS FORCES

La **force résultante ($\vec{F}_R$)** est la somme vectorielle de toutes les forces qui s'exercent sur un corps.

L'addition des vecteurs, p. 15

Généralement, un corps subit simultanément l'influence de plusieurs forces orientées dans des directions diverses. En additionnant toutes ces forces, il est possible d'obtenir une seule force qui représente l'effet de l'ensemble des forces sur un corps. Cette force s'appelle la force résultante. Le diagramme de corps libre (*voir la section 1*) est un moyen visuel de déterminer la résultante de plusieurs forces s'exerçant sur un corps, à condition que les forces y soient présentées à l'échelle. La force étant une grandeur vectorielle, la somme vectorielle de toutes les forces représente la force résultante.

La force résultante sur un corps libre donné s'exprime comme suit :

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n$$

où $\vec{F}_R$ = force résultante, exprimée en newtons (N)

$\vec{F}_1, \vec{F}_2 \ldots \vec{F}_n$ = forces individuelles, exprimées en newtons (N)

La force résultante appliquée sur un corps est une information importante sur l'état de mouvement de celui-ci. En effet, il existe deux possibilités (*voir le tableau 5.1*).

TABLEAU 5.1 La force résultante appliquée sur un corps et l'état de mouvement de celui-ci

Force résultante	État de mouvement du corps
$\vec{F}_R = \vec{0}$ État d'équilibre	S'il est initialement au repos, le corps demeure immobile. Si le corps est initialement en mouvement à vitesse constante, le vecteur vitesse demeure constant.
$\vec{F}_R \neq \vec{0}$	S'il est initialement au repos, le corps se met en mouvement et accélère dans le sens de la force résultante. Si le corps est initialement en mouvement à vitesse constante, il y a accélération dans le sens de la force résultante.

L'addition des vecteurs, p. 15

Les méthodes d'addition vectorielle vues à la section 3 des Notions de base en mécanique sont mises à profit pour additionner les forces. Comme il arrive que les forces s'exercent sur un corps selon des angles divers, chaque force peut être décomposée en ses composantes *x* et *y*. L'addition de ces composantes donnera la force résultante. Par ailleurs, même si la plupart des situations en mécanique nécessitent l'addition des vecteurs par la méthode des composantes, il y a des cas où on peut utiliser des méthodes graphiques. Les exemples suivants illustrent deux méthodes différentes pour déterminer la force résultante dans une situation où un corps est soumis à plusieurs forces.

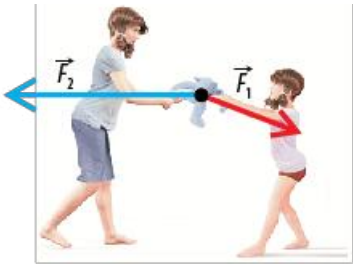
Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE 1

Deux fillettes se disputent un ourson en peluche. La situation est illustrée dans la figure ci-contre. On néglige la force gravitationnelle.

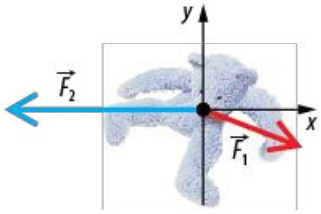
a) Tracer le diagramme de corps libre de l'ourson en peluche.

b) À l'aide de la méthode graphique, déterminer le vecteur représentant la force résultante.

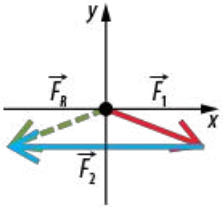


Solution

a) Le diagramme de corps libre représentant la situation :



b) La force résultante par la méthode graphique :



EXEMPLE 2

Deux déménageurs soulèvent un congélateur pesant 800 N à l'aide de courroies. Le premier exerce une force de tension de 585 N à 40,0° et le second, une force de 600 N à 135,0°.

a) Tracer un diagramme de corps libre représentant la situation.

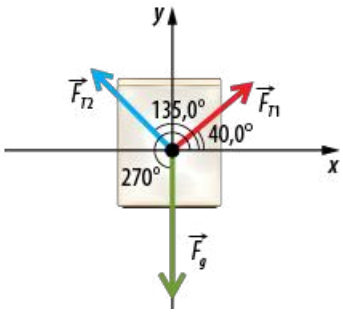
b) Calculer la force résultante par la méthode des composantes.

Données

$\vec{F}_g = 800\text{ N à } 270°$ $\quad \vec{F}_{T1} = 585\text{ N à } 40{,}0°$ $\quad \vec{F}_{T2} = 600\text{ N à } 135{,}0°$ $\quad \vec{F}_R = ?$

Solution

a) Diagramme de corps libre représentant la situation :



b) La force résultante par la méthode des composantes :

$\vec{F}_R = \vec{F}_{T1} + \vec{F}_{T2} + \vec{F}_g$

On fixe l'axe des *x* à l'horizontale et l'axe des *y* à la verticale. Pour additionner les vecteurs, on décompose la force de tension selon *x* et *y*.

Selon *x* :

$F_{T1x} = F_{T1}\cos\theta = 585\text{ N} \times \cos 40{,}0° = 448\text{ N}$

$F_{T2x} = F_{T2}\cos\theta = 600\text{ N} \times \cos 135{,}0° = {}^{-}424\text{ N}$

$F_{gx} = F_g\cos\theta = 800\text{ N} \times \cos 270° = 0\text{ N}$

$F_{Rx} = F_{T1x} + F_{T2x} + F_{gx} = 448\text{ N} + ({}^{-}424\text{ N}) + 0\text{ N} = 24\text{ N}$

Selon *y* :

$F_{T1y} = F_{T1}\sin\theta = 585\text{ N} \times \sin 40{,}0° = 376\text{ N}$

$F_{T2y} = F_{T2}\sin\theta = 600\text{ N} \times \sin 135{,}0° = 424\text{ N}$

$F_{gy} = F_g\sin\theta = 800\text{ N} \times \sin 270° = {}^{-}800\text{ N}$

$F_{Ry} = F_{T1y} + F_{T2y} + F_{gy} = 376\text{ N} + 424\text{ N} + ({}^{-}800\text{ N}) = 0\text{ N}$

Puisque la composante *y* est nulle, la force résultante est entièrement horizontale. Sa norme est égale à sa composante *x*.

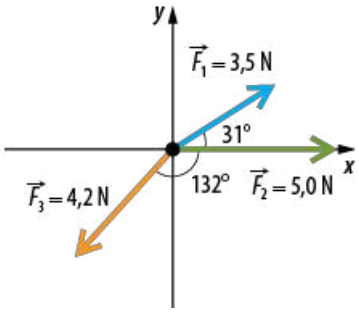
La force résultante est donc $\vec{F}_R = 24\text{ N à } 0°$.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

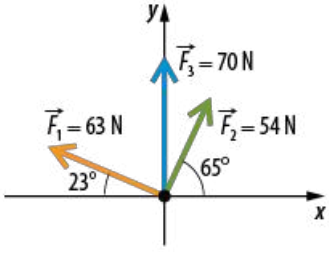
EXERCICES

1. Dans les situations suivantes, déterminez la force résultante à l'aide de la méthode des composantes.

a) Trois ressorts sont reliés à un anneau. Quelle est la force résultante exercée sur l'anneau ?

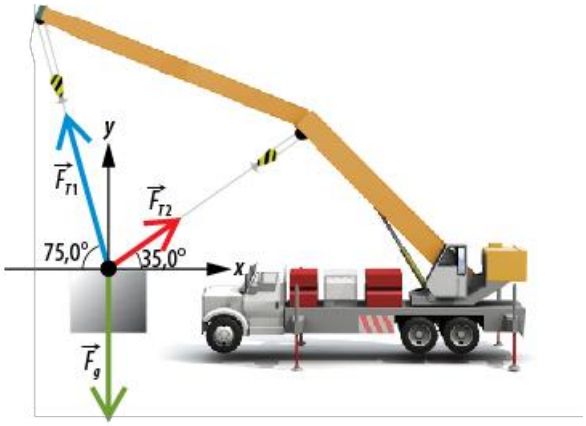


b) Un chapiteau est installé et on fixe les cordes retenant la toile à des pieux enfoncés dans le sol. Le point représente l'extrémité du pieu qui dépasse du sol et les vecteurs force montrent les forces de tension des cordes. Quelle est la force résultante des trois forces de tension ?

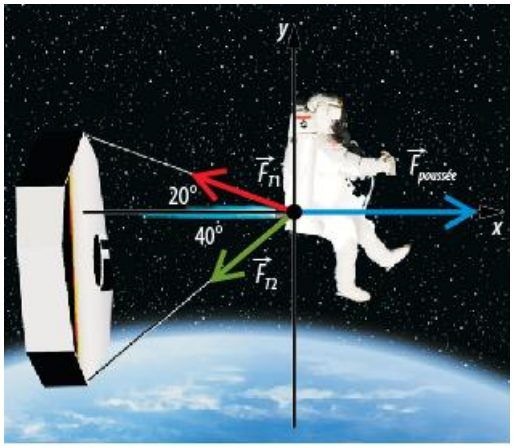


Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2. Une grue manipule un bloc de béton de 850 kg pour le positionner sur un mur de soutènement en construction. Quelle est la force résultante exercée sur le bloc par la grue si la tension dans le câble 1 est de $8{,}10 \times 10^3$ N et celle dans le câble 2 de $2{,}20 \times 10^3$ N ?



3. Un astronaute doit transporter un appareil à l'aide de deux câbles. Il utilise sa combinaison pour se propulser à l'aide de jets et pour tirer l'appareil, comme l'illustre le schéma ci-contre. La tension dans le premier câble est de 35,0 N et celle dans le deuxième câble est de 30,0 N. Si la force de poussée de l'astronaute est de 55,0 N à 0°, quelles sont la grandeur et la norme de la force résultante sur l'astronaute ?



Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

LA NOTION D'ÉQUILIBRE

SECTION 3

L'**équilibre** est l'état d'un corps sur lequel agit une force résultante nulle. Le corps ne subit alors aucune variation de mouvement.

Une force résultante non nulle sur un corps amène nécessairement une modification du mouvement de ce dernier. Par contre, comme nous l'avons vu à la section précédente, si la force résultante est nulle, cela implique qu'un corps est à l'équilibre. La notion d'équilibre implique alors que si un corps est initialement au repos, il demeurera immobile, tandis que si un corps est déjà en mouvement, il conservera son mouvement à vitesse constante.

La formule mathématique de l'équilibre des forces est la suivante :

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n = \vec{0}$$

où $\vec{F}_R$ = force résultante, exprimée en newtons (N)

$\vec{F}_1, \vec{F}_2 \ldots \vec{F}_n$ = forces individuelles, exprimées en newtons (N)

3.1 L'équilibre statique et l'équilibre dynamique

En physique, lorsqu'on traite de l'équilibre, on doit faire la distinction entre l'équilibre statique et l'équilibre dynamique.

L'équilibre statique

L'équilibre statique concerne les corps immobiles. La conception d'ouvrages de génie civil tels que les ponts nécessite une connaissance approfondie des différentes forces qui peuvent s'y exercer. Ces structures immobiles ont des architectures très variées qui influencent le choix et l'agencement des matériaux utilisés pour assurer un état d'équilibre, et ce, pour chacune de leurs parties (*voir la figure 5.2*).

FIGURE 5.2 Le pont Laviolette (Trois-Rivières, Québec).

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

L'équilibre dynamique

L'équilibre dynamique concerne un corps qui suit un mouvement rectiligne uniforme. En effet, si la somme des forces qui s'exercent sur un corps est nulle, celui-ci ne peut subir de changements de vitesse ou de direction. Par exemple, la sonde *Voyager 1* se déplace à vitesse constante dans une zone de l'espace que les scientifiques nomment « espace interstellaire ». Là, pour ainsi dire, aucune force résultante ne s'exerce sur elle : on peut donc dire qu'elle est en équilibre dynamique (*voir la figure 5.3*).

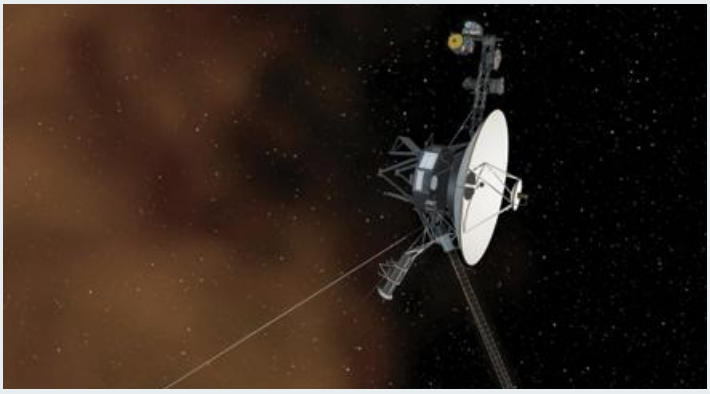


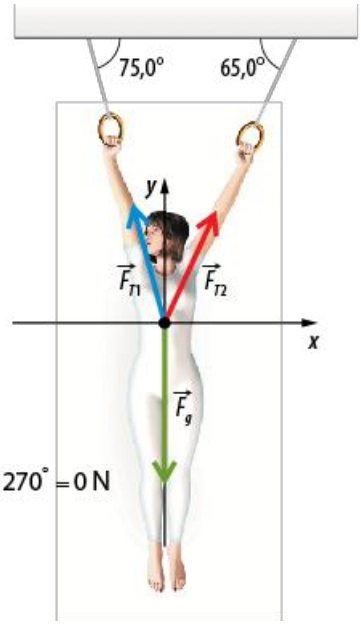
FIGURE 5.3 La sonde *Voyager 1* dans sa route hors du système solaire. La force gravitationnelle s'exerçant sur elle est négligeable.

De la même manière, une voiture qui circule en ligne droite à vitesse constante est en équilibre dynamique, car la force motrice fournie par le moteur de la voiture contrebalance les forces de frottement (frottement de l'air, frottement exercé sur les pneus par la chaussée), de sorte que la force résultante sur la voiture est nulle.

L'exemple suivant illustre un cas d'équilibre statique.

EXEMPLE 1

Une gymnaste est suspendue à des anneaux, immobile. Si cette gymnaste pèse 500 N et que la tension dans le câble 1 est de 250 N, quelle est la grandeur de la tension présente dans le câble 2 ?



Données

$\vec{F}_{T1} = 250\text{ N à }105{,}0°\ (105{,}0° = 180° - 75{,}0°)$ $\qquad \vec{F}_R = \vec{0}$

$\vec{F}_g = 500\text{ N à }270°$ $\qquad \vec{F}_{T2} = ?\text{ à }65{,}0°$

Solution

Puisqu'il y a équilibre, $\vec{F}_R = \vec{F}_{T1} + \vec{F}_{T2} + \vec{F}_g = \vec{0}$.

On peut considérer les forces en *y* :

$$F_{Ry} = F_{T1}\sin 105° + F_{T2}\sin 65{,}0° + F_g \sin 270° = 250\text{ N} \times \sin 105{,}0° + F_{T2}\sin 65{,}0° + 500\text{ N} \times \sin 270° = 0\text{ N}$$

$$F_{Ry} = -259\text{ N} + F_{T2}\sin 65{,}0° = 0\text{ N}$$

$$F_{T2}\sin 65{,}0° = 259\text{ N} \rightarrow F_{T2} = \frac{259\text{ N}}{\sin 65{,}0°} = 286\text{ N}$$

La tension dans le câble 2 est de 286 N.

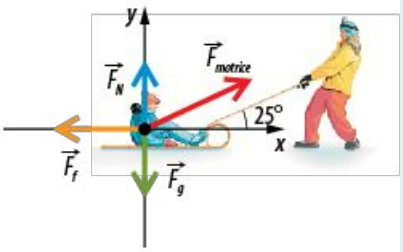
On aurait également pu trouver la solution en considérant les forces en *x*.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

L'exemple qui suit montre un cas de corps en équilibre dynamique.

EXEMPLE 2

Une personne tire une luge à vitesse constante sur laquelle prend place un enfant. Elle exerce une force motrice à 25° tandis que la force de frottement de la luge sur le sol est de 300 N. Le poids du système enfant-traîneau est de 450 N. Le traîneau ne décolle pas du sol et on peut négliger la résistance de l'air. Déterminer la grandeur de la force motrice exercée par la personne.



Données

$\vec{F}_{motrice}$ = ? à 25°

$\vec{F}_g$ = 450 N à 270°

$\vec{F}_R$ = ?

$\vec{F}_f$ = 300 N à 180°

$\vec{F}_N$ = ?

Solution

Considérons les forces en *x*. Les composantes *x* de la force normale et de la force gravitationnelle sont nulles.

$$F_{Rx} = F_{motrice(x)} + F_{Nx} + F_{fx} + F_{gx} = 0\text{ N}$$

$$F_{motrice}\cos 25{,}0° + 0\text{ N} + 300\text{ N}\cos 180° + 0\text{ N} = 0\text{ N}$$

$$F_{motrice}\cos 25{,}0° - 300\text{ N} = 0\text{ N}$$

$$F_{motrice} = \frac{300\text{ N}}{\cos 25{,}0°} = 331\text{ N}$$

La grandeur de la force motrice exercée par la personne est de 331 N.

3.2 La force équilibrante

La **force équilibrante ($\vec{F}_{eq}$)** est la force unique qui serait en mesure de s'opposer à la force résultante et d'annuler son influence.

Lorsque la force résultante qui s'exerce sur un corps est non nulle ($\vec{F}_R \neq \vec{0}$), il est possible de déterminer la force qui serait en mesure de s'opposer à la force résultante et d'annuler son influence. On appelle cette force « la force équilibrante ». Ainsi, la force résultante et la force équilibrante sont des vecteurs opposés, c'est-à-dire qu'ils sont des vecteurs de même norme et de même direction, mais de sens opposés :

$$\vec{F}_{eq} = -\vec{F}_R$$

À QUOI ÇA SERT ?

UNE TOUR MULTIRISQUE

Lors de la construction du *One World Trade Center*, à New York, les ingénieurs ont dû mettre à profit les notions de force résultante et de force équilibrante afin de donner à la structure de l'édifice la capacité de contrer non seulement les forces exercées par les vents et les tremblements de terre, mais aussi celles liées aux explosions provoquées par d'éventuelles attaques terroristes. Ainsi, la structure d'acier du gratte-ciel agit comme un bouclier. À l'intérieur de la tour, pour abriter les ascenseurs et les escaliers de secours, une forteresse de béton extrêmement robuste se comporte comme une colonne vertébrale pour absorber les chocs.

FIGURE 5.4 Le *One World Trade Center*, inauguré en novembre 2014.

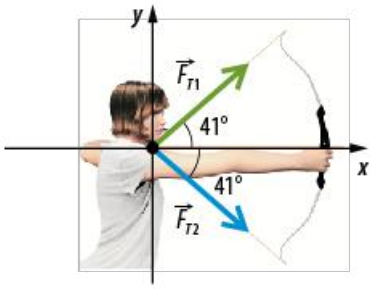
La soustraction des vecteurs et la notion de vecteur opposé, p. 17

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

SECTION 3 EXERCICES

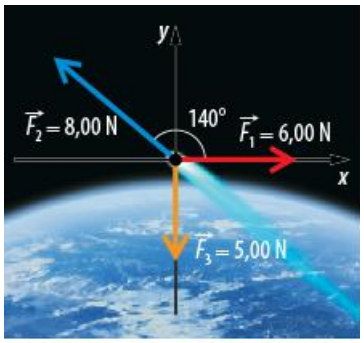
1. Un bloc de 75,0 kg est posé, immobile, sur un plan incliné de 34°. Quelle doit être la force de frottement minimale pour que le bloc ne glisse pas ?

2. Quelle force une archère doit-elle exercer pour maintenir son arc bandé si les forces de tension $\vec{F}_{T1}$ et $\vec{F}_{T2}$ de chaque segment de la corde (*voir la figure*) sont de 38,0 N ?

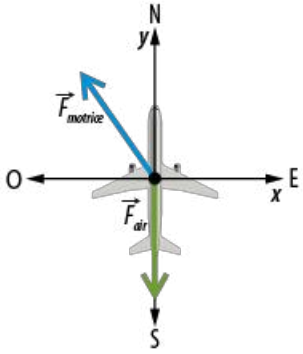


Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

3. Quelle force équilibrante peut maintenir un petit astéroïde momentanément dans un état d'équilibre alors qu'il subit l'attraction gravitationnelle d'autres corps célestes (*voir la figure ci-contre*) ?



4. Un avion de ligne vole vers le nord horizontalement à vitesse constante. Trois forces agissent sur l'avion : la force motrice déployée par les moteurs ($\vec{F}_{motrice}$), la force de résistance de l'air ($\vec{F}_{air}$), qui s'oppose au mouvement de l'avion, et la force exercée par le vent ($\vec{F}_{vent}$). La force motrice est de 35 000 N à 35,0° à l'ouest du nord. Si la résistance de l'air est de 28 000 N dans le sens opposé au mouvement de l'avion, quelle est la force exercée par le vent sur l'avion ?



CHAPITRE 5 SYNTHÈSE

LES CORPS SOUMIS À DIFFÉRENTES FORCES

- Un **diagramme de corps libre** est un diagramme où sont représentées par des flèches toutes les forces qui s'exercent sur ce corps.
- La **force résultante ($\vec{F}_R$)** est la somme vectorielle de toutes les forces qui s'exercent sur un corps.

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n$$

- L'**équilibre** est l'état d'un corps sur lequel agit une force résultante nulle. Le corps ne subit alors aucune variation de mouvement.

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n = \vec{0}$$

- La **force équilibrante ($\vec{F}_{eq}$)** est la force unique qui serait en mesure de s'opposer à la force résultante et d'annuler son influence.

$$\vec{F}_{eq} = -\vec{F}_R$$

Force résultante	Conséquences
$\vec{F}_R = \vec{0}$ État d'équilibre	S'il est initialement au repos, le corps demeure immobile. Si le corps est initialement en mouvement à vitesse constante, le vecteur vitesse demeure constant.
$\vec{F}_R \neq \vec{0}$	S'il est initialement au repos, le corps se met en mouvement et accélère dans le sens de la force résultante. Si le corps est initialement en mouvement à vitesse constante, il y a accélération dans le sens de la force résultante.

EXERCICES

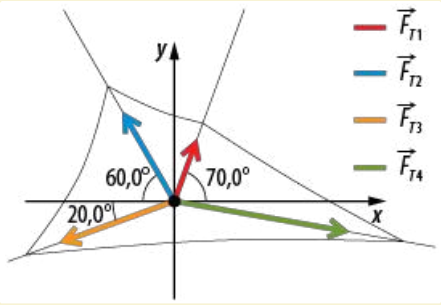
1 Pour chacun des énoncés, indiquez s'il décrit un cas d'équilibre statique (ES), d'équilibre dynamique (ED) ou de non-équilibre (NE).

	ES	ED	NE
a) Une voiture qui passe de 0 à 100 km/h en 8 s.	☐	☐	☐
b) Un pylône hydroélectrique.	☐	☐	☐
c) Un plongeur qui s'élance d'un tremplin.	☐	☐	☐
d) Une motocyclette qui circule à vitesse constante dans une courbe.	☐	☐	☐
e) Un skieur qui descend en ligne droite en maintenant une vitesse constante.	☐	☐	☐
f) Une maison.	☐	☐	☐
g) Un marteau qui glisse sur un toit en pente en allant de plus en plus vite.	☐	☐	☐
h) Une toile d'araignée au grenier.	☐	☐	☐
i) Un cycliste qui freine à l'approche d'une intersection.	☐	☐	☐
j) Un satellite en orbite circulaire autour de la Terre.	☐	☐	☐
k) Un pont.	☐	☐	☐
l) Un bloc de pierre que l'on tire sur le sol à vitesse constante à l'aide d'une corde.	☐	☐	☐

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

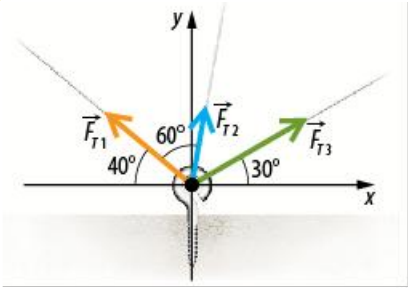
2 Soit le centre d'une toile d'araignée représenté ci-contre.

Sachant que les tensions $\vec{F}_{T1}$, $\vec{F}_{T2}$ et $\vec{F}_{T3}$ sont respectivement de 10,0 cN, 16,0 cN et 19,0 cN, quelles doivent être la norme et l'orientation de la tension dans le 4e fil pour que le centre de la toile soit en équilibre ?



3 Soit un œillet vissé dans le béton qui retient une toile de chapiteau comme illustré dans la figure ci-contre.

a) Sachant que les filets de l'œillet permettent de supporter une force verticale de 800 N, est-ce que l'installation actuelle permet de retenir adéquatement la toile ?



Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

b) Sachant que la résistance mécanique de l'œillet à des forces perpendiculaires à son axe est de 200 N, est-ce qu'il tiendra ?

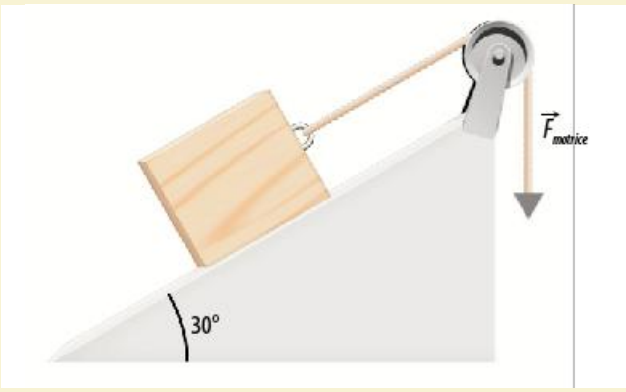
4 Une lampe cochère de 15,0 kg est fixée au bout d'une tige métallique perpendiculaire au mur d'un restaurant. Une chaîne faisant un angle de 35° avec la tige est fixée à son extrémité. Indice : La tige exerce une force horizontale sur la lampe.

a) Quelle est la grandeur de la force de tension de la chaîne ?

b) Dans ce système en équilibre, quelle est la force normale fournie par le mur via la tige métallique ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

5 Soit un bloc de bois de 10,0 kg qui est tracté à vitesse constante le long d'un plan incliné selon un angle de 30°, comme illustré sur la figure ci-contre. La valeur maximale de la force de frottement statique entre le bloc et le plan incliné est de 25,5 N. Quelle est la force motrice requise pour mettre le bloc en mouvement ?



Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

CHAPITRE 6

LES LOIS DE NEWTON

Ce chapitre traite des trois lois universelles du mouvement formulées par Isaac Newton ainsi que de leurs conséquences. Dans chaque section, une loi du mouvement différente est étudiée.

Dans la section 1, il sera question de la première loi de Newton et de la notion d'inertie. Nous verrons que la notion d'inertie est liée à la masse d'un corps et qu'elle influe sur la tendance de ce corps à conserver son état de mouvement en l'absence de force extérieure. Les conséquences de la première loi seront étudiées.

La section 2 présente la deuxième loi de Newton, qui met en lumière la relation existant entre la force résultante, la masse et l'accélération d'un corps. Des liens seront faits avec les notions vues au chapitre 5 pour bien comprendre la formulation de la deuxième loi et ses implications.

Enfin, la troisième loi de Newton, parfois appelée le principe d'action-réaction, est abordée dans la section 3.

SOMMAIRE

Section 1 La première loi de Newton 137
Section 2 La deuxième loi de Newton 141
Section 3 La troisième loi de Newton 148

LA PREMIÈRE LOI DE NEWTON

SECTION 1

La notion d'inertie est à la base de la première loi de Newton.

1.1 La notion d'inertie

L'**inertie** est la tendance d'un corps à conserver son état de mouvement, qu'il soit au repos ou en mouvement rectiligne uniforme.

La notion d'inertie se manifeste de façon concrète dans plusieurs situations de la vie courante. En voici deux exemples :

- À cause de son inertie, une rondelle de hockey a tendance à maintenir son mouvement rectiligne uniforme tant qu'une force extérieure ne la fait pas dévier de sa course ou ne la ralentit pas (*voir la figure 6.1*).
- Une voiture engagée dans une courbe tend à continuer tout droit et à quitter la route, à cause de son inertie. C'est l'action d'une force extérieure (le frottement des pneus sur la route) qui modifie la direction de la voiture dans la courbe (*voir la figure 6.2*).

L'inertie d'un corps est fonction de la masse de celui-ci : plus sa masse est élevée, plus la force requise pour modifier son mouvement est importante. En ce sens, la masse d'un corps quantifie son inertie. C'est donc dire que plus la masse d'un corps est grande, plus ce corps a tendance à rester au repos, s'il est initialement au repos, ou à poursuivre son mouvement en ligne droite, s'il est déjà en mouvement. L'expérience de la vie quotidienne illustre bien ce lien entre la masse d'un corps et son inertie. Par exemple, il est aisé de constater qu'une même force produira une accélération beaucoup moindre si elle est exercée sur une boule massive que si elle est exercée sur une boule de même format mais très légère.

FIGURE 6.1 Mise en évidence par la faible force de frottement sur la glace, l'inertie de la rondelle de hockey fait en sorte qu'elle a tendance à continuer sur sa lancée. Elle maintiendra son état de mouvement tant qu'une force extérieure ne le modifiera pas.

FIGURE 6.2 Une sortie de route sur une chaussée glacée met en évidence l'inertie d'une voiture. En effet, celle-ci a tendance à continuer son mouvement rectiligne uniforme lorsqu'aucune force extérieure suffisamment grande ne la contraint à modifier sa direction.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

ZOOM L'ÉVOLUTION DES CONCEPTIONS DU MOUVEMENT À TRAVERS LE TEMPS

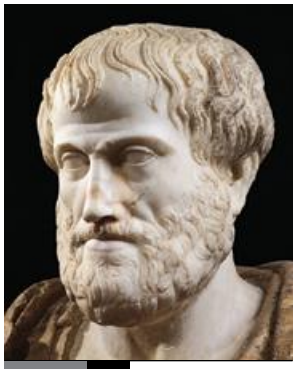


FIGURE 6.3 Aristote, 384-322 av. J.-C.

Le philosophe grec Aristote (384-322 av. J.-C.) soutenait qu'un objet en mouvement finit toujours par s'arrêter, « car il est dans la nature des choses de chercher le repos ». Il s'agissait là d'une conception qui n'était pas fondée sur une expérimentation méthodique, mais bien sur des perceptions. En effet, si on pousse une pierre, celle-ci s'arrête dès qu'on cesse de la pousser. Même une sphère, qui roule si on la pousse, s'immobilisera éventuellement. Cela tombe sous le sens commun. Ce principe dit « de repos » persistera durant près de mille ans.

C'est Galilée (1564-1642) qui vient porter le coup de grâce au principe de repos établi par Aristote en lui opposant le principe d'inertie, qu'il a émis à la suite d'expérimentations consistant à faire rouler des billes sur des plans inclinés. Il suppose que sans force de frottement un corps en mouvement resterait en mouvement et en conclut qu'un corps en mouvement ne tend pas à s'arrêter. S'il s'arrête, c'est qu'une force extérieure l'a arrêté.

Par la suite, le philosophe et mathématicien René Descartes (1596-1650) étend le principe d'inertie aux corps célestes, jusque-là considérés comme « à part ». En effet, on considérait que leur mouvement curviligne était un mouvement naturel. Ce faisant, il ouvre la voie aux travaux de Newton (1642-1727) qui expliquera le mouvement elliptique des astres par les effets de la force gravitationnelle.

1.2 La première loi de Newton et ses conséquences

La **première loi de Newton** stipule qu'en l'absence de force extérieure résultante agissant sur lui, un corps demeure au repos ou en mouvement rectiligne uniforme : son accélération est nulle.

La notion d'équilibre, p. 127

Au chapitre 5, on a vu que l'état d'équilibre d'un corps est atteint lorsque la force résultante qui s'exerce sur celui-ci est nulle. Aussi, si un corps est initialement au repos et qu'aucune force résultante ne s'exerce sur lui, ce corps a tendance à demeurer au repos ; on le dit alors en état d'équilibre statique. Par ailleurs, si un corps se déplace selon un mouvement rectiligne uniforme en l'absence de force résultante, il a tendance à poursuivre son mouvement ; on le dit alors en état d'équilibre dynamique. On constate donc que la première loi de Newton concerne l'équilibre statique et l'équilibre dynamique.

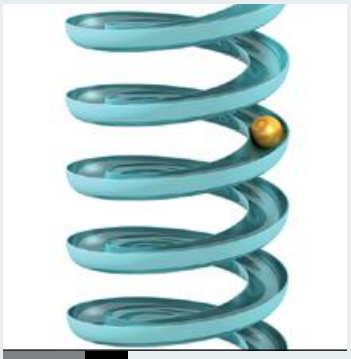


FIGURE 6.4 Lorsque la bille arrivera au sol, elle ne subira plus la force exercée par les parois de la glissade, et elle suivra une trajectoire rectiligne.

Selon cette loi, pour qu'il y ait accélération d'un corps (c'est-à-dire une augmentation ou une diminution de sa vitesse ou un changement de direction), il doit y avoir une force résultante non nulle qui s'applique sur lui. Ainsi, un vaisseau spatial que l'on envoie dans l'espace, et qui est suffisamment loin des astres pour que la force gravitationnelle qu'ils exercent sur lui soit négligeable, n'a pas besoin de ses moteurs pour avancer : s'il a une certaine vitesse au départ, il la conservera indéfiniment, en ligne droite (*voir la figure 5.3, à la page 128*).

De même, quand une bille descend dans une glissade en spirale, son mouvement change constamment de direction sous l'effet de la force que les parois de la glissade exercent sur la bille. Quand la bille sort de la glissade en arrivant au sol, elle cesse cependant de tourner, puisqu'il n'y a plus de force pour faire changer sa direction, et elle suit donc une trajectoire rectiligne (*voir la figure 6.4*).

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

À QUOI ÇA SERT ? LE NAUFRAGE DU *TITANIC*, UNE QUESTION D'INERTIE ?

Le *Titanic* était un grand paquebot qui a coulé dans la nuit du 14 au 15 avril 1912 dans l'océan Atlantique Nord après avoir percuté un iceberg (*voir la figure 6.5*). Le capitaine aurait aperçu celui-ci quelque temps avant la collision, mais il aurait été incapable de faire dévier suffisamment le *Titanic* de sa trajectoire pour l'éviter. La grande masse du *Titanic* (couplée à un gouvernail trop petit pour la taille du navire et à une trop grande vitesse, compte tenu du danger de croiser des icebergs) aurait donc scellé le destin de ce paquebot mythique. L'inertie du navire a empêché le capitaine d'infléchir suffisamment la trajectoire afin d'empêcher la collision fatidique. On peut supposer que, pour une même vitesse, un navire moins massif aurait pu éviter la catastrophe.

FIGURE 6.5 Le naufrage du *Titanic*.

EXERCICES

SECTION 1

1. Vrai ou faux ? Voici des énoncés en rapport avec l'inertie. Repérez ceux qui sont faux et corrigez-les.

	VRAI	FAUX
a) L'inertie d'un corps dépend de sa masse.	☐	☐
b) On laisse tomber une balle de baseball et une boule de bowling du haut d'un immeuble : ces deux objets ont la même inertie.	☐	☐
c) Un corps ayant une faible inertie est plus facile à mettre en mouvement qu'un autre ayant une grande inertie.	☐	☐
d) Une petite voiture et un gros camion amorcent un virage à la même vitesse. La force de frottement entre les pneus du camion et la chaussée est plus grande que pour la voiture, car son inertie est plus grande que celle de la voiture.	☐	☐
e) Une caisse immobile, sur le sol, ne possède pas d'inertie.	☐	☐

Justification : _____

_____

_____

_____

2. Une essoreuse à salade met à profit la première loi de Newton. Dans vos propres mots et en utilisant la notion d'inertie, expliquez son principe de fonctionnement.

_____

_____

_____

_____

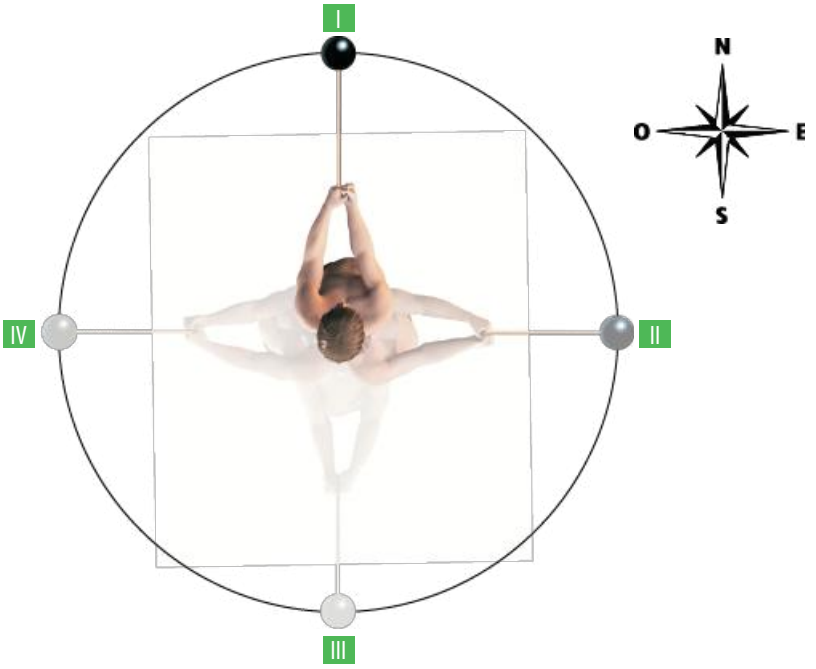
_____

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

3. Un athlète fait tournoyer une masse reliée à une corde au-dessus de sa tête.

a) S'il désire lancer son projectile vers le nord, à quelle position devra-t-il lâcher la corde si la rotation de la masse est dans le sens horaire ? ☐

b) Si la rotation est dans le sens antihoraire et qu'il désire lancer son projectile vers le nord, à quelle position devra-t-il lâcher la corde ? ☐



4. La photo ci-contre montre un mannequin lors d'un test de collision frontale.

a) Expliquez le mouvement du mannequin dans la voiture.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

b) À votre avis, des objets non arrimés dans une voiture peuvent-ils être dangereux lors d'une collision ? Justifiez votre réponse.

_____

_____

_____

_____

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

LA DEUXIÈME LOI DE NEWTON

SECTION 2

La première loi de Newton suggère qu'il existe un lien entre l'application d'une force résultante sur un corps et son accélération. La deuxième loi de Newton explicite le lien qui existe entre ces deux grandeurs.

La notion d'accélération, p. 46

2.1 La relation entre l'accélération et la grandeur de la force résultante

Le montage illustré dans la figure 6.6 permet de déterminer la relation entre la force résultante appliquée sur un corps et l'accélération de celui-ci. Si on double la force exercée sur le chariot, on constate que l'accélération du chariot est doublée. De même, si on diminue la force de moitié, l'accélération s'en trouve également diminuée de moitié. On peut donc en conclure que l'accélération (a) est proportionnelle à la force résultante (F_R) appliquée sur un corps :

$$a \propto F_R$$

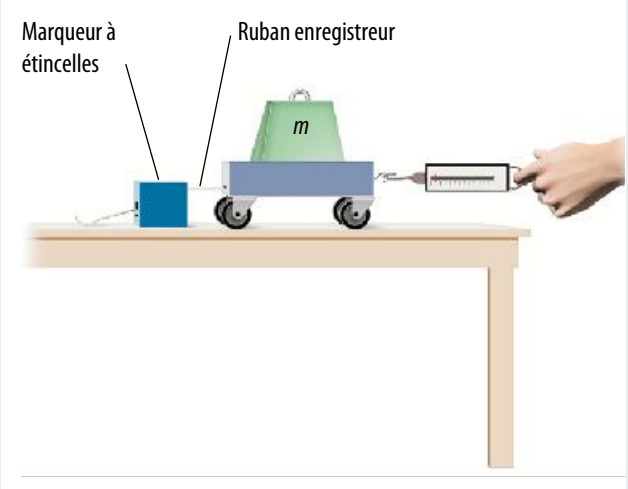


FIGURE 6.6 Un petit chariot est tiré par une force que l'on mesure avec un dynamomètre. On suppose que la force de frottement entre la table et le chariot est négligeable. En notant la position du chariot en fonction du temps à l'aide d'un marqueur à étincelles, on peut déterminer son accélération.

2.2 La relation entre l'accélération et la masse

Avec le même montage que celui illustré dans la figure 6.6, il est aussi possible de déterminer la relation qui existe entre l'accélération et la masse.

Si l'on double la masse du chariot en conservant constante la force appliquée, son accélération diminue de moitié. Inversement, si on diminue de moitié la masse du chariot, l'accélération est doublée. C'est dire que l'accélération est inversement proportionnelle à la masse :

$$a \propto \frac{1}{m}$$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2.3 L'expression mathématique de la deuxième loi de Newton

Pour tenir compte des relations de proportionnalité obtenues précédemment, on peut écrire :

$$F_R = ma$$

Cette équation représente mathématiquement la deuxième loi de Newton. Elle signifie que la force résultante exercée sur un corps est égale à la masse de ce dernier multipliée par son accélération. Dans le système international d'unités (SI), la masse est exprimée en kilogrammes (kg), l'accélération, en mètres par seconde carrée (m/s^2), et la force, en newtons (N) ; ainsi, on peut écrire :

$$1\,\text{N} = 1\,\text{kg} \times 1\,\text{m/s}^2 = 1\,\frac{\text{kg} \times \text{m}}{\text{s}^2}$$

Donc, 1 newton exprimé dans les unités de base du SI correspond à 1 kilogramme mètre par seconde au carré (kg × m/s^2), ce qui signifie qu'il faut une force de 1 N pour accélérer de 1 m/s^2 une masse de 1 kg. De plus, le vecteur accélération est orienté dans le même sens que le vecteur force résultante. Ainsi, avec la notation vectorielle, on a :

La deuxième loi de Newton

$$\vec{F}_R = m\vec{a}$$

où

$\vec{F}_R$ = force résultante, exprimée en newtons (N)

m = masse, exprimée en kilogrammes (kg)

$\vec{a}$ = accélération, exprimée en mètres par seconde au carré (m/s^2)

La nature vectorielle de l'équation de la deuxième loi de Newton implique que :

$$F_{Rx} = ma_x \text{ et } F_{Ry} = ma_y$$

Plusieurs problèmes de physique peuvent être résolus à l'aide de la deuxième loi de Newton. La méthode de résolution proposée ici est très similaire à celle utilisée au chapitre 5.

Méthode pour résoudre un problème de dynamique

1. Identifier le corps à analyser et tracer un diagramme de corps libre.
2. Choisir un référentiel qui simplifie les calculs à effectuer (on fait généralement coïncider l'origine du système de référence avec le point représentant le corps, et on place l'axe des x dans le sens de l'accélération présumée du corps).
3. Écrire les équations de la deuxième loi de Newton : $F_{Rx} = ma_x$ et $F_{Ry} = ma_y$.
4. Résoudre les équations.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Les exemples suivants illustrent comment appliquer cette méthode.

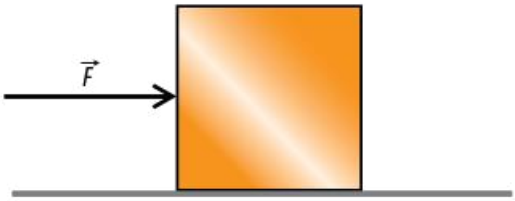
EXEMPLE 1

On pousse horizontalement une boîte de 20,0 kg avec une force de 55,0 N.

a) Quelle est l'accélération de la boîte si on suppose qu'il n'y a pas de frottement ?

b) Quelle est la force normale ?

c) Quelle serait l'accélération de la boîte s'il y avait une force de frottement de 25,0 N ?



Données

On oriente l'axe des *x* positifs dans le sens de la force appliquée $\vec{F}$ et l'axe des *y* vers le haut.

$m = 20{,}0\ \text{kg}$

$\vec{F} = 55{,}0\ \text{N à } 0°$

$\vec{a}_x = ?$

$\vec{F}_N = ?$

Solution

a) Dans cette situation, trois forces s'exercent sur la boîte :

– une force horizontale : la poussée $\vec{F} = 55{,}0\ \text{N à } 0°$;

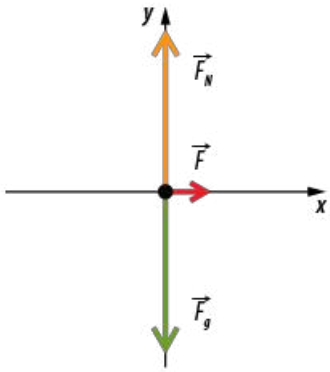
– deux forces dans la direction verticale : la force gravitationnelle $\vec{F}_g$ vers le bas et la force normale $\vec{F}_N$ vers le haut.

Selon l'axe des *x* :

Puisque la force normale ($\vec{F}_N$) et la force gravitationnelle ($\vec{F}_g$) sont à la verticale, la seule force qui agit selon l'axe des *x* est la force $\vec{F}$ de 55,0 N. Ainsi :

$$F_{Rx} = ma_x \quad \rightarrow \quad a_x = \frac{F_{Rx}}{m} = \frac{55{,}0\ \text{N}}{20{,}0\ \text{kg}} = 2{,}75\ \text{m/s}^2$$

L'accélération de la boîte est de 2,75 m/s² dans le sens de la force appliquée.



b) Selon l'axe des *y* :

La boîte ne quitte pas la surface sur laquelle elle est posée. Il n'y a donc pas d'accélération verticalement ($a_y = 0$). Ainsi, la composante *y* de la force résultante est nulle. De plus, puisque la force $\vec{F}$ de 55,0 N est appliquée horizontalement, seules la force normale ($\vec{F}_N$) et la force gravitationnelle ($\vec{F}_g$) possèdent une composante verticale. Ainsi :

$$F_{Ry} = F_N - F_g = ma_y = 0$$

$$F_N = F_g = mg = 20{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 = 196\ \text{N}$$

La force normale est de 196 N vers le haut.

c) Selon l'axe des *x*, il faut maintenant compter avec une force de frottement de 25,0 N qui s'oppose à la force appliquée :

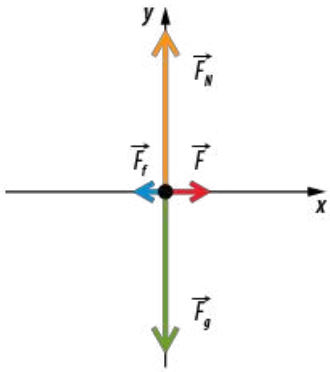
$$F_{Rx} = F - F_f = ma_x$$

$$F_{Rx} = 55{,}0\ \text{N} - 25{,}0\ \text{N} = 30{,}0\ \text{N} = ma_x$$

$$a_x = \frac{F_{Rx}}{m} = \frac{30{,}0\ \text{N}}{20{,}0\ \text{kg}} = 1{,}50\ \text{m/s}^2$$

L'accélération de la boîte serait de 1,50 m/s² dans le sens de la force appliquée.

Note : Comme attendu, l'action d'une force de frottement fait en sorte que l'accélération de la boîte est moins grande.



Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE 2

Un bloc de 15,0 kg, initialement au repos, descend un plan incliné de 15°, sans frottement.

a) Quelle est l'accélération du bloc ?

b) Si la longueur du plan incliné est de 12,0 m, quelle est la vitesse atteinte par le bloc au bout du plan ?

c) Combien de temps le bloc mettra-il pour atteindre le bas du plan incliné ?

Données

$m = 15{,}0$ kg

$v_i = 0$ m/s

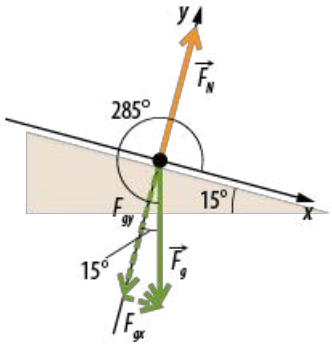
$\Delta x = 12{,}0$ m

$\vec{a}_x = ?$

$\vec{F}_g = ?$

Solution

a) Dans cette situation, on considère l'axe des x dans la direction du plan incliné. Il faut déterminer la composante selon x de la force gravitationnelle, qui est la seule à s'exercer en x :



$$F_{gx} = mg\cos\theta = 15{,}0 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 \cos 285° = 38{,}0 \text{ N}$$

Ainsi, puisque $F_{Nx} = 0$ N :

$$F_{Rx} = F_{gx} = ma_x \quad \rightarrow \quad a_x = \frac{F_{gx}}{m} = \frac{38{,}0 \text{ N}}{15{,}0 \text{ kg}} = 2{,}53 \text{ m/s}^2$$

L'accélération du bloc est de 2,53 m/s² vers le bas du plan incliné.

Note : On aurait obtenu le même résultat avec l'équation $a_x = g\sin\theta$, en utilisant $\theta = 15°$.

▶ Le plan incliné, p. 68

▶ Le formalisme mathématique du MRUA, p. 59

b) Connaissant l'accélération a_x et la distance Δx, on peut utiliser l'équation 4 du mouvement rectiligne uniformément accéléré :

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x = 0 \text{ m/s}^2 + 2 \times 2{,}53 \text{ m/s}^2 \times 12{,}0 \text{ m} = 60{,}7 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$v_f = \sqrt{60{,}7 \text{ m}^2/\text{s}^2} = 7{,}79 \text{ m/s}$$

La vitesse atteinte par le bloc au bout du plan est de 7,79 m/s.

c) Connaissant l'accélération a_x et la distance Δx parcourue par le bloc, on peut utiliser l'équation 3 du mouvement rectiligne uniformément accéléré :

$$x_f = x_i + v_i\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2$$

$$12{,}0 \text{ m} = 0 \text{ m} + 0 \text{ m/s} \times \Delta t + \frac{1}{2} \times 2{,}53 \text{ m/s}^2 \times \Delta t^2 \rightarrow \Delta t = \sqrt{\frac{2 \times 12{,}0 \text{ m}}{2{,}53 \text{ m/s}^2}} = 3{,}08 \text{ s}$$

Le bloc mettra 3,08 s pour atteindre le bas du plan incliné.

SECTION 2 EXERCICES

1. Un corps de 5,00 kg a une accélération de 4,50 m/s².

a) Quelle est la force résultante qui s'exerce sur lui ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

b) Si cette force était diminuée de moitié, qu'adviendrait-il de son accélération ?

c) Si on souhaitait que l'accélération demeure 4,50 m/s^2 avec la force diminuée de moitié, quel devrait être la masse du corps ?

d) À partir de la situation de départ, si la masse est quadruplée, quelle devrait être la force pour que l'accélération soit doublée ?

2. Une voiture puissante de 860 kg passe de 0 m/s à 28 m/s en 6,0 s. Quelle est la force résultante requise pour réaliser ce résultat ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

3. Une voiture de 960 kg circulant à 30 m/s dérape et frappe un arbre, s'immobilisant en 0,80 s. Quelle est la force qui s'exerce sur la voiture au cours de la collision ?

4. Le moteur d'une voiture de $1{,}17 \times 10^3$ kg exerce une force motrice de $3{,}50 \times 10^3$ N. Si la voiture accélère à raison de 2,24 m/s^2 sur une route plane et droite, quelle est la grandeur de la force de frottement qui s'exerce sur la voiture ?

5. Un bloc de 25,0 kg, initialement au repos, glisse le long d'un plan incliné de 10°, sans frottement. Quelle est l'accélération du bloc ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

6. Sur un sol plat, un père tire un traîneau, dans lequel son enfant se trouve, à l'aide d'une corde faisant un angle de 25,0° avec l'horizontale. La masse combinée du traîneau et de l'enfant est de 35,0 kg. Le frottement est de 120 N, et l'homme tire avec une force de 175 N.

a) Quelle est l'accélération du traîneau ?

b) Quelle est la distance parcourue en 3,00 s si le traîneau est initialement au repos ?

c) Quelle est la grandeur de la force normale ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

SECTION 3 LA TROISIÈME LOI DE NEWTON

La **troisième loi de Newton** stipule que lorsqu'un corps A exerce sur un corps B une force $F_{A \rightarrow B}$, le corps B exerce sur le corps A une force $F_{B \rightarrow A}$ de même grandeur, mais dirigée en sens opposé.

L'équation mathématique de la troisième loi de Newton s'écrit :

La troisième loi de Newton

$$\vec{F}_{A \rightarrow B} = -\vec{F}_{B \rightarrow A}$$

où $\vec{F}_{A \rightarrow B}$ = force exercée par A sur B, exprimée en newtons (N)

$\vec{F}_{B \rightarrow A}$ = force exercée par B sur A, exprimée en newtons (N)

Dans cette équation, le signe d'égalité implique que les forces sont de même grandeur, alors que le signe négatif met en évidence le fait que les deux forces sont de sens opposés.

La troisième loi de Newton précise la notion de force. Elle signifie qu'une force n'existe jamais seule, car l'existence d'une force implique une interaction entre deux corps. En effet, toute force qui s'exerce sur un corps engendre automatiquement une force de réaction, que le corps soit au repos ou en mouvement, ou qu'il s'agisse d'une force à distance ou d'une force de contact. C'est pourquoi on qualifie parfois la troisième loi de Newton de principe d'action-réaction. Il faut souligner que le choix d'une des forces comme l'action, et l'autre comme la réaction, est arbitraire. Puisque les deux forces existent simultanément, n'importe laquelle peut être considérée comme l'action ou la réaction. Il est également important de noter que ces forces n'agissent pas sur le même objet.

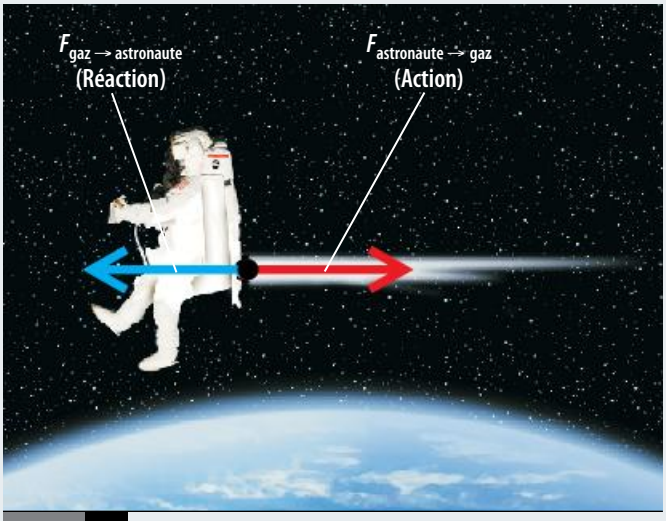


FIGURE 6.7 Lors de sorties dans l'espace, un astronaute se déplace en utilisant un système de propulsion à réaction. Pour se diriger, il doit envoyer un jet de gaz dans le sens opposé au mouvement recherché.

L'exemple suivant permet de mieux comprendre la troisième loi de Newton. Une personne en patin à roues alignées est face à un mur. Si la personne pousse sur le mur, elle se met à reculer. Une force s'exerce donc sur la personne, mais quelle est la nature de cette force ? En poussant sur le mur, la personne exerce une force sur celui-ci. En retour, le mur exerce sur la personne une force de même grandeur, mais en sens opposé, et c'est cette force qui conduit la personne à reculer. Par ailleurs, si cette même personne, toujours immobile, tient maintenant dans ses bras un ballon massif plutôt que d'être face à un mur, et le lance vers l'avant, que se passe-t-il ? La personne se met à reculer. Puisqu'elle exerce une force d'action sur le ballon pour le lancer, le ballon en retour exerce une force de réaction sur la personne, ce qui la fait reculer. La figure 6.7 fournit un autre exemple comparable.

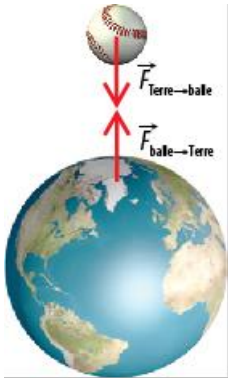
Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE

Un joueur de baseball laisse tomber une balle au sol. La balle subit une accélération vers le sol. La Terre subit-elle également une accélération vers la balle ? Pourquoi ?

Solution

La troisième loi de Newton nous permet de répondre à cette question. Selon cette loi, si la Terre exerce une force gravitationnelle sur la balle et la fait accélérer, la balle exerce en retour une force gravitationnelle équivalente sur la Terre. Cette dernière accélère donc vers la balle. Cependant, comme la masse de la Terre (environ 6×10^{24} kg) est très grande comparée à la masse de la balle (environ 145 g), l'accélération de la Terre est imperceptible, mais elle est tout de même présente.



EXERCICES

SECTION 3

1. Deux astronautes (A et B) font une sortie dans l'espace et se trouvent face à face. Si l'astronaute A pousse l'astronaute B, exerçant sur lui une force de 60,0 N, est-ce qu'une force s'exerce sur l'astronaute A ? Si oui, précisez quelles sont la grandeur et l'orientation de cette force. Sinon, expliquez pourquoi aucune force ne s'exerce sur l'astronaute A.

_____

_____

_____

2. Dans chacun des cas suivants, déterminez une force de réaction, sa grandeur et son orientation, et précisez quel corps exerce cette force.

a) Un parachutiste de 70,0 kg fait de la chute libre. On considère ici la force gravitationnelle exercée par la Terre sur le parachutiste comme la force d'action.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

b) Une personne essaie de déplacer un bloc de pierre en le poussant horizontalement vers la gauche en appliquant une force de 150 N, sans succès. On considère ici la force motrice de 150 N exercée par la personne sur le bloc vers la gauche comme la force d'action.

c) Un gymnaste de 65,5 kg est suspendu à un trapèze, immobile. On considère ici la force gravitationnelle exercée sur le gymnaste par la Terre comme la force d'action.

3. Un camion et une petite voiture entrent en collision frontale. Sur lequel de ces deux véhicules s'exerce la force la plus grande, et pourquoi ?

4. D'après la troisième loi de Newton, si la Terre exerce sur vous une force gravitationnelle que vous ressentez, vous devriez également exercer une force d'attraction sur la Terre. Donc, lorsque vous sautez dans les airs et retombez au sol en accélérant à cause de la force gravitationnelle exercée sur vous par la Terre, la Terre devrait aussi accélérer vers vous. Pourquoi cette accélération est-elle imperceptible ?
Expliquez votre réponse à l'aide de calculs en considérant le cas d'une personne de 55,0 kg.
(Rappel : La masse de la Terre est de $5{,}98 \times 10^{24}$ kg.)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

CHAPITRE 6 SYNTHÈSE

LES LOIS DE NEWTON

La première loi de Newton

- L'**inertie** est la tendance d'un corps à conserver son état de mouvement, qu'il soit au repos ou en mouvement rectiligne uniforme.
- La masse d'un corps quantifie son inertie. Plus sa masse est élevée, plus un corps tend à conserver son état de mouvement.
- La **première loi de Newton** stipule qu'en l'absence de force extérieure résultante agissant sur lui, un corps demeure au repos ou en mouvement rectiligne uniforme. Ainsi :
  - Tout objet au repos tend à demeurer au repos.
  - Tout corps en mouvement tend à demeurer en mouvement en ligne droite à vitesse constante.
  - Pour modifier l'état de mouvement d'un corps, il faut une force résultante non nulle.
  - Si aucune force résultante ne s'exerce sur un corps, l'accélération de ce corps est nulle.

La deuxième loi de Newton

- La **deuxième loi de Newton** stipule que la force résultante ($\vec{F}_R$) exercée sur un corps est égale à la masse (m) de ce dernier multipliée par son accélération ($\vec{a}$). L'équation exprimant cette relation est :

$$\vec{F}_R = m\vec{a}$$

La troisième loi de Newton

- La **troisième loi de Newton** stipule que lorsqu'un corps A exerce sur un corps B une force $\vec{F}_{A\to B}$, le corps B exerce sur le corps A une force $\vec{F}_{B\to A}$ de même grandeur, mais dirigée en sens opposé.
- L'équation mathématique de la troisième loi de Newton s'écrit :

$$\vec{F}_{A\to B} = -\vec{F}_{B\to A}$$

où

$\vec{F}_{A\to B}$ = force exercée par A sur B, exprimée en newtons (N)

$\vec{F}_{B\to A}$ = force exercée par B sur A, exprimée en newtons (N)

- Une force n'existe jamais seule : une force n'existe que s'il y a interaction entre deux corps.

EXERCICES

1 Vrai ou faux ? Lorsque vous jugez qu'un énoncé est faux, corrigez-le.

	VRAI	FAUX
a) L'accélération d'un corps est proportionnelle à la force résultante qui s'exerce sur lui.	☐	☐
b) Plus la masse d'un corps est grande, plus son inertie est élevée.	☐	☐
c) En unités de base du système international, 1 N s'exprime comme 1 kg × m/s^2.	☐	☐
d) Pour chaque force qui s'exerce sur un corps, il y a toujours une force de réaction.	☐	☐
e) Lorsqu'aucune force résultante ne s'exerce sur un corps, celui-ci est nécessairement au repos.	☐	☐

Justification : _____

_____

_____

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2 Lorsqu'on vient de se laver les mains et que l'on veut les égoutter, on les secoue. Expliquez comment intervient la première loi de Newton dans cette situation.

3 Un bloc de bois pesant 300 N subit une augmentation de sa vitesse au taux de 2,25 m/s^2 le long d'un plan incliné de 250 m de long. La force de frottement entre le bloc et le plan incliné est de 85,0 N.

a) Quelle est la grandeur de la force résultante s'exerçant sur le bloc ?

b) S'il n'y avait pas de frottement, quelle serait l'accélération de ce même bloc ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

4 Une mère traîne son enfant dans un chariot qui a une masse de 25,0 kg. La force de 65,0 N exercée par la mère fait un angle de 30,0° au-dessus de l'horizontale. Quelle est la masse de l'enfant si la force de frottement qui nuit au mouvement est de 10,0 N et que l'accélération de l'ensemble est de 1,05 m/s^2 dans le sens du mouvement du chariot ?

5 Un train de marchandises de $3{,}300 \times 10^6$ kg circule à une vitesse de 18,0 m/s. Le conducteur du train souhaite augmenter la vitesse de 10,0 m/s sur une distance de 1000 m. Quelle force motrice supplémentaire le moteur de la locomotive doit-il fournir ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

6 Dans un concours de femmes fortes, on doit pousser un chariot de 150 kg sur une distance de 20,0 m le plus rapidement possible. Si une participante applique une force horizontale constante de 350,0 N sur le chariot initialement au repos, combien de temps lui faudra-t-il pour franchir la ligne d'arrivée ? Considérez qu'il n'y a pas de frottement.

7 **DÉFI** Le conjoint d'une personne handicapée fait aménager une rampe d'accès à la maison. Cette rampe mesure 5,00 m de longueur et fait un angle de 15° avec le sol. La personne handicapée et le fauteuil roulant pèsent ensemble 950 N.

Si la force de frottement qui nuit au mouvement est de 15,0 N, quelle est la force minimale requise pour pousser le fauteuil vers le haut de la rampe ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MODULE 2

CONSOLIDATION

1 Parmi les unités ci-dessous, laquelle ou lesquelles correspondent à une unité de force ?

A. $\frac{kg \times m^2}{s}$ B. $\frac{kg \times m}{s^2}$ C. $\frac{kg \times m^2}{s^2}$ D. $\frac{kg \times m}{s}$

2 Vrai ou faux ? Corrigez les énoncés qui sont faux.

	VRAI	FAUX
a) Votre masse sur la Terre est identique à votre masse sur la Lune.	☐	☐
b) La masse, c'est un autre terme pour dire le poids.	☐	☐
c) L'accélération gravitationnelle *g* est plus grande pour une boule de bowling que pour une balle en styromousse.	☐	☐
d) Sur la Lune, un objet lourd tombe plus rapidement qu'un objet léger.	☐	☐
e) Votre poids sur la Terre est identique à votre poids sur la Lune.	☐	☐
f) Une force gravitationnelle plus grande s'exerce entre la Terre et une boule de bowling qu'entre la Terre et une balle en styromousse.	☐	☐

Justification : _____

_____

_____

_____

_____

3 La force gravitationnelle fait qu'il y a une attraction entre deux corps. Pourquoi la Lune ne s'écrase-t-elle pas sur la Terre ? Complétez le texte suivant pour le découvrir.

Imaginons que la Lune se déplace en ligne droite dans l'espace. Selon la 1re loi de Newton, la Lune tend à _____ ce mouvement rectiligne tant qu'elle ne subit pas l'influence d'une _____. À proximité de la Terre, la Lune subit son _____, et elle _____ vers la Terre (comme une pomme le fait près de la surface de la Terre). Toutefois, comme la Lune se déplace à une _____ tangente à sa trajectoire circulaire suffisamment grande, elle arrive à se maintenir à une même _____ de la Terre en tout temps.

4 Soit une caisse de bois de 90,0 kg posée sur une plate-forme inclinée de 25°. La caisse est immobile.

a) Pourquoi ne glisse-t-elle pas le long de ce plan incliné ?

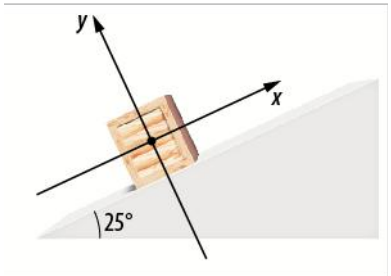
_____

_____

_____

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

b) Sur la figure ci-contre, représentez par des flèches toutes les forces qui s'appliquent sur la caisse.



c) Quelle est la grandeur de la force de frottement ?

5 Un randonneur de 88,0 kg qui marche sur un sentier de montagne fait un faux pas et se met à glisser sur une pente inclinée de 42°. Il subit alors une accélération de 1,50 m/s^2. La force de frottement entre les souliers du randonneur et la pente est de 255 N.

a) Quelle est la grandeur de la force résultante s'exerçant sur le randonneur ?

b) S'il n'y avait pas de frottement, quelle serait l'accélération du randonneur ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MODULE 3

L'énergie et ses transformations

SOMMAIRE

Chapitre 7 Le travail et la puissance mécanique 158
Chapitre 8 L'énergie mécanique 171
Chapitre 9 L'énergie emmagasinée dans les ressorts 195

CHAPITRE 7

LE TRAVAIL ET LA PUISSANCE MÉCANIQUE

Ce chapitre porte sur le travail et la puissance, notions que vous avez découvertes en 4e secondaire et que vous approfondirez dans le présent chapitre.

En physique, le mot « travail » a un sens particulier. Il signifie l'énergie qui est transférée à un corps en mouvement par l'action d'une force. Par exemple, l'homme représenté sur cette photo effectue un travail pendant qu'il soulève l'haltère, mais pas lorsqu'il ne fait que le maintenir en l'air, même si cela lui demande aussi un effort exceptionnel. La notion de travail, au sens où la physique l'utilise, sera étudiée à la section 1.

La puissance mécanique, quant à elle, correspond au rythme auquel le travail est effectué. Ainsi, plus cet homme fort soulève sa charge rapidement, plus il déploie de puissance mécanique. La puissance sera étudiée à la section 2.

SOMMAIRE

Section 1 Le travail d'une force 159
Section 2 La puissance mécanique 165

LE TRAVAIL D'UNE FORCE

SECTION 1

RAPPEL L'ÉNERGIE, LE TRAVAIL ET LA FORCE EFFICACE

En 4e secondaire, on a étudié les caractéristiques du travail et de la force efficace.

La relation entre le travail et l'énergie

Le travail W effectué sur un corps entraîne une variation de l'énergie de ce corps ΔE telle que : $W = \Delta E$.

La force efficace

La force efficace (F_{eff}) correspond à la composante de la force ($\vec{F}$) qui est parallèle au déplacement ($\Delta\vec{s}$).

La relation entre le travail, la force efficace et le déplacement

Le travail (W) effectué par une force constante sur un corps en mouvement correspond au produit de la force efficace (F_{eff}) et du déplacement (Δs).

1.1 Le travail, la force et le déplacement

Quand une force influe sur le déplacement d'un corps, on dit qu'elle effectue un travail sur ce corps.

Le **travail (W)** est un transfert d'énergie causé par une force qui agit sur un corps qui se déplace.

Puisque le travail est une quantité d'énergie transférée, il se mesure en joules (J), comme l'énergie.

La notion de force efficace est intimement liée à celle de travail. La grandeur de la force efficace F_{eff} (*voir la figure 7.1*) se calcule à l'aide de l'équation suivante :

La force efficace

$$F_{eff} = F\cos\theta$$

où F_{eff} = force efficace, exprimée en newtons (N)

F = grandeur de la force appliquée, exprimée en newtons (N)

θ = angle entre la force appliquée ($\vec{F}$) et le déplacement ($\Delta\vec{s}$)

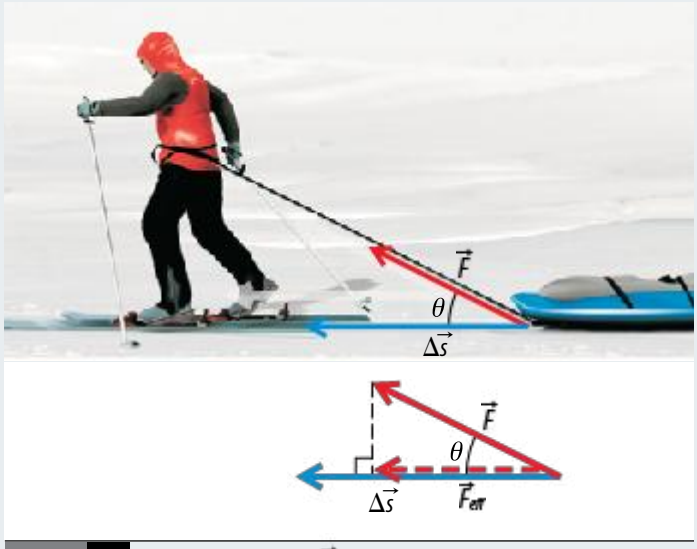


FIGURE 7.1 Quand une force ($\vec{F}$) agit sur un corps en mouvement, la composante de cette force qui est parallèle au déplacement ($\Delta\vec{s}$) du corps porte le nom de force efficace (F_{eff}).

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Le déplacement, p. 26

Comme on l'a indiqué dans l'encadré Rappel, le travail (W) effectué par une force constante sur un corps en mouvement correspond au produit de la force efficace (F_{eff}) et du déplacement (Δs). On obtient ainsi l'équation suivante :

$$W = F_{eff} \times \Delta s$$

En remplaçant F_{eff} par $F \cos \theta$ dans cette équation, on obtient une équation qui relie le travail, la force et le déplacement.

Le travail

$$W = F \times \Delta s \times \cos\theta$$

où W = travail, exprimé en joules (J)

F = force appliquée sur le corps, exprimée en newtons (N)

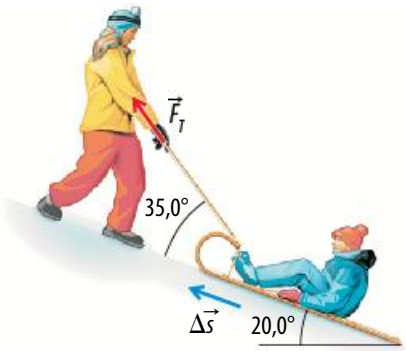
Δs = déplacement du corps, exprimé en mètres (m)

θ = angle entre la force appliquée (F) et le déplacement (Δs)

Le travail effectué par une force sur un corps en mouvement correspond à la contribution qu'apporte cette force au déplacement du corps.

EXEMPLE

Une jeune fille tire, sur une distance de 10,0 m, le traîneau dans lequel est assis son petit frère, sur une pente inclinée à 20,0°. La corde qu'elle utilise pour tirer le traîneau fait un angle de 35,0° avec le sol. La jeune fille exerce une force de tension constante de 115 N dans la corde.



a) Quel est le travail effectué par la force de tension sur le traîneau ?

Données

$F_T = 115$ N

$\Delta s = 10{,}0$ m

$\theta = 35{,}0°$ (entre $\vec{F}_T$ et $\Delta\vec{s}$)

$W = ?$

Solution

$W = F_T \times \Delta s \times \cos\theta$

$= 115\ \text{N} \times 10{,}0\ \text{m} \times \cos 35{,}0° = 942\ \text{J}$

Le travail effectué par la force de tension est égal à 942 J.

b) Si le garçon et le traîneau ont une masse totale de 25,0 kg, quel est le travail effectué sur eux par la force gravitationnelle ?

Données

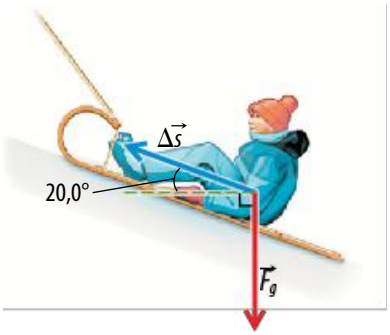
$\Delta s = 10{,}0$ m

$m = 25{,}0$ kg

$\theta = 20{,}0° + 90{,}0° = 110{,}0°$ (entre $\vec{F}_g$ et $\Delta\vec{s}$)

$F_g = ?$

$W = ?$



Solution

1. Calcul de la grandeur de la force gravitationnelle qui agit sur le traîneau et le garçon :

   $F_g = mg = 25{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 = 245\ \text{N}$

2. Calcul du travail effectué par la force gravitationnelle sur le traîneau et le garçon :

   $W = F_g \times \Delta s \times \cos\theta$

   $= 245\ \text{N} \times 10{,}0\ \text{m} \times \cos 110{,}0° = {}^{-}838\ \text{J}$

Le travail effectué par la force gravitationnelle est de $^{-}838$ J.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

1.2 Les valeurs particulières du travail

Le travail est une grandeur scalaire, ce qui signifie qu'il n'a pas de direction. Comme le montre l'exemple de la page précédente, sa valeur peut être positive ou négative :

- Si une force est utile au déplacement d'un corps, le travail a un signe positif. L'action de la force fait donc gagner de l'énergie au corps qui la subit.
- Si une force nuit au déplacement d'un corps, le travail a un signe négatif. L'action de la force fait alors perdre de l'énergie au corps qui la subit.

La grandeur et le signe du travail varient en fonction de l'angle entre la force et le déplacement. Le tableau 7.1 présente les cinq cas possibles.

TABLEAU 7.1 L'effet de l'angle entre la force et le déplacement sur la grandeur et le signe du travail

Angle (θ) entre la force ($\vec{F}$) et le déplacement ($\Delta\vec{s}$)		$\cos\theta$	Travail ($W = F\Delta s \cos\theta$)
$\vec{F}$ $\Delta\vec{s}$	$\theta = 0°$	$\cos\theta = 1$	$W = F\Delta s$ Travail maximal (et positif)
$\vec{F}$ θ $\Delta\vec{s}$	$0° < \theta < 90°$	$0 < \cos\theta < 1$	$0 < W < F\Delta s$ Travail positif
$\vec{F}$ θ $\Delta\vec{s}$	$\theta = 90°$	$\cos\theta = 0$	$W = 0$ Travail nul
$\vec{F}$ θ $\Delta\vec{s}$	$90° < \theta < 180°$	$-1 < \cos\theta < 0$	$-F\Delta s < W < 0$ Travail négatif
θ $\vec{F}$ $\Delta\vec{s}$	$\theta = 180°$	$\cos\theta = -1$	$W = -F\Delta s$ Travail minimal (et négatif)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXERCICES

1. Sur un sol plat, une femme pousse un fauteuil sur une distance de 1,20 m en exerçant une force constante de 215 N à 10,0° sous l'horizontale.

a) Quel est le travail effectué par la femme sur le fauteuil ?

b) Si la femme exerçait la même force, mais parallèlement au sol plutôt que légèrement vers le bas, quel travail effectuerait-elle ?

2. Une femme pousse une tondeuse en exerçant une force constante de 75,0 N parallèlement au manche de la tondeuse, qui fait un angle de 40,0° avec la verticale.

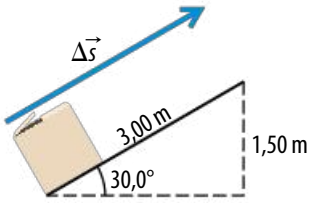
a) Quelle est la grandeur de la force efficace ?

b) Si la femme effectue un travail de 964 J, sur quelle distance pousse-t-elle la tondeuse ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

c) Quel est le travail effectué par la force gravitationnelle sur la tondeuse pendant son déplacement ?

3. Une caisse de 10,0 kg se trouve au bas d'un plan incliné à 30,0°. Il n'y a aucun frottement entre la caisse et la surface du plan.



a) Vous poussez la caisse à vitesse constante sur une distance de 3,00 m et la faites ainsi monter de 1,50 m, comme l'illustre le croquis ci-contre. La force que vous exercez est constante et parallèle au plan incliné. Quel travail effectuez-vous ?

Indice : Trouvez d'abord la force qu'il faut exercer pour déplacer la caisse à vitesse constante.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

b) Si, plutôt que de pousser la caisse le long du plan incliné, vous l'aviez soulevée verticalement de 1,50 m, quel travail auriez-vous effectué ?

c) En comparant le résultat obtenu en *a)* et celui obtenu en *b)*, complétez le texte suivant à l'aide des expressions dans l'encadré.

• une plus petite	• la même	• une plus grande

Pour transférer une quantité d'énergie donnée à un objet, on peut exercer soit une petite force sur une grande distance, soit _____ force sur _____ distance. Le travail effectué est alors le même. En effet, puisque le travail correspond à la quantité d'énergie transférée, si on transfère _____ quantité d'énergie à un objet, on effectue le même travail.

4. Comme on l'a vu au chapitre 4, certaines forces effectuent systématiquement un travail qui a des caractéristiques particulières.

a) Parmi les forces suivantes, laquelle n'effectue jamais de travail sur un corps ? Encerclez la bonne réponse et justifiez votre choix.

I) La force gravitationnelle
II) La force de tension
III) La force de frottement cinétique
IV) La force normale

Justification : _____

_____

b) Parmi les forces suivantes, laquelle effectue toujours un travail négatif sur un corps ? Encerclez la bonne réponse et justifiez votre choix.

I) La force gravitationnelle
II) La force de tension
III) La force de frottement cinétique
IV) La force normale

Justification : _____

_____

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

LA PUISSANCE MÉCANIQUE

SECTION 2

RAPPEL LA RELATION ENTRE LA PUISSANCE ET L'ÉNERGIE

En 4e secondaire, on a vu que la puissance électrique est la quantité d'énergie électrique consommée ou fournie par unité de temps. Le concept de puissance mécanique ressemble beaucoup à celui de puissance électrique.

La **puissance mécanique (*P*)** est la quantité de travail effectuée par unité de temps.

On calcule la puissance en divisant le travail accompli par l'intervalle de temps nécessaire pour accomplir ce travail.

La puissance mécanique

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

où P = puissance mécanique, exprimée en watts (W)

W = travail accompli, exprimé en joules (J)

Δt = intervalle de temps nécessaire pour accomplir le travail, exprimé en secondes (s)

Un watt correspond à un joule par seconde. Attention ! Il ne faut pas confondre le symbole du travail (W) avec celui du watt (W) :

1 W = 1 J/s

EXEMPLE

Un attelage de chiens exerce une force de 200 N sur un traîneau, à un angle de 6,00° au-dessus du sol. S'il tire le traîneau sur une distance de 40,0 km en 75,0 minutes, quelle puissance l'attelage développe-t-il ?

Données

$\Delta t = 75{,}0\ \text{min} = 4{,}50 \times 10^3\ \text{s}$

$F = 200\ \text{N}$

$\Delta s = 40{,}0\ \text{km} = 4{,}00 \times 10^4\ \text{m}$

$\theta = 6{,}00°$

$W = ?$

$P = ?$

Solution

1. Calcul du travail fait par l'attelage :

$$W = F \times \Delta s \times \cos\theta$$

$$= 200\ \text{N} \times (4{,}00 \times 10^4\ \text{m}) \times \cos 6{,}00° = 7{,}96 \times 10^6\ \text{J}$$

2. Calcul de la puissance développée par l'attelage :

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{7{,}96 \times 10^6\ \text{J}}{4{,}50 \times 10^3\ \text{s}} = 1{,}77 \times 10^3\ \text{W}$$

L'attelage de chiens développe une puissance de $1{,}77 \times 10^3$ W.

À QUOI ÇA SERT ?

LA PUISSANCE AUTOMOBILE

On utilise la notion de puissance pour caractériser les moteurs de voiture. Dans les spécifications techniques, on appelle ces unités de puissance des chevaux-vapeur (*horsepowers*). Dans le système d'unités américain (système impérial), 1 cheval-vapeur correspond à 746 W.

Il faut savoir que la puissance annoncée par les manufacturiers automobiles correspond à la puissance maximale que le moteur peut développer. Dans bien des cas, cette dernière ne sera jamais atteinte par les conducteurs. De plus, seulement environ un huitième de la puissance du moteur est transmis aux roues de la voiture. Le reste est perdu, par exemple, dans les frottements du moteur ou dans les systèmes d'échappement ou de refroidissement.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EN PLUS… LA RELATION ENTRE LA PUISSANCE, LA FORCE ET LA VITESSE

On connaît la relation entre le travail, la force et le déplacement : $W = F \times \Delta s \times \cos\theta$.

On peut donc écrire la puissance de la façon suivante :

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{F \times \Delta s \times \cos\theta}{\Delta t} = F \times \frac{\Delta s}{\Delta t} \times \cos\theta$$

Or, pour un corps en mouvement à vitesse constante, on sait que $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$.

En conséquence, on peut écrire :

$$P = F \times v \times \cos\theta$$

Dans cette équation, il est bien sûr possible de définir θ comme l'angle entre la force et le déplacement (comme on le faisait à la section 1). Mais, la vitesse et le déplacement étant nécessairement orientés dans la même direction quand la vitesse est constante, θ peut également être défini comme l'angle entre la force et la vitesse.

On peut utiliser cette relation pour résoudre l'exemple précédent. Voici le calcul :

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{4{,}00 \times 10^4 \text{ m}}{4{,}50 \times 10^3 \text{ s}} = 8{,}89 \text{ m/s}$$

Ainsi,

$$\begin{aligned} P &= F \times v \times \cos\theta \\ &= 200 \text{ N} \times 8{,}89 \text{ m/s} \times \cos 6{,}00° \\ &= 1{,}77 \times 10^3 \text{ W} \end{aligned}$$

Ce résultat est identique à celui obtenu précédemment.

SECTION 2 EXERCICES

1. Une machine effectue un travail de 6,00 kJ en 5,00 min.

a) Quelle est la puissance de cette machine ?

b) Quel travail une machine deux fois plus puissante pourrait-elle effectuer en 5,00 min ?

c) Combien de temps une machine deux fois moins puissante mettrait-elle pour effectuer le même travail ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2. Une grue développe une puissance de 2500 W en soulevant une caisse de 3000 kg à vitesse constante. Combien de temps la grue met-elle pour soulever la caisse de 25,0 m ?

3. Lisez le texte de la rubrique suivante, puis faites l'exercice demandé.

ZOOM LE CHEVAL-VAPEUR ET LE WATT

Le cheval-vapeur est une unité de mesure de la puissance créée par l'ingénieur écossais James Watt (1736-1819). C'est en son honneur qu'on a baptisé « watt » l'unité SI de la puissance.

Watt voulait faire la promotion d'une machine à vapeur en en comparant la puissance à celle des chevaux. Il a ainsi défini une unité de puissance correspondant à la puissance d'un cheval, unité nommée en anglais *horsepower* (hp) ou, en français, « cheval-vapeur impérial ». Pour évaluer la puissance d'un cheval, Watt a estimé qu'une bête pouvait soulever une charge de 550 lb (2447 N) d'une hauteur de 1 pi (0,305 m) en 1 s. Un cheval-vapeur impérial est donc égal à :

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{F \times \Delta s \times \cos\theta}{\Delta t} = \frac{2447\ \text{N} \times 0{,}305\ \text{m} \times \cos 0°}{1\ \text{s}} = 746\ \text{W}$$

Avant l'instauration du Système international d'unités (SI), dans les pays où le système métrique était en vigueur, le cheval-vapeur a été défini de façon légèrement différente. Un cheval-vapeur métrique (ch) correspond à la puissance associée au soulèvement de 75 kg en 1 s sur une distance de 1 m.

Déterminez l'équivalent en watts d'un cheval-vapeur métrique (ch).

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

CHAPITRE 7 SYNTHÈSE

LE TRAVAIL ET LA PUISSANCE MÉCANIQUE

Le travail d'une force

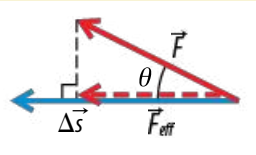
- La force efficace est la composante d'une force qui est parallèle au déplacement du corps sur lequel elle agit :

$$F_{eff} = F \times \cos\theta$$

où F_{eff} = force efficace (N)

F = grandeur de la force appliquée (N)

θ = angle entre la force appliquée ($\vec{F}$) et le déplacement ($\Delta\vec{s}$)



- Le **travail (*W*)** correspond au produit de la force efficace (F_{eff}) et du déplacement :

$$W = F_{eff} \times \Delta s = F \times \Delta s \times \cos\theta$$

  - Le travail se mesure en joules (J).
  - Le travail correspond à l'énergie qui est transférée à un corps par l'action de forces extérieures :

$$W = \Delta E$$

  - Le travail fait sur un corps est positif quand ce corps gagne de l'énergie. Cela se produit quand la force qui effectue le travail aide au déplacement du corps. Le travail fait sur un corps est négatif quand ce corps perd de l'énergie. Cela se produit quand la force qui effectue le travail nuit au déplacement du corps.

La puissance mécanique

- La **puissance mécanique (*P*)** est la quantité de travail effectuée par unité de temps :

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

La puissance se mesure en watts (W). Un watt équivaut à un joule par seconde :

$$1\ \text{W} = 1\ \text{J/s}$$

EXERCICES

1 Dites si chacun des énoncés suivants s'applique au travail ou à la puissance en cochant la ou les cases appropriées. Un même énoncé peut s'appliquer à la fois au travail et à la puissance, ou à ni l'un ni l'autre.

	Travail	Puissance
a) Je suis une grandeur scalaire.	☐	☐
b) Je suis un transfert d'énergie.	☐	☐
c) Mon unité de mesure est le watt.	☐	☐
d) Je suis le rythme auquel l'énergie est transférée.	☐	☐

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2 Chacun des énoncés suivants décrit un travail. Inscrivez dans chaque case un chiffre de 1 à 4 pour classer les travaux par ordre croissant (1 correspond au travail le plus petit et 4, au plus grand).
Indice : Trouvez d'abord le signe du travail dans chaque situation.

a) La force gravitationnelle agit sur un téléphone cellulaire qui tombe des mains de son propriétaire jusqu'au sol. ☐

b) Un homme pousse un lourd réfrigérateur de toutes ses forces sans parvenir à le déplacer. ☐

c) La force gravitationnelle agit sur un ballon alors qu'il s'élève dans les airs après avoir été lancé par un enfant. ☐

d) Un cheval tire un traîneau dans la neige durant une demi-heure. ☐

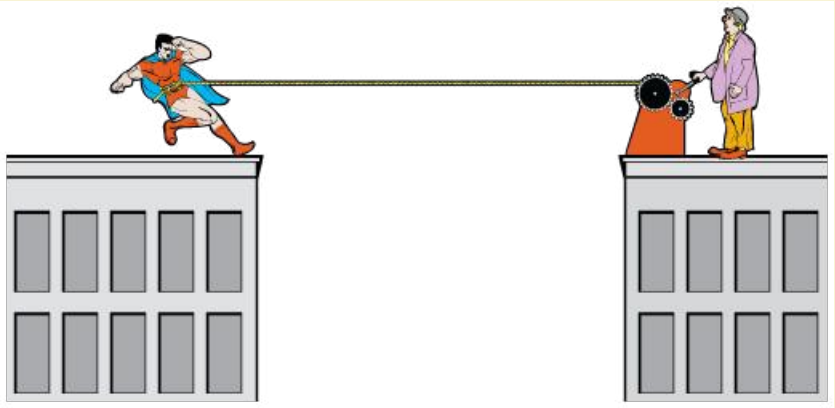
3 Un bateau tire un skieur nautique sur une distance de 300 m et, ce faisant, lui transfère $8{,}00 \times 10^4$ J d'énergie mécanique. L'angle entre la corde et l'eau est de 5,00°.

a) Quelle est la force exercée par le bateau sur le skieur ?

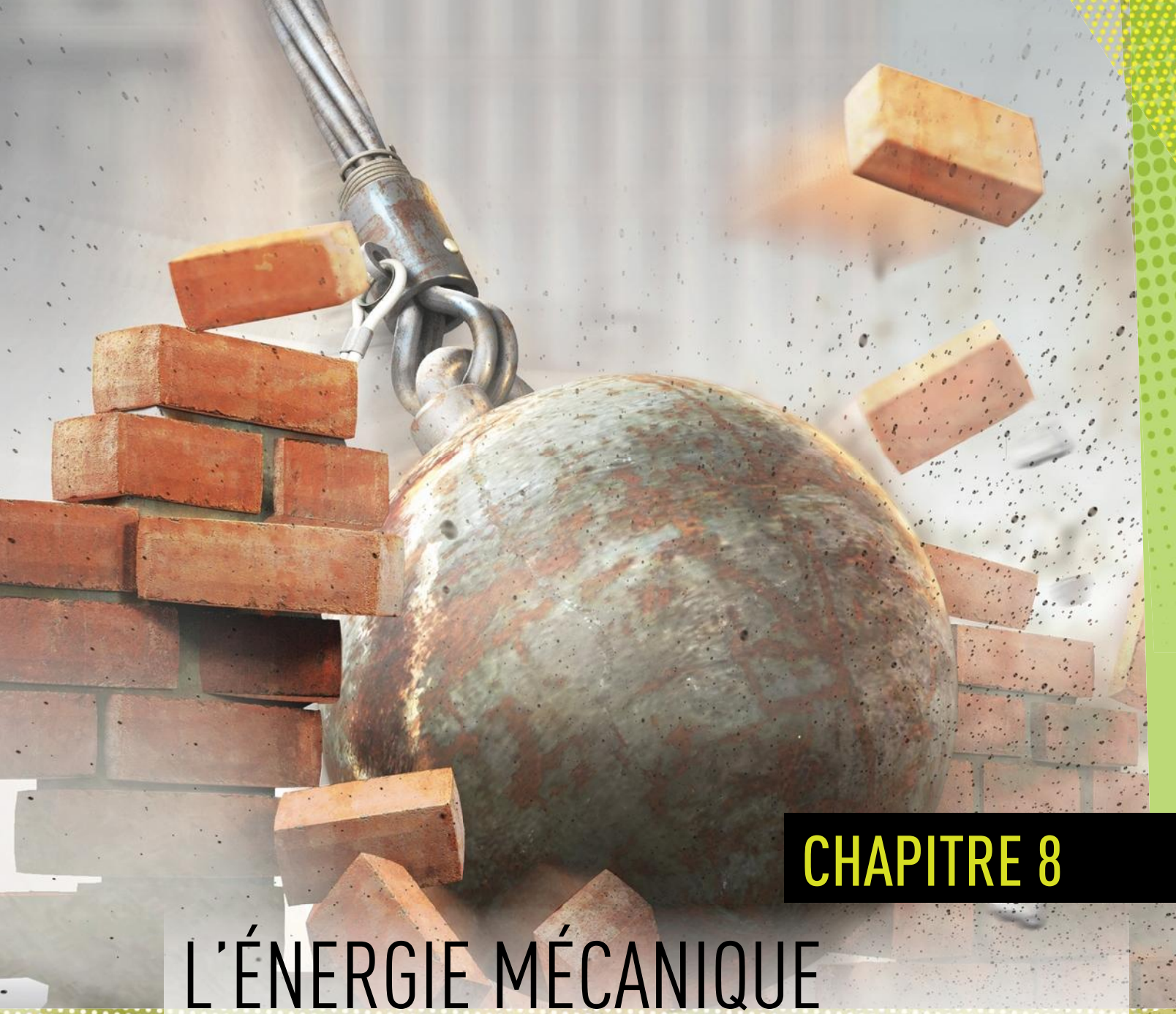
b) Si le bateau et le skieur avancent à 45,0 km/h, quelle est la puissance associée à la force exercée par le bateau sur le skieur ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

4 **DÉFI** Au cinéma, un supervilain a attrapé un superhéros au lasso sur un toit et il le tire vers le bord du gratte-ciel à l'aide d'un treuil. Le treuil tire le superhéros à la vitesse constante de 0,500 m/s. La force de frottement qui agit sur les superbottes du superhéros est de 750 N. Quelle est la puissance développée par le treuil ?



Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.



CHAPITRE 8

L'ÉNERGIE MÉCANIQUE

L'énergie n'est pas quelque chose de matériel. On ne peut ni la voir ni la toucher. À l'instar d'autres concepts de physique, comme le concept de force, on connaît l'énergie par ses effets davantage que par ce qu'elle est.

L'énergie est une propriété que l'on attribue aux systèmes pour évaluer leur capacité à effectuer un travail ou à modifier d'autres systèmes. Ainsi, si un système contient beaucoup d'énergie, c'est qu'il aura le potentiel de générer un mouvement important ou de transformer de la matière de façon significative. Par exemple, un boulet de démolition qui se balance a beaucoup d'énergie. Lorsqu'il frappe un édifice, cette énergie transférée fait voler les murs en éclat.

L'énergie se présente sous différentes formes : chimique, nucléaire, électrique, solaire, etc. Dans le cadre de ce chapitre, c'est l'énergie mécanique qui sera étudiée. À la section 1, nous présenterons deux formes que peut prendre l'énergie mécanique : l'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle. La section 2 portera sur la conservation de l'énergie mécanique.

SOMMAIRE

Section 1 L'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle 172

Section 2 La conservation de l'énergie mécanique 178

SECTION 1

L'ÉNERGIE CINÉTIQUE ET L'ÉNERGIE POTENTIELLE GRAVITATIONNELLE

L'**énergie mécanique (E_m)** est l'énergie qui est associée au mouvement et à la position des corps.

L'énergie mécanique, comme toutes les autres formes d'énergie, est une quantité scalaire qui, dans le SI, se mesure en joules (J).

L'énergie mécanique peut prendre différentes formes : énergie cinétique, énergie potentielle gravitationnelle ou énergie potentielle élastique. L'énergie potentielle élastique sera étudiée au chapitre 9.

Système
Ensemble de corps en interaction.

Dans la mesure où on ne s'intéresse pas, dans un premier temps, à l'énergie potentielle élastique, l'énergie mécanique totale d'un **système** est donnée par l'équation suivante :

L'énergie mécanique

$$E_m = E_c + E_{pg}$$

où E_m = énergie mécanique, exprimée en joules (J)

E_c = énergie cinétique, exprimée en joules (J)

E_{pg} = énergie potentielle gravitationnelle, exprimée en joules (J)

Les deux sous-sections suivantes présentent l'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle.

1.1 L'énergie cinétique

RAPPEL L'ÉNERGIE CINÉTIQUE

On a vu en 4e secondaire que l'énergie cinétique est une énergie liée au mouvement d'un corps.

L'**énergie cinétique (E_c)** est l'énergie que possèdent les corps en mouvement en raison de leur vitesse et de leur masse.

La formule qui permet d'évaluer l'énergie cinétique est la suivante :

L'énergie cinétique

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

où E_c = énergie cinétique, exprimée en joules (J)

m = masse, exprimée en kilogrammes (kg)

v = vitesse, exprimée en mètres par seconde (m/s)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE

On estime aujourd'hui que le célèbre cratère de Barringer (aussi connu sous le nom de *Meteor Crater*), qui se trouve en Arizona, a été causé par la chute d'un fragment de météorite d'environ $1{,}5 \times 10^8$ kg qui a atteint la surface de la Terre à une vitesse de 12,8 km/s. Quelle était l'énergie cinétique de ce fragment de météorite au moment de l'impact ?

Données

$m = 1{,}5 \times 10^8$ kg

$v = 12{,}8$ km/s $= 1{,}28 \times 10^4$ m/s

$E_c = ?$

Solution

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2} \times (1{,}5 \times 10^8 \text{ kg}) \times (1{,}28 \times 10^4 \text{ m/s})^2$$

$$= 1{,}2 \times 10^{16} \text{ J}$$

L'énergie cinétique du fragment de météorite était de $1{,}2 \times 10^{16}$ J.

Note : Cette quantité d'énergie équivaut à près de 200 fois l'énergie de la bombe atomique d'Hiroshima.

EN PLUS… LE THÉORÈME DE L'ÉNERGIE CINÉTIQUE

Supposons que la force résultante ($\vec{F}_R$) qui agit sur un corps est parallèle à la direction du mouvement de ce corps alors qu'il subit un déplacement Δx. Cette force fait un travail résultant $W_R = F_R \Delta x$.

En vertu de la deuxième loi de Newton (selon laquelle $\vec{F}_R = m\vec{a}$), on peut réécrire l'équation du travail résultant ainsi : $W_R = ma\Delta x$.

La deuxième loi de Newton, p. 141

Or, on peut utiliser la quatrième équation du MRUA pour obtenir une équivalence pour $a\Delta x$:

Les équations du MRUA, p. 60

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x \quad \rightarrow \quad a\Delta x = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2}$$

On obtient donc :

$$W_R = m\left(\frac{v_f^2 - v_i^2}{2}\right) = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

Cette équation est appelée « théorème de l'énergie cinétique ». En présentant les termes sous la forme $\frac{1}{2}mv^2$, le théorème de l'énergie cinétique permet de comprendre l'origine de la formule qui permet d'évaluer l'énergie cinétique. La quantité $\frac{1}{2}mv^2$ s'exprime en joules, et on a choisi de la nommer « énergie cinétique » : une énergie liée à la vitesse d'un corps.

Ainsi, le théorème de l'énergie cinétique peut s'écrire :

$$W_R = E_{cf} - E_{ci} = \Delta E_c$$

Cela signifie que, durant un intervalle de temps donné, le travail total effectué sur un corps par toutes les forces qui agissent sur lui est équivalent à la variation de l'énergie cinétique de ce corps durant cet intervalle de temps.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

1.2 L'énergie potentielle gravitationnelle

RAPPEL L'ÉNERGIE POTENTIELLE GRAVITATIONNELLE

On a vu en 4e secondaire que l'énergie potentielle gravitationnelle est une énergie qui est emmagasinée dans un corps et qui peut être transformée en une autre forme d'énergie.

Une énergie potentielle est une énergie qui est emmagasinée par un système. L'énergie potentielle d'un système est l'énergie qui est attribuable aux positions des corps qui le composent, les unes par rapport aux autres.

On s'intéressera dans cette section à l'énergie potentielle gravitationnelle, c'est-à-dire l'énergie associée à la force gravitationnelle qui agit entre les corps qui composent un système.

Supposons qu'une force est appliquée vers le haut sur une caisse de façon à soulever celle-ci à vitesse constante. Pour que le mouvement vertical se déroule à vitesse constante, il faut que la grandeur de la force appliquée vers le haut soit égale au poids de la caisse. Cette force effectuera sur la caisse un travail positif.

Le travail d'une force, p. 159

Puisqu'un travail a été effectué sur la caisse, de l'énergie a été transférée à la caisse. Or, comme la vitesse de la caisse n'a pas varié, cette énergie n'a pas pu prendre la forme d'énergie cinétique. Où est passée cette énergie ? Elle a été emmagasinée sous forme d'énergie potentielle gravitationnelle par le système formé de la caisse et de la Terre.

L'**énergie potentielle gravitationnelle (E_{pg})** est une énergie associée à la force gravitationnelle. Quand on fait un travail pour lutter contre la force gravitationnelle qui agit entre les corps qui composent un système, l'énergie que l'on transfère au système est emmagasinée sous forme d'énergie potentielle gravitationnelle.

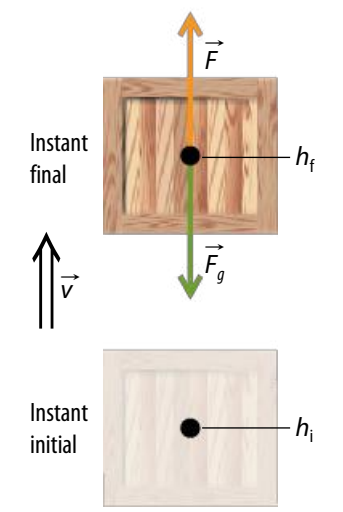


FIGURE 8.1 Pour soulever un corps à vitesse constante, on doit appliquer une force dont la grandeur est $F = F_g = mg$. Ainsi, le travail accompli lorsqu'on soulève ce corps à vitesse constante du niveau h_i au niveau h_f est $W = F_{eff}\Delta s = F(h_f - h_i) = mgh_f - mgh_i$.

Près de la surface de la Terre, pour soulever ou abaisser un corps à vitesse constante, il faut lutter contre le poids de ce corps. La variation de l'énergie potentielle gravitationnelle du système formé de la Terre et du corps mobile correspond au travail accompli pour lutter contre le poids de ce corps.

Le travail à effectuer pour faire passer de h_i à h_f la hauteur d'un corps de masse m à vitesse constante est $W = F_{eff}\Delta s = F(h_f - h_i) = F_g(h_f - h_i) = mgh_f - mgh_i$ (*voir la figure 8.1*). Puisqu'on a établi que ce travail correspond à la variation de l'énergie potentielle gravitationnelle ($\Delta E_{pg} = E_{pgf} - E_{pgi}$), alors, par comparaison, on peut déduire l'expression de l'énergie potentielle gravitationnelle :

$$\begin{array}{ccccc} W & = & mgh_f & - & mgh_i \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ \Delta E_{pg} & = & E_{pgf} & - & E_{pgi} \end{array}$$

$$E_{pg} = mgh$$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Ainsi, près de la surface terrestre, la formule permettant d'évaluer l'énergie potentielle gravitationnelle du système formé de la Terre et d'un corps mobile est la suivante :

L'énergie potentielle gravitationnelle

$$E_{pg} = mgh$$

où E_{pg} = énergie potentielle gravitationnelle du système, exprimée en joules (J)

m = masse du corps mobile, exprimée en kilogrammes (kg)

g = accélération gravitationnelle, exprimée en mètres par seconde au carré (m/s^2)

h = hauteur du corps mobile, mesurée par rapport à un niveau de référence, exprimée en mètres (m)

Note : g vaut 9,80 m/s^2 près de la surface de la Terre.

Dans l'équation de l'énergie potentielle gravitationnelle, la hauteur h se mesure par rapport à un niveau de référence que l'on choisit arbitrairement. À ce niveau de référence, $h = 0$ et $E_{pg} = mgh = mg \times 0 = 0$. Souvent, on utilisera le niveau du sol comme niveau de référence, mais un choix différent est parfois avantageux (*voir la figure 8.2*).

Un corps isolé ne peut pas posséder d'énergie potentielle gravitationnelle, puisque celle-ci doit toujours être partagée entre les composants d'un système. Dans les situations qui impliquent un corps dont la hauteur par rapport à la surface de la Terre change, le système à étudier est formé du corps mobile et de la Terre.

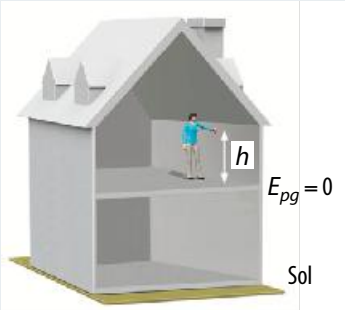


FIGURE 8.2 Une femme tient une balle à une hauteur h du plancher de l'étage d'une maison. Si elle lâche la balle, celle-ci ne descendra pas plus bas que le plancher. Il est alors tout à fait adéquat de choisir le plancher comme niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle que la balle partage avec la Terre.

EXEMPLE

Un train de $3{,}83 \times 10^5$ kg descend une colline de 25,0 m de haut. Quelle est la quantité d'énergie potentielle gravitationnelle que perd le système formé du train et de la Terre ?

Données

On place le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au pied de la colline.

$h_i = 25{,}0\,\text{m}$

$h_f = 0\,\text{m}$

$m = 3{,}83 \times 10^5\,\text{kg}$

$\Delta E_{pg} = ?$

Solution

$$E_{pgi} = mgh_i$$
$$= (3{,}83 \times 10^5\,\text{kg}) \times 9{,}80\,\text{m/s}^2 \times 25{,}0\,\text{m}$$
$$= 9{,}38 \times 10^7\,\text{J}$$

$$E_{pgf} = mgh_f$$
$$= (3{,}83 \times 10^5\,\text{kg}) \times 9{,}80\,\text{m/s}^2 \times 0\,\text{m}$$
$$= 0\,\text{J}$$

$$\Delta E_{pg} = E_{pgf} - E_{pgi}$$
$$= 0\,\text{J} - 9{,}38 \times 10^7\,\text{J}$$
$$= -9{,}38 \times 10^7\,\text{J}$$

Le système perd $9{,}38 \times 10^7$ J d'énergie potentielle gravitationnelle.

Note : La réponse est indépendante de la longueur ou de la forme de la pente empruntée par le train. Seul le dénivelé est important.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

1. Vrai ou faux ? Justifiez votre réponse lorsque vous jugez qu'un énoncé est faux.

	VRAI	FAUX
a) L'énergie mécanique se mesure en joules.	☐	☐
b) L'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle sont deux formes d'énergie mécanique.	☐	☐
c) L'énergie potentielle gravitationnelle est une quantité vectorielle.	☐	☐
d) L'énergie cinétique est la seule forme d'énergie qui soit une quantité vectorielle.	☐	☐

Justification : _____

_____

_____

2. Dans chacune des situations décrites ci-dessous, dites si l'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle varient en cochant la ou les cases appropriées. Un même énoncé peut s'appliquer à la fois à l'énergie potentielle gravitationnelle et à l'énergie cinétique, ou à ni l'une ni l'autre.

	L'énergie cinétique varie.	L'énergie potentielle gravitationnelle varie.
a) Un avion ralentit tout en descendant pour l'atterrissage.	☐	☐
b) Un sprinter s'élance au départ d'une course.	☐	☐
c) Une voiture dont le régulateur de vitesse est activé roule sur une route plane le long de la mer.	☐	☐
d) Une grue soulève un conteneur à vitesse constante.	☐	☐

3. Dans chaque cas, en cochant la case appropriée, dites quel corps possède vraisemblablement le plus d'énergie cinétique, s'il y a lieu.

a) Une voiture qui avance à 100 km/h ☐

Un camion semi-remorque qui avance à 100 km/h ☐

Ils ont la même énergie cinétique. ☐

b) Une boule de quille qui roule à 20 m/s ☐

Une boule de quille qui roule à 10 m/s ☐

Elles ont la même énergie cinétique. ☐

c) Un train qui compte 10 wagons vides et qui avance à 100 km/h ☐

Un train qui compte 20 wagons vides et qui avance à 50 km/h ☐

Ils ont la même énergie cinétique. ☐

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

4. Un jeune lance son sac d'école de 5,00 kg vers le sol. S'il communique ainsi 60,0 J d'énergie cinétique au sac, à quelle vitesse le projette-t-il ?

5. Une fille lance un ballon de basketball dans le panier, tel qu'illustré ci-dessous.

Quand le ballon est au sommet de sa trajectoire, son énergie cinétique est-elle nulle ? Expliquez bien votre réponse.

6. Un jeune de 60,0 kg prend un ascenseur qui le fait passer du rez-de-chaussée au dernier étage d'un bâtiment, 20,0 m plus haut. Combien d'énergie potentielle gravitationnelle le système formé du jeune et de la Terre gagne-t-il ainsi ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

SECTION 2 LA CONSERVATION DE L'ÉNERGIE MÉCANIQUE

RAPPEL LA LOI DE LA CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

On a vu en 4e secondaire que la loi de la conservation de l'énergie stipule que l'énergie ne peut être ni créée ni détruite, mais seulement transformée d'une forme à une autre.

a

Quand la porte est fermée, la pièce constitue un système isolé. L'argent peut changer de main, mais la quantité totale d'argent dans la pièce reste constante.

b

Quand la porte est ouverte, la pièce constitue un système non isolé. La quantité totale d'argent dans la pièce peut varier.

FIGURE 8.3 La différence entre un système isolé et un système non isolé.

L'une des propriétés remarquables de l'énergie, c'est qu'elle est conservée. Elle peut passer d'un corps à un autre ou changer de forme, mais la quantité totale d'énergie qu'il y a dans l'Univers ne varie pas.

Dans cette section, on s'intéressera uniquement à l'énergie mécanique ($E_m = E_c + E_{pg}$). En effet, dans les situations étudiées dans cet ouvrage, l'énergie nucléaire, l'énergie chimique, l'énergie électrique et bien d'autres formes d'énergie n'interviendront pas. Dans ce contexte, dire que l'énergie est conservée revient à dire que l'énergie mécanique est conservée.

2.1 Les systèmes isolés et les systèmes non isolés

En physique, quand on s'intéresse à la conservation de l'énergie, on distingue deux types de systèmes : les systèmes isolés et les systèmes non isolés.

Un système isolé est un système qui n'échange pas d'énergie avec l'extérieur. Un système non isolé, lui, échange de l'énergie avec l'extérieur. Pour mieux comprendre ces deux systèmes, la figure 8.3 propose une analogie entre l'énergie et l'argent.

Quand on s'intéresse à la conservation de l'énergie mécanique, dire qu'un système est isolé signifie que le système est sans frottement et qu'aucune force extérieure n'effectue de travail sur lui. Au contraire, un système non isolé subit l'action du frottement ou de forces extérieures qui font un travail sur lui et qui, ce faisant, lui ajoutent ou lui retirent de l'énergie. Une force est dite « extérieure » si elle est exercée sur le système par un corps qui ne fait pas partie du système.

De plus, même si le frottement pourrait souvent être considéré comme une force interne, le travail fait par le frottement a pour effet de transformer l'énergie mécanique du système en énergie thermique qui se dissipe dans l'environnement (*voir la section 2.3*). C'est pourquoi on dit qu'un système isolé doit être sans frottement. La figure 8.4, à la page suivante, montre un système non isolé.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

FIGURE 8.4 Pour étudier la situation de ce skieur, on peut considérer un système constitué de la Terre et du skieur (avec son équipement). Le système doit inclure la Terre si l'on souhaite que l'énergie potentielle gravitationnelle y soit définie. De la sorte, la force gravitationnelle n'est pas une force extérieure, puisqu'elle agit entre deux corps qui font partie du système. Toutefois, la force exercée par la remontée mécanique sur le skieur sera alors une force extérieure, de même que la force de frottement entre le sol et le skieur. Le travail fait par chacune de ces deux dernières forces fait varier l'énergie totale du système.

L'énergie potentielle gravitationnelle, p. 174

ZOOM UN VRAI SYSTÈME ISOLÉ ?

Dans la réalité, les systèmes parfaitement isolés (à part, peut-être, l'Univers pris en entier) n'existent pas. Tous les systèmes échangent de l'énergie avec leur environnement. Toutefois, certains le font très lentement. Par conséquent, lorsqu'on veut les étudier durant un intervalle de temps assez court, on peut négliger les échanges d'énergie et les traiter comme s'ils étaient isolés.

Par exemple, le système formé de la Terre (avec la Lune) et du Soleil semble isolé (*voir la figure 8.5*). On a l'impression que la Terre tournera éternellement autour du Soleil, sans perdre d'énergie mécanique. Si on étudie ce mouvement sur quelques années (ou quelques milliers d'années, en fait !), aucun changement ne sera décelable. Pourtant, le mouvement de la Terre ralentit peu à peu et son orbite se rapproche du Soleil. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'espace n'est pas complètement vide. Il s'y trouve, entre autres, quelques petites particules de poussière et des ions en provenance du Soleil. En entrant constamment en collision avec ces particules lors de son mouvement, la Terre ralentit très faiblement.

FIGURE 8.5 Le système formé de la Terre (avec la Lune) et du Soleil.

EXERCICES

SECTION 2.1

1. Dans chacun des cas suivants, dites si l'on étudie un système isolé ou non en cochant la case appropriée. Dans chaque cas, justifiez votre réponse.

	Système isolé	Système non isolé
a) Assis sur la branche d'un arbre, un écureuil échappe la noix qu'il tenait dans ses pattes. La résistance de l'air est négligeable. On étudie le système formé de l'écureuil et de la noix qui tombe.	☐	☐
b) Un athlète lance un javelot le plus loin possible. La résistance de l'air est négligeable. On étudie le système formé du javelot en vol et de la Terre.	☐	☐

Justification : _____

_____

Justification : _____

_____

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

	Système isolé	Système non isolé
c) Un homme passe la salière à sa femme en lui donnant un petit élan pour la faire glisser sur la table. On étudie le système formé de la salière, après qu'elle ait été lâchée par l'homme, et de la Terre.	☐	☐

Justification : _____

_____

d) Sur une piste plane, un cycliste qui avance à vive allure cesse de pédaler pendant quelques secondes. Le frottement et la résistance de l'air sont négligeables. On étudie le système formé du cycliste et de son vélo en roue libre.	☐	☐

Justification : _____

_____

2.2 La conservation de l'énergie mécanique dans un système isolé

Dans les systèmes isolés, l'énergie mécanique est conservée. Cela est loin d'être une évidence. A priori, il n'y a pas de raisons pour que la quantité totale d'énergie reste toujours la même. Le fait que l'énergie totale soit une quantité constante demeure l'un des aspects les plus fascinants de la nature.

La **loi de la conservation de l'énergie** stipule que l'énergie peut être transformée (changer de forme) ou être transférée (passer d'un corps à un autre), mais qu'elle ne peut ni être créée, ni être détruite. L'énergie totale est donc une quantité constante.

Comme annoncé à la section 1, on s'intéressera ici uniquement à l'énergie mécanique ($E_m = E_c + E_{pg}$). Dans la mesure où toutes les autres formes d'énergie n'interviennent pas, l'énergie mécanique sera conservée dans les systèmes isolés. Cela signifie que la valeur de l'énergie mécanique d'un système isolé à un instant donné sera la même à un autre instant donné.

La loi de la conservation de l'énergie mécanique dans un système isolé

$$E_{mi} = E_{mf}$$

où E_{mi} = énergie mécanique initiale, exprimée en joules (J)

E_{mf} = énergie mécanique finale, exprimée en joules (J)

ou

$$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf}$$

où E_{ci} = énergie cinétique initiale, exprimée en joules (J)

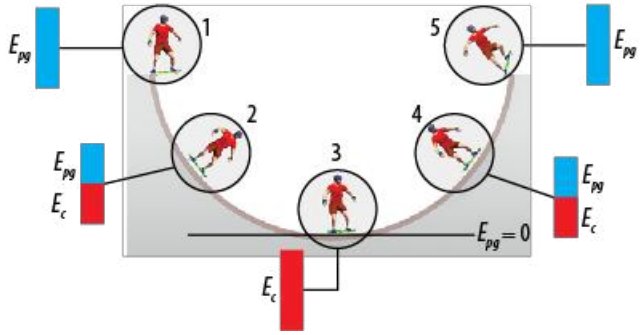
E_{pgi} = énergie potentielle gravitationnelle initiale, exprimée en joules (J)

E_{cf} = énergie cinétique finale, exprimée en joules (J)

E_{pgf} = énergie potentielle gravitationnelle finale, exprimée en joules (J)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

La figure 8.6 montre un planchiste qui roule dans une demi-lune. À la condition de supposer que la quantité d'énergie dissipée par le frottement des roues sur la rampe est négligeable, on considère qu'il s'agit là d'un système isolé. Dans une telle situation, l'énergie mécanique change de forme (l'énergie cinétique se transforme en énergie potentielle gravitationnelle ou vice-versa), mais sa quantité totale reste constante.



Le système que l'on étudie ici est constitué de la Terre et du planchiste.

On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au point le plus bas de la surface de la demi-lune.

- À l'instant 1, l'énergie potentielle gravitationnelle du système est maximale, car le planchiste est au point le plus haut de sa trajectoire. Par contre, l'énergie cinétique est nulle, car le planchiste est immobile.
- À l'instant 2, l'énergie potentielle gravitationnelle diminue, car le planchiste descend. Toutefois, le planchiste prend de la vitesse, et l'énergie cinétique augmente. L'énergie potentielle gravitationnelle se transforme en énergie cinétique.
- À l'instant 3, l'énergie potentielle gravitationnelle est nulle, car le planchiste est au niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle. En contrepartie, le planchiste va très vite ; l'énergie cinétique est maximale.
- À l'instant 4, le planchiste remonte, mais ralentit. Le système gagne de l'énergie potentielle gravitationnelle, mais perd autant d'énergie cinétique.
- À l'instant 5, l'énergie potentielle gravitationnelle est de nouveau maximale, alors que l'énergie cinétique est redevenue nulle. (L'énergie cinétique est nulle parce qu'au moment où le planchiste change de direction, sa vitesse instantanée est nulle.)

FIGURE 8.6 Un planchiste dans une demi-lune.

L'encadré ci-dessous présente une méthode générale de résolution de problème à l'aide de la loi de la conservation de l'énergie.

Méthode générale de résolution de problème à l'aide de la loi de la conservation de l'énergie

1. Identifier le système à l'étude et déterminer s'il est isolé ou non.
2. Identifier le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle.
3. Identifier l'instant initial et l'instant final.
4. Identifier les variables dont on connaît la valeur ainsi que celle que l'on cherche.
5. Calculer la valeur des énergies cinétique et potentielle gravitationnelle à l'instant initial et à l'instant final. (S'il s'agit d'un système non isolé, calculer aussi la valeur du travail fait par les forces extérieures [*voir la section 2.3*].) En général, l'une des valeurs reste inconnue : il est souvent utile d'écrire son expression algébrique.
6. Selon le cas, utiliser l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système isolé ou dans un système non isolé (*voir la section 2.3*) pour déterminer la valeur de la variable cherchée.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE

Sur un tremplin de 3,00 m de hauteur (par rapport au niveau de l'eau), une plongeuse de 50,0 kg se propulse vers le haut à 6,00 m/s. On suppose que la résistance de l'air est négligeable.

a) Quelle hauteur maximale la plongeuse atteindra-t-elle, par rapport à la surface de l'eau ?

Données

1. Le système à considérer ici est constitué de la plongeuse et de la Terre. C'est un système isolé.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au niveau de l'eau.
3. L'instant initial est celui où la plongeuse quitte le tremplin. L'instant final est celui où elle est au sommet de sa trajectoire.
4. Valeurs :

$m = 50{,}0\,\text{kg}$

$v_i = 6{,}00\,\text{m/s}$

$v_f = 0\,\text{m/s}$

$h_i = 3{,}00\,\text{m}$

$h_f = ?$

Solution

5. Valeurs d'énergies :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2}\times 50{,}0\,\text{kg}\times(6{,}00\,\text{m/s})^2 = 900\,\text{J}$$

$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2}\times 50{,}0\,\text{kg}\times(0\,\text{m/s})^2 = 0\,\text{J}$$

$$E_{pgi} = mgh_i = 50{,}0\,\text{kg}\times 9{,}80\,\text{m/s}^2\times 3{,}00\,\text{m} = 1{,}47\times 10^3\,\text{J}$$

$$E_{pgf} = ?$$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système isolé :

$$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf} \rightarrow E_{pgf} = E_{ci} + E_{pgi} - E_{cf}$$
$$= 900\,\text{J} + 1{,}47\times 10^3\,\text{J} - 0\,\text{J}$$
$$= 2{,}37\times 10^3\,\text{J}$$

$$E_{pgf} = mgh_f \rightarrow h_f = \frac{E_{pgf}}{mg} = \frac{2{,}37\times 10^3\,\text{J}}{50{,}0\,\text{kg}\times 9{,}80\,\text{m/s}^2} = 4{,}84\,\text{m}$$

La hauteur maximale atteinte par la plongeuse est de 4,84 m au-dessus de la surface de l'eau.

b) À quelle vitesse la plongeuse entrera-t-elle dans l'eau ?

Données

1. Le système à considérer ici est constitué de la plongeuse et de la Terre. C'est un système isolé.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au niveau de l'eau.
3. L'instant initial est celui où la plongeuse quitte le tremplin. L'instant final est celui où elle arrive au niveau de l'eau.
4. Valeurs :

$m = 50{,}0\,\text{kg}$

$v_i = 6{,}00\,\text{m/s}$

$h_i = 3{,}00\,\text{m}$

$h_f = 0\,\text{m}$

$v_f = ?$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE (*suite*)

Solution

5. Valeurs d'énergies :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 50{,}0\,\text{kg} \times (6{,}00\,\text{m/s})^2 = 900\,\text{J}$$

$$E_{cf} = ?$$

$$E_{pgi} = mgh_i = 50{,}0\,\text{kg} \times 9{,}80\,\text{m/s}^2 \times 3{,}00\,\text{m} = 1{,}47 \times 10^3\,\text{J}$$

$$E_{pgf} = mgh_f = 50{,}0\,\text{kg} \times 9{,}80\,\text{m/s}^2 \times 0\,\text{m} = 0\,\text{J}$$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système isolé :

$$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf} \rightarrow E_{cf} = E_{ci} + E_{pgi} - E_{pgf} = 900\,\text{J} + 1{,}47 \times 10^3\,\text{J} - 0\,\text{J} = 2{,}37 \times 10^3\,\text{J}$$

$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2 \rightarrow v_f = \sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times (2{,}37 \times 10^3\,\text{J})}{50{,}0\,\text{kg}}} = 9{,}74\,\text{m/s}$$

La plongeuse entrera dans l'eau à 9,74 m/s.

On aurait également pu résoudre le problème présenté dans l'exemple précédent en utilisant les notions liées au mouvement des projectiles et obtenir les mêmes résultats. Il en va de même d'un grand nombre de problèmes, qui peuvent être étudiés à la fois sous l'angle de la cinématique et sous celui de la transformation de l'énergie.

EXERCICES

SECTION 2.2

1. On lance verticalement vers le haut une balle de baseball de 145 g à une vitesse initiale de 9,00 m/s. La résistance de l'air est négligeable.

a) Lisez le texte troué ci-dessous et encerclez dans chaque cas le mot qui complète la phrase de façon appropriée.

I) Quand elle quitte la main du lanceur, la balle a une énergie cinétique **[maximale / minimale]**.

II) Lorsque la balle monte dans les airs, le système qu'elle forme avec la Terre **[gagne / perd]** de l'énergie potentielle gravitationnelle. Toutefois, la balle ralentit, ce qui lui fait **[gagner / perdre]** de l'énergie cinétique.

III) À un certain moment, le système a épuisé son énergie **[cinétique / potentielle gravitationnelle]**. Son énergie **[cinétique / potentielle gravitationnelle]** est alors maximale : la balle est au sommet de sa trajectoire. La balle s'arrête momentanément avant de retomber.

IV) Quand la balle retombe, l'énergie **[cinétique / potentielle gravitationnelle]** se transforme en énergie **[cinétique / potentielle gravitationnelle]**. La balle gagne de la vitesse jusqu'à ce qu'elle soit rattrapée par la personne qui l'a lancée.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

b) Quelle est la vitesse de la balle quand elle est à 3,00 m au-dessus du sol, si elle est à 1,70 m au-dessus du sol quand elle quitte la main du lanceur ?

c) Quelle est la hauteur maximale atteinte par la balle (par rapport au sol) étant donné qu'elle est à 1,70 m au-dessus du sol quand elle quitte la main du lanceur ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2. Un manchot de 25,0 kg glisse sur une pente glacée de 2,00 m de hauteur. Au sommet de la pente, sa vitesse est de 5,00 m/s. Si le frottement est négligeable, quelle sera la vitesse du manchot au pied de la pente ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

FIGURE 8.7 Si un père pousse son enfant qui se balance, la poussée fait un travail positif sur lui. L'enfant gagne de l'énergie à chaque poussée : il peut atteindre une hauteur plus élevée au sommet de sa trajectoire, et aller plus vite quand il est au point le plus bas de sa trajectoire.

2.3 L'énergie dans les systèmes non isolés

Les forces extérieures

Un système non isolé qui subit un travail fait par des forces extérieures va gagner de l'énergie mécanique si ce travail est positif, et en perdre s'il est négatif (*voir la figure 8.7*). L'énergie mécanique du système va varier d'une quantité égale au travail fait par les forces extérieures sur ce système.

La loi de la conservation de l'énergie dans un système non isolé

$$E_{mi} + W_{ext} = E_{mf}$$

où E_{mi} = énergie mécanique initiale, exprimée en joules (J)

E_{mf} = énergie mécanique finale, exprimée en joules (J)

W_{ext} = travail fait sur le système par des forces extérieures, exprimé en joules (J)

ou

$$E_{ci} + E_{pgi} + W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf}$$

où E_{ci} = énergie cinétique initiale, exprimée en joules (J)

E_{pgi} = énergie potentielle gravitationnelle initiale, exprimée en joules (J)

E_{cf} = énergie cinétique finale, exprimée en joules (J)

E_{pgf} = énergie potentielle gravitationnelle finale, exprimée en joules (J)

W_{ext} = travail fait sur le système par des forces extérieures, exprimé en joules (J)

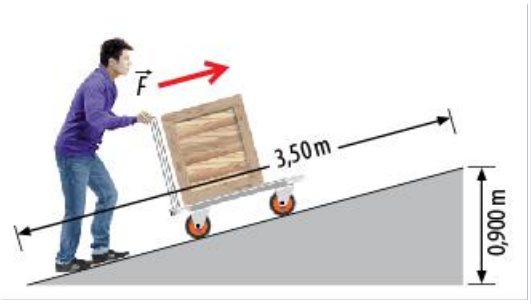
Pour résoudre les problèmes impliquant un système non isolé, la méthode de résolution de problème décrite à la page 181 est encore utile.

EXEMPLE

Un homme pousse un chariot à roulettes vers le haut d'une rampe de 3,50 m de long et de 0,900 m de haut. L'homme pousse le chariot en exerçant une force constante parallèle à la rampe (*voir l'illustration*).

La masse totale du chariot et de son chargement est de 40,0 kg. On néglige les pertes d'énergie associée au frottement des roues au sol.

Au bas de la rampe, l'homme avance à 2,00 m/s. Au sommet, il avance à 1,50 m/s. Quelle est la force exercée par l'homme sur le chariot ?



Données

1. Le système à considérer ici est constitué du chariot et de la Terre. C'est un système non isolé, puisque le chariot subit la force exercée par l'homme.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au bas de la rampe.
3. L'instant initial est celui où le chariot est au bas de la rampe. L'instant final est celui où le chariot est au sommet de la rampe.
4. Valeurs :

$m = 40,0\ \text{kg}$

$v_i = 2,00\ \text{m/s}$

$v_f = 1,50\ \text{m/s}$

$h_i = 0\ \text{m}$

$h_f = 0,900\ \text{m}$

$\Delta s = 3,50\ \text{m}$

$\theta = 0°$ (angle entre la force exercée par l'homme et le déplacement du chariot)

$F_{ext} = ?$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE (*suite*)

Solution

5. Valeurs d'énergies et de travail :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 40{,}0\,\text{kg} \times (2{,}00\,\text{m/s})^2 = 80{,}0\,\text{J}$$

$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2} \times 40{,}0\,\text{kg} \times (1{,}50\,\text{m/s})^2 = 45{,}0\,\text{J}$$

$$E_{pgi} = mgh_i = 40{,}0\,\text{kg} \times 9{,}80\,\text{m/s}^2 \times 0\,\text{m} = 0\,\text{J}$$

$$E_{pgf} = mgh_f = 40{,}0\,\text{kg} \times 9{,}80\,\text{m/s}^2 \times 0{,}900\,\text{m} = 353\,\text{J}$$

$$W_{ext} = ?$$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système non isolé :

$$E_{ci} + E_{pgi} + W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf} \rightarrow W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf} - E_{ci} - E_{pgi} = 45{,}0\,\text{J} + 353\,\text{J} - 80{,}0\,\text{J} - 0\,\text{J} = 318\,\text{J}$$

$$W_{ext} = F_{ext}\Delta s\cos\theta \rightarrow F_{ext} = \frac{W_{ext}}{\Delta s\cos\theta} = \frac{318\,\text{J}}{3{,}50\,\text{m} \times \cos 0°} = 90{,}8\,\text{N}$$

L'homme exerce une force de 90,8 N sur le chariot.

Quand plusieurs forces extérieures agissent sur un système, le terme W_{ext} de l'équation de la loi de la conservation de l'énergie correspond à la somme des travaux faits par chacune.

La dissipation de l'énergie mécanique sous forme d'énergie thermique

Supposons qu'une caisse glisse sur une surface horizontale rugueuse. Cette caisse possède de l'énergie cinétique, mais, puisqu'elle ne se déplace qu'horizontalement, l'énergie potentielle gravitationnelle qu'elle partage avec la Terre ne varie pas. Si cette caisse était isolée, elle conserverait indéfiniment une vitesse constante, car elle aurait une énergie cinétique constante. Or, dans la réalité, une caisse que l'on propulse horizontalement ralentit au fil de son mouvement. C'est qu'il y a du frottement entre elle et la surface sur laquelle elle glisse. Sur une distance Δs, ce frottement (de grandeur F_f) fait un travail $W_{ext} = -F_f\Delta s$. Le fait que W_{ext} soit négatif implique que l'énergie de la caisse diminue. La caisse perd de l'énergie cinétique, et sa vitesse diminue en conséquence. Éventuellement, le frottement aura retiré à la caisse toute son énergie cinétique, et elle s'arrêtera.

FIGURE 8.8 Le travail fait par le frottement retire de l'énergie mécanique aux surfaces en contact et génère de l'énergie thermique. C'est pour cela que, lorsque l'on se frotte les mains l'une contre l'autre, elles se réchauffent.

Où est passée l'énergie qu'a perdue la caisse ? Elle a été dissipée graduellement dans l'environnement de la caisse (et de la surface) sous forme d'énergie thermique (*voir la figure 8.8*).

Quand le frottement ou la résistance de l'air effectuent un travail sur l'un des corps d'un système, l'énergie mécanique que ces forces lui retirent est dissipée sous forme d'énergie thermique.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE

Sur une section plane d'une piste cyclable, un patineur à roulettes de 40,0 kg pose le frein de son patin sur l'asphalte pour s'arrêter.

a) S'il avance initialement à 6,00 m/s et que la force de frottement qui agit sur lui est de 100 N, quelle distance le patineur franchira-t-il avant de s'arrêter complètement ?

Données

1. Le système à considérer ici est constitué du patineur et de la Terre. C'est un système non isolé, puisqu'il y a du frottement.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au sol.
3. L'instant initial est celui où le patineur va à 6,00 m/s, au début de son freinage. L'instant final est celui où il est arrêté.
4. Valeurs :

$m = 40{,}0\,\text{kg}$ $\quad F_{ext} = 100\,\text{N}$ $\quad \theta = 180°$ (angle entre la force de frottement qui agit sur le patineur et le déplacement du patineur)

$v_i = 6{,}00\,\text{m/s}$ $\quad h_i = h_f = 0\,\text{m}$

$v_f = 0\,\text{m/s}$ $\quad \Delta s = ?$

Solution

5. Valeurs d'énergies et de travail :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2}\times 40{,}0\,\text{kg}\times(6{,}00\,\text{m/s})^2 = 7{,}20\times 10^2\,\text{J}$$

$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2}\times 40{,}0\,\text{kg}\times(0\,\text{m/s})^2 = 0\,\text{J}$$

$$E_{pgi} = mgh_i = 40{,}0\,\text{kg}\times 9{,}80\,\text{m/s}^2\times 0\,\text{m} = 0\,\text{J}$$

$$E_{pgf} = mgh_f = 40{,}0\,\text{kg}\times 9{,}80\,\text{m/s}^2\times 0\,\text{m} = 0\,\text{J}$$

$$W_{ext} = ?$$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système non isolé :

$$E_{ci} + E_{pgi} + W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf} \rightarrow W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf} - E_{ci} - E_{pgi}$$
$$= 0\,\text{J} + 0\,\text{J} - 7{,}20\times 10^2\,\text{J} - 0\,\text{J}$$
$$= -7{,}20\times 10^2\,\text{J}$$

$$W_{ext} = F_{ext}\Delta s\cos\theta \rightarrow \Delta s = \frac{W_{ext}}{F_{ext}\cos\theta} = \frac{-7{,}20\times 10^2\,\text{J}}{100\,\text{N}\cos 180°} = 7{,}2\,\text{m}$$

Le patineur franchit 7,2 m avant de s'arrêter.

b) Qu'arrive-t-il à l'énergie cinétique perdue par le patineur ?

Elle est transformée en énergie thermique, réchauffant d'abord l'asphalte et le frein du patineur, puis étant transmise également à l'air qui les entoure.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

1. Une amatrice de sensations fortes de 60,0 kg saute d'un avion à 4000 m d'altitude. Elle passe près d'une minute en chute libre, puis ouvre son parachute, alors que sa vitesse est de 50,0 m/s et qu'elle est à 1,00 km du sol. La masse du parachute est de 10,0 kg. Quand la parachutiste atteint le niveau du sol, sa vitesse n'est plus que de 5,00 m/s.

Quel travail la résistance de l'air fait-elle sur la parachutiste et son parachute ?

2. Un enfant, initialement immobile, glisse en traîneau vers le bas d'une colline de 8,00 m de haut. La masse totale de l'enfant et du traîneau est de 35,0 kg.

Durant la descente, le frottement entre le traîneau et le sol enneigé est négligeable. Au bas de la colline, le sol redevient plat et la neige devient plus râpeuse (*voir l'illustration*). À cet endroit, il y a une force de frottement de 100 N qui agit sur le traîneau.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

a) En vous basant sur l'énoncé de l'exercice (page précédente) complétez le texte suivant.

Le système à considérer ici est constitué de _____.

En haut de la pente, la vitesse de l'enfant est nulle. L'énergie cinétique du système est donc _____, mais son énergie potentielle est maximale. Quand l'enfant descend, l'énergie potentielle gravitationnelle se transforme en énergie _____. En arrivant au pied de la pente, l'enfant a une grande vitesse, mais il ralentit sous l'effet de la force de frottement. À cause du travail fait par la force de frottement, l'énergie cinétique du système se transforme en énergie _____.

b) Sur quelle distance l'enfant glissera-t-il, à partir du bas de la colline, avant de s'arrêter ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

CHAPITRE 8 SYNTHÈSE

L'ÉNERGIE MÉCANIQUE

L'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle

- L'**énergie mécanique (E_m)** est l'énergie qui est associée au mouvement et à la position des corps.
  - L'énergie mécanique, comme toutes les autres formes d'énergie, est une quantité scalaire et se mesure en joules (J).
  - L'énergie mécanique peut se présenter entre autres sous forme d'énergie cinétique ou d'énergie potentielle gravitationnelle. Dans la mesure où on ne s'intéresse qu'à l'énergie cinétique et à l'énergie potentielle gravitationnelle, l'énergie mécanique totale d'un système est donnée par l'équation suivante :

$$E_m = E_c + E_{pg}$$

L'énergie cinétique

- L'**énergie cinétique (E_c)** est l'énergie que possèdent les corps en mouvement en raison de leur vitesse et de leur masse :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

L'énergie potentielle gravitationnelle

- Quand on fait un travail pour lutter contre la force gravitationnelle agissant entre les corps qui composent un système, l'énergie que l'on transfère au système est emmagasinée sous forme d'**énergie potentielle gravitationnelle (E_{pg})** :

$$E_{pg} = mgh$$

  - Dans l'équation de l'énergie potentielle gravitationnelle, la hauteur h se mesure par rapport à un niveau de référence que l'on choisit arbitrairement. À ce niveau de référence, $h = 0$ et $E_{pg} = 0$.

La conservation de l'énergie mécanique

- Un système isolé est un système qui n'échange pas d'énergie avec l'extérieur. Aucune force extérieure n'effectue de travail sur lui.
- Un système non isolé échange de l'énergie avec l'extérieur. Des forces extérieures font un travail sur lui et lui ajoutent ou lui retirent de l'énergie.
- La **loi de la conservation de l'énergie** stipule que l'énergie peut être transformée (changer de forme) ou être transférée (passer d'un corps à un autre), mais qu'elle ne peut ni être créée, ni être détruite. L'énergie totale est donc une quantité constante.
- L'énergie mécanique sera conservée dans les systèmes isolés. Cela signifie que la valeur de l'énergie mécanique d'un système isolé à un instant donné sera la même à un autre instant donné :

$$E_{mi} = E_{mf}$$

ou

$$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf}$$

L'énergie dans les systèmes non isolés

- Un système non isolé qui subit un travail fait par des forces extérieures va gagner de l'énergie mécanique si ce travail est positif, et en perdre s'il est négatif. L'énergie mécanique du système va varier d'une quantité égale au travail fait par les forces extérieures sur ce système :

$$E_{mi} + W_{ext} = E_{mf}$$

ou

$$E_{ci} + E_{pgi} + W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf}$$

- Quand le frottement ou la résistance de l'air effectuent un travail sur l'un des corps d'un système, l'énergie mécanique est dissipée sous forme d'énergie thermique.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXERCICES

1 Un ascenseur vide descend un édifice. Entre le 16e et le 5e étage, sa vitesse est constante. Le système formé de la cabine de l'ascenseur et de la Terre n'est pas un système isolé.

a) Vrai ou faux ? Justifiez votre réponse lorsque vous jugez qu'un énoncé est faux.

	VRAI	FAUX
I) Le système perd de l'énergie potentielle gravitationnelle.	☐	☐
II) Le système transforme son énergie potentielle gravitationnelle en énergie cinétique.	☐	☐
III) Le système perd de l'énergie mécanique.	☐	☐

Justification : _____

b) Quelle est la force extérieure qui agit sur ce système ?

_____

c) Est-ce que cette force donne ou retire de l'énergie au système ? Justifiez votre réponse.

_____

2 Une lugeuse a, avec sa luge, une masse totale de 68,0 kg.

a) Initialement, la lugeuse est immobile et commence à descendre une piste de 50,0 m de dénivelé. Le frottement et la résistance de l'air font sur elle un travail total de $^{-}2{,}50 \times 10^{4}$ J. Quelle vitesse a-t-elle en arrivant au pied de la pente ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

b) La lugeuse descend une deuxième piste, de 45,0 m de dénivelé. Cette fois, elle se donne un élan au départ et part ainsi avec une vitesse initiale de 4,0 m/s. Si elle arrive au pied de la pente avec une vitesse de 15,5 m/s, quelle quantité d'énergie thermique a été dissipée par le frottement et la résistance de l'air lors de son mouvement ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

3. DÉFI Alors que vous faites un devoir de physique avec un ami, celui-ci attire votre attention sur le problème suivant : « Un énorme bloc de roc se détache d'une montagne et tombe au fond d'un ravin. S'il chute de 40,0 m, quelle vitesse a-t-il juste avant de toucher le sol ? (On néglige la résistance de l'air.) »

Votre ami dit qu'il est impossible de résoudre le problème, car la masse du bloc n'est pas donnée. À première vue, il vous semble que votre ami a raison, mais vous décidez tout de même de commencer à écrire la démarche de résolution du problème, pour voir jusqu'où vous pouvez aller. Êtes-vous capable de trouver la vitesse finale du bloc en utilisant la loi de la conservation de l'énergie ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

CHAPITRE 9

L'ÉNERGIE EMMAGASINÉE DANS LES RESSORTS

Si vous vous êtes déjà amusé avec une échasse sauteuse (*pogo stick*), vous avez expérimenté la situation suivante. Lorsque vous avez comprimé le ressort, vous avez pu l'utiliser ensuite, une fois le ressort détendu, pour produire du mouvement. Donc, quand on comprime un ressort, on transfère de l'énergie qu'il emmagasine sous forme d'énergie potentielle. On parle dans ce cas d'énergie potentielle élastique. Cette énergie peut ensuite être transformée, par exemple, en énergie cinétique et en énergie potentielle gravitationnelle.

Dans ce chapitre, il sera d'abord question, à la section 1, du comportement des ressorts quand on les étire ou qu'on les comprime. On étudiera la relation entre la force que l'on exerce sur un ressort et la façon dont sa longueur varie. À la section 2, on étudiera l'énergie potentielle élastique et on appliquera la loi de la conservation de l'énergie à des systèmes qui contiennent des ressorts.

SOMMAIRE

Section 1 Le comportement des ressorts hélicoïdaux ... 196
Section 2 L'énergie potentielle élastique 200

SECTION 1

LE COMPORTEMENT DES RESSORTS HÉLICOÏDAUX

FIGURE 9.1 Un ressort hélicoïdal est un ressort dont la forme est celle d'une hélice.

Un ressort est une pièce mécanique qui, grâce à ses propriétés élastiques, peut emmagasiner de l'énergie. Il existe différents types de ressorts, mais les plus courants sont les ressorts hélicoïdaux (*voir la figure 9.1*). Ce sont ces ressorts dont il sera question dans ce chapitre.

Quand on exerce une force sur l'extrémité d'un ressort pour l'étirer ou le comprimer, ce ressort exerce en retour une force pour résister à l'étirement ou à la compression que l'on tente de lui imposer. Cette force exercée par le ressort se nomme « force de rappel » ($\vec{F_r}$) (*voir la figure 9.2*).

La figure 9.2 illustre deux propriétés importantes de la force de rappel :

- La force de rappel agit toujours en sens inverse par rapport au déplacement de l'extrémité libre du ressort.
- La grandeur de la force de rappel est proportionnelle à l'étirement (ou à la compression) du ressort par rapport à sa longueur naturelle.

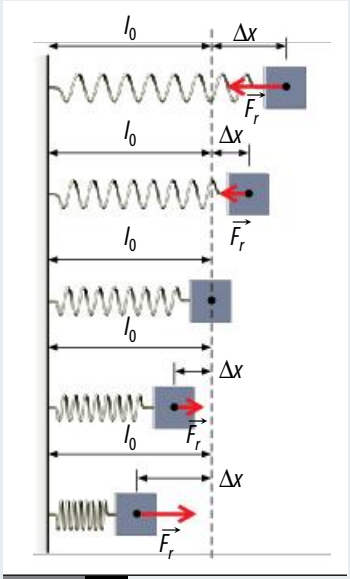


FIGURE 9.2 La force de rappel exercée par un ressort varie selon son étirement ou sa compression par rapport à sa longueur naturelle (l_0). La longueur naturelle d'un ressort est la longueur qu'il a quand aucune force n'est appliquée sur lui, et qu'il n'est alors ni étiré ni comprimé.

Concrètement, le fait que la grandeur de la force de rappel soit proportionnelle à l'étirement ou à la compression du ressort implique la relation suivante. Si on prend un ressort qui n'est ni étiré ni comprimé et qu'on tente d'en faire varier un peu la longueur, il faut exercer une certaine force pour y arriver. Mais, si on prend un ressort qui est déjà étiré (ou comprimé) et qu'on tente de l'étirer (ou de le comprimer) davantage, la force à exercer sera plus grande. La relation entre la force de rappel et la variation de longueur d'un ressort est connue sous le nom de loi de Hooke.

La **loi de Hooke** stipule que la grandeur de la force de rappel (F_r) qu'exerce un ressort est proportionnelle à la variation de longueur (Δx) imposée à ce ressort.

Mathématiquement, la loi de Hooke s'écrit comme suit :

La loi de Hooke

$$F_r = k\Delta x$$

où F_r = grandeur de la force de rappel exercée par le ressort, exprimée en newtons (N)

k = constante de rappel du ressort, exprimée en newtons par mètre (N/m)

Δx = variation de la longueur du ressort par rapport à sa longueur naturelle, exprimée en mètres (m)

Dans ce chapitre, tous les ressorts dont il est question sont considérés comme des ressorts idéaux, c'est-à-dire des ressorts dont la masse est négligeable et qui obéissent parfaitement à la loi de Hooke. Dans la réalité, la plupart des ressorts obéissent bien à la loi de Hooke, mais seulement sur une certaine plage de valeurs de longueur. Quand un ressort réel devient trop comprimé ou trop étiré, il perd son élasticité ou risque de se déformer de façon permanente.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Puisque la force de rappel (F_r) est proportionnelle à la variation de longueur du ressort (Δx), ces deux grandeurs doivent être liées par une constante de proportionnalité. Dans la loi de Hooke, cette constante se nomme « constante de rappel » et est désignée par le symbole k (*voir la figure 9.3*). La constante de rappel varie d'un ressort à l'autre. Plus le ressort est rigide et difficile à étirer (ou à comprimer), plus sa constante de rappel est grande.

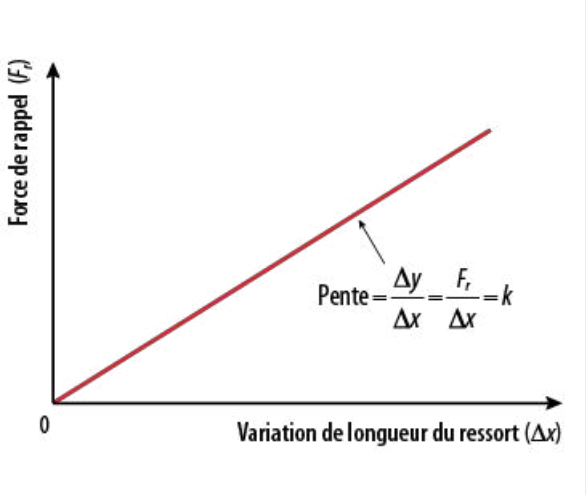
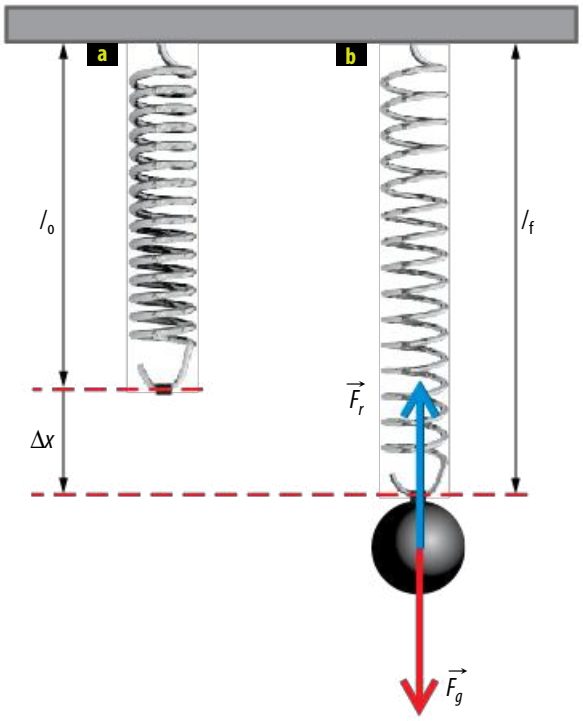


FIGURE 9.3 La grandeur de la force de rappel (F_r) qu'exerce un ressort est proportionnelle à la variation de longueur (Δx) imposée à ce ressort. La pente du graphique de F_r en fonction de Δx correspond à ce que l'on appelle la constante de rappel (k) du ressort.

EXEMPLE

Un ressort dont la constante de rappel est de 10,0 N/m est suspendu verticalement. Sa longueur naturelle est de 30,0 cm. On accroche une petite boule d'une masse de 75,0 g à l'extrémité du ressort. Le ressort oscille (entre étirement et compression) quelques secondes, puis se stabilise. Quelle est alors la longueur du ressort ?



Données

$l_0 = 30{,}0$ cm

$k = 10{,}0$ N/m

$m = 75{,}0$ g $= 0{,}0750$ kg

$l_f = ?$ (longueur finale du ressort)

Solution

Initialement, le ressort a une longueur l_0 de 30,0 cm.

Lorsque la boule est accrochée au ressort, il s'étire pour atteindre une longueur $l_f = l_0 + \Delta x$.

1. Calcul de la force de rappel exercée par le ressort :

   Quand le ressort cesse d'osciller, c'est que la boule est à l'équilibre. Le poids de la boule est alors égal et opposé à la force de rappel exercée sur la boule par le ressort.

   On a donc :

   $F_r = F_g = mg = 0{,}0750 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ N/kg} = 0{,}735 \text{ N}$

2. Calcul de l'étirement du ressort :

   $F_r = k\Delta x \rightarrow \Delta x = \frac{F_r}{k} = \frac{0{,}735 \text{ N}}{10{,}0 \text{ N/m}} = 0{,}0735 \text{ m} = 7{,}35 \text{ cm}$

3. Calcul de la longueur finale du ressort :

   $l_f = l_0 + \Delta x = 30{,}0 \text{ cm} + 7{,}35 \text{ cm} = 37{,}4 \text{ cm}$

La longueur finale du ressort est de 37,4 cm.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

À QUOI ÇA SERT ? LE DYNAMOMÈTRE

La loi de Hooke est à la base du principe de fonctionnement des dynamomètres à ressorts.

On a vu qu'un dynamomètre est un appareil qui sert à mesurer la grandeur d'une force (*voir la rubrique En plus..., à la page 99*). Un dynamomètre à ressort est constitué d'un ressort placé dans un boîtier marqué de graduations et dont l'une des extrémités est liée à un curseur (*voir la figure 9.4*). L'autre extrémité du ressort est liée à un crochet sur lequel on exerce la force que l'on souhaite mesurer. Cette force mène à l'étirement du ressort et au déplacement du curseur, qui indiquera la grandeur de la force si le dynamomètre a été bien étalonné.

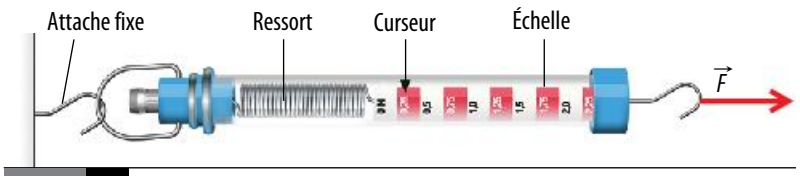


FIGURE 9.4 Un dynamomètre.

Certains pèse-personnes contiennent également des ressorts. Leur mécanisme est un peu plus complexe, mais basé lui aussi sur la loi de Hooke.

SECTION 1 EXERCICES

1. Un ressort dont la constante de rappel est de 150 N/m est comprimé de 5,00 cm. Quelle est la grandeur de la force de rappel qui est alors exercée par le ressort ?

2. Une force est exercée sur un ressort et étire celui-ci d'une certaine longueur par rapport à sa longueur naturelle.

a) Qu'arriverait-il si la force était deux fois plus grande ?

Cochez la case qui correspond à la bonne réponse, puis justifiez votre réponse.

A. Le ressort s'étirerait deux fois moins. ☐ B. Le ressort s'étirerait de la même façon. ☐

C. Le ressort s'étirerait deux fois plus. ☐

b) Qu'arriverait-il si la constante de rappel du ressort était deux fois plus grande ?

Cochez la case correspondant à la bonne réponse, puis justifiez votre réponse.

A. Le ressort s'étirerait deux fois moins. ☐ B. Le ressort s'étirerait de la même façon. ☐

C. Le ressort s'étirerait deux fois plus. ☐

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

c) Qu'arriverait-il si la longueur naturelle du ressort était deux fois plus grande ?

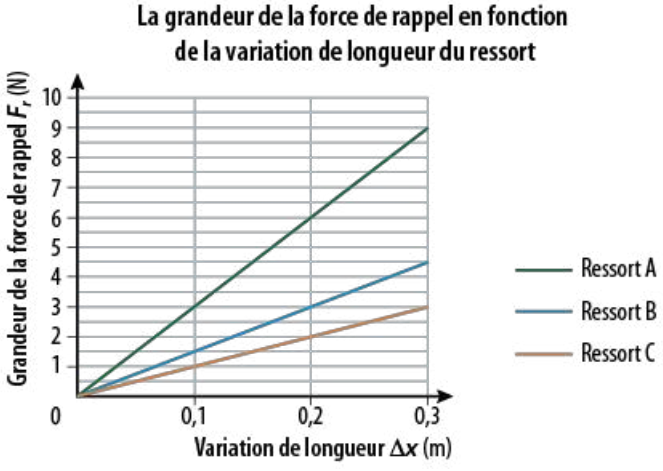
Cochez la case qui correspond à la bonne réponse, puis justifiez votre réponse.

A. Le ressort s'étirerait deux fois moins. ☐

B. Le ressort s'étirerait de la même façon. ☐

C. Le ressort s'étirerait deux fois plus. ☐

3. Le graphique ci-dessous illustre la grandeur de la force de rappel (F_r) exercée par trois ressorts en fonction de la variation de longueur de ces ressorts (Δx).



a) Quel ressort a la constante de rappel la plus grande ? Justifiez votre réponse.

b) Que vaut la constante de rappel du ressort que vous avez identifié à la question *a)* ?

SECTION 2 L'ÉNERGIE POTENTIELLE ÉLASTIQUE

L'énergie potentielle gravitationnelle, p. 174

Au chapitre 8, on a vu que l'énergie potentielle d'un système est attribuable aux positions des corps qui le composent. Un ressort est capable d'emmagasiner de l'énergie potentielle. Celle-ci va dépendre de la variation de la longueur du ressort, et donc de la position de l'extrémité libre du ressort. L'énergie qui est emmagasinée par un ressort se nomme « énergie potentielle élastique » (E_{pe}).

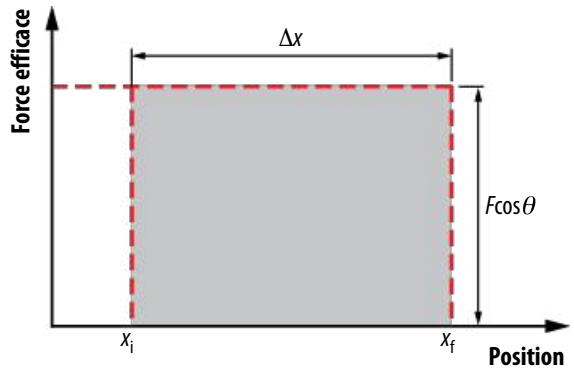
L'**énergie potentielle élastique (E_{pe})** est une énergie associée à la force de rappel d'un ressort.

L'énergie potentielle gravitationnelle, p. 174

On a également vu au chapitre 8 la notion suivante : quand on fait un travail pour lutter contre la force gravitationnelle qui agit entre les corps composant un système, l'énergie que l'on transfère au système est emmagasinée sous forme d'énergie potentielle gravitationnelle. De la même façon, l'énergie potentielle élastique est égale à l'énergie que l'on transfère à un système en luttant contre la force de rappel d'un ressort.

Ainsi, pour connaître la formule qui permet d'évaluer l'énergie potentielle élastique, il faut pouvoir calculer le travail fait pour lutter contre la force de rappel exercée par un ressort. Ici, on se bute toutefois à une difficulté : la formule que l'on a vue au chapitre 7 pour évaluer le travail ($W = F_{eff}\Delta s = F\Delta s\cos\theta$) n'est valide que lorsque la force est constante. Or, la force de rappel exercée par un ressort n'est pas constante : elle varie au fur et à mesure que le ressort s'étire ou se comprime. Heureusement, il existe une façon de calculer le travail lorsque la force est variable.

En effet, on peut considérer que le travail correspond à l'aire sous la courbe dans un graphique de la force efficace en fonction de la position. La figure 9.5 montre que, dans le cas où la force est constante, on retrouve la formule $W = F_{eff}\Delta s$.



Quand la force efficace ($F_{eff} = F\cos\theta$) est constante, la surface sous la courbe est un rectangle dont l'aire est égale à $F_{eff} \times \Delta x = F\cos\theta \times \Delta x$.

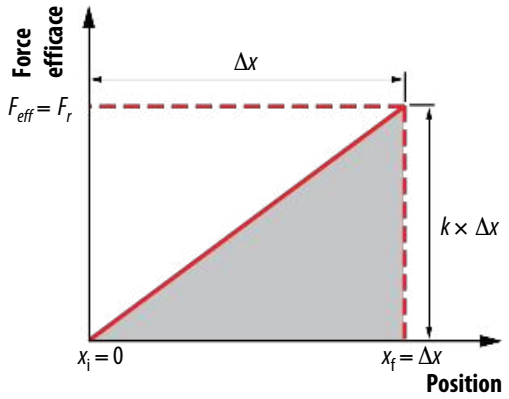
On peut désigner le déplacement par Δs (*voir le chapitre 7*) et écrire que l'aire de la surface sous la courbe est $F_{eff}\,\Delta s = F\,\Delta s\cos\theta$. Cette façon de faire correspond à la formule du travail (W) utilisée au chapitre 7.

FIGURE 9.5 Évaluer le travail quand la force est constante.

La figure 9.6 montre la situation suivante : quand la force est égale en grandeur à la force de rappel ($F_r = k\Delta x$) et que $x_i = 0$, alors le travail est donné par :

$$W = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.



On applique une force égale en grandeur à la force de rappel, mais en sens opposé. Comme la force que l'on exerce est orientée dans la direction du mouvement, elle est entièrement efficace. Ainsi, la grandeur de la force efficace est égale à celle de la force de rappel ($F_{eff} = F_r$).

Par convention, on mesure toujours la variation de longueur du ressort par rapport à sa longueur naturelle. Cela signifie que l'on aura toujours $x_i = 0$. La valeur de x_f correspondra donc toujours à Δx. On fait de même dans ce graphique. La surface sous la courbe est un triangle dont la base mesure Δx, et la hauteur, $F_{eff} = F_r = k\Delta x$. L'aire de la surface sous la courbe est :

$$\frac{1}{2} \times (k \times \Delta x) \times \Delta x = \frac{1}{2} k(\Delta x)^2.$$

FIGURE 9.6 Évaluer le travail quand la force est égale à la force de rappel.

Puisque l'énergie potentielle élastique correspond au travail fait pour lutter contre la force de rappel d'un ressort, la formule qui permet d'évaluer l'énergie potentielle élastique d'un système contenant un ressort est :

L'énergie potentielle élastique

$$E_{pe} = \frac{1}{2} k(\Delta x)^2$$

où E_{pe} = énergie potentielle élastique du système, exprimée en joules (J)

k = constante de rappel du ressort, exprimée en newtons par mètre (N/m)

Δx = variation de la longueur du ressort, par rapport à sa longueur naturelle, exprimée en mètres (m)

EXEMPLE

Un ressort dont la longueur naturelle est de 40,0 cm est comprimé par une masse de telle sorte que sa longueur n'est plus que de 27,0 cm. Si la constante de rappel du ressort est de 5,00 N/m, combien d'énergie potentielle élastique le système formé de la masse et du ressort possède-t-il ?

Données

$k = 5{,}00\ \text{N/m}$

$\Delta x = 40{,}0\ \text{cm} - 27{,}0\ \text{cm} = 13{,}0\ \text{cm} = 0{,}130\ \text{m}$

$E_{pe} = ?$

Solution

$$E_{pe} = \frac{1}{2} k(\Delta x)^2 = \frac{1}{2} \times 5{,}00\ \text{N/m} \times (0{,}130\ \text{m})^2 = 0{,}0423\ \text{J}$$

Le système a emmagasiné 0,0423 J d'énergie potentielle élastique.

L'énergie potentielle élastique est une forme d'énergie mécanique. On doit donc l'inclure dans l'équation de l'énergie mécanique que l'on a vue au chapitre 8 :

L'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle, p. 172

L'énergie mécanique

$$E_m = E_c + E_{pg} + E_{pe}$$

où E_m = énergie mécanique, exprimée en joules (J)

E_c = énergie cinétique, exprimée en joules (J)

E_{pg} = énergie potentielle gravitationnelle, exprimée en joules (J)

E_{pe} = énergie potentielle élastique, exprimée en joules (J)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

La conservation de l'énergie mécanique dans un système isolé, p. 180

L'énergie qui est emmagasinée dans un système sous forme d'énergie potentielle élastique peut être transformée ou transférée. En conséquence, on peut réécrire l'équation de la loi de la conservation de l'énergie mécanique dans un système isolé, vue au chapitre 8 :

La loi de la conservation de l'énergie mécanique dans un système isolé

$$E_{mi} = E_{mf}$$

ou

$$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef}$$

L'énergie dans les systèmes non isolés, p. 186

Et la loi de la conservation de l'énergie dans un système non isolé, vue au chapitre 8, devient :

La loi de la conservation de l'énergie dans un système non isolé

$$E_{mi} + W_{ext} = E_{mf}$$

où W_{ext} = travail fait sur le système par des forces extérieures, exprimé en joules (J)

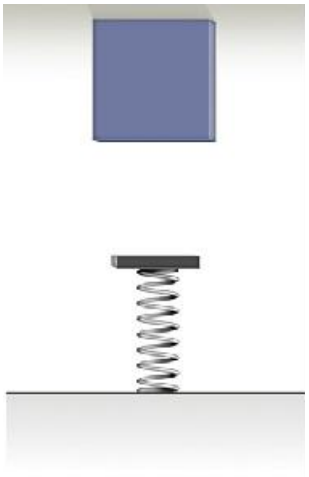
ou

$$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} + W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef}$$

Pour résoudre des problèmes impliquant l'énergie potentielle élastique en utilisant la loi de la conservation de l'énergie, la méthode de résolution de problème décrite à la page 181 est encore valide. Il suffit d'inclure l'énergie potentielle élastique dans le calcul de l'énergie mécanique.

EXEMPLE

Un bloc de 2,00 kg est tenu 30,0 cm au-dessus d'un ressort fixé verticalement au sol. La masse est lâchée et, en tombant, comprime le ressort de 5,0 cm. Quelle est la constante de rappel du ressort ? (On néglige la résistance de l'air.)



Données

1. Le système à considérer ici est constitué du bloc, du ressort et de la Terre. C'est un système isolé.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au niveau le plus bas atteint par le bloc, soit sur le ressort comprimé de 5,0 cm.
3. L'instant initial est celui où le bloc est tenu immobile au-dessus du ressort. L'instant final est celui où le bloc a terminé sa chute, sur le ressort comprimé.
4. Valeurs :

$m = 2{,}00\ \text{kg}$

$v_i = 0\ \text{m/s}$

$v_f = 0\ \text{m/s}$

$h_i = 35{,}0\ \text{cm} = 0{,}350\ \text{m}$

$h_f = 0\ \text{m}$

$\Delta x_i = 0\ \text{m}$

$\Delta x_f = 5{,}0\ \text{cm} = 0{,}050\ \text{m}$

$k = ?$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXEMPLE (*suite*)

Solution

5. Valeurs d'énergies :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 2{,}00\,\text{kg} \times (0\,\text{m/s})^2 = 0\,\text{J}$$

$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2} \times 2{,}00\,\text{kg} \times (0\,\text{m/s})^2 = 0\,\text{J}$$

$$E_{pgi} = mgh_i = 2{,}00\,\text{kg} \times 9{,}80\,\text{m/s}^2 \times 0{,}350\,\text{m} = 6{,}86\,\text{J}$$

$$E_{pgf} = mgh_f = 2{,}00\,\text{kg} \times 9{,}80\,\text{m/s}^2 \times 0\,\text{m} = 0\,\text{J}$$

$$E_{pei} = \frac{1}{2}k(\Delta x_i)^2 = \frac{1}{2} \times k \times (0\,\text{m})^2 = 0\,\text{J}$$

$$E_{pef} = ?$$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système isolé :

$$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef} \rightarrow E_{pef} = E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} - E_{cf} - E_{pgf}$$
$$= 0\,\text{J} + 6{,}86\,\text{J} + 0\,\text{J} - 0\,\text{J} - 0\,\text{J}$$
$$= 6{,}86\,\text{J}$$

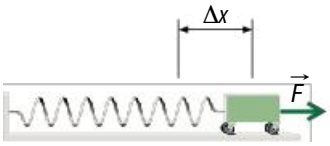
$$E_{pef} = \frac{1}{2}k(\Delta x_f)^2 \rightarrow k = \frac{2E_{pef}}{(\Delta x_f)^2} = \frac{2 \times 6{,}86\,\text{J}}{(0{,}050\,\text{m})^2} = 5{,}5 \times 10^3\,\text{N/m}$$

La constante de rappel du ressort est de $5{,}5 \times 10^3$ N/m.

EXERCICES

SECTION 2

1. Un petit chariot de 100 g est attaché à un ressort dont la constante de rappel est de 110 N/m. Le chariot est tiré à vitesse constante vers la droite, de telle sorte que le ressort s'allonge de 12,0 cm de plus que sa longueur naturelle. (Les pertes d'énergie mécanique associées au frottement sont négligeables.)



a) Quelle est l'énergie potentielle élastique emmagasinée dans le système formé du chariot et du ressort ?

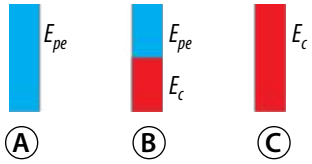
b) Quel est le travail effectué par la force $\vec{F}$ qui tire le chariot vers la droite ? Justifiez votre réponse.

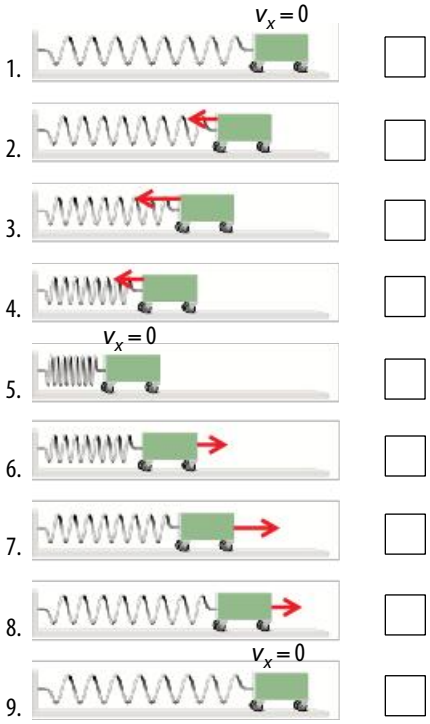
A. -0,792 J ☐
B. 0 J ☐
C. 0,792 J ☐
D. 1,58 J ☐
E. 13,2 J ☐

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

c) Une fois que le ressort est étiré de 12,0 cm, on le lâche. Il commence alors à osciller (entre étirement et compression). L'image ci-contre illustre son mouvement.

À côté de chaque illustration, inscrivez la lettre qui correspond à la répartition de l'énergie mécanique à cet instant, parmi les trois possibilités illustrées ci-dessous. Une même lettre peut être inscrite plus d'une fois.





d) On tire de nouveau sur le chariot de façon que le ressort soit étiré de 12,0 cm, puis on le lâche. Quelle sera sa vitesse quand le ressort sera comprimé de 2,0 cm par rapport à sa longueur naturelle ?

Indice : Le système à considérer ici est constitué du chariot, du ressort et de la Terre. C'est un système isolé.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2. On retrouve le chariot de la question 1, mais, cette fois, le frottement n'est plus négligeable. Une force de frottement de 0,190 N agit sur le chariot quand il roule sur la surface où il est posé. La masse du chariot et la constante de rappel du ressort n'ont pas changé.

a) On tire sur le chariot pour que le ressort s'étire de 12,0 cm, puis on le lâche. Le chariot commence alors à osciller.

Vrai ou faux ? Quand vous indiquez qu'un énoncé est faux, justifiez votre réponse.

	VRAI	FAUX
I) Pendant les oscillations du chariot, la grandeur de l'énergie mécanique du système formé du chariot et du ressort est constante.	☐	☐
II) La compression maximale du ressort est de 12,0 cm.	☐	☐

Justification : _____

b) On tire de nouveau sur le chariot de façon que le ressort soit étiré de 12,0 cm, puis on le lâche. Quelle sera sa vitesse quand le ressort sera comprimé de 2,0 cm (pour la première fois) ?

Indice : Trouvez le travail effectué par la force de frottement sur le chariot. Le système à considérer ici est constitué du chariot, du ressort et de la Terre. C'est un système non isolé, puisqu'il y a du frottement.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

CHAPITRE 9 SYNTHÈSE

L'ÉNERGIE EMMAGASINÉE DANS LES RESSORTS

Le comportement des ressorts hélicoïdaux

- La relation entre la force de rappel et la variation de longueur d'un ressort est connue sous le nom de **loi de Hooke**, qui s'écrit comme suit :

$$F_r = k\Delta x$$

où F_r = force de rappel du ressort, exprimée en newtons (N)

k = constante de rappel du ressort, exprimée en newtons par mètre (N/m)

Δx = variation de la longueur du ressort par rapport à sa longueur naturelle, exprimée en mètres (m)

L'énergie potentielle élastique

- L'**énergie potentielle élastique (E_{pe})** est une énergie associée à la force de rappel d'un ressort.
  - L'énergie potentielle élastique est une forme d'énergie mécanique.
  - L'énergie potentielle élastique est égale à l'énergie que l'on transfère à un système en luttant contre la force de rappel d'un ressort.

$$E_{pe} = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$$

où E_{pe} = énergie potentielle élastique du système, exprimée en joules (J)

k = constante de rappel du ressort, exprimée en newtons par mètre (N/m)

Δx = variation de la longueur du ressort, par rapport à sa longueur naturelle, exprimée en mètres (m)

- Quand on tient compte de l'énergie potentielle élastique, l'équation de l'énergie mécanique devient :

$$E_m = E_c + E_{pg} + E_{pe}$$

où E_m = énergie mécanique, exprimée en joules (J)

E_c = énergie cinétique, exprimée en joules (J)

E_{pg} = énergie potentielle gravitationnelle, exprimée en joules (J)

E_{pe} = énergie potentielle élastique, exprimée en joules (J)

- Quand on tient compte de l'énergie potentielle élastique, l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système isolé devient :

$$E_{mi} = E_{mf}$$

où E_{mi} = énergie mécanique initiale, exprimée en joules (J)

E_{mf} = énergie mécanique finale, exprimée en joules (J)

ou

$$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef}$$

où E_{ci} = énergie cinétique initiale, exprimée en joules (J)

E_{pgi} = énergie potentielle gravitationnelle initiale, exprimée en joules (J)

E_{pei} = énergie potentielle élastique initiale, exprimée en joules (J)

E_{cf} = énergie cinétique finale, exprimée en joules (J)

E_{pgf} = énergie potentielle gravitationnelle finale, exprimée en joules (J)

E_{pef} = énergie potentielle élastique finale, exprimée en joules (J)

- Quand on tient compte de l'énergie potentielle élastique, l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système non isolé devient :

$$E_{mi} + W_{ext} = E_{mf}$$

où W_{ext} = travail fait sur le système par des forces extérieures, exprimé en joules (J)

ou

$$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} + W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef}$$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

EXERCICES

Les exercices 1 à 3 se rapportent à la situation suivante :
Le ressort d'un fusil à fléchettes a une constante de rappel de 20,0 N/m. On utilise ce fusil pour tirer des fléchettes à ventouses qui ont chacune une masse de 12,0 g. Lors d'un tir, le ressort se comprime de 7,00 cm.

1 Quand le ressort est comprimé de 7,00 cm, quelle force doit être exercée sur lui pour le maintenir en place jusqu'à ce qu'on presse la détente pour le libérer ?

2 Quelle est la vitesse d'une fléchette lorsqu'elle quitte le canon du fusil, si celui-ci est tenu à l'horizontale ? (On néglige les forces de frottement en présence.)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

3 Dans chacun des cas suivants, cochez la case qui complète correctement la phrase et justifiez votre réponse.

a) Si la constante de rappel du ressort est plus grande que 20,0 N/m (et que la compression reste de 7,00 cm), la vitesse de la fléchette en sortant du canon est

A. plus petite. ☐ B. la même. ☐ C. plus grande. ☐

b) Si la masse de la fléchette est plus grande que 12,0 g, la vitesse de la fléchette en sortant du canon est

A. plus petite. ☐ B. la même. ☐ C. plus grande. ☐

c) Si le canon du fusil est tenu à la verticale vers le haut plutôt qu'à l'horizontale, la vitesse de la fléchette en sortant du canon est

A. plus petite. ☐ B. la même. ☐ C. plus grande. ☐

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MODULE 3

CONSOLIDATION

1 Complétez le texte suivant.

L'énergie mécanique peut être sous forme d'énergie _____, d'énergie potentielle gravitationnelle ou d'énergie potentielle _____. Elle se mesure en _____.

Le _____ est un transfert d'énergie mécanique qui s'opère par l'action d'une force. Il se mesure en _____.

La puissance mécanique correspond à la quantité de _____ effectué par unité de _____. Elle se mesure en _____.

2 Les freins des gros véhicules qui descendent des pentes abruptes sont très sollicités. Or, il peut arriver que des freins qui surchauffent se déforment et cessent de fonctionner (ou deviennent beaucoup moins efficaces).

Pour éviter les accidents, on trouve dans certaines pentes abruptes des lits d'arrêt sur l'accotement (*voir la photo ci-contre*). Plusieurs d'entre eux sont formés d'une rampe légèrement inclinée vers le haut et remplie de gravier dont le frottement ralentit le véhicule.

a) Supposons qu'un camion de $2{,}30 \times 10^4$ kg entre sur un lit d'arrêt qui exerce une force de frottement de $7{,}00 \times 10^4$ N. Avant de s'arrêter, le camion parcourt une distance de 120 m sur le lit d'arrêt incliné tout en s'élevant de 10,5 m. À quelle vitesse le camion est-il entré sur le lit d'arrêt ?

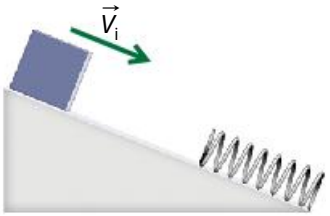
Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

b) Lorsque le camion avance sur le lit d'arrêt, l'énergie mécanique du système formé du camion et de la Terre diminue. Qu'arrive-t-il à l'énergie mécanique qui est perdue par le système ?

c) Le camion s'immobilise en 7,84 s. Quelle est la puissance du frottement sur le camion ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

3 Un bloc de 125 g est projeté vers le bas d'un plan incliné sans frottement à une vitesse initiale de 2,50 m/s. Sa chute est amortie par un ressort. Celui-ci se comprime de 5,00 cm avant que le bloc ne s'arrête. À la verticale, le bloc est alors 15,0 cm plus bas qu'au début de sa chute.

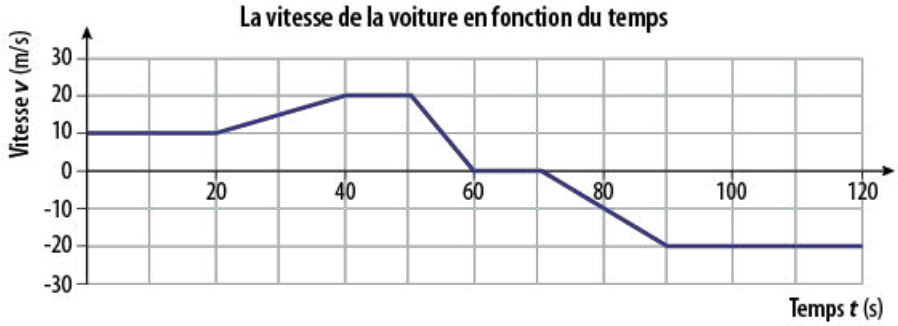


Quelle est la constante de rappel du ressort ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Chapitres 1 et 2

1. Le graphique suivant décrit la vitesse d'une voiture durant une période de deux minutes.



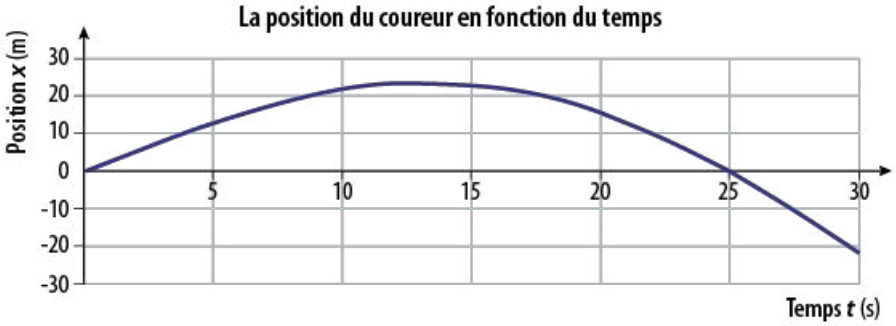
a) Quel est le déplacement de la voiture durant ces deux minutes ?

b) Quelle est la distance parcourue par la voiture ?

c) Durant quel intervalle de temps la norme de l'accélération est-elle la plus grande ? Expliquez pourquoi.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2. Un coureur arrive au bout de son trajet, revient vers son point de départ, et le dépasse. Son mouvement est décrit dans le graphique ci-dessous.



a) Calculez la vitesse moyenne du coureur entre 15 s et 25 s.

b) Quelle est sa vitesse instantanée à $t = 5$ s ?

c) À quel moment le coureur est-il immobile ? Expliquez pourquoi.

d) À quel moment le coureur est-il le plus rapide ? En valeur absolue, quelle est la vitesse maximale du coureur ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

3. Le conducteur d'un train qui roule à 90,0 km/h aperçoit subitement un tronc d'arbre couché sur la voie ferrée à 100 m devant lui. Il freine à un taux de 3,00 m/s^2.

a) Combien de temps le train mettra-t-il pour s'arrêter ?

b) Le train entrera-t-il en collision avec le tronc d'arbre ?

4. Sandrine s'apprête à se laisser glisser du haut de la glissoire du parc municipal. La glissoire est un plan incliné de 35,0°. Elle fait 5,00 m de hauteur et son extrémité est à 40 cm du sol. Si on néglige le frottement, quelle sera la vitesse de Sandrine à l'extrémité de la glissoire ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

5. Un enfant lance une boule de neige du haut d'un fort de 3,0 m de hauteur, avec une vitesse initiale de 12,0 m/s et un angle de 30° vers le haut.

a) Déterminez les composantes des vecteurs position et vitesse de la boule de neige après 1,00 s.

b) Quel est le temps de vol de la boule de neige ?

c) Quelle sera sa portée ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Chapitre 4

6. Sachant que l'accélération gravitationnelle terrestre est de 9,80 m/s^2 et que l'accélération gravitationnelle sur la Lune est de 1,60 m/s^2, comparez le poids d'un astronaute sur la Lune par rapport à son poids sur la Terre. Appuyez votre raisonnement du calcul approprié.

7. Lorsqu'une personne utilise un pèse-personne, que mesure-t-on *directement* ? Entourez toutes les réponses qui s'appliquent.

A. L'accélération gravitationnelle

B. La masse de la personne

C. Le poids de la personne

D. La force gravitationnelle qui s'exerce sur la personne

8. La force gravitationnelle est moins importante en très haute altitude qu'au niveau de la mer. Expliquez pourquoi en vous référant à l'équation de la force gravitationnelle.

9. L'unité de mesure principale du système métrique pour le poids est :

A. le kilogramme.

B. la livre.

C. le newton.

10. Un objet de 30 kg jeté du haut d'un immeuble prend 14 secondes pour arriver au sol. Combien de temps un objet de 60 kg prendra-t-il pour atteindre le sol ? On néglige la résistance de l'air dans les deux cas.

A. 14 secondes

B. 7 secondes

C. 28 secondes

D. 3,5 secondes

E. Aucune de ces réponses

11. Donnez un exemple de situation où l'on souhaite :

a) diminuer les forces de frottement.

b) augmenter les forces de frottement.

12. Quel est le type de frottement présent dans chaque situation ?

a) Ce type de frottement empêche deux objets en contact de glisser l'un sur l'autre.

b) Ce type de frottement s'observe lorsque deux objets en contact glissent l'un sur l'autre.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

13. Dans un mouvement circulaire uniforme, l'accélération est :

A. orientée vers l'avant.

B. orientée vers l'arrière.

C. orientée vers l'extérieur de la courbe.

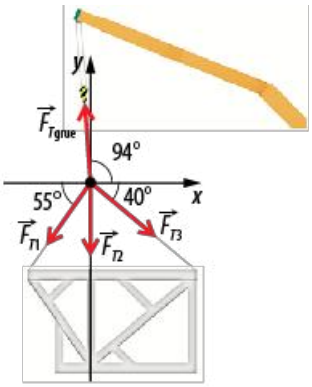
D. orientée vers l'intérieur de la courbe.

E. inexistante.

14. Vous êtes au volant d'une voiture et vous négociez une courbe en maintenant une vitesse constante de 70 km/h. Est-ce que vous subissez une accélération ? Expliquez.

15. Donnez trois exemples de situations où une force centripète s'exerce sur un corps et identifiez la nature de la force qui joue le rôle de force centripète (force gravitationnelle, tension, frottement, etc.).

Chapitre 5



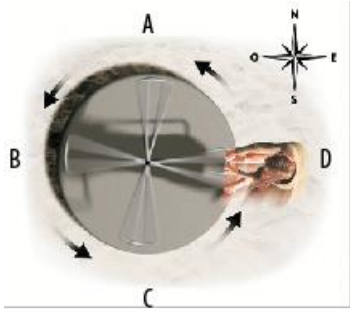
16. On s'apprête à déplacer une structure métallique à l'aide d'une grue. On a fixé trois câbles à différents endroits de l'objet à soulever et on augmente graduellement la force verticale exercée par la grue. Juste avant que la structure quitte le sol, la grue fait un temps d'arrêt. La structure, les câbles et la grue sont alors immobiles. À ce moment précis, les forces de tension observées dans les câbles sont les suivantes :
F_{T1}= 34 000 N, F_{T2}= 23 200 N et F_{T3}= 35 500 N.

a) Quelle est la force verticale exercée par la grue à ce moment précis ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

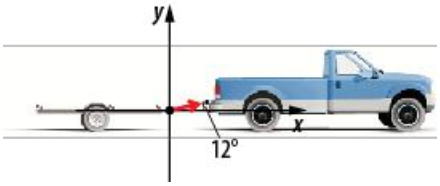
b) Quelle est de la force horizontale exercée par la grue à ce moment précis ?

Chapitre 6



17. Un enfant se tient sur un tourniquet de parc qui tourne rapidement (*voir la figure ci-contre*). S'il souhaite être projeté vers l'est, à quel endroit de sa trajectoire l'enfant devra-t-il lâcher prise ? Précisez la lettre correspondant à votre choix.

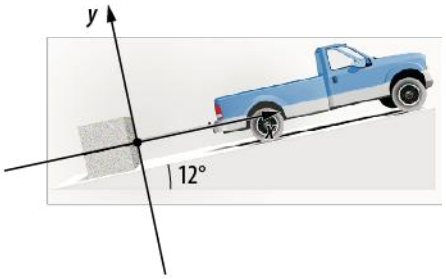
_____



18. Une remorque de 200 kg au repos est reliée à une camionnette avec une attache formant un angle de 12° avec l'horizontale. Sachant que la camionnette exerce une force motrice de 950 N pour tirer la remorque et que la force de frottement des pneus de la remorque est de 820 N, quelle est la distance parcourue par la remorque en 45 s ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

19. Soit un bloc de béton 530 kg qui est tiré à vitesse constante par une camionnette le long d'une route en pente dont l'inclinaison est de 12° (*voir la figure ci-contre*). La force de frottement entre le bloc et la route est de $5{,}28 \times 10^3$ N.



a) Indiquez sur le schéma toutes les forces qui s'exercent sur le bloc.

b) Quelle est la grandeur de la force normale ?

c) Quelle est la grandeur de la force motrice requise pour obtenir le mouvement du bloc ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

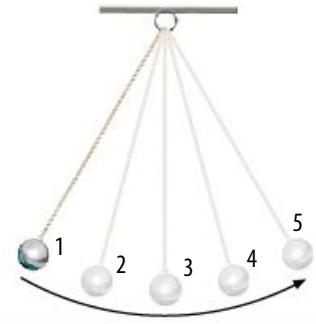
Chapitre 7

20. Un bateau remorqueur tire un cargo en exerçant une force de $1{,}1 \times 10^6$ N à l'aide d'un câble orienté à 50° par rapport à l'horizontale. Le cargo avance de 100 m en 60 s. Quelle est la puissance développée par le remorqueur ?

Chapitre 8

21. Quand on attache un corps solide à un fil et qu'on le fait osciller, on crée ce qu'on appelle un pendule.

Vous attachez une petite bille de métal à une ficelle et vous la soulevez de façon que le fil fasse un petit angle avec la verticale. Puis, vous lâchez la bille, et elle commence à se balancer en faisant des mouvements de va-et-vient (*voir l'illustration ci-contre*). On suppose que le frottement du fil sur son pivot et que la résistance de l'air sont négligeables.



Complétez le texte qui suit en inscrivant les termes de la liste ci-dessous aux endroits appropriés. (Un même terme peut être utilisé plus d'une fois.)

• cinétique	• maximale	• minimale
• nulle	• potentielle gravitationnelle	

a) À l'instant 1, votre main vient tout juste de lâcher la bille. Celle-ci est donc encore immobile. Son énergie cinétique est _____. À ce moment, la bille est au point le plus haut de sa trajectoire. Son énergie potentielle gravitationnelle est _____.

b) À l'instant 2, la bille est en mouvement. Elle prend de la vitesse tout en descendant. L'énergie _____ se transforme en énergie _____.

c) À l'instant 3, la bille est au point le plus bas de sa trajectoire. L'énergie potentielle gravitationnelle est _____. Par contre, l'énergie cinétique est _____.

d) À l'instant 4, la bille est en train de remonter. Au fur et à mesure qu'elle monte, elle ralentit. L'énergie _____ se transforme en énergie _____.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

e) À l'instant 5, la bille est revenue au même niveau qu'à l'instant 1. La bille a perdu toute son énergie _____, mais l'énergie _____ est _____. La vitesse instantanée de la bille passe par zéro au moment où elle atteint le sommet de sa trajectoire. Le cycle s'apprête à recommencer : la bille va réaccélérer en descendant vers la gauche.

22. Lors d'un tir de pénalité, un joueur de soccer botte un ballon de 425 g, initialement immobile au sol, en effectuant sur lui un travail de 276 J. Le gardien de but fait l'arrêt en attrapant le ballon 2,00 m au-dessus du sol. Si la résistance de l'air a fait un travail de -77 J sur le ballon pendant son vol, quelle était la vitesse du ballon juste avant que le gardien ne l'attrape ?

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Chapitre 9

23. Votre amie, qui a une masse de 50 kg, s'amuse avec une échasse sauteuse. Au cours de l'un de ses sauts, sa hauteur varie de 0,35 m. Si le ressort de l'échasse se comprime de 0,10 cm lors de ce saut, évaluez la constante de rappel de ce ressort.

Indice : Le système à considérer ici est constitué de l'échasse sauteuse, de votre amie et de la Terre. On suppose que, lors du rebond, c'est un système isolé.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

ANNEXES

SOMMAIRE

ANNEXE 1 Les mathématiques en mécanique 225

1.1 La résolution de problèmes 225

1.2 La résolution des équations du second degré 226

1.3 Quelques rappels trigonométriques 227

1.4 La notation scientifique 228

ANNEXE 2 L'interprétation des résultats de la mesure 230

2.1 L'incertitude 230

2.2 Les chiffres significatifs 231

ANNEXE 3 Les formules en mécanique 234

ANNEXE 4 Les tableaux de référence 239

4.1 Les grandeurs physiques et leurs unités 239

4.2 Le système solaire 240

ANNEXE 5 La présentation et l'analyse de résultats scientifiques 241

5.1 Le tableau 241

5.2 Le graphique cartésien 242

5.3 La régression linéaire sur un nuage de points 244

5.4 La détermination graphique de la pente d'une droite 245

ANNEXE 6 Technique de manipulation en mécanique – Créer un équilibre sur une table de force 246

ANNEXE 7 Les lauréats du prix Nobel de physique 247

ANNEXE 1 LES MATHÉMATIQUES EN MÉCANIQUE

Les mathématiques fournissent à la physique des outils pour mieux représenter et comprendre l'univers et les phénomènes qui s'y produisent. Elles permettent également de résoudre des problèmes scientifiques à l'aide d'expressions algébriques.

1.1 La résolution de problèmes

En science, les phénomènes physiques sont décrits par des expressions algébriques qui traduisent la relation entre les différentes variables qui interviennent dans ces phénomènes. Étant donné la complexité du problème posé, la résolution nécessite souvent plusieurs étapes, soit le calcul littéral, le traitement des unités et le calcul numérique.

Le calcul littéral

Le calcul littéral consiste à n'utiliser que des lettres dans les expressions mathématiques qui décrivent les phénomènes physiques. Ce calcul, qui obéit aux mêmes règles que le calcul numérique, permet d'isoler la variable dont on veut calculer la valeur conformément à un problème donné. Par exemple, la norme de la force de rappel (F_r) d'un ressort de tension est reliée à la constante de rappel (k) et à l'allongement du ressort (Δx).

$$F_r = k \times \Delta x$$

Cette expression algébrique peut être utilisée pour calculer la norme de la force de rappel (F_r). Cependant, si le but est de connaître la valeur de l'allongement du ressort (Δx), il est nécessaire de procéder à un calcul littéral, c'est-à-dire d'isoler la variable Δx. Pour ce faire, il faut isoler progressivement cette variable en utilisant au besoin les opérations mathématiques inverses dans chaque membre de l'égalité.

1 On isole Δx en divisant les termes de chaque membre de l'égalité par k.

$$\frac{F_r}{k} = \frac{k \times \Delta x}{k} \rightarrow \frac{F_r}{k} = \Delta x$$

2 On exprime alors l'expression de façon conventionnelle en mettant la variable isolée dans le membre gauche de l'égalité et en simplifiant l'écriture.

$$\Delta x = \frac{F_r}{k}$$

Le traitement des unités et le calcul numérique

Contrairement aux calculs purement mathématiques, les calculs scientifiques comportent non seulement des chiffres et des nombres, mais aussi des

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

unités dont il faut tenir compte. Si on reprend l'exemple précédent avec les données suivantes :

$$F_r = 2{,}5 \text{ N et } k = 15 \text{ N/m}$$

On obtient :

$$\Delta x = \frac{F_r}{k} \rightarrow \Delta x = \frac{2{,}5 \text{ N}}{15 \frac{\text{N}}{\text{m}}} = \frac{2{,}5 \cancel{\text{N}} \times \text{m}}{15 \cancel{\text{N}}} = 0{,}17 \text{ m}$$

Le traitement des unités permet d'éliminer certaines unités par simplification mathématique et de ne garder que l'unité dont on a besoin pour obtenir la réponse.

1.2 La résolution des équations du second degré

Il arrive que la variable à isoler fasse partie d'une équation du second degré de type $y = ax^2 + bx + c$. Dans ce cas, il faut suivre la procédure établie pour résoudre une équation du second degré et trouver les valeurs de x à l'aide de l'expression suivante :

$$x = \frac{^-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

EXEMPLE

Trouver la valeur de x dans l'expression suivante :

$$6x^2 + 4 + 8x = 3x + 4x^2 + 7$$

Solution

1. On regroupe tous les termes du même côté de l'égalité en faisant les opérations mathématiques appropriées entre les termes semblables et en les ordonnant de façon à obtenir la forme $ax^2 + bx + c = 0$.

$$6x^2 + 4 + 8x = 3x + 4x^2 + 7$$
$$6x^2 - 4x^2 + 4 - 7 + 8x - 3x = 0$$
$$2x^2 + 5x - 3 = 0$$

2. On détermine les valeurs de a, de b et de c.

$a = 2$ $\quad b = 5$ $\quad c = {}^-3$

3. On calcule les valeurs possibles de x.

$$x = \frac{^-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$
$$= \frac{^-5 + \sqrt{5^2 - 4(2 \cdot {}^-3)}}{2(2)} = \frac{^-5 + \sqrt{25 + 24}}{4} = \frac{^-5 + \sqrt{49}}{4} = 0{,}5$$

ou

$$x = \frac{^-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$
$$= \frac{^-5 - \sqrt{5^2 - 4(2 \cdot {}^-3)}}{2(2)} = \frac{^-5 - \sqrt{25 + 24}}{4} = \frac{^-5 - \sqrt{49}}{4} = {}^-3$$

4. La valeur de x est égale à 0,5 ou $^-3$.

   On vérifie quelle valeur de x est la plus plausible selon la nature du problème à résoudre et on ne retient que celle qui est pertinente.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

1.3 Quelques rappels trigonométriques

La trigonométrie est une branche des mathématiques qui permet de calculer les dimensions et les angles d'un triangle. Cette science, qui utilise des fonctions trigonométriques, est essentielle à la résolution de problèmes aussi bien en optique qu'en mécanique.

Les fonctions trigonométriques

Les fonctions trigonométriques pour l'angle θ sont les suivantes (*voir la figure 1*) :

$$\sin\theta = \frac{y}{r} \qquad \cos\theta = \frac{x}{r} \qquad \tan\theta = \frac{y}{x}$$

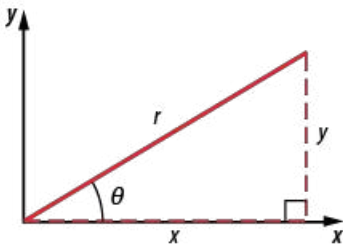


FIGURE 1 La définition des rapports trigonométriques.

La loi de Pythagore

Dans le triangle rectangle (*voir la figure 2a*), la loi de Pythagore est la suivante :

$$c^2 = a^2 + b^2$$

où c est l'hypoténuse et a et b sont les autres côtés.

Pour le triangle quelconque (*voir la figure 2b*), avec les angles A, B et C et les côtés opposés a, b et c, on énonce les lois du sinus et du cosinus.

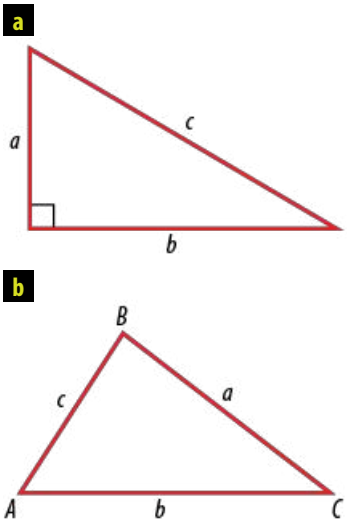


FIGURE 2 Un triangle rectangle (a). Un triangle quelconque (b).

La loi des sinus

La loi des sinus est la suivante :

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$$

Pour utiliser la loi des sinus, on doit connaître deux côtés et un angle opposé ou deux angles et un côté.

La loi des cosinus

La loi des cosinus est la suivante :

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

Pour utiliser la loi des cosinus, on doit connaître trois côtés ou deux côtés et l'angle qui les sépare. À noter que dans la loi des cosinus, si $C = 90°$, l'équation correspond à la loi de Pythagore.

Les identités trigonométriques

Les identités trigonométriques suivantes peuvent être utiles :

$$\cos\theta = \sin(90° - \theta) \qquad \tan\theta = \frac{\sin\theta}{\cos\theta} \qquad \sin 2\theta = 2\sin\theta\cos\theta$$

$$\sin\theta = \cos(90° - \theta) \qquad \sin^2\theta + \cos^2\theta = 1 \qquad \cos 2\theta = \cos^2\theta - \sin^2\theta$$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

1.4 La notation scientifique

En science, il est fréquent de rencontrer des nombres dont l'ordre de grandeur est très petit ou très grand. Toutefois, ce genre de nombre est très difficile à utiliser lorsqu'on effectue des calculs. Pour simplifier l'utilisation de ces nombres, on utilise la notation scientifique. Les deux exemples suivants montrent comment écrire des nombres à l'aide de la notation scientifique.

Cette notation est le produit d'un nombre appelé mantisse, dont la valeur absolue est comprise entre 1 et 10 (10 exclu), et d'une puissance de 10.

EXEMPLE A

La vitesse de la lumière (*c*) est de 299 792 458 m/s. Pour simplifier cette valeur, on l'exprime sous la forme d'un nombre compris entre 1 et 10 qu'on multiplie par une puissance de 10. Pour ce faire, on déplace la virgule jusqu'au chiffre non nul le plus à gauche et on compte le nombre de déplacements effectués par la virgule. Ce nombre devient alors l'exposant de la base 10 (*voir la figure 3*).

$$2{,}\underbrace{99\,792\,458}_{8\quad 6\quad 3},$$

Une fois arrondie, cette valeur devient $3{,}0 \times 10^{8}$.

FIGURE 3 Pour exprimer un grand nombre à l'aide d'une puissance de 10, on déplace la virgule vers la gauche.

EXEMPLE B

La constante de gravitation (*G*) sur Terre est de 0,000 000 000 066 742 8 N•m²/kg². Pour exprimer ce nombre à l'aide de la notation scientifique, c'est-à-dire sous la forme d'un nombre compris entre 1 et 10 qu'on multiplie par une puissance de 10, il suffit de déplacer la virgule vers la droite jusqu'à la droite du premier chiffre non nul rencontré et de compter le nombre de déplacements effectués par la virgule. Ce nombre devient alors l'exposant négatif de la base 10 (*voir la figure 4*).

$$0{,}\underbrace{000\,000\,000\,06}_{3\quad 6\quad 9\quad 11}{,}6\,742\,8$$

Une fois arrondie, cette valeur devient $6{,}674\,28 \times 10^{-11}$.

FIGURE 4 Pour exprimer un petit nombre à l'aide d'une puissance de 10, on déplace la virgule vers la droite.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Les règles de calcul en notation scientifique

Chaque mesure de quantité notée doit comporter le bon nombre de chiffres significatifs. La notation scientifique permet d'indiquer ce nombre. Lorsque des calculs sont effectués avec des nombres donnés en notation scientifique, il faut utiliser les règles suivantes.

RÈGLE 1

Pour multiplier deux nombres en notation scientifique, il faut multiplier les mantisses entre elles.

Le résultat est ensuite multiplié par une puissance de 10 à laquelle on affecte la somme des exposants des puissances de 10 initiales.

$$(a \times 10^m) \times (b \times 10^n) = (a \times b) \times 10^{(m + n)}$$

Exemple :

$$\begin{aligned}(7{,}32 \times 10^3) \times (8{,}91 \times 10^2) &= (7{,}32 \times 8{,}91) \times 10^{(3 + 2)} \\ &= 65{,}2212 \times 10^5 \\ &= 6{,}52 \times 10^6\end{aligned}$$

RÈGLE 2

Pour diviser deux nombres en notation scientifique, il faut d'abord diviser les mantisses entre elles.

Le résultat est ensuite multiplié par une puissance de 10 à laquelle on affecte la différence des exposants des puissances de 10 initiales.

$$\left(\frac{a \times 10^m}{b \times 10^n}\right) = \left(\frac{a}{b}\right) \times 10^{(m - n)}$$

Exemple :

$$\begin{aligned}\left(\frac{1{,}842 \times 10^6}{1{,}0787 \times 10^2}\right) &= \left(\frac{1{,}842}{1{,}0787}\right) \times 10^{(6-2)} \\ &= 1{,}707\,611 \times 10^4 \\ &= 1{,}708 \times 10^4\end{aligned}$$

RÈGLE 3

Pour additionner ou soustraire des nombres en notation scientifique, il faut d'abord convertir les nombres afin qu'ils aient les mêmes exposants.

Chaque nombre devrait avoir le même exposant que le nombre ayant le plus grand exposant de 10. Une fois que les nombres sont tous exprimés avec le même exposant de 10, les mantisses sont additionnées ou soustraites et l'exposant de 10 reste tel quel.

$$\begin{aligned}(3{,}42 \times 10^6) + (8{,}53 \times 10^3) &= (3{,}42 \times 10^6) + (0{,}008\,53 \times 10^6) \\ &= (3{,}42 + 0{,}008\,53) \times 10^6 \\ &= 3{,}428\,53 \times 10^6 \\ &= 3{,}43 \times 10^6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(9{,}93 \times 10^1) - (7{,}86 \times 10^{-1}) &= (9{,}93 \times 10^1) - (0{,}0786 \times 10^1) \\ &= (9{,}93 - 0{,}0786) \times 10^1 \\ &= 9{,}8514 \times 10^1 \\ &= 9{,}85 \times 10^1\end{aligned}$$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

ANNEXE 2

L'INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE LA MESURE

2.1 L'incertitude

Toutes les mesures réalisées à l'aide d'un instrument ou d'un appareil comportent une incertitude. Une première source d'incertitude est l'appareil de mesure lui-même. Une autre source est l'habileté de la personne qui effectue la mesure à percevoir et à interpréter une lecture. En fait, aucune mesure ne peut être prise avec une certitude totale.

L'incertitude absolue

L'incertitude de lecture associée à un instrument de mesure correspond généralement à la moitié de la plus petite graduation de l'instrument. Dans le cas d'un appareil électronique, elle correspond à l'unité de la plus petite graduation affichée. En général, on inscrit cette incertitude dans le tableau des résultats à l'aide du symbole « ± » placé devant l'incertitude.

Par exemple, dans le cas d'une mesure prise à l'aide d'un dynamomètre dont la graduation la plus petite est 0,1 N, l'incertitude absolue sera de 0,05 N (*voir la figure 5*). Cela s'écrit de la façon suivante :

$$F_g = (2{,}00 \pm 0{,}05)\ \text{N}$$

Cette notation signifie que le poids mesuré n'est pas exactement égal à 2,00 N, mais qu'il est compris entre 1,95 N et 2,05 N. Le dernier chiffre de la mesure (le plus à droite) est toujours une valeur estimée.

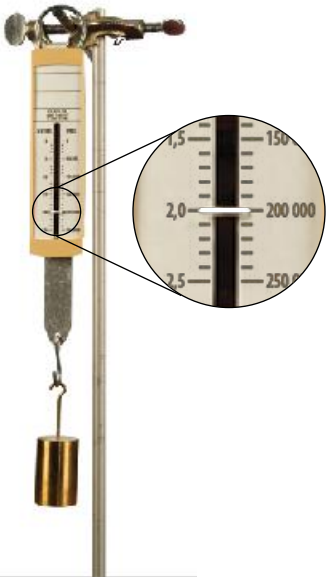


FIGURE 5 Le poids mesuré est de 2,00 N ± 0,05 N.

L'incertitude relative

Si on veut connaître le niveau de précision d'une mesure, on peut exprimer l'incertitude sous forme de pourcentage. On parle alors d'incertitude relative. Celle-ci correspond au rapport entre l'incertitude absolue et la valeur mesurée et se calcule de la façon suivante :

$$\frac{\text{Incertitude absolue}}{\text{Valeur de la mesure}} \times 100\,\%$$

EXEMPLE

Quelle est l'incertitude relative du poids mesuré à l'aide du dynamomètre de la figure 5 ?

Données

$F_g = 2{,}00$ N

Incertitude absolue = 0,05 N

Incertitude relative = ?

Solution

$$\text{Incertitude relative} = \frac{\text{Incertitude absolue}}{\text{Valeur de la mesure}} = 100\,\%$$

$$= \frac{0{,}05\ \text{N}}{2{,}00\ \text{N}} \times 100\,\%$$

$$= 2{,}5\,\%$$

Le poids mesuré est de 2,00 N ± 2,5 %.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2.2 Les chiffres significatifs

Les règles d'utilisation des chiffres significatifs dans les mesures

Dans un nombre, les chiffres significatifs correspondent aux chiffres dont on connaît la valeur avec certitude (appelés chiffres certains) plus un chiffre dont la valeur est estimée au cours de la mesure (appelé chiffre incertain). Le degré de certitude d'une mesure correspond au nombre de chiffres significatifs qu'elle contient.

Par convention, les nombres entiers provenant d'un dénombrement ainsi que les nombres provenant d'une définition sont considérés comme exacts puisqu'ils ne proviennent pas d'une mesure. Ils possèdent donc un nombre infini de chiffres significatifs. Par exemple, la vitesse de la lumière, dont la valeur communément utilisée est de $3{,}0 \times 10^8$ ms^{-1}, contient une infinité de chiffres significatifs. Il en est de même pour le 2 qu'on utiliserait pour faire la moyenne entre deux nombres, en les divisant par 2.

Voici comment déterminer le nombre de chiffres significatifs d'une mesure.

RÈGLES

- **Les zéros situés au début du nombre ne sont pas significatifs.**
- **Tous les autres chiffres sont significatifs, y compris les zéros situés à la fin ou à l'intérieur d'un nombre.**

EXEMPLES

- 40,082 possède cinq chiffres significatifs.
- 5074 possède quatre chiffres significatifs.
- 0,3 possède un seul chiffre significatif : le 3.
- 0,0927 possède trois chiffres significatifs : le 9, le 2 et le 7.
- 0,002 10 possède trois chiffres significatifs : le 2, le 1 et le 0 à la fin du nombre.

Certaines mesures peuvent porter à confusion. Par exemple, 300 m peut avoir un, deux ou trois chiffres significatifs selon la précision de la mesure. On peut éliminer toute ambiguïté en exprimant cette mesure en notation scientifique ou en l'accompagnant de son incertitude : ce pourrait être 300 ± 1 m ou $3{,}00 \times 10^2$ m (trois chiffres significatifs) ou $3{,}0 \times 10^2$ m (deux chiffres significatifs) ou encore 3×10^2 m (un chiffre significatif).

Les règles d'utilisation des chiffres significatifs dans les calculs

Les chiffres significatifs servent d'abord à déterminer le degré de certitude d'un résultat obtenu par le calcul de plusieurs mesures. En utilisant une calculatrice, le résultat d'un calcul comporte souvent plusieurs chiffres qui ne sont pas significatifs. Les règles suivantes permettent d'exprimer des résultats de calculs avec le nombre adéquat de chiffres significatifs.

RÈGLE 1

La conversion d'unités

Conserver le même nombre de chiffres significatifs que le nombre initial en utilisant la notation scientifique.

- $V = 5{,}75$ L $= 5{,}75 \times 10^3$ mL (trois chiffres significatifs dans les deux notations)
  et non $V = 5750$ mL (quatre chiffres significatifs)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

RÈGLE 2

L'addition et la soustraction

Dans un calcul, la valeur ayant le plus petit nombre de décimales détermine le nombre de décimales à reporter dans la réponse.

- 1,2 g + 1,22 g + 1,222 g = 3,642 g doit être arrondi à 3,6 g, car la valeur 1,2 n'a qu'une seule décimale.
- 4,00 mL + 3,00 mL = 7 mL sur la calculatrice, mais doit être indiqué 7,00 mL en respectant les règles des chiffres significatifs.

RÈGLE 3

La multiplication et la division

Dans un calcul, la valeur ayant le plus petit nombre de chiffres significatifs détermine le nombre de chiffres significatifs à reporter dans la réponse.

- 3,33 g × 3,001 g = 9,993 33 g doit être arrondi à 9,99 g, car la valeur 3,33 n'a que trois chiffres significatifs.
- 1,2 m × 5,00 m = 6 m sur la calculatrice, mais doit être indiqué 6,0 m, car 1,2 a deux chiffres significatifs.
- 2,45 mL × 3 fioles = 7,35 mL, car 3 est un nombre entier qui comprend une infinité de chiffres significatifs.

Les calculs complexes

Lorsque les calculs comportent des additions (et des soustractions) ainsi que des multiplications (et des divisions), il faut appliquer la règle qui correspond à la nature de chaque opération.

Pour les besoins de ce cahier, nous indiquerons parfois un résultat plus précis à certains calculs intermédiaires de façon à ne pas nécessiter l'utilisation de la notation scientifique dans la démarche. La réponse finale sera toutefois arrondie selon la règle applicable en fonction des données utilisées dans le dernier calcul.

EXEMPLE

Une voiture roulant à 15 m/s accélère au taux de 1,20 m/s^2. Quelle est sa vitesse après 3,000 s ?

Données

$v_i = 15$ m/s

$a = 1{,}20$ m/s^2

$\Delta t = 3{,}000$ s

$v_f = ?$

Solution

$v_f = v_i + a\Delta t$

$= 15$ m/s $+ 1{,}20$ m/s$^2 \times 3{,}000$ s, car 1,20 n'a que trois chiffres significatifs.

$= 15$ m/s $+ 3{,}60$ m/s

$= 19$ m/s, car 15 m/s n'a aucune décimale.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Comment arrondir un nombre

Il existe plusieurs méthodes pour arrondir un nombre afin de tenir compte des règles mentionnées précédemment. La méthode utilisée dans ce cahier est nommée « arrondi au plus proche » ou « arrondi arithmétique ». Elle est expliquée de la façon suivante.

ÉTAPE 1

Choisir le dernier chiffre à conserver ainsi que celui qui le suit.

Soit le nombre 5,074 38. Pour l'arrondir au centième, on le tronque à 5,074 parce que le dernier chiffre à conserver est 7 et qu'il est suivi de 4.

ÉTAPE 2

- **Si le chiffre qui suit le dernier chiffre à conserver vaut moins de 5, conserver le dernier chiffre tel quel (arrondissement par défaut).**

  Dans le nombre tronqué 5,074, le chiffre 4 qui suit le dernier chiffre à conserver (7) est inférieur à 5. Arrondi au centième, ce nombre est alors égal à 5,07.

- **Si le chiffre qui suit le dernier chiffre à conserver vaut 5 et plus, augmenter d'une unité le dernier chiffre à conserver (arrondissement par excès).**

  Soit le nombre 5,074 68. Pour l'arrondir au millième, ce nombre est d'abord tronqué à 5,0746 (dernier chiffre à conserver = 4 ; celui qui suit = 6).

  Dans le nombre tronqué 5,0746, le chiffre 6 qui suit le dernier chiffre à conserver (4) est supérieur à 5. Arrondi au millième, ce nombre est alors égal à 5,075.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

ANNEXE 3 LES FORMULES EN MÉCANIQUE

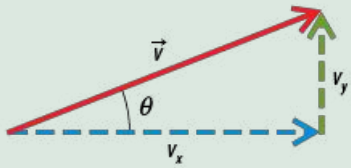
Cette annexe regroupe les formules les plus importantes et les constantes souvent utilisées dans le cahier de mécanique *Delta*.

Les formules

Accélération (*a*)

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

Calcul des composantes et de la norme d'un vecteur



$v_x = v \cos \theta$ $\quad$ $v_y = v \sin \theta$ $\quad$ $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$

Déplacement dans le cas unidimensionnel (Δx)

$$\Delta x = x_f - x_i$$

Deuxième loi de Newton

$$\vec{F}_R = m\vec{a}$$

où $\vec{F}_R$ = force résultante, exprimée en newtons (N)
m = masse du corps, exprimée en kilogrammes (kg)
$\vec{a}$ = accélération du corps, exprimée en mètres par seconde carrée (m/s^2)

Énergie cinétique

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2$$

où E_c = énergie cinétique, exprimée en joules (J)
m = masse du corps, exprimée en kilogrammes (kg)
v = vitesse du corps, exprimée en mètres par seconde (m/s)

Énergie mécanique

$$E_m = E_c + E_{pg} + E_{pe}$$

où E_m = énergie mécanique, exprimée en joules (J)
E_c = énergie cinétique, exprimée en joules (J)
E_{pg} = énergie potentielle gravitationnelle, exprimée en joules (J)
E_{pe} = énergie potentielle élastique, exprimée en joules (J)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Énergie potentielle élastique

$$E_{pe} = \frac{1}{2} k (\Delta x)^2$$

où E_{pe} = énergie potentielle élastique d'un ressort, exprimée en joules (J)
k = constante de rappel du ressort, exprimée en newtons par mètre (N/m)
Δx = variation de la longueur du ressort, exprimée en mètres (m)

Énergie potentielle gravitationnelle

$$E_{pg} = mgh$$

où E_{pg} = énergie potentielle gravitationnelle, exprimée en joules (J)
m = masse du corps, exprimée en kilogrammes (kg)
g = accélération gravitationnelle, exprimée en mètres par seconde carrée (m/s^2)
h = hauteur du corps au-dessus du niveau de référence (généralement le sol), exprimée en mètres (m)

Équation de la vitesse (*v*)

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

où t_i = temps initial, exprimé en secondes (s)
t_f = temps final, exprimé en secondes (s)
x_i = position initiale, exprimée en mètres (m)
x_f = position finale, exprimée en mètres (m)

Équations du mouvement d'un projectile

Selon *x* (MRU)	
$x_f = x_i + v_{ix}\Delta t$	(équation 1)
Selon *y* (MRUA)	
$v_{fy} = v_{iy} + a_y \Delta t$	(équation 2)
$y_f = y_i + \frac{1}{2}\left(v_{iy} + v_{fy}\right)\Delta t$	(équation 3)
$y_f = y_i + v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2} a_y \Delta t^2$	(équation 4)
$v_{fy}^2 = v_{iy}^2 + 2a_y \Delta y$	(équation 5)

où Δt = intervalle de temps, exprimé en secondes (s)
x = position horizontale, exprimée en mètres (m)
y = position verticale, exprimée en mètres (m)
v_x = vitesse horizontale, exprimée en mètres par seconde (m/s)
v_y = vitesse verticale, exprimée en mètres par seconde (m/s)
a_y = accélération verticale, exprimée en mètres par seconde carrée (m/s^2)

Équations du mouvement rectiligne uniformément accéléré, selon *x*

Équation 1 : $v_f = v_i + a\Delta t$

Équation 2 : $x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_i + v_f)\Delta t$

Équation 3 : $x_f = x_i + v_i \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2$

Équation 4 : $v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Force centripète

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

où F_c = force centripète, exprimée en newtons (N)
m = masse du corps soumis à la force, exprimée en kilogrammes (kg)
v = vitesse du corps, exprimée en mètres par seconde (m/s)
r = rayon de la trajectoire, exprimé en mètres (m)

Force équilibrante

$$\vec{F}_{eq} = -\vec{F}_R$$

où $\vec{F}_{eq}$ = force équilibrante, exprimée en newtons (N)
$\vec{F}_R$ = force résultante, exprimée en newtons (N)

Force gravitationnelle qui s'exerce sur un objet

$$\vec{F}_g = m\vec{g}$$

où $\vec{F}_g$ = force gravitationnelle s'exerçant sur un corps près de la surface de la planète (poids du corps), exprimée en newtons (N)
m = masse du corps, exprimée en kilogrammes (kg)
$\vec{g}$ = accélération gravitationnelle, exprimée en mètres par seconde carrée (m/s^2)

Force résultante

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n$$

où $\vec{F}_R$ = force résultante, exprimée en newtons (N)
$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_n$ = forces individuelles, exprimées en newtons (N)

Forces de frottement

$$F_{f(\text{statique})} \leq \mu_s F_N$$
$$F_{f(\text{cinétique})} = \mu_c F_N$$

où F_f = force de frottement, exprimée en newtons (N)
F_N = force normale, exprimée en newtons (N)
μ_s = coefficient de frottement statique
μ_c = coefficient de frottement cinétique

Loi de Hooke (dans le cas où le problème est unidimensionnel et que les vecteurs force et déplacement sont projetés sur l'axe des *x*)

$$F_r = k\Delta x$$

où F_r = force de rappel exercée par le ressort, exprimée en newtons (N)
k = constante de rappel du ressort, exprimée en newtons par mètre (N/m)
Δx = variation de la longueur du ressort, exprimée en mètres (m)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Loi de la conservation de l'énergie dans un système non isolé

$$E_{mi} + W_{ext} = E_{mf}$$

où E_{mi} = énergie mécanique initiale, exprimée en joules (J)
W_{ext} = travail fait sur le système par des forces extérieures, exprimé en joules (J)
E_{mf} = énergie mécanique finale, exprimée en joules (J)

ou $$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} + W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef}$$

où E_{ci} = énergie cinétique initiale, exprimée en joules (J)
E_{pgi} = énergie potentielle gravitationnelle initiale, exprimée en joules (J)
E_{pei} = énergie potentielle élastique initiale, exprimée en joules (J)
W_{ext} = travail fait sur le système par des forces extérieures, exprimé en joules (J)
E_{cf} = énergie cinétique finale, exprimée en joules (J)
E_{pgf} = énergie potentielle gravitationnelle finale, exprimée en joules (J)
E_{pef} = énergie potentielle élastique finale, exprimée en joules (J)

Loi de la gravitation universelle

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

où F_g = force gravitationnelle s'exerçant entre deux corps, exprimée en newtons (N)
G = constante gravitationnelle = $6{,}67 \times 10^{-11} \frac{\text{N} \times \text{m}^2}{\text{kg}^2}$
m_1 = masse d'un corps, exprimée en kilogrammes (kg)
m_2 = masse de l'autre corps, exprimée en kilogrammes (kg)
r = distance entre les deux corps, exprimée en mètres (m)

Portée d'un projectile

$$\text{Portée} = \frac{v_i^2 \sin 2\theta_i}{g}$$

où Portée = portée, exprimée en mètres (m)
v_i = vitesse initiale, exprimée en mètres par seconde (m/s)
θ_i = angle de départ par rapport à l'horizontale, exprimé en degrés
g = accélération gravitationnelle, exprimée en mètres par seconde carrée (m/s^2)

Puissance mécanique

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

où P = puissance mécanique, exprimée en watts (W)
W = travail accompli, exprimé en joules (J)
Δt = intervalle de temps nécessaire pour accomplir le travail, exprimé en secondes (s)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Travail (*W*)

$$W = F_{eff} \times \Delta s = F \times \Delta s \times \cos \theta$$

où W = travail, exprimé en joules (J)

F_{eff} = force efficace, exprimée en newtons (N)

F = force appliquée sur le corps, exprimée en newtons (N)

Δs = déplacement du corps, exprimé en mètres (m)

θ = angle entre la force appliquée (F) et le déplacement (Δs)

Troisième loi de Newton

$$\vec{F}_{A \to B} = -\vec{F}_{B \to A}$$

où $\vec{F}_{A \to B}$ = force exercée par A sur B, exprimée en newtons (N)

$\vec{F}_{B \to A}$ = force exercée par B sur A, exprimée en newtons (N)

Vitesse moyenne et vitesse instantanée (*v*)

Vitesse moyenne : $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$ avec Δt assez long

Vitesse instantanée : $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$ avec Δt très petit

Les constantes physiques souvent utilisées en mécanique

Accélération gravitationnelle à la surface de la Terre (*g*)

$9{,}80 \text{ m/s}^2$

Constante de gravitation (*G*)

$6{,}67 \times 10^{-11} \frac{\text{N} \times \text{m}^2}{\text{kg}^2}$

Vitesse de la lumière dans le vide (*c*)

$3{,}00 \times 10^8 \text{ m/s}$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

ANNEXE 4 LES TABLEAUX DE RÉFÉRENCE

4.1 Les grandeurs physiques et leurs unités

Grandeurs / notations	Symbole de la grandeur	Unité	Symbole de l'unité	Unité SI de base
Accélération	a	mètre par seconde carrée	m/s^2	$m\ s^{-2}$
Accélération gravitationnelle	g	newton par kilogramme ou mètre par seconde carrée	N/kg ou m/s^2	$m\ s^{-2}$
Aire	A	mètre carré	m^2	m^2
Chaleur	Q	joule	J	$kg\ m^2\ s^{-2}$
Constante de rappel	k	newton par mètre	N/m	$kg\ s^{-2}$
Déplacement	$\Delta\vec{s}$	mètre	m	m
Énergie cinétique	E_c	joule	J	$kg\ m^2\ s^{-2}$
Énergie mécanique	E_m	joule	J	$kg\ m^2\ s^{-2}$
Énergie potentielle élastique	E_{pe}	joule	J	$kg\ m^2\ s^{-2}$
Énergie potentielle gravitationnelle	E_{pg}	joule	J	$kg\ m^2\ s^{-2}$
Énergie thermique	E_{th}	joule	J	$kg\ m^2\ s^{-2}$
Force centripète	F_c	newton	N	$kg\ m\ s^{-2}$
Force de frottement	F_f	newton	N	$kg\ m\ s^{-2}$
Force de rappel	F_r	newton	N	$kg\ m\ s^{-2}$
Force efficace	F_{eff}	newton	N	$kg\ m\ s^{-2}$
Force normale	F_N	newton	N	$kg\ m\ s^{-2}$
Force résultante	F_R	newton	N	$kg\ m\ s^{-2}$
Fréquence	f	hertz	Hz	s^{-1}
Longueur	l, h, r, x	mètre	m	m
Longueur d'onde	λ	mètre	m	m
Masse	m	kilogramme	kg	kg
Période	T	seconde	s	s

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Grandeurs / notations	Symbole de la grandeur	Unité	Symbole de l'unité	Unité SI de base
Poids (ou force gravitationnelle)	F_g	newton	N	kg m s^{-2}
Puissance	P	watt	W	kg m^2 s^{-3}
Température	T	• degré Celsius • kelvin	• °C • K	K
Temps (ou intervalle de temps)	t (ou Δt)	seconde	s	s
Tension	F_T	newton	N	kg m s^{-2}
Travail	W	joule	J	kg m^2 s^{-2}
Vitesse	v	mètre par seconde	m/s	m s^{-1}
Volume	V	mètre cube	m^3	m^3

4.2 Le système solaire

Objet	Masse (kg)	Rayon (m)	Période de rotation sur son axe (s)	Rayon moyen de son orbite (m)	Période de révolution sur son orbite (s)
Soleil	$1{,}99 \times 10^{30}$	$6{,}96 \times 10^{8}$	$2{,}14 \times 10^{6}$	–	–
Mercure	$3{,}28 \times 10^{23}$	$2{,}44 \times 10^{6}$	$5{,}05 \times 10^{6}$	$5{,}79 \times 10^{10}$	$7{,}60 \times 10^{6}$
Vénus	$4{,}83 \times 10^{24}$	$6{,}05 \times 10^{6}$	$2{,}1 \times 10^{7}$	$1{,}08 \times 10^{11}$	$1{,}94 \times 10^{7}$
Terre	$5{,}98 \times 10^{24}$	$6{,}38 \times 10^{6}$	$8{,}64 \times 10^{4}$	$1{,}49 \times 10^{11}$	$3{,}16 \times 10^{7}$
Mars	$6{,}37 \times 10^{23}$	$3{,}40 \times 10^{6}$	$8{,}86 \times 10^{4}$	$2{,}28 \times 10^{11}$	$5{,}94 \times 10^{7}$
Jupiter	$1{,}90 \times 10^{27}$	$7{,}15 \times 10^{7}$	$3{,}58 \times 10^{4}$	$7{,}78 \times 10^{11}$	$3{,}75 \times 10^{8}$
Saturne	$5{,}67 \times 10^{26}$	$6{,}03 \times 10^{7}$	$3{,}84 \times 10^{4}$	$1{,}43 \times 10^{12}$	$9{,}30 \times 10^{8}$
Uranus	$8{,}80 \times 10^{25}$	$2{,}56 \times 10^{7}$	$6{,}20 \times 10^{4}$	$2{,}87 \times 10^{12}$	$2{,}65 \times 10^{9}$
Neptune	$1{,}03 \times 10^{26}$	$2{,}48 \times 10^{7}$	$5{,}80 \times 10^{6}$	$4{,}50 \times 10^{12}$	$5{,}20 \times 10^{9}$
Pluton	$1{,}3 \times 10^{22}$	$1{,}15 \times 10^{6}$	$5{,}51 \times 10^{5}$	$5{,}91 \times 10^{12}$	$7{,}82 \times 10^{9}$
Lune	$7{,}35 \times 10^{22}$	$1{,}74 \times 10^{6}$	$2{,}36 \times 10^{6}$	$3{,}84 \times 10^{8}$	$2{,}36 \times 10^{6}$

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

ANNEXE 5 LA PRÉSENTATION ET L'ANALYSE DE RÉSULTATS SCIENTIFIQUES

En physique, les données sont souvent présentées sous forme de tableau, de graphique ou de diagramme. Cela aide à comprendre et à interpréter ces données plus facilement. Le rapport de laboratoire constitue également un outil essentiel pour présenter les résultats d'une démarche expérimentale.

5.1 Le tableau

Le tableau sert à organiser des données (nombres ou mots) en colonnes et en rangées. Cette disposition facilite l'analyse de l'information. On utilise aussi un tableau pour consigner des données qu'on veut présenter plus tard sous forme de graphique (*voir la section 5.2, à la page suivante*). Dans un tableau, on peut indiquer les unités de mesure entre parenthèses sous le titre de la colonne ; on évite ainsi d'avoir à les répéter sur chaque ligne. On peut consigner des données pour une variable indépendante et une seule variable dépendante.

TABLEAU 1 Les précipitations mensuelles moyennes à Montréal — Titre du tableau

Mois (Variable indépendante)	Précipitations (mm) (Variable dépendante; Unité de mesure)
Janvier	87
Février	66
Mars	91
Avril	81
Mai	91
Juin	96
Juillet	97
Août (Valeur de la variable indépendante)	100 (Valeur de la variable dépendante)
Septembre	97
Octobre	91
Novembre	98
Décembre	93

On peut également consigner des données pour plusieurs variables indépendantes et dépendantes dans des tableaux à double entrée.

TABLEAU 2 La différence de température observée entre deux cartons après 30 minutes

Variables indépendantes	Sous le carton blanc	Sous le carton noir (Variables dépendantes)
Température initiale (°C)	22	22
Température finale (°C)	27	33
Variation (°C)	+ 5	+ 11 (Calculs)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

5.2 Le graphique cartésien

L'organisation des données dans un tableau de mesure ne permet pas de déterminer facilement la relation entre les grandeurs mesurées. C'est lorsqu'on reporte les valeurs dans un graphique que cette relation devient évidente. Il existe de nombreux types de graphiques ou de diagrammes. Dans cette annexe, seul le graphique cartésien sera abordé.

Un graphique est dit cartésien lorsque ses axes se croisent au point d'origine des coordonnées. Il est d'usage, en science, d'utiliser des axes qui sont perpendiculaires entre eux. Les données figurant dans un tableau sont reportées dans le graphique en les repérant par rapport à deux axes : l'axe des abscisses (axe horizontal), qui porte généralement la variable indépendante, et l'axe des ordonnées (axe vertical), qui porte la variable dépendante.

Le graphique à ligne brisée

Le graphique à ligne brisée est employé pour illustrer des données continues. Il permet de représenter graphiquement la relation entre la variable indépendante et la variable dépendante. Pour réaliser un graphique à ligne brisée, il faut commencer par tracer les axes. Ils doivent être assez longs pour qu'on puisse indiquer clairement toutes les valeurs des variables. Chaque valeur est représentée par un point. Un court segment de droite relie chaque point à un autre, ce qui forme une ligne brisée (*voir la figure 6 construite à partir du tableau 1 de la page précédente*).

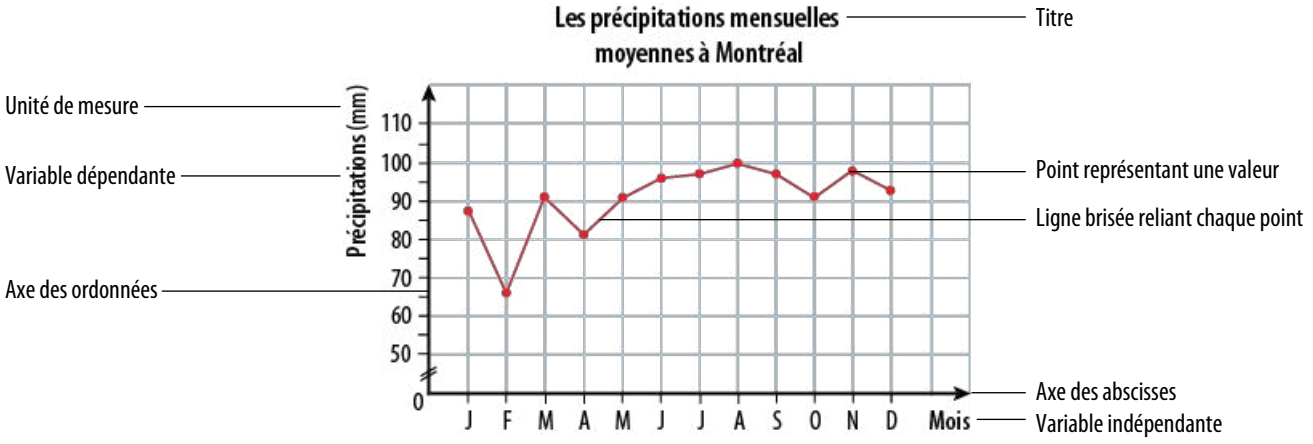


FIGURE 6 Un exemple de graphique à ligne brisée.

La courbe la mieux ajustée

Dans un graphique, selon le contexte, on peut choisir de faire une ligne brisée ou une courbe la mieux ajustée. Si la variation de la variable dépendante est discontinue, comme dans l'exemple précédent, on trace une ligne brisée. Par contre, si la variation de la variable dépendante est continue, on trace une courbe la mieux ajustée (*voir la figure 7, à la page suivante*). Cette courbe est une ligne qui peut être droite ou courbée.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

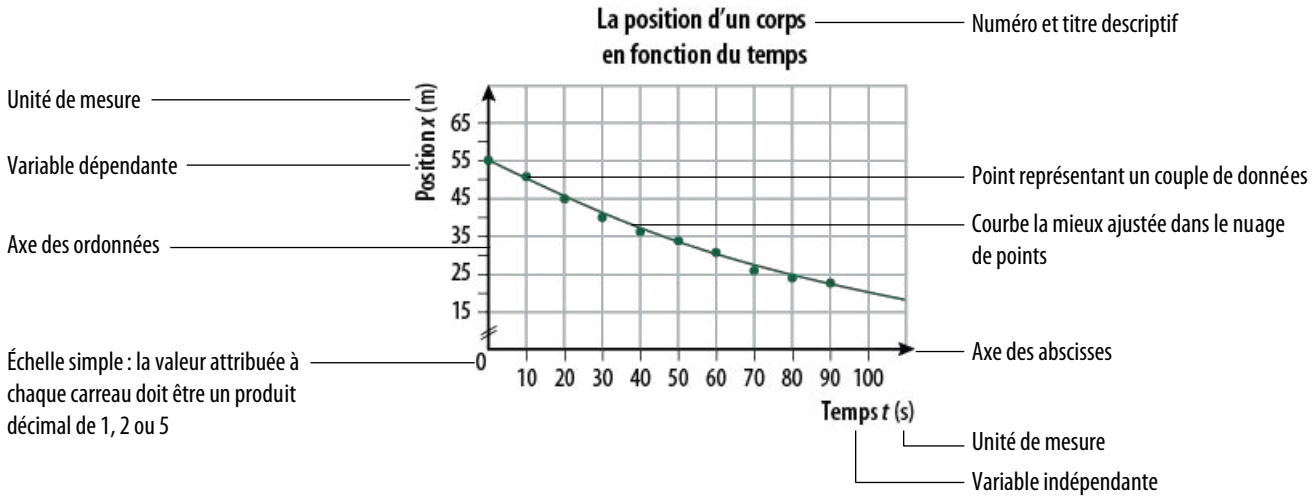


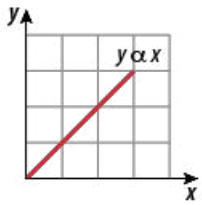
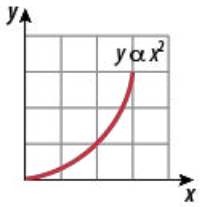
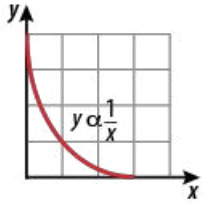
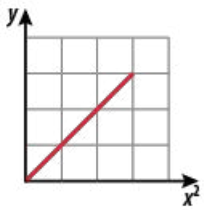
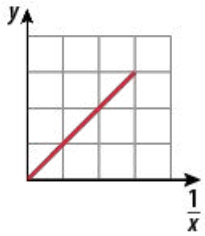
FIGURE 7 Un exemple de courbe la mieux ajustée.

Les variations de quelques fonctions mathématiques

Les relations mathématiques qui relient les grandeurs physiques entre elles peuvent être représentées par différentes fonctions mathématiques (*voir le tableau 3*). La représentation graphique de ces fonctions dépend de la manière dont les variables sont choisies. Par exemple, la fonction quadratique $y = ax^2$ a la forme d'une parabole dans un graphique cartésien lorsqu'on reporte les valeurs de y sur l'axe des ordonnées et celles de x sur l'axe des abscisses. Cependant, si on reporte les valeurs de x^2 (au lieu de x) sur l'axe des abscisses, cette même fonction sera représentée par une droite. On appelle cette procédure un changement de variable.

Voici la représentation graphique de quelques fonctions typiques avec et sans changement de variable.

TABLEAU 3 Les variations de quelques fonctions

Fonction	 a) La fonction $y = ax$ est une droite qui passe par l'origine. La pente de la droite est égale à a.	 b) Les variations de la fonction $y = ax^2$	 c) Les variations de la fonction $y = a \times \frac{1}{x}$
Comment obtenir une droite		 Pour obtenir une droite, il faut tracer y en fonction de x^2. La pente de la droite est égale à a.	 Pour obtenir une droite, il faut tracer y en fonction de $\frac{1}{x}$. La pente de la droite est égale à a.

5.3 La régression linéaire sur un nuage de points

Certaines expérimentations peuvent mener à l'obtention d'un nuage de points qui prend la forme d'un nuage allongé, plus ou moins rectiligne (*voir la figure 8*). Lorsqu'on souhaite extraire des paramètres d'une loi linéaire de la forme $y = mx + b$, on peut tracer une ligne qui passe par le maximum de points. Si les points ne sont pas parfaitement alignés (ce qui est rarement le cas), la tâche peut être hasardeuse et le résultat, loin d'être précis.

Certains chiffriers électroniques (aussi appelés tableurs) utilisent des méthodes mathématiques sophistiquées qui permettent de calculer la droite qui passe le plus près de tous les points du graphique (*voir la figure 9*). Cette régression linéaire a généralement pour but de déterminer les coefficients a et b de la fonction $y = mx + b$.

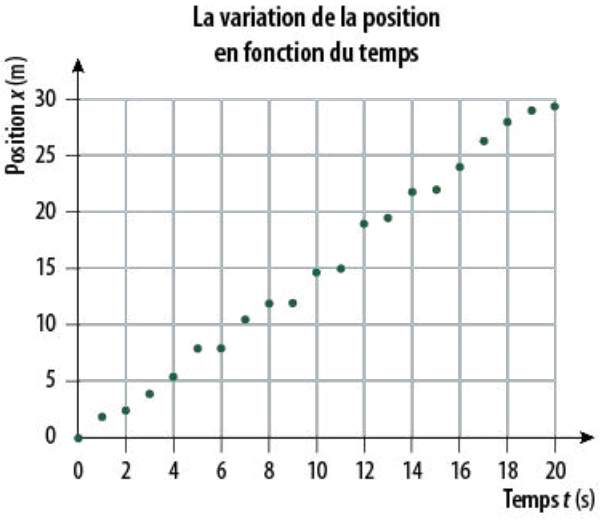


FIGURE 8 Un nuage de points représente la variation de la position d'un corps en fonction du temps.

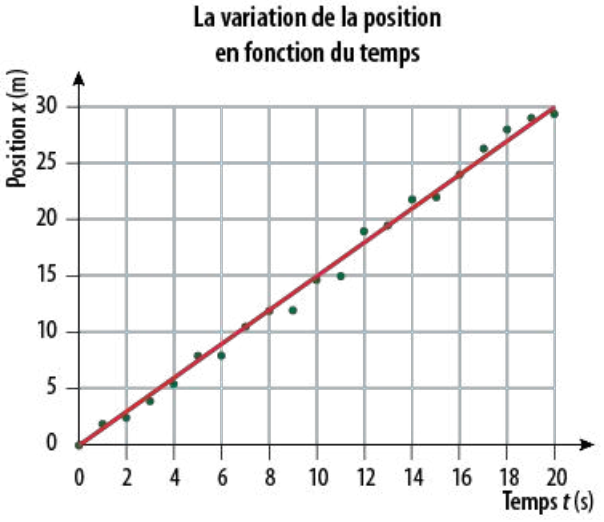


FIGURE 9 La ligne droite représente la régression linéaire sur le nuage de points.

Dans l'exemple de la figure 9, la droite représente la relation linéaire entre le temps (t) et la position (x) d'un corps. Comme la droite passe par l'origine, on peut conclure que $b = 0$. La détermination graphique de la pente de la droite (*voir la section 5.4, à la page suivante*) donne $m = 1{,}5$ m/s, qui n'est autre que la vitesse du corps. La linéarité de la relation entre le temps et la position illustre un mouvement uniforme caractérisé par l'équation typique :

$$x = v \times t$$

où x = position (m)
v = vitesse du corps = 1,5 m/s
t = temps (s)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

5.4 La détermination graphique de la pente d'une droite

Le graphique de la figure 10 représente une quantité y (mesurée en unités arbitraires q) en fonction de x (en unités p). L'équation de la droite est :

$$y = mx + b$$

où m = pente

b = ordonnée à l'origine

La pente de la droite est :

$$m = \text{pente} = \frac{\text{déplacement vertical}}{\text{déplacement horizontal}} = \frac{(y^2 - y^1)}{(x^2 - x^1)} = \frac{20\,q - 6\,q}{3{,}5\,p - 0{,}5\,p} = \frac{14\,q}{3{,}0\,p} = 4{,}7\,q/p$$

L'ordonnée à l'origine est 3 q. L'équation de la droite est :

$$y = \left(4{,}7\,\frac{q}{p}\right)x + 3\,q$$

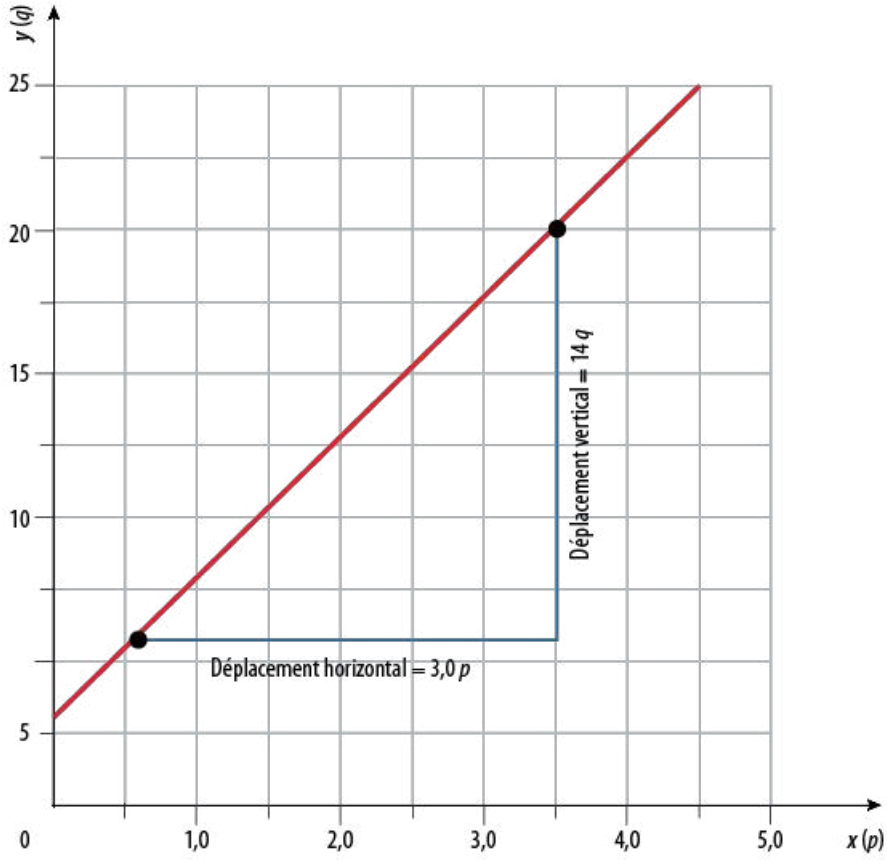


FIGURE 10 La détermination graphique de la pente d'une droite.

ANNEXE 6

TECHNIQUE DE MANIPULATION EN MÉCANIQUE

Créer un équilibre sur une table de force

1 À l'aide d'un niveau, vérifier que la table de force est bien horizontale. Ajuster au besoin.

2 Sur le bord de la table de force, fixer une poulie à la position correspondant à l'orientation de chaque force connue (*voir la figure 11*).

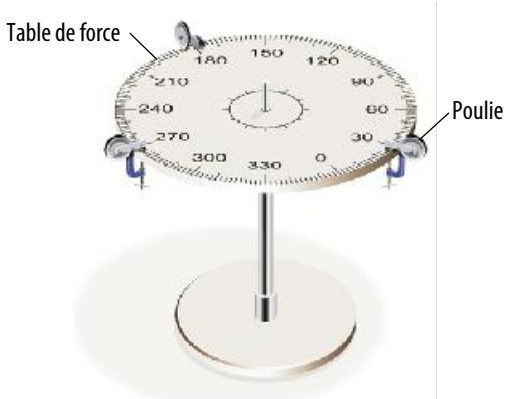


FIGURE 11 Si l'on étudie par exemple un système comportant trois forces connues orientées à 30,0°, 180,0° et 270,0° et une force équilibrante inconnue, on fixe d'abord trois poulies aux positions correspondant aux orientations des forces connues.

3 Nouer à l'anneau un nombre de cordes correspondant au nombre de forces connues plus un, et placer l'anneau autour de la tige centrale de la table de force. Insérer une corde dans chacune des poulies.

4 Suspendre les masses nécessaires sur chacun des supports pour que le poids de la masse totale suspendue à chaque corde corresponde à la force voulue (*voir la figure 12*).

Attention : Il faut tenir compte de la masse des supports eux-mêmes.

5 Avec la main, exercer une force en tirant sur la corde libre. Modifier l'orientation et la grandeur de la force jusqu'à ce que l'anneau soit centré autour de la tige (*voir la figure 13*). Noter l'orientation de la force nécessaire : elle correspond à l'orientation de la force équilibrante.

6 Fixer une poulie sur le bord de la table de force vis-à-vis de la graduation correspondant à l'orientation notée à l'étape précédente. Faire passer la corde restante dans cette poulie et y attacher un support de masse.

7 Ajouter des masses sur le dernier support de masse jusqu'à ce que l'anneau soit bien centré autour de la tige (*voir la figure 14*). Noter la masse nécessaire, sans oublier de tenir compte de la masse du support lui-même. Le poids total de la masse suspendue correspond à la grandeur de la force équilibrante.

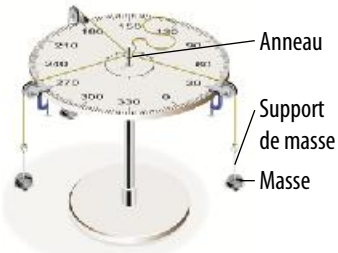


FIGURE 12 Quatre cordes ont été nouées à l'anneau et les masses appropriées ont été accrochées aux trois cordes qui correspondent à des forces connues.

FIGURE 13 La force équilibrante est de 120° puisque l'anneau est bien centré.

FIGURE 14 Lorsque la masse est suspendue et fait en sorte que l'anneau est bien centré, la grandeur de la force équilibrante peut être calculée.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

ANNEXE 7

LES LAURÉATS DU PRIX NOBEL DE PHYSIQUE

🍁 La feuille d'érable indique les lauréats canadiens.

2014 Isamu Akasaki (1929-), Hiroshi Amano (1960-), Shuji Nakamura (1954-)
2013 François Englert (1932-), Peter Higgs (1929-)
2012 Serge Haroche (1944-), David Wineland (1944-)
2011 Saul Perlmutter (1959-), Brian P. Schmidt (1967-), Adam Riess (1969-)
2010 Andre Geim (1958-), Konstantin Novoselov (1974-)
2009 Charles K. Kao (1933-2011), Willard S. Boyle 🍁 (1924-2011), George E. Smith (1930-)
2008 Yoichiro Nambu (1921-), Makoto Kobayashi (1944-), Toshihide Maskawa (1940-)
2007 Albert Fert (1938-), Peter Grünberg (1939-)
2006 John C. Mather (1946-), George F. Smoot (1945-)
2005 Roy J. Glauber (1925-), John L. Hall (1934-), Theodor W. Hänsch (1941-)
2004 David J. Gross (1941-), H. David Politzer (1949-), Frank Wilczek (1951-)
2003 Alexei A. Abrikosov (1928-), Vitaly L. Ginzburg (1916-2009), Anthony J. Leggett (1938-)
2002 Raymond Davis Jr (1914-2006), Masatoshi Koshiba (1926-), Riccardo Giacconi (1931-)
2001 Eric A. Cornell (1961-), Wolfgang Ketterle (1957-), Carl E. Wieman (1951-)
2000 Zhores I. Alferov (1930-), Herbert Krœmer (1928-), Jack S. Kilby (1923-2005)
1999 Gerardus't Hooft (1946-), Martinus J.G. Veltman (1931-)
1998 Robert B. Laughlin (1950-), Horst L. Störmer (1949-), Daniel C. Tsui (1939-)
1997 Steven Chu (1948-), Claude Cohen-Tannoudji (1933-), William D. Phillips (1948-)
1996 David M. Lee (1931-), Douglas D. Osheroff (1945-), Robert C. Richardson (1937-2013)
1995 Martin L. Perl (1927-2014), Frederick Reines (1918-1998)
1994 Bertram N. Brockhouse 🍁 (1918-2003), Clifford G. Shull (1915-2001)
1993 Russell A. Hulse (1950-), Joseph H. Taylor Jr. (1941-)
1992 Georges Charpak (1924-2010)
1991 Pierre-Gilles de Gennes (1932-2007)
1990 Jerome I. Friedman (1930-), Henry W. Kendall (1926-1999), Richard E. Taylor 🍁 (1929-)
1989 Norman F. Ramsey (1915-2011), Hans G. Dehmelt (1922-), Wolfgang Paul (1913-1993)
1988 Leon M. Lederman (1922-), Melvin Schwartz (1932-2006), Jack Steinberger (1921-)
1987 J. Georg Bednorz (1950-), K. Alexander Müller (1927-)
1986 Ernst Ruska (1906-1988), Gerd Binnig (1947-), Heinrich Rohrer (1933-2013)
1985 Klaus von Klitzing (1943-)
1984 Carlo Rubbia (1934-), Simon van der Meer (1925-2011)
1983 Subramanyan Chandrasekhar (1910-1995), William Alfred Fowler (1911-1995)
1982 Kenneth G. Wilson (1936-2013)
1981 Nicolaas Bloembergen (1920-), Arthur Leonard Schawlow (1921-1999), Kai M. Siegbahn (1918-2007)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

1980 James Watson Cronin (1931-), Val Logsdon Fitch (1923-2015)

1979 Sheldon Lee Glashow (1932-), Abdus Salam (1926-1996), Steven Weinberg (1933-)

1978 Pyotr Leonidovich Kapitsa (1894-1984), Arno Allan Penzias (1933-), Robert Woodrow Wilson (1936-)

1977 Philip Warren Anderson (1923-), Sir Nevill Francis Mott (1905-1996), John Hasbrouck van Vleck (1899-1980)

1976 Burton Richter (1931-), Samuel Chao Chung Ting (1936-)

1975 Aage Niels Bohr (1922-2009), Ben Roy Mottelson (1926-), Leo James Rainwater (1917-1986)

1974 Sir Martin Ryle (1918-1984), Antony Hewish (1924-)

1973 Leo Esaki (1925-), Ivar Giaever (1929-), Brian David Josephson (1940-)

1972 John Bardeen (1908-1991), Leon Neil Cooper (1930-), John Robert Schrieffer (1931-)

1971 Dennis Gabor (1900-1979)

1970 Hannes Olof Gösta Alfvén (1908-1995), Louis Eugène Félix Néel (1904-2000)

1969 Murray Gell-Mann (1929-)

1968 Luis Walter Alvarez (1911-1988)

1967 Hans Albrecht Bethe (1906-2005)

1966 Alfred Kastler (1902-1984)

1965 Sin-Itiro Tomonaga (1906-1979), Julian Schwinger (1918-1994), Richard P. Feynman (1918-1988)

1964 Charles Hard Townes (1915-2015), Nicolay Gennadiyevich Basov (1922-2001), Aleksandr Mikhailovich Prokhorov (1916-2002)

1963 Eugene Paul Wigner (1902-1995), Maria Gœppert-Mayer (1906-1972), J. Hans D. Jensen (1907-1973)

1962 Lev Davidovich Landau (1908-1968)

1961 Robert Hofstadter (1915-1990), Rudolf Ludwig Mössbauer (1929-2011),

1960 Donald Arthur Glaser (1926-2013)

1959 Emilio Gino Segrè (1905-1989), Owen Chamberlain (1920-2006)

1958 Pavel Alekseyevich Cherenkow (1904-1990), Il'ja Mikhailovich Frank (1908-1990), Igor Yevgenyevich Tamm (1895-1971)

1957 Chen Ning Yang (1922-), Tsung-Dao Lee (1926-)

1956 William Bradford Shockley (1910-1989), John Bardeen (1908-1991), Walter Houser Brattain (1902-1987)

1955 Willis Eugene Lamb (1913-2008), Polykarp Kusch (1911-1993)

1954 Max Born (1882-1970), Walther Bothe (1891-1957)

1953 Frits (Frederik) Zernike (1888-1966)

1952 Felix Bloch (1905-1983), Edward Mills Purcell (1912-1997)

1951 Sir John Douglas Cockcroft (1897-1967), Ernest Thomas Sinton Walton (1903-1995)

1950 Cecil Frank Powell (1903-1969)

1949 Hideki Yukawa (1907-1981)

1948 Patrick Maynard Stuart Blackett (1897-1974)

1947 Sir Edward Victor Appleton (1892-1965)

1946 Percy Williams Bridgman (1882-1961)

1945 Wolfgang Pauli (1900-1958)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

1944 Isidor Isaac Rabi (1898-1988)
1943 Otto Stern (1888-1969)
1939 Ernest Orlando Lawrence (1901-1958)
1938 Enrico Fermi (1901-1954)
1937 Clinton Joseph Davisson (1881-1958), George Paget Thomson (1892-1975)
1936 Victor Franz Hess (1883-1964), Carl David Anderson (1905-1991)
1935 James Chadwick (1891-1974)
1933 Erwin Schrödinger (1887-1961), Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984)
1932 Werner Karl Heisenberg (1901-1976)
1930 Sir Chandrasekhara Venkata Raman (1888-1970)
1929 Prince Louis-Victor Pierre Raymond de Broglie (1892-1987)
1928 Owen Willans Richardson (1879-1959)
1927 Arthur Holly Compton (1892-1962), Charles Thomson Rees Wilson (1869-1959)
1926 Jean-Baptiste Perrin (1870-1942)
1925 James Franck (1882-1964), Gustav Ludwig Hertz (1887-1975)
1924 Karl Manne Georg Siegbahn (1886-1978)
1923 Robert Andrews Millikan (1868-1953)
1922 Niels Henrik David Bohr (1885-1962)
1921 Albert Einstein (1879-1955)
1920 Charles-Edouard Guillaume (1861-1938)
1919 Johannes Stark (1874-1957)
1918 Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947)
1917 Charles Glover Barkla (1877-1944)
1915 Sir William Henry Bragg (1862-1942), William Lawrence Bragg (1890-1971)
1914 Max von Laue (1879-1960)
1913 Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926)
1912 Nils Gustaf Dalén (1869-1937)
1911 Wilhelm Wien (1864-1928)
1910 Johannes Diderik van der Waals (1837-1923)
1909 Guglielmo Marconi (1874-1937), Carl Ferdinand Braun (1850-1918)
1908 Gabriel Lippmann (1845-1921)
1907 Albert Abraham Michelson (1852-1931)
1906 Sir Joseph John Thomson (1856-1940)
1905 Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947)
1904 Lord (John William Strutt) Rayleigh (1842-1919)
1903 Antoine-Henri Becquerel (1852-1908), Pierre Curie (1859-1906), Marie Curie (1867-1934)
1902 Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), Pieter Zeeman (1865-1943)
1901 Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923)

Aucun prix n'a été décerné en 1916, 1931, 1934 et de 1940 à 1942.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

RÉPONSES AUX EXERCICES

(Ne contient que les réponses aux exercices qui comportent des calculs.)

Notions de base

PAGE 5

1. 0,000 000 035 m ou $3,5 \times 10^{-8}$ m

2. 15,24 m ; 30,48 m

3. 4,5 fs

PAGE 21

3. b) 4,84 kN à 156,2°

4. 974 m à 330,8°

PAGE 22

5. 22,7 m à 68,5°

Module 1 La cinématique

Chapitre 1 Le mouvement rectiligne uniforme

PAGE 29

3. a) 0 m ; 2,8 km

b) -0,7 km ; 4,3 km

c) 49 km ; 49 km

PAGE 32

2. a) 0 m

b) 24 m

PAGE 35

1. 2,50 m/s

2. 36 km/h

3. b) 20 m/s

4. 90 km/h

PAGE 36

5. a) 3 m/s

b) -2 m/s

d) Nulle

PAGE 40

1. a) -25 m

b) -25 m

c) -15 m

d) 35 m

e) -15 m

PAGE 41

2. 2,5 cm/s ; 0 cm/s ; -4,0 cm/s ; 5,0 cm/s

PAGE 43

1. a) 36 m

b) 2,4 m/s

PAGE 44

3. b) -4 m

c) 14 m

d) -4 m

Chapitre 2 Le mouvement rectiligne uniformément accéléré

PAGE 47

2. 2,9 m/s^2

3. $-1,7 \times 10^2$ m/s^2

4. -8,0 m/s^2

PAGE 50

2. a) 3,0 m/s^2

b) 0 m

c) 975 m

d) -4,0 m/s^2

PAGE 53

3. a) 3,3 m/s

PAGE 55

1. c) 65 km/h

PAGE 56

2. c) 9,0 m/s

d) 5,0 m/s

PAGE 58

1. a) 50 m/s

PAGE 59

2. a) 60 m/s

b) 23 s

PAGE 62

1. a) $5,09 \times 10^3$ m/s

b) $1,24 \times 10^4$ km

PAGE 63

2. a) 2,3 s

b) 69 m/s

PAGE 66

1. 2,6 s

2. a) 34 m/s

b) 14 m/s

c) 59 m

PAGE 67

3. a) 11,5 m

b) 18,4 m plus bas

PAGE 69

1. a) 5,2 m/s^2

b) 5,1 m/s

PAGE 70

2. a) 1,4 m

b) 2,4 s

PAGE 72

1. a) 40 km/h

2. 2375 m

PAGE 73

3. 94,5 m/s

4. 19,9 m/s

PAGE 74

6. a) -2,00 m/s^2

b) 900 m

Chapitre 3 Le mouvement des projectiles

PAGE 80

1. a) 17,5 m

b) 19,8 m/s

c) 300,3°

PAGE 81

2. a) 48,8 m/s ; 48,8 m/s

b) 49,7 m/s

PAGE 84

2. a) 4,16 s

b) 12,0 m/s

3. 16,6 m < 17 m

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

PAGE 86

1. a) 18,0 m/s

b) 56,3°

PAGE 87

2. a) 28,6 m

b) 33,1 m

3. a) $4{,}02 \times 10^3$ m

b) 26,2 s

PAGE 89

2. 51,9 m/s

3. b) 5,42 m/s

4. a) 2,02 s

b) 303 m

PAGE 90

5. $v_{ix} = 22{,}1$ m/s ; $v_{iy} = 8{,}03$ m/s ; $v_i = 23{,}5$ m/s

Consolidation module 1

PAGE 91

1. a) 8 s

2. $^-11$ m/s^2

PAGE 92

4. b) $v_{ix} = 30{,}9$ m/s ; $v_{iy} = 16{,}4$ m/s

c) 31,6 m/s

Module 2 La dynamique

Chapitre 4 Les différents types de forces

PAGE 100

3. 784 N vers le bas

PAGE 101

4. 0,613 m/s^2

5. 139 N

6. a) 7,06 m/s^2

b) 494 N

PAGE 103

2. 882 N vers le haut

3. 568 N perpendiculaire au plan incliné et vers le haut

4. 15 N à 140° par rapport à l'horizontale vers la droite, mesuré dans le sens antihoraire

PAGE 107

7. b) 0,26

PAGE 109

1. 98 N

2. 6,1 kg

3. $1{,}32 \times 10^3$ N > $1{,}25 \times 10^3$ N

PAGE 112

1. 7056 N < $1{,}00 \times 10^4$ N

2. a) 3,49 N

b) 67,6 tours/min

PAGE 113

3. a) 22,9 N vers le bas

b) 32,7 N vers le haut

PAGE 115

2. a) $4{,}50 \times 10^{24}$ kg

PAGE 116

4. a) 626 N

b) $3{,}79 \times 10^3$ N ou $3{,}77 \times 10^3$ N

PAGE 117

5. 66,6 km/h

6. 14,0 kg

7. 326 N

PAGE 118

8. $9{,}97 \times 10^9$ m

9. 22,1 m/s

Chapitre 5 Les corps soumis à différentes forces

PAGE 124

1. a) 5,4 N à 346°

b) 148 N à 104°

PAGE 125

2. $8{,}1 \times 10^2$ N à 112°

PAGE 126

3. 8,4 N à 299°

PAGE 130

1. 411 N vers le haut du plan incliné

2. 57,4 N à 180°

PAGE 131

3. 0,19 N à 313°

4. $2{,}009 \times 10^4$ N à 358,1° (ou 1,9° au sud de l'est)

PAGE 133

2. 28,1 cN à 323,3°

3. a) 600 N < 800 N

b) 137 N < 200 N

PAGE 134

4. a) 256 N

b) $^-210$ N

PAGE 135

5. > 74,5 N vers le haut du plan incliné

Chapitre 6 Les lois de Newton

PAGE 144

1. a) 22,5 N

b) 2,25 m/s^2

c) 2,50 kg

d) 180 N

PAGE 145

2. $4{,}0 \times 10^3$ N

PAGE 146

3. $3{,}6 \times 10^4$ N

4. $8{,}8 \times 10^2$ N

5. 1,70 m/s^2

PAGE 147

6. a) 1,1 m/s^2

b) 5,0 m

c) 269 N

PAGE 149

2. a) 686 N vers le haut

b) 150 N vers la droite

c) 642 N vers le haut

PAGE 150

4. Parce qu'elle n'est que de $9{,}01 \times 10^{-23}$ N.

PAGE 152

3. a) 68,9 N

b) 5,03 m/s^2

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

PAGE 153

4. 19,1 kg

5. $7{,}59 \times 10^6$ N

PAGE 154

6. 4,14 s

7. 261 N

Consolidation module 2

PAGE 156

4. c) 373 N

5. a) 132 N

b) 4,40 m/s^2

Module 3 L'énergie et ses transformations

Chapitre 7 Le travail et la puissance mécanique

PAGE 162

1. a) 254 J

b) 258 J

2. a) 48,2 N

b) 20,0 m

c) Nul

PAGE 163

3. a) 147 J

b) 147 J

PAGE 166

1. a) 20,0 W

b) 12,0 kJ

c) 10,0 min

PAGE 167

2. 294 s (ou 4 min 54 s)

3. 735 W

PAGE 169

3. a) 268 N

b) $3{,}33 \times 10^3$ W

PAGE 170

4. 375 W

Chapitre 8 L'énergie mécanique

PAGE 177

4. 4,90 m/s

6. $1{,}18 \times 10^4$ J

PAGE 184

1. b) 7,45 m/s

c) 5,83 m au-dessus du sol

PAGE 185

2. 8,01 m/s

PAGE 189

1. $^-7{,}73 \times 10^5$ J

PAGE 190

2. b) 27,4 m

PAGE 193

2. a) 16 m/s

b) $2{,}24 \times 10^4$ J

PAGE 194

3. 28,0 m/s

Chapitre 9 L'énergie emmagasinée dans les ressorts

PAGE 198

1. 7,50 N

PAGE 199

3. b) 30 N/m

PAGE 203

1. a) 0,792 J

d) 3,92 m/s

PAGE 206

2. b) 3,85 m/s

PAGE 208

1. 1,40 N

2. 2,86 m/s

Consolidation module 3

PAGES 210-211

2. a) 110 km/h (30,6 m/s)

c) $^-1{,}07 \times 10^6$ W

PAGE 212

3. 460 N/m

Révision de fin d'année

PAGE 213

1. a) Nul

b) 1600 m

PAGE 214

2. a) $^-2{,}2$ m/s

b) 2,3 m/s

d) 30 s ; 5,2 m/s

PAGE 215

3. a) 8,33 s

b) Oui. 104 m > 100 m

4. 9,49 m/s

PAGE 216

5. a) $x = 10{,}4$ m ; $y = 4{,}1$ m ; $v_x = 10{,}4$ m/s ; $v_y = {}^-3{,}8$ m/s

b) 1,6 s

c) 12,7 m

PAGE 217

6. 0,16 ou 16 %

PAGE 218

16. a) $7{,}39 \times 10^4$ N

b) $^-7{,}70 \times 10^3$ N ou $7{,}70 \times 10^3$ N à 180°

PAGE 219

18. 552 m

PAGE 220

19. b) $5{,}08 \times 10^3$ N

c) $6{,}36 \times 10^3$ N

PAGE 221

20. $1{,}2 \times 10^6$ W

PAGE 222

22. 30,0 m/s

PAGE 223

23. $3{,}4 \times 10^4$ N/m

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

INDEX

Un numéro de page en **gras** indique que le terme est défini à cette page.

A

Accélération (a), **46**, 71

Accélération gravitationnelle ($\vec{g}$), **97**, 114
  et poids, 97-98

Aristote, 138

C

Chiffres significatifs
  calculs complexes, 232
  comment arrondir un nombre, 233
  règles d'utilisation des —,
    dans les calculs, 231-232
    dans les mesures, 231

Chute libre, **64**, 71

Coefficient(s) de frottement
  cinétique (μ_c), 105
  de différents matériaux, 105
  statique (μ_s), 105

Conservation de l'énergie mécanique, 178, 191
  dans un système isolé, 180, 191
  dans les systèmes non isolés, 186-187, 191

Constantes physiques, 238
  accélération gravitationnelle ($\vec{g}$), 238
  constante de gravitation (G), 238
  vitesse de la lumière (c), 238

D

Déplacement, **26**-27, 42

Descartes, René, 138

Déterminer la vitesse instantanée à l'aide d'un graphique
  méthode de la pente de la tangente à la courbe, 54
  méthode de la pente d'une droite sécante, 54

Deuxième loi de Newton, 141-142, 151
  expression mathématique de la, 142, 151

Diagramme de corps libre, **120**, 132

Différence entre grandeur et unité de mesure, 1-2

Distance parcourue, **27**, 42

Distinction entre vitesse moyenne et vitesse instantanée, 53

E

Énergie
  cinétique (E_c), **172**-173, 191
  dans les systèmes non isolés, 186
  mécanique (E_m), **172**, 191
    conservation de, 178-183
  potentielle élastique (E_{pe}), **200**-202, 207
  potentielle gravitationnelle (E_{pg}), **174**-175, 191
  thermique, 187

Équations
  du mouvement des projectiles, 78-80, 88
  du MRUA, 60, 71

Équilibre, **127**, 132
  dynamique, 128
  statique, 127

F

Force(s), **95**, 114
  centripète ($\vec{F}_c$), **110**-111, 114
    équation de la, 111
  de frottement ($\vec{F}_f$), **104**-105, 114
  de rappel, 196-197, 207
  efficace (F_{eff})
    grandeur de la, 159
  équilibrante ($\vec{F}_{eq}$), **129**, 132
  extérieures, 186-187
  gravitationnelle ($\vec{F}_g$), **96**-98, 114
  normale ($\vec{F}_N$), **102**, 114
  résultante ($\vec{F}_R$), **122**, 132
  tension ($\vec{F}_T$), **108**, 114

Formalisme mathématique du MRUA, 59-60

Formules, 234-238
  accélération (a), 46, 234
  calcul des composantes d'un vecteur, 12, 234
  déplacement, 27, 234
  deuxième loi de Newton, 142, 234
  distance parcourue, 27
  énergie cinétique, 172, 234
  énergie mécanique, 172, 201, 234
  énergie potentielle élastique, 201, 235
  énergie potentielle gravitationnelle, 175, 236
  équation de la vitesse (v), 34, 235
  équations du mouvement d'un projectile, 78, 235
  équations du MRUA, 60, 235
  force centripète, 111, 236
  force efficace, 159
  force équilibrante, 129, 236
  force gravitationnelle, 98, 236
  force normale exercée par la surface d'un plan incliné sur un corps, 102
  force résultante, 122, 236
  forces de frottement, 105, 236
  loi de Hooke, 196, 236
  loi de la conservation de l'énergie dans un système isolé, 202
  loi de la conservation de l'énergie dans un système non isolé, 186, 202, 237
  loi de la gravitation universelle, 96, 237
  norme d'un vecteur, 13
  portée d'un projectile, 85, 237
  puissance mécanique, 165, 237
  travail (W), 160, 238
  troisième loi de Newton, 148, 238
  vitesse moyenne et vitesse instantanée (v), 53, 238

Frottement
  cinétique, 104
  coefficient de, 105
  force(s) de, **104**-105, 114
  nature du, 104
  statique, 104

G

Galilée, 68, 138

Grandeur(s), **1**
  physiques et unités, 239
  scalaire, 11
  vectorielle, 11

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Graphique
de l'accélération en fonction du temps, 57, 71
de la position en fonction du temps,
pour un MRU, 30-31, 42
pour un MRUA, 51-52, 71
de la vitesse en fonction du temps
aire de la surface sous la courbe dans un, 49
pour un MRU, 37-39, 42
pour un MRUA, 48-49, 71
de la vitesse instantanée, 54
Graphique cartésien, 241
courbe la mieux ajustée, 241-242
graphique à ligne brisée, 241
variations de quelques fonctions mathématiques, 242

I

Incertitude
absolue, 230
relative, 230
Indépendance des mouvements horizontal et vertical, 76
Inertie, **137**, 151
Interprétation des résultats de la mesure, 230-233
chiffres significatifs, 231
incertitude, 230

K

Kepler, Johannes, 97

L

Loi de Hooke, **196**, 207
constante de rappel, 197
formule mathématique de la, 196
Loi de la conservation de l'énergie, **180**, 191
dans un système isolé, 180, 202, 207
dans un système non isolé, 186, 202, 207
méthode générale de résolution de problème, 181
Loi de la gravitation universelle, 96
Loi de Newton
deuxième, 142, 151
première, **138**, 151
troisième, **148**, 151
Loi de Pythagore, 227
Loi des cosinus, 227
Loi des sinus, 227

M

Méthode
générale de résolution de problème, 181
à l'aide de la loi de la conservation de l'énergie, 181
de cinématique, 60
de dynamique, 142
pour tracer un diagramme de corps libre, 120
Mouvement(s)
circulaire uniforme (MCU), 110
des projectiles
lancés horizontalement, 82-83
lancés obliquement, 85-86
indépendance des — horizontal et vertical, 76
rectiligne uniforme (MRU), **30**, 42
rectiligne uniformément accéléré (MRUA), **48**, 71
selon les axes, 26, 76
MRU. *Voir* Mouvement rectiligne uniforme.
MRUA. *Voir* Mouvement rectiligne uniformément accéléré.

N

Newton, Isaac, 97, 138
Niveau de référence, 175
Notation scientifique, 228

P

Plan incliné, 68, 71
Portée, **85**, 88
maximale, 85
Position, **25**-26, 42
d'un corps, 25
finale, 26, 42
initiale, 26, 42
Première loi de Newton, 137-**138**, 151
et ses conséquences, 138
Présentation et analyse de résultats scientifiques, 240-244
détermination graphique de la pente d'une droite, 244
graphique cartésien, 241
régression linéaire sur un nuage de points, 243
tableau, 240
Projectile, **76**, 88
Puissance mécanique (*P*), **165**, 168

R

Relation
entre accélération et grandeur de la force résultante, 141
entre accélération et masse, 141
Résolution de problèmes, 225-226
calcul littéral, 225
fonctions trigonométriques, 227
identités trigonométriques, 227
loi de Pythagore, 227
loi des cosinus, 227
loi des sinus, 227
notation scientifique, 228-229
règles de calcul, 229
résolution des équations du second degré, 226
traitement des unités et calcul numérique, 225-226
Ressorts hélicoïdaux, comportement des, 196-197, 207

S

Scott, David, 64
Système
isolé, 178-179, 191
non isolé, 178-179, 191
Système(s) de référence, **6**-9
Système international d'unités (SI), 2-4

T

Technique de manipulation
créer un équilibre sur une table de force, 245
Tension ($\vec{F}_T$), **108**, 114
Trajectoire, **27**, 42
Travail (*W*), **159**-160, 168
d'une force, 159-161, 168

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

force et déplacement, 159-160
valeurs particulières du, 161
Troisième loi de Newton, **148**, 151
équation mathématique de la, 148, 151

U

Unité de mesure, **2**

V

Vecteur(s), 11-18
addition des, 15-16
méthode des composantes, 16
méthode graphique, 15-16
composantes d'un, 12-13
grandeurs scalaires, 11
grandeurs vectorielles, 11
soustraction des — et notion de vecteur opposé, 17-18
vitesse, 78, 88
Vitesse, **33**-34, 42
équation de la, 34
instantanée, **53**, 71
déterminer la — à l'aide d'un graphique, 54
moyenne, **53**, 71
Vitesse moyenne et vitesse instantanée
distinction entre, 53

W

Watt, James, 167

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

SOURCES

Légende h : haut b : bas c : centre g : gauche d : droite

Couverture

Günay Mutlu / Stockbyte / Getty Images

Notions de base

p. 5 : Photo reproduite avec l'accord du Bureau international des poids et mesures. Tous droits réservés. © BIPM • p. 6 : FOTOimage • p. 7h : technotr / Vetta / Getty Images • p. 7c : Martinmark / Dreamstime.com • p. 11h : rangizzz / Shutterstock.com • p. 11b : Vadym Andrushchenko / Shutterstock.com

Chapitre 1

p. 23 : Kolbz / iStockphoto • p. 24 : ericlefrancais / Shutterstock.com • p. 25 : Svinkin / Shutterstock.com et Archives de la Société de transport de Montréal • p. 26 : Svinkin / Shutterstock.com et Archives de la Société de transport de Montréal • p. 27c : Svinkin / Shutterstock.com et Archives de la Société de transport de Montréal • p. 27b : aarrows /Shutterstock.com • p. 28 : Svinkin / Shutterstock.com et Archives de la Société de transport de Montréal • p. 30 : Pefkos / Shutterstock.com • p. 39 : Lighthousebay / iStockphoto

Chapitre 2

p. 45 : Herbert Kratky / Shutterstock.com • p. 55 : Sir Isaac Newton (1642-1723) (oil on canvas) (detail of 159042), Kneller, Sir Godfrey (1646-1723) (after) / Académie des Sciences, Paris, France / Bridgeman Images • p. 57 : Dmitry Nikolaev / Shutterstock.com • p. 61 : Nerthuz / Shutterstock.com • p. 62g : KConstantine / Shutterstock.com • p. 62d : nikkytok / Shutterstock.com • p. 64 : © Alan Bean • p. 68 : Museo Galileo, Florence – Photo Franca

Chapitre 3

p. 75 : Ipatov / Shutterstock.com • p. 76 : Loren Winters, Visuals Unlimited, Inc.

Chapitre 4

p. 93 : Diego Barbieri / Shutterstock.com • p. 94 : Sorbis / Shutterstock.com • p. 97 : Wikimedia Commons • p. 99g : Gracieuseté de Scintrex Limited • p. 99dh : Sheila Terry / Science Photo Library • p. 99db : Janicke Morrissette, le Bureau officiel • p. 108 : sezer66 / Shutterstock.com

Chapitre 5

p. 119 : Concept Photo / Shutterstock.com • p. 127 : Jack_Art / iStockphoto • p. 128 : NASA / JPL-Caltech / SCIENCE PHOTO LIBRARY • p. 129 : Michael Utech / iStockphoto

Chapitre 6

p. 136 : fergregory / iStockphoto • p. 137g : Na Gen Imaging / Photolibrary / Getty Images • p. 138h : Marble head of Aristotle, copy of Greek bronze original by Lysippus / De Agostini Picture Library / G. Dagli Orti / Bridgeman Images • p. 138b : artpartner-images / Photographers choice / Getty Images • p. 139h : The Sinking of the Titanic, Coton, Graham (1926-2003) / Private Collection / © Look and Learn / Bridgeman Images • p. 139b : Devrim PINAR /Shutterstock.com • p. 140 : fStop Images – Caspar Benson via Getty Images

Chapitre 7

p. 157 : Chatchai Somwat / Shutterstock.com • p. 158 : Getty Images • p. 165g : Marcel Jancovic / Shutterstock.com • p. 165d : Nneirda / Shutterstock.com

Chapitre 8

p. 171 : Ryan Etter / Getty Images • p. 173 : USGS • p. 176h : Kletr / Shutterstock.com • p. 176c : Dabarti CGI / Shutterstock.com • p. 176b : Egorov Artem / Shutterstock.com • p. 179h : Nikolai Sorokin / Dreamstime.com • p. 179c : Vadim Sadovski / Shutterstock.com • p. 186 : Jim David / Shutterstock.com • p. 187 : pink_cotton_candy / iStockphoto • p. 188 : Waltraud Ingerl / Getty images • p. 192 : Eder / Shutterstock.com

Chapitre 9

p. 195 : WIN-Initiative / Getty images • p. 210 : © TVA. CIMT.ca

Révision de fin d'année

p. 221 : gaspr13 / iStockphoto

Annexes

p. 224 : agsandrew / iStockphoto • p. 230 : Janicke Morrissette, le Bureau officiel

Illustrations

Bertrand Lachance

Michel Rouleau

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

2e cycle du secondaire | 3e année

DELTA

PHYSIQUE
OPTIQUE

PHYSIQUE
MÉCANIQUE

- Documents pour les enseignants
- Documents pour les élèves
- Corrigé des documents pour les élèves
- Corrigé du cahier pour les élèves
- Indications pour les TTP
- Offre numérique

Guide

CHENELIÈRE ÉDUCATION

DELTA
Physique
2e cycle du secondaire • 3e année

Guide
Catherine Rhéaume

© 2016 TC Média Livres Inc.

Édition : Suzanne Champagne, Marie-Ève Robitaille
Coordination et révision linguistique : Colette Lens
Rédaction : Martin Roy
Correction d'épreuves : Renée Bédard, Dany Cloutier
Conception graphique : Pige communication
Infographie : Pige communication

Contenus interactifs
Édition : Annie Fortier
Coordination : Amélie Dumont, Véronique Gagnon
Rédaction : Michel Paré, Catherine Rhéaume
Révision : Denis Fallu, Colette Lens
Correction d'épreuves : Renée Bédard, Dany Cloutier
Recherche d'hyperliens : François Moreault

Remerciements

Pour leur collaboration à titre de consultants pédagogiques des contenus interactifs, l'Éditeur tient à remercier les enseignants suivants : Frédéric Jetzer (Collège militaire royal de Saint-Jean Défense nationale) et Christian Véronneau (C. S. de la Capitale).

Pour leur précieuse expertise, l'Éditeur tient également à remercier Martin Trudeau, enseignant, école Jacques-Rousseau, C. S. Marie-Victorin, et Michel Paré, enseignant, école secondaire des Pionniers, C. S. Chemin-du-Roy.

Sources iconographiques

Illustrations
Bertrand Lachance : p. O-54, O-55, O-56
Michel Rouleau : p. O-117, O-131, O-133, O-135, M-107, M-128, M-153, M-154, M-157, M-158, M-159, M-192, M-194, M-195, M-220, M-221, M-238, M-240
Shutterstock : toutes les autres illustrations

Note aux utilisateurs

Les hyperliens proposés dans ce guide-corrigé mènent à des sites Internet qui présentent du contenu de qualité pertinent sur le plan pédagogique.

Les hyperliens sont fonctionnels. Cependant, comme ils mènent à des sites externes variés, TC Média Livres Inc. n'est pas responsable des contenus qui y sont hébergés. Nous recommandons donc fortement aux utilisateurs de toujours vérifier le contenu du site consulté avant de le présenter aux élèves, puisque des changements ont pu y être effectués depuis la parution du guide-corrigé. Notez également que certains sites affichent des messages publicitaires.

CHENELIÈRE ÉDUCATION

5800, rue Saint-Denis, bureau 900
Montréal (Québec) H2S 3L5 Canada
Téléphone : 514 273-1066
Télécopieur : 514 276-0324 ou 1 800 814-0324
info@cheneliere.ca

TOUS DROITS RÉSERVÉS.
Toute reproduction du présent ouvrage, en totalité ou en partie, par tous les moyens présentement connus ou à être découverts, est interdite sans l'autorisation préalable de TC Média Livres Inc.
Les pages portant la mention « Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc. » peuvent être reproduites uniquement par l'enseignant dont les élèves disposent personnellement du cahier périssable faisant partie intégrante de l'ensemble didactique comprenant le présent ouvrage et **exclusivement** pour les élèves visés dans ce paragraphe.
Toute utilisation non expressément autorisée constitue une contrefaçon pouvant donner lieu à une poursuite en justice contre l'individu ou l'établissement qui effectue la reproduction non autorisée.

ISBN 978-2-7650-5058-2

Dépôt légal : 1er trimestre 2016
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada

Imprimé au Canada

Nous reconnaissons l'aide financière du gouvernement du Canada par l'entremise du Fonds du livre du Canada (FLC) pour nos activités d'édition.

Gouvernement du Québec – Programme de crédit d'impôt pour l'édition de livres – Gestion SODEC.

Tableau de planification

Cahier		Guide-corrigé imprimé et numérique					
Contenu	**Pages du cahier**	**Corrigé du cahier**	**Labos**	**Exercices supplémentaires**	**Évaluations**	**Activités interactives**	**Hyperliens**
OPTIQUE							
Notions de base							
S1 Les caractéristiques des ondes	2	p. O-3	—	—	—	—	
S2 Le spectre de la lumière	6	p. O-3	—	—	—	—	
S3 La propagation de la lumière	9	p. O-4	—	—	—	—	
L'optique géométrique							
Chapitre 1 La réflexion de la lumière							
S1. Les types de réflexion	15	p. O-5	—	p. O-12 à O-14	p. O-15 à O-17	1	
S2. La géométrie de la réflexion	17	p. O-5	—				
S3. Les lois de la réflexion	18	p. O-5 et O-6	Labo 1			2	
Synthèse	22	p. O-6	—	—	—	1 et 2[1]	
Exercices	22		—	—	—	—	
Chapitre 2 Les miroirs							
S1. La réflexion sur les miroirs sphériques	26	p. O-21	Labo 2	p. O-48 à O-53	p. O-54 à O-57	3	
S2. Les images obtenues par la réflexion de la lumière	32	p. O-21 à O-25	Labo 3, Labo 4, Labo 5			4	
Synthèse	52	p. O-25		—	—	3 et 4	
Exercices	53			—	—	—	
Chapitre 3 La réfraction de la lumière							
S1. Le phénomène de la réfraction	58						
S2. La géométrie de la réfraction	62						
S3. Les lois de la réfraction	65						
S4. La réflexion totale interne	68						
Synthèse	72						
Exercices	73						

1. Les activités interactives sont répétées dans la synthèse de chaque chapitre. Il est donc possible de les réaliser à la fin de la ou des sections qu'elles abordent ou encore en fin de chapitre, à titre de révision.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Cahier		Guide-corrigé imprimé et numérique					
Contenu	**Pages du cahier**	**Corrigé du cahier**	**Labos**	**Exercices supplémentaires**	**Évaluations**	**Activités interactives**	**Hyperliens**
Chapitre 4 Les lentilles							
S1. Les différents types de lentilles	78						
S2. La réfraction dans les lentilles	82						
S3. La vergence des lentilles (section facultative)	89						
S4. Les images obtenues par la réfraction de la lumière	97						
Synthèse	112						
Exercices	114						
Consolidation	117						
Révision de fin d'année	125						
Réponses aux exercices	142						
MÉCANIQUE							
Notions de base							
S1. Les grandeurs et les unités de mesure	1	p. M-3	—	—	—	—	
S2. Les systèmes de référence	6	p. M-3	—	—	—	—	
S3. Les vecteurs	11	p. M-3 et M-4	—	—	—	—	
Module 1 La cinématique							
Chapitre 1 Le mouvement rectiligne uniforme							
S1. La position, le déplacement et la distance parcourue	25	p. M-5		p. M-15 à M-18	p. M-19 à M-21	1	
S2. Le graphique de la position en fonction du temps	30	p. M-5 et M-6	Labo 1				
S3. La vitesse	33	p. M-6	—			2	
S4. Le graphique de la vitesse en fonction du temps	37	p. M-7 et M-8	—				
Synthèse	42	—	—	—	—	1 et 2	
Exercices	43	—	—	—	—	—	
Chapitre 2 Le mouvement rectiligne uniformément accéléré							
S1. La notion d'accélération	46	p. M-25	—	p. M-46 à M-50	p. M-51 à M-54	3	
S2. Le graphique de la vitesse en fonction du temps	48	p. M-25	—				
S3. Le graphique de la position en fonction du temps	51	p. M-26	—			4	
S4. La vitesse moyenne et la vitesse instantanée	53	p. M-26	—				

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Cahier		Guide-corrigé imprimé et numérique					
Contenu	**Pages du cahier**	**Corrigé du cahier**	**Labos**	**Exercices supplémentaires**	**Évaluations**	**Activités interactives**	**Hyperliens**
S5. Le graphique de l'accélération en fonction du temps	57	p. M-26 et M-27	—	p. M-46 à M-50	p. M-51 à M-54	5	
S6. Le formalisme mathématique du mouvement rectiligne uniformément accéléré	59	p. M-27 et M-28	—				
S7. La chute libre	64	p. M-28 et M-29	Labo 3			6	
S8. Le plan incliné	68	p. M-29	Labo 2			7	
Synthèse	71	p. M-30	—	—	—	3 à 7	
Exercices	72	—	—	—	—	—	
Chapitre 3 Le mouvement des projectiles							
S1. L'indépendance des mouvements horizontal et vertical	76	p. M-57	—	p. M-68 à M-71	p. M-72 à M-75	8	
S2. Les équations du mouvement des projectiles	78	p. M-57 et M-58	—				
S3. Le mouvement des projectiles lancés horizontalement	82	p. M-58	Labo 4				
S4. Le mouvement des projectiles lancés obliquement	85	p. M-59	—			9	
Synthèse	88	p. M-59 et M-60	—	—	—	8 et 9	
Exercices	88	—	—	—	—	—	
Consolidation du module 1	91	p. M-61	—	—	p. M-76 à M-79	10	
Module 2 La dynamique							
Chapitre 4 Les différents types de forces							
S1. La notion de force	95						
S2. La force gravitationnelle	96						
S3. La force normale	102						
S4. La force de frottement	104						
S5. La tension	108						
S6. La force centripète	110						
Synthèse	114						
Exercices	115						
Chapitre 5 Les corps soumis à différentes forces							
S1. Le diagramme de corps libre	120						
S2. La résultante de plusieurs forces	122						
S3. La notion d'équilibre	127						

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Cahier		Guide-corrigé imprimé et numérique					
Contenu	**Pages du cahier**	**Corrigé du cahier**	**Labos**	**Exercices supplémentaires**	**Évaluations**	**Activités interactives**	**Hyperliens**
Synthèse	132						
Exercices	132						
Chapitre 6 Les lois de Newton							
S1. La première loi de Newton	137						
S2. La deuxième loi de Newton	141						
S3. La troisième loi de Newton	148						
Synthèse	151						
Exercices	151						
Consolidation du module 2	155						
Module 3 L'énergie et ses transformations							
Chapitre 7 Le travail et la puissance mécanique							
S1. Le travail d'une force	159						
S2. La puissance mécanique	165						
Synthèse	168						
Exercices	168						
Chapitre 8 L'énergie mécanique							
S1. L'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle	172						
S2. La conservation de l'énergie mécanique	178						
Synthèse	191						
Exercices	192						
Chapitre 9 L'énergie emmagasinée dans les ressorts							
S1. Le comportement des ressorts hélicoïdaux	196						
S2. L'énergie potentielle élastique	200						
Synthèse	207						
Exercices	208						
Consolidation du module 3	210						
Révision de fin d'année	213						
Annexes	224						
Réponses aux exercices	250						

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Sommaire

Mécanique – Module 1 La cinématique

Chapitre 1 Le mouvement rectiligne uniforme

	Fiche
Corrigé du cahier (exercices des notions de base)	M-3
Corrigé du cahier (exercices du chapitre 1)	M-5
Labo 1	M-9
Exercices	M-15
Évaluation	M-19

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Notions de base

Cahier, p. 5

Section 1
Les grandeurs et les unités de mesure

Cahier, p. 5

1. *Épaisseur*

1 nm = 0,000 000 001 m

35 nm = 35 × 0,000 000 001 m = 0,000 000 035 m

ou

35 nm = 35×10^{-9} m = $3{,}5 \times 10^{-8}$ m

2. *Façade*

1 pi = 0,3048 m

50 pi = 50 × 0,3048 m = 15,24 m

Profondeur

1 pi = 0,3048 m

100 pi = 100 × 0,3048 m = 30,48 m

3. 4,5 femtosecondes ou 4,5 fs

Section 2
Les systèmes de référence

Cahier, p. 9 et 10

1. *a)* i) A

ii) F

b) i) B

ii) A

c) Vrai. Le berger perçoit que le bateau avance, mais les occupants du bateau perçoivent que c'est le berger qui recule.

2. *a)*

b)

c) Ce serait plus simple de le faire dans le système de référence de l'amie puisque, dans ce système de référence, le parachutiste ne se déplace que verticalement (son mouvement suit une seule dimension).

Section 3
Les vecteurs

Cahier, p. 19 à 22

1. *a)* Scalaire

b) Scalaire

c) Vecteur

d) Vecteur

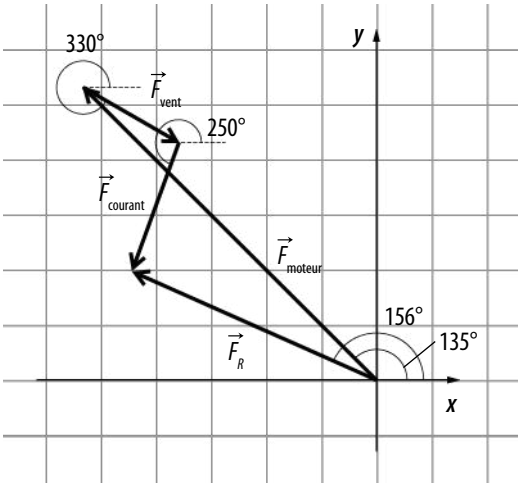
e) Scalaire

f) Vecteur

g) Scalaire

2. Non, ce n'est pas exact. La norme du vecteur $\vec{V}_R$ dépend des normes de $\vec{V}_1$ et $\vec{V}_2$, mais aussi de leurs orientations. Pour trouver les caractéristiques du vecteur $\vec{V}_2$, il faut additionner les vecteurs $\vec{V}_1$ et $\vec{V}_2$ en utilisant par exemple la méthode graphique ou la méthode des composantes.

3. *a)*



Réponse : La force résultante est $\vec{F}_R$ = 4,8 kN à 156° (valeur approximative).

b) **Données**

$\vec{F}_{moteur} = 7{,}50\,kN$ à 135°

$\vec{F}_{vent} = 2{,}00\,kN$ à 330°

$\vec{F}_{courant} = 2{,}50\,kN$ à 250°

Solution

1. Calcul des composantes de $\vec{F}_{moteur}$:

$F_{moteur(x)} = F_{moteur}\cos\theta = 7{,}50\,kN \times \cos 135° = {}^{-}5{,}30\,kN$

$F_{moteur(y)} = F_{moteur}\sin\theta = 7{,}50\,kN \times \sin 135° = 5{,}30\,kN$

2. Calcul des composantes de $\vec{F}_{vent}$:

$F_{vent(x)} = F_{vent}\cos\theta = 2{,}00\,kN \times \cos 330° = 1{,}73\,kN$

$F_{vent(y)} = F_{vent}\sin\theta = 2{,}00\,kN \times \sin 330° = {}^{-}1{,}00\,kN$

3. Calcul des composantes de $\vec{F}_{courant}$:

$F_{courant(x)} = F_{courant}\cos\theta = 2{,}50\,kN \times \cos 250° = {}^{-}0{,}855\,kN$

$F_{courant(y)} = F_{courant}\sin\theta = 2{,}50\,kN \times \sin 250° = {}^{-}2{,}35\,kN$

4. Addition des composantes :

$F_{Rx} = F_{moteur(x)} + F_{vent(x)} + F_{courant(x)}$

$= {}^{-}5{,}30\,kN + 1{,}73\,kN + {}^{-}0{,}855\,kN = {}^{-}4{,}43\,kN$

$F_{Ry} = F_{moteur(y)} + F_{vent(y)} + F_{courant(y)}$

$= 5{,}30\,kN + {}^{-}1{,}00\,kN + {}^{-}2{,}35\,kN = 1{,}95\,kN$

5. Calcul de la norme de $\vec{F}_R$:

$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{({}^{-}4{,}43\,kN)^2 + (1{,}95\,kN)^2} = 4{,}84\,kN$

6. Calcul de l'orientation de $\vec{F}_R$:

$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{F_{Ry}}{F_{Rx}}\right|\right) = \tan^{-1}\left(\left|\frac{1{,}95\,kN}{{}^{-}4{,}43\,kN}\right|\right) = 23{,}8°$

Puisque la composante *x* est négative et que la composante *y* est positive :

$\theta = 180° - \alpha = 180° - 23{,}8° = 156{,}2°$

Réponse : La force résultante est $\vec{F}_R = 4{,}84$ kN à 156,2°.

4. Données

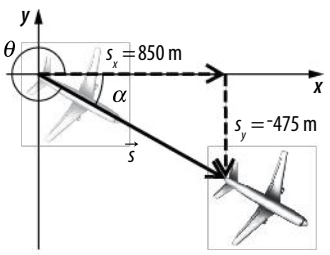
$s_x = 850\,m$

$s_y = {}^{-}475\,m$

$\theta = ?$

$s = ?$

Solution



1. Calcul de la norme (*s*) du vecteur :

$s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$

$= \sqrt{(850\,m)^2 + ({}^{-}475\,m)^2}$

$= 974\,m$

2. Calcul de l'orientation (θ) du vecteur :

$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{s_y}{s_x}\right|\right)$

$= \tan^{-1}\left(\left|\frac{{}^{-}475\,m}{850\,m}\right|\right)$

$= 29{,}2°$

Comme la composante *x* (s_x) est positive et que la composante *y* (s_y) est négative (θ est compris entre 270° et 360°) :

$\theta = 360° - \alpha$

$= 360° - 29{,}2°$

$= 330{,}8°$

(*Note :* On pourrait aussi écrire $\theta = {}^{-}29{,}2°$.)

Réponse : Le vecteur $\vec{s}$ a une norme de 974 m et une orientation de 330,8°.

5. Données

$\vec{s}_1 = 15{,}0\,m$ à 113,0°

$\vec{s}_R = 35{,}0\,m$ à 86,0°

$\vec{s}_2 = ?$

Solution

1. Calcul des composantes de $\vec{s}_R$:

$s_{Rx} = s_R\cos\theta = 35{,}0\,m \times \cos 86{,}0° = 2{,}44\,m$

$s_{Ry} = s_R\sin\theta = 35{,}0\,m \times \sin 86{,}0° = 34{,}9\,m$

2. Calcul des composantes de $\vec{s}_1$:

$s_{1x} = s_1\cos\theta = 15{,}0\,m \times \cos 113{,}0° = {}^{-}5{,}86\,m$

$s_{1y} = s_1\sin\theta = 15{,}0\,m \times \sin 113{,}0° = 13{,}8\,m$

3. Soustraction de $\vec{s}_1$ à $\vec{s}_R$:

$s_{2x} = s_{Rx} - s_{1x} = 2{,}44\,m - ({}^{-}5{,}86\,m) = 8{,}30\,m$

$s_{2y} = s_{Ry} - s_{1y} = 34{,}9\,m - 13{,}8\,m = 21{,}1\,m$

4. Calcul de la norme de $\vec{s}_R$:

$s_R = \sqrt{s_{Rx}^2 + s_{Ry}^2} = \sqrt{(8{,}30\,m)^2 + (21{,}1\,m)^2} = 22{,}7\,m$

5. Calcul de l'orientation de $\vec{s}_R$:

$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{s_{Ry}}{s_{Rx}}\right|\right) = \tan^{-1}\left(\left|\frac{21{,}1\,m}{8{,}30\,m}\right|\right) = 68{,}5°$

Puisque les deux composantes sont positives :

$\theta = \alpha = 68{,}5°$

Réponse : Le vecteur $\vec{s}_2$ a une norme de 22,7 m et une orientation de 68,5°.

 Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 1 Le mouvement rectiligne uniforme

Cahier, p. 28

Section 1 La position, le déplacement et la distance parcourue

Cahier, p. 28 et 29

1. *a)* Faux. Le déplacement est de 0 m, car la position finale et la position initiale du mouvement sont les mêmes ($\Delta x = x_f - x_i = 0\text{ m} - 0\text{ m} = 0\text{ m}$).

b) Vrai. Le cas cité en *a)* montre que la distance parcourue (750 m + 750 m = 1500 m = 1,500 km) peut être plus grande que le déplacement (0 m).

c) Faux. La trajectoire correspond à l'ensemble des points occupés par un corps tout au long de son mouvement. La longueur de la trajectoire équivaut à la distance parcourue sans tenir compte du sens du mouvement, tandis que le déplacement correspond à la variation de position d'un corps ($\Delta x = x_f - x_i$).

2. *a)* Trajectoire
b) Distance parcourue
c) Déplacement
d) Distance parcourue
e) Position

3. *a)* **Déplacement**

Si on situe l'origine à la position initiale (x_i), on a :

$x_i = 0\text{ m}$

$x_f = 0\text{ m}$

$\Delta x = x_f - x_i = 0\text{ m} - 0\text{ m} = 0\text{ m}$

Distance parcourue

Si on situe l'origine à la position initiale (x_i) et que le sens positif est orienté vers le supermarché, on a :

$L = |\Delta x_1| + |\Delta x_2|$
$= |1{,}2\text{ km} + 0{,}200\text{ km}| + |^-1{,}4\text{ km}|$
$= 1{,}4\text{ km} + 1{,}4\text{ km} = 2{,}8\text{ km}$

b) **Déplacement**

Si on situe l'origine à la position initiale (x_i) et que le sens positif est orienté vers le nord, on a :

$x_i = 0\text{ km}$

$x_f = {}^-0{,}7\text{ km}$

$\Delta x = x_f - x_i = {}^-0{,}7\text{ km} - 0\text{ km}$
$= {}^-0{,}7\text{ km}$

Distance parcourue

Si on situe l'origine à la position initiale (x_i) et que le sens positif est orienté vers le nord, on a :

$L = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| + |\Delta x_3|$
$= |1{,}8\text{ km}| + |^-1{,}8\text{ km}| + |^-0{,}7\text{ km}|$
$= 1{,}8\text{ km} + 1{,}8\text{ km} + 0{,}7\text{ km} = 4{,}3\text{ km}$

c) **Déplacement**

Si on situe l'origine à la position initiale (x_i) et que le sens positif est orienté vers la station Z, on a :

$x_i = 0\text{ km}$

$x_f = 15\text{ km} + 34\text{ km} = 49\text{ km}$

$\Delta x = x_f - x_i = 49\text{ km} - 0\text{ km} = 49\text{ km}$

Distance parcourue

Si on situe l'origine à la position initiale (x_i) et que le sens positif est orienté vers la station Z, on a :

$L = |\Delta x_1| + |\Delta x_2|$
$= |15\text{ km}| + |34\text{ km}| = 15\text{ km} + 34\text{ km} = 49\text{ km}$

Section 2 Le graphique de la position en fonction du temps

Cahier, p. 31 à 33

1. B

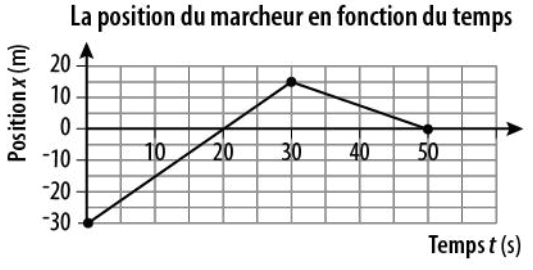
2. *a)* $x_i = 0\text{ m}$ et $x_f = 0\text{ m}$
Alors, $\Delta x = x_f - x_i = 0\text{ m} - 0\text{ m} = 0\text{ m}$

b) $L = |12\text{ m}| + |^-12\text{ m}| = 12\text{ m} + 12\text{ m} = 24\text{ m}$

c) Il n'y a aucune variation de la position. Le corps est donc immobile.

3. **Les valeurs de temps et de position du marcheur**

Temps *t* (s)	Position *x* (m)
0	-30
30	15
50	0



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4. Une position négative signifie que le corps est situé, sur une ligne droite, de l'autre côté de l'origine par rapport aux positions de référence positives.

5. Entre $t = 10$ s et $t = 15$ s, car en 5 s, il parcourt 25 m, c'est-à-dire la plus grande distance pour ce laps de temps.

Section 3
La vitesse

Cahier, p. 35 à 37

1. **Données**

$\Delta x = 450$ m

$\Delta t = 180$ s

$v = ?$

Solution

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{450 \text{ m}}{180 \text{ s}} = 2{,}50 \text{ m/s}$$

Réponse : La vitesse de cette personne est de 2,50 m/s.

2. **Données**

$\Delta t = 5$ min

$\Delta x = 3{,}0$ km

$v = ?$

Solution

$\Delta t = 5 \text{ min} \rightarrow 5/60 \text{ min} = 0{,}0833 \text{ h}$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{3{,}0 \text{ km}}{0{,}0833 \text{ h}} = 36 \text{ km/h}$$

Réponse : La vitesse du bateau est de 36 km/h.

3. *a)* Oui. La vitesse est uniforme (constante) car, pour des intervalles de temps égaux, les distances parcourues sont égales.

b) **Données**

On choisit deux couples de valeurs dans le tableau ; par ex. :

$x_i = 0$ m

$x_f = 2000$ m

$t_i = 0$ s

$t_f = 100$ s

$v = ?$

Solution

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

$$= \frac{2000 \text{ m} - 0 \text{ m}}{100 \text{ s} - 0 \text{ s}} = 20 \text{ m/s}$$

Réponse : La vitesse de la voiture est de 20 m/s.

4. **Données**

$\Delta t = 20$ min

$x_i = 107$ km

$x_f = 137$ km

$v = ?$

Solution

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{\Delta t} = \frac{137 \text{ km} - 107 \text{ km}}{20 \text{ min}}$$

$$= \frac{30 \text{ km}}{20 \text{ min}} = 1{,}5 \text{ km/min}$$

En transformant les unités, on obtient :

$$v = 1{,}5 \frac{\text{km}}{\cancel{\text{min}}} \times \frac{60 \cancel{\text{min}}}{1 \text{ h}} = 90 \text{ km/h}$$

(les minutes se simplifiant)

Réponse : Ma vitesse est de 90 km/h.

5. *a)* **Données**

$t_i = 0$ s

$t_f = 4$ s

$x_i = 0$ m

$x_f = 12$ m

$v = ?$

Solution

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{12 \text{ m} - 0 \text{ m}}{4 \text{ s} - 0 \text{ s}} = 3 \text{ m/s}$$

Réponse : La vitesse est de 3 m/s.

b) **Données**

$t_i = 6$ s

$t_f = 12$ s

$x_i = 12$ m

$x_f = 0$ m

$v = ?$

Solution

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{0 \text{ m} - 12 \text{ m}}{12 \text{ s} - 6 \text{ s}} = {}^{-}2 \text{ m/s}$$

Réponse : La vitesse est de $^{-}2$ m/s.

c) En *a)*, le signe positif signifie que le corps s'éloigne de l'origine et en *b)*, le signe négatif signifie que le corps revient vers l'origine. En somme, le corps s'éloigne, puis revient vers son point de départ.

d) **Données**

$t_i = 4$ s

$t_f = 6$ s

$x_i = 12$ m

$x_f = 12$ m

$v = ?$

Solution

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{12 \text{ m} - 12 \text{ m}}{6 \text{ s} - 4 \text{ s}} = 0 \text{ m/s}$$

Réponse : La vitesse est nulle.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Section 4
Le graphique de la vitesse en fonction du temps

Cahier, p. 40 et 41

1. *a)* On calcule l'aire de la surface sous la courbe de $t = 0$ s à $t = 5$ s, soit :

$\Delta x = v \times \Delta t = v \times (t_f - t_i) = {}^{-}5 \text{ m/s} \times 5 \text{ s} = {}^{-}25 \text{ m}$

$x_f = x_i + \Delta x = 0 \text{ m} + {}^{-}25 \text{ m} = {}^{-}25 \text{ m}$

b) On calcule les aires de la surface sous la courbe de $t = 0$ s à $t = 8$ s.

On connaît déjà l'aire de $t = 0$ s à $t = 5$ s.

Il faut donc calculer l'aire de $t = 5$ s à $t = 8$ s :

$\Delta x = v \times \Delta t = v \times (t_f - t_i) = 0 \text{ m/s} \times 3 \text{ s} = 0 \text{ m}$

$x_f = x_i + \Delta x = -25 \text{ m} + 0 \text{ m} = -25 \text{ m}$

c) On calcule les aires sous la courbe de $t = 0$ s à $t = 10$ s.

On connaît déjà l'aire de $t = 0$ s à $t = 5$ s et de $t = 5$ s à $t = 8$ s.

On calcule donc l'aire sous la courbe de $t = 8$ s à $t = 10$ s :

$\Delta x = v \times \Delta t = v \times (t_f - t_i)$

$= 5 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 10 \text{ m}$

$x_f = x_i + \Delta x = {}^{-}25 \text{ m} + 10 \text{ m} = {}^{-}15 \text{ m}$

d) On additionne les valeurs absolues des déplacements (aires sous la courbe) calculés en *a)*, *b)* et *c)*.

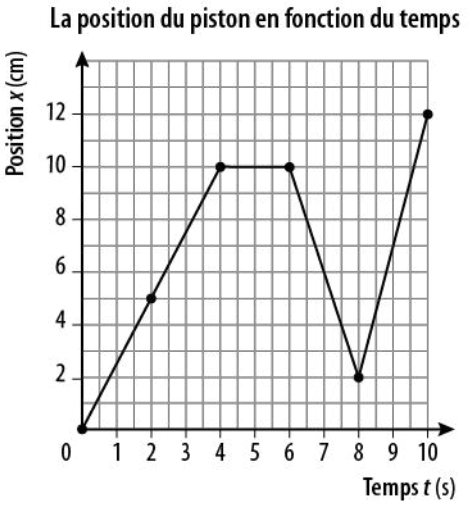
$L = |\Delta x_a| + |\Delta x_b| + |\Delta x_c|$

$= |{}^{-}25 \text{ m}| + |0 \text{ m}| + |10 \text{ m}| = 35 \text{ m}$

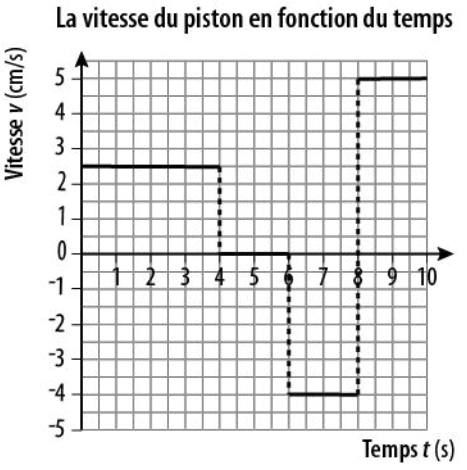
e) On calcule la position finale moins la position initiale :

$\Delta x = x_f - x_i = {}^{-}15 \text{ m} - 0 = {}^{-}15 \text{ m}$

2. *a)*



b)



Calculs

À partir du graphique de la position du piston en fonction du temps, les vitesses sont calculées en déterminant la pente des différents segments.

De $t = 0$ s à $t = 4{,}0$ s :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{10{,}0 \text{ cm} - 0 \text{ cm}}{4{,}0 \text{ s} - 0 \text{ s}}$$

$$= \frac{10{,}0 \text{ cm}}{4{,}0 \text{ s}} = 2{,}5 \text{ cm/s}$$

De $t = 4{,}0$ s à $t = 6{,}0$ s :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{10{,}0 \text{ cm} - 10{,}0 \text{ cm}}{6{,}0 \text{ s} - 4{,}0 \text{ s}}$$

$$= \frac{0 \text{ cm}}{2{,}0 \text{ s}} = 0 \text{ cm/s}$$

De $t = 6{,}0$ s à $t = 8{,}0$ s :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{2{,}0 \text{ cm} - 10{,}0 \text{ cm}}{8{,}0 \text{ s} - 6{,}0 \text{ s}}$$

$$= \frac{{}^{-}8{,}0 \text{ cm}}{2{,}0 \text{ s}} = {}^{-}4{,}0 \text{ cm/s}$$

De $t = 8{,}0$ s à $t = 10{,}0$ s :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{12{,}0 \text{ cm} - 2{,}0 \text{ cm}}{10{,}0 \text{ s} - 8{,}0 \text{ s}}$$

$$= \frac{10{,}0 \text{ cm}}{2{,}0 \text{ s}} = 5{,}0 \text{ cm/s}$$

3. Vitesse : C

Déplacement : A, B

Chapitre 1
Synthèse

Cahier, p. 43 et 44

1 *a)* **Données**

Les positions à $t = 0$ et à $t = 15$ s sont :

$x_i = 0$ m $\quad x_f = 36$ m $\quad \Delta x = ?$

Solution

$\Delta x = x_f - x_i = 36 \text{ m} - 0 \text{ m} = 36 \text{ m}$

Réponse : Le déplacement est de 36 m.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) **Données**

Pour trouver la vitesse, on choisit deux points du graphique et on calcule la pente de la droite qui passe par ces deux points. Par exemple, les points (0, 0) et (15, 36) :

$x_i = 0$ m

$t_i = 0$ s

$x_f = 36$ m

$t_f = 15$ s

$v = ?$

Solution

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{36 \text{ m} - 0 \text{ m}}{15 \text{ s} - 0 \text{ s}} = \frac{36 \text{ m}}{15 \text{ s}}$$
$$= 2{,}4 \text{ m/s}$$

Réponse : La vitesse est de 2,4 m/s.

2 A

3 *a)* -3 m/s

b) **Données**

De $t = 0$ s à $t = 2$ s : $v = 2$ m/s

De $t = 2$ s à $t = 5$ s : $v = {}^{-}3$ m/s

De $t = 5$ s à $t = 6$ s : $v = 1$ m/s

$x_i = 0$ m

$x_f = ?$

Solution

Il faut calculer les aires de la surface sous la courbe et les additionner :

De $t = 0$ s à $t = 2$ s : $\Delta x = v \times \Delta t = 2 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 4$ m

De $t = 2$ s à $t = 5$ s : $\Delta x = v \times \Delta t = {}^{-}3 \text{ m/s} \times 3 \text{ s} = {}^{-}9$ m

De $t = 5$ s à $t = 6$ s : $\Delta x = v \times \Delta t = 1 \text{ m/s} \times 1 \text{ s} = 1$ m

Donc $x_f = x_i +$ Somme des Δx
$= 0 \text{ m} + 4 \text{ m} + {}^{-}9 \text{ m} + 1 \text{ m} = {}^{-}4$ m

Réponse : La position finale du bras est ⁻4 m.

c) **Données**

De *b)* on a :

$\Delta x_{0 \text{ à } 2 \text{ s}} = 4$ m

$\Delta x_{2 \text{ à } 5 \text{ s}} = {}^{-}9$ m

$\Delta x_{5 \text{ à } 6 \text{ s}} = 1$ m

Solution

Il faut additionner les valeurs absolues des aires sous la courbe ($= \Delta x$).

$L = |4 \text{ m}| + |{}^{-}9 \text{ m}| + |1 \text{ m}| = 14$ m

Réponse : La distance totale parcourue par le bras est de 14 m.

d) **Données**

$x_i = 0$ m

$x_f = {}^{-}4$ m (calculé en *b)*)

$\Delta x = ?$

Solution

$\Delta x = x_f - x_i = {}^{-}4 \text{ m} - 0 \text{ m} = {}^{-}4$ m

Réponse : Le déplacement du bras est de ⁻4 m.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

LABO 1 L'analyse d'un mouvement rectiligne uniforme

Cahier, p. 30

Mise en situation

La vitesse, une cause fréquente d'accident

Lors d'un accident de la route, les enquêteurs doivent souvent déterminer la vitesse à laquelle une voiture roulait pour déterminer la cause de l'accident. Si l'événement survient devant une caméra de sécurité ou une caméra de contrôle routier, les enquêteurs peuvent utiliser les images captées pour déterminer la vitesse de la voiture. Puisqu'une caméra prend un certain nombre d'images par seconde, les enquêteurs connaissent le temps écoulé entre deux images. Ensuite, il suffit de mesurer la distance parcourue par le véhicule durant cet intervalle de temps pour en déduire mathématiquement la vitesse. Les enquêteurs sont ainsi capables de déterminer si le véhicule respectait ou non la limite de vitesse. Ils peuvent également déterminer s'il était en accélération, en décélération, ou s'il se déplaçait à vitesse constante.

La préparation

1. Comment calcule-t-on la distance parcourue ?

_____

_____

_____

2. Comment calcule-t-on le temps écoulé ?

_____

_____

_____

3. Comment calcule-t-on la vitesse moyenne ?

_____

_____

_____

4. Dans le cas du déplacement d'une voiture, la vitesse est-elle la même pour toute la durée du déplacement (du départ jusqu'à l'arrêt) ?

_____

_____

_____

5. Comment peut-on déterminer si la vitesse est constante ?

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

LABO 1 L'analyse d'un mouvement rectiligne uniforme

Cahier, p. 30

Le but de l'expérience

Produire puis analyser un mouvement rectiligne uniforme.

Le protocole expérimental

Matériel
Par dyade
- Un chronomètre à étincelles (ou à jets d'encre)
- Un ruban enregistreur
- Un chariot à faible frottement et son rail
- Deux serres en C
- Une règle de 1 m
- Du ruban adhésif
- Une pièce de bois servant de butée
- Des rallonges électriques (facultatif)

Manipulations
Réaliser les étapes suivantes.

1. Si la fréquence du chronomètre est ajustable, la régler à 60 Hz. Répondre à la question 1 de la partie « Les résultats ».
2. Réaliser le montage (*voir la figure 1*).
3. Insérer le ruban enregistreur dans le chronomètre en le laissant dépasser légèrement.
4. Fixer l'extrémité du ruban enregistreur au chariot à l'aide de ruban adhésif.

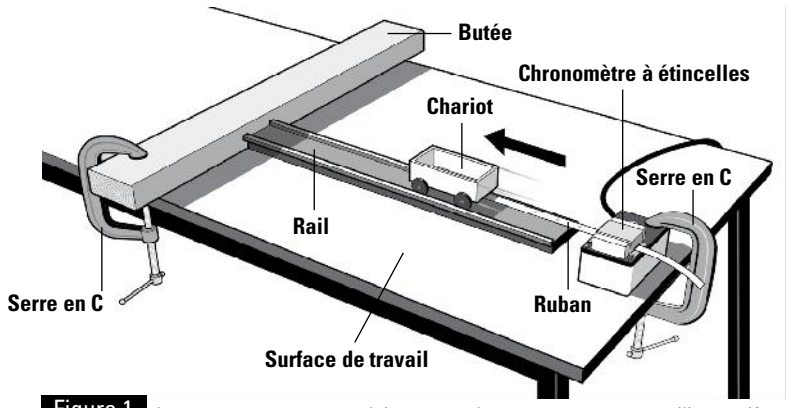


Figure 1 Le montage servant à produire et à analyser un mouvement rectiligne uniforme.

5. Démarrer le chronomètre et, simultanément, donner une légère et très brève impulsion au chariot, de façon à le mettre en mouvement. Laisser le chariot glisser sur le rail.
6. Arrêter le chronomètre au moment où le chariot atteint l'extrémité du rail.
7. Retirer le ruban enregistreur. S'assurer que les points sont bien visibles sur le ruban. Sinon, consulter l'enseignant (ou le technicien en travaux pratiques) et, au besoin, recommencer l'expérience. Répondre à la question 2 de la partie « Les résultats ».

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

8 Repérer le point qui correspond approximativement au début de la zone de mouvement rectiligne uniforme, soit lorsque le chariot glisse sur le rail sans nécessiter de poussée. Entourer le point et l'identifier comme le point qui correspond au temps $t = 0{,}00$ s. On supposera qu'à cet instant le chariot était à la position $x = 0{,}0$ cm. Remplir le tableau de la question 3 de la partie « Les résultats ».

9 Compter trois points à partir de la marque correspondant à la position $x = 0{,}0$ cm et identifier le dernier de ces trois points $t = 0{,}05$ s.

10 À partir de cette nouvelle marque, compter encore trois points et identifier le dernier de ces trois points $t = 0{,}10$ s.

11 Poursuivre l'identification d'un point sur trois sur le ruban enregistreur jusqu'à 2,00 s.

Les résultats

1. En tenant compte de la fréquence (f) du chronomètre, quel intervalle de temps (Δt) sépare deux points consécutifs sur le ruban enregistreur ? Utilisez la formule $f = \frac{1}{\Delta t}$ pour trouver le temps écoulé entre deux points.

2. Observez le ruban enregistreur.

a) Comment pouvez-vous reconnaître la partie du ruban qui correspond au moment où vous avez donné l'impulsion au chariot ?

_____

_____

_____

_____

_____

b) Comment pouvez-vous reconnaître l'endroit où commence le mouvement rectiligne uniforme ?

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

3. Remplissez le tableau 1 en tenant compte d'un point sur trois seulement. (Cela permet de gagner du temps sans perdre de précision.)

Tableau 1
La position du chariot en fonction du temps

Temps *t* (s)	Position *x* (cm)	Temps *t* (s)	Position *x* (cm)

L'analyse des résultats

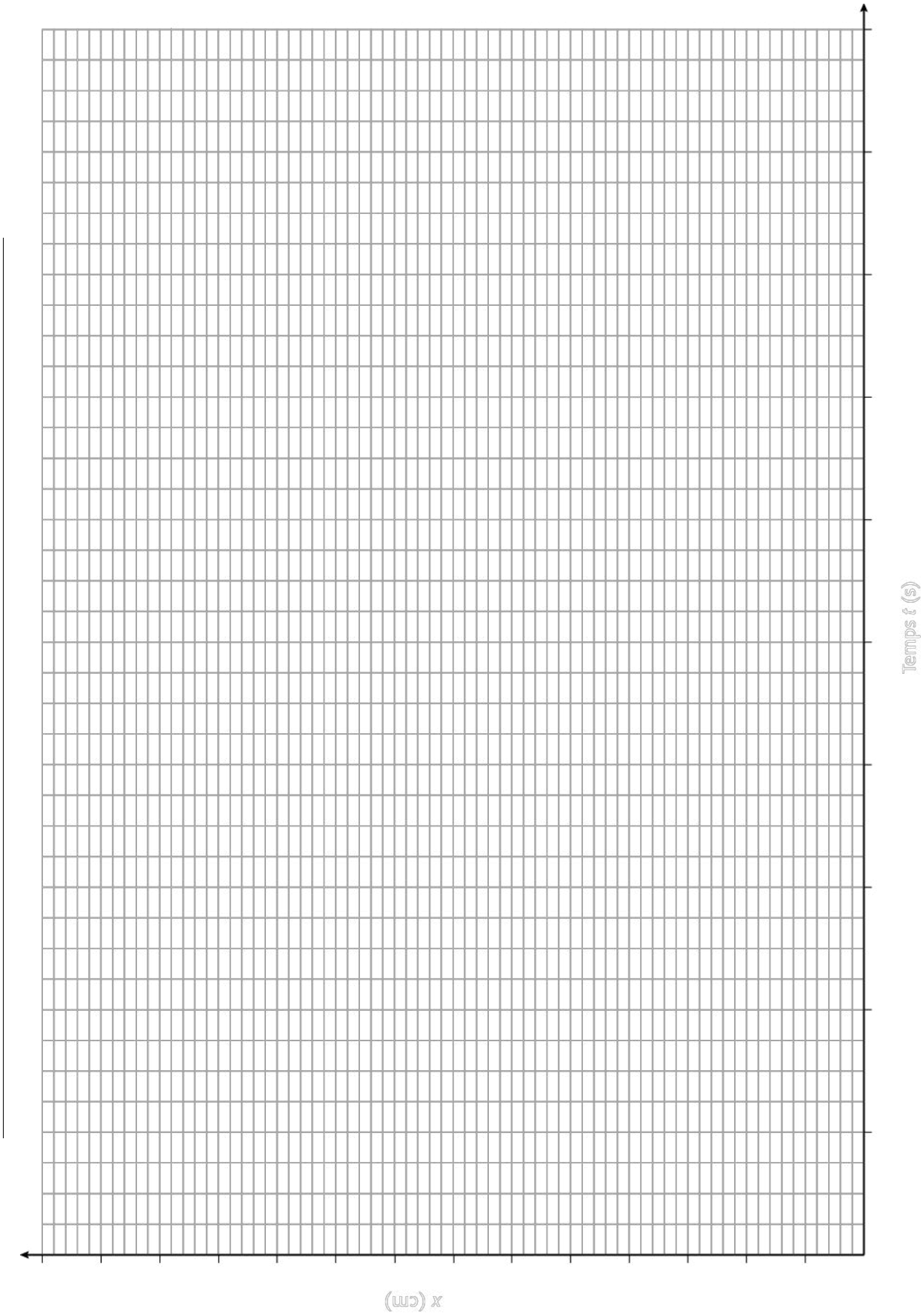
4. Observez la progression des données relatives à la position notées dans le tableau 1. Que remarquez-vous ?

_____

_____

5. Dans le quadrillé à la page suivante, tracez le graphique de la position du chariot en fonction du temps en traçant la courbe la mieux ajustée à partir des données du tableau 1. Donnez un titre à votre graphique.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

6. *a)* Décrivez la courbe du graphique tracé à la question 5 et précisez la relation qu'elle représente.

b) S'il y a lieu, relevez les points qui ne suivent pas la tendance du graphique et tentez d'expliquer leur présence.

c) Le type de courbe que vous avez défini en *a)* correspond-il à la définition du mouvement rectiligne uniforme ? Expliquez les écarts possibles.

7. *a)* Évaluez la vitesse moyenne du chariot durant l'ensemble de son mouvement rectiligne uniforme.

b) Évaluez la vitesse moyenne du chariot durant la première moitié de son mouvement rectiligne uniforme.

c) Comparez les valeurs obtenues en *a)* et en *b)*.

8. Quelles sont les causes d'erreurs dans cette expérience ?

La conclusion

9. Avez-vous réussi à produire un mouvement rectiligne uniforme ? Expliquez votre réponse.

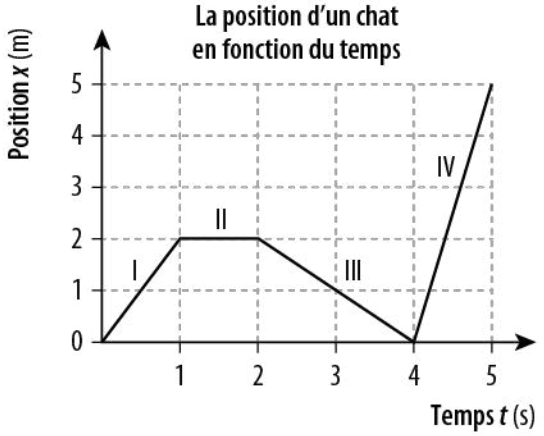
Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 1 Le mouvement rectiligne uniforme

1 Le graphique ci-dessous représente la position d'un chat en fonction du temps.

a) Expliquez le mouvement représenté par le graphique pour chaque étape.



b) Calculez la vitesse pour chacune des étapes.

Étape I

Étape II

Étape III

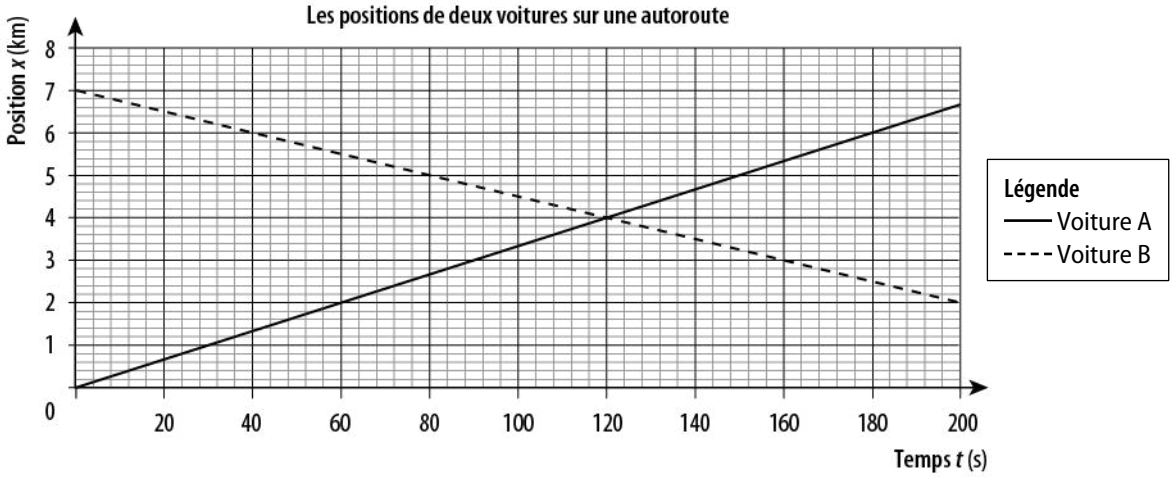
Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Étape IV

c) Classez les quatre sections du mouvement en ordre croissant de vitesse, en valeur absolue.

_____

2 Observez le graphique ci-dessous, qui illustre les positions de deux voitures sur une autoroute.



a) Quelle distance sépare les deux voitures au départ ? _____

b) Au temps $t = 60$ s, pour quelle voiture l'indicateur de vitesse indique-t-il la valeur la plus élevée ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

c) Les vitesses des voitures A et B sont-elles égales à un moment donné ? Si oui, à quel moment ?

_____

_____

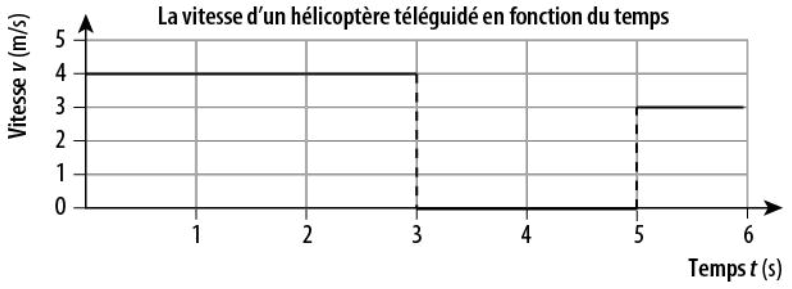
_____

d) Les deux voitures se croisent-elles ? Si oui, à quel moment ?

_____

3 Une araignée descend d'un plafond à la vitesse de 5,4 mm/s. Combien de temps, en minutes, mettra-t-elle pour atteindre le plancher qui se trouve 2,0 m plus bas ?

4 Le graphique ci-dessous illustre la vitesse d'un hélicoptère téléguidé en fonction du temps.



Calculez le déplacement total après…

a) 2 secondes

b) 3 secondes

c) 5 secondes

d) 6 secondes

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

5 DÉFI

Dans un parc, un homme et une femme marchent l'un vers l'autre, chacun à la vitesse de 0,8 m/s. Leur chien fait des allers-retours incessants. Il court à une vitesse de 6,5 m/s. Au temps $t = 0$ s, la distance entre l'homme et la femme est de 160 m et le chien se trouve à côté de la femme. Lorsque l'homme et la femme se rejoignent, ils cessent de marcher et leur chien cesse de courir.

a) Quel est le déplacement de la femme ?

b) Quelle est la distance parcourue par la femme ?

c) Quel est le déplacement du chien ?

d) Quelle est la distance parcourue par le chien ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 1 Le mouvement rectiligne uniforme

/40

1. Associez, en les reliant par des traits, chaque énoncé de la colonne de gauche au concept auquel il correspond, dans la colonne de droite. Plus d'un énoncé peut correspondre au même concept. **/7**

a) Endroit où se trouve un corps. •

b) Qui peut être noté par le symbole Δx. •

c) Longueur d'une trajectoire, sans tenir compte de la direction. •

d) Pente du graphique de la position en fonction du temps. •

e) Mouvement en ligne droite à vitesse constante. •

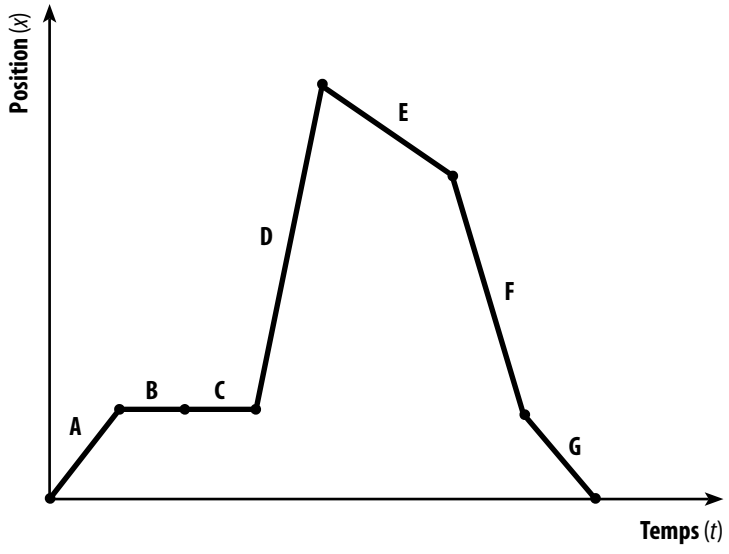
f) Ensemble des points par lesquels un corps est passé durant un mouvement. •

g) Qui est toujours égal ou inférieur à la distance parcourue. •

- 1. Distance parcourue
- 2. Déplacement
- 3. Mouvement rectiligne uniforme
- 4. Position
- 5. Trajectoire
- 6. Vitesse

2. Le graphique suivant illustre la position d'un nageur dans un lac en fonction du temps. Durant quel intervalle de temps le nageur avance-t-il le plus rapidement ? Expliquez votre réponse. **/5**

La position d'un nageur en fonction du temps



_____

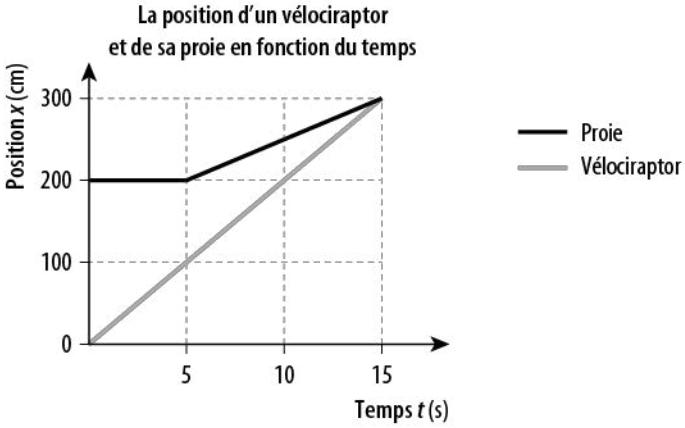
_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

3. Un garçon met 6,0 minutes, en moyenne, pour se rendre à l'école en vélo. Si la distance qui sépare sa maison de l'école est de 1,5 km, quelle est la vitesse moyenne du garçon ? **/5**

4. Un vélociraptor (un dinosaure carnivore) repère une proie et court vers elle. Quand celle-ci l'aperçoit, elle fuit dans la direction opposée. Le graphique ci-dessous représente la position du vélociraptor et de sa proie en fonction du temps.



a) Quelle était la position du vélociraptor au temps $t = 10$ s ? _____ **/2**

b) Quelle était la vitesse de la proie à $t = 10$ s ? **/5**

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

c) Dites si chacun des énoncés suivants est vrai ou faux. Dans chaque cas, justifiez votre réponse. **/6**

I) La distance parcourue par la proie entre les temps $t = 5$ s et $t = 10$ s est égale à son déplacement durant ce même intervalle de temps.

_____

_____

_____

II) Entre les temps $t = 0$ s et $t = 5$ s, la proie était immobile.

_____

_____

_____

III) La proie réussit à échapper au vélociraptor ; celui-ci ne la rattrape pas.

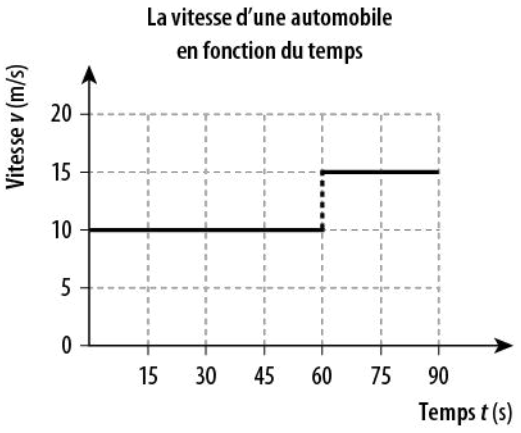
_____

_____

_____

d) Quel est le déplacement total de la proie durant l'intervalle de temps illustré sur le graphique ? **/5**

5. Voici un graphique de la vitesse d'une automobile en fonction du temps. Quel est le déplacement de l'automobile entre le temps $t = 30$ s et le temps $t = 90$ s ? **/5**



Sommaire

Mécanique – Module 1 La cinématique

Chapitre 2 Le mouvement rectiligne uniformément accéléré

	Fiche
Corrigé du cahier (exercices du chapitre)	M-25
Labo 2	M-31
Labo 3	M-39
Exercices	M-46
Évaluation	M-51

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 2 Le mouvement rectiligne uniformément accéléré

Cahier, p. 47

Section 1 La notion d'accélération

Cahier, p. 47

1. *a)* Faux *b)* Vrai *c)* Vrai

Justification : *a)* Une variation de distance divisée par une variation de temps donne une vitesse.

2. Données

$v_i = 4{,}2$ m/s $\Delta t = 5{,}0$ s

$v_f = 18{,}9$ m/s $a = ?$

Solution

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} = \frac{18{,}9\text{ m/s} - 4{,}2\text{ m/s}}{5{,}0\text{ s}} = 2{,}9\text{ m/s}^2$$

Réponse : L'accélération du cheval est de 2,9 m/s².

3. Données

$v_i = 100$ m/s $v_f = 0$ m/s $a = ?$

$t_i = 0$ s $t_f = 0{,}60$ s

Solution

$$a = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = \frac{0\text{ m/s} - 100\text{ m/s}}{0{,}60\text{ s} - 0\text{ s}} = {}^{-}1{,}7 \times 10^2\text{ m/s}^2$$

Réponse : L'accélération de la balle est de $^{-}1{,}7 \times 10^2$ m/s².

4. Données

$v_i = 40{,}0$ m/s $\Delta t = 5{,}0$ s

$v_f = 0$ m/s $a = ?$

Solution

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} = \frac{0\text{ m/s} - 40{,}0\text{ m/s}}{5{,}0\text{ m/s}} = {}^{-}8{,}0\text{ m/s}^2$$

Réponse : L'accélération de la voiture est de $^{-}8{,}0$ m/s².

Section 2 Le graphique de la vitesse en fonction du temps

Cahier, p. 50 et 51

1. *a)* B *b)* D *c)* A *d)* C

2. *a)* On calcule la pente de la droite entre $t = 0$ s et $t = 10$ s en choisissant, par exemple, les points (0, 0) et (10, 30) :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = \frac{(30\text{ m/s} - 0\text{ m/s})}{(10\text{ s} - 0\text{ s})} = \frac{30\text{ m/s}}{10\text{ s}} = 3{,}0\text{ m/s}^2$$

Réponse : L'accélération du drone est de 3,0 m/s².

b) Le déplacement du drone de $t = 0$ s à $t = 10$ s vaut

$$\Delta x_1 = \frac{1}{2}(v_i + v_f)(t_f - t_i)$$
$$= \frac{1}{2}(0\text{ m/s} + 30\text{ m/s})(10\text{ s} - 0\text{ s}) = 150\text{ m}$$

Le déplacement du drone de $t = 10$ s à $t = 17{,}5$ s vaut

$$\Delta x_2 = v \times \Delta t = v \times (t_f - t_i) = 30\text{ m/s} \times (17{,}5\text{ s} - 10\text{ s})$$
$$= 30\text{ m/s} \times 7{,}5\text{ s} = 225\text{ m}$$

Le déplacement du drone de $t = 17{,}5$ s à $t = 25$ s vaut

$$\Delta x_3 = \frac{1}{2}(v_i + v_f)(t_f - t_i)$$
$$= \frac{1}{2}(30\text{ m/s} + 0\text{ m/s})(25\text{ s} - 17{,}5\text{ s}) = 112{,}5\text{ m}$$

Le déplacement du drone de $t = 25$ s à $t = 32{,}5$ s vaut

$$\Delta x_4 = \frac{1}{2}(v_i + v_f)(t_f - t_i)$$
$$= \frac{1}{2}(0\text{ m/s} + ({}^{-}30\text{ m/s}))(32{,}5\text{ s} - 25\text{ s}) = {}^{-}112{,}5\text{ m}$$

Le déplacement du drone de $t = 32{,}5$ s à $t = 45$ s vaut

$$\Delta x_5 = v \times \Delta t = v \times (t_f - t_i) = {}^{-}30\text{ m/s} \times (45\text{ s} - 32{,}5\text{ s})$$
$$= {}^{-}30\text{ m/s} \times 12{,}5\text{ s} = {}^{-}375\text{ m}$$

Ainsi, le déplacement total est :

$$\Delta x = 150\text{ m} + 225\text{ m} + 112{,}5\text{ m} + {}^{-}112{,}5\text{ m} + {}^{-}375\text{ m}$$
$$= 0\text{ m}$$

Réponse : Le déplacement du drone entre 0 s et 45 s est de 0 m. Il est donc revenu à sa position de départ.

c) Il faut additionner les valeurs absolues des déplacements trouvés en *b)*. Ainsi, on a :

$$L = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \ldots + |\Delta x_3|$$
$$L = |150\text{ m}| + |225\text{ m}| + |112{,}5\text{ m}| + |{}^{-}112{,}5\text{ m}| + |{}^{-}375\text{ m}|$$
$$= 975\text{ m}$$

Réponse : La distance parcourue entre 0 et 45 s est de 975 m.

d) On calcule la pente de la droite entre $t = 17{,}5$ s et $t = 32{,}5$ s en choisissant, par exemple, les points (20, 20) et (30, $^{-}20$) :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = \frac{{}^{-}20\text{ m/s} - 20\text{ m/s}}{30\text{ s} - 20\text{ s}} = \frac{{}^{-}40\text{ m/s}}{10\text{ s}} = {}^{-}4{,}0\text{ m/s}^2$$

Réponse : L'accélération du drone entre 17,5 s et 32,5 s est de $^{-}4{,}0$ m/s².

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Section 3
Le graphique de la position en fonction du temps

Cahier, p. 52 et 53

1. *a)* C *b)* B *c)* A

2. A et D

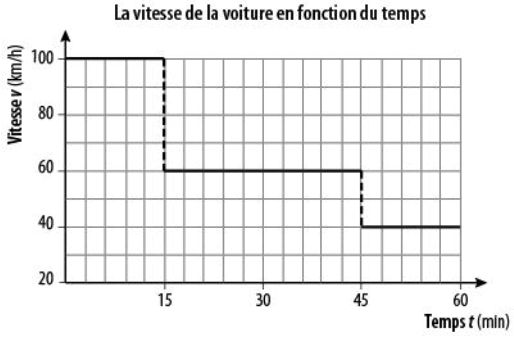
3. *a)* $\Delta v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{10\text{ m} - 0\text{ m}}{3\text{ s} - 0\text{ s}} = \frac{10\text{ m}}{3\text{ s}} = 3{,}3\text{ m/s}$

b) Entre $t = 3$ s et $t = 6$ s. Dans un graphique de la position d'un corps en fonction du temps, un mouvement accéléré est toujours représenté par une courbe (et non par une droite).

Section 4
La vitesse moyenne et la vitesse instantanée

Cahier, p. 55 et 56

1. *a)*



b) Sa vitesse est de 60 km/h.

c) Pour calculer la vitesse moyenne, on doit d'abord trouver la distance totale parcourue.

$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow \Delta x = v \times \Delta t$

1. Pour calculer la distance totale parcourue, il faut calculer l'aire de la surface sous la courbe pour chaque section de mouvement, en prenant soin de convertir les minutes en heures (15 min = 0,25 h).

   $\Delta x = (100\text{ km/h} \times 0{,}25\text{ h}) + (60\text{ km/h} \times 0{,}50\text{ h}) + (40\text{ km/h} \times 0{,}25\text{ h}) = 65\text{ km}$

2. On doit ensuite trouver le temps total.

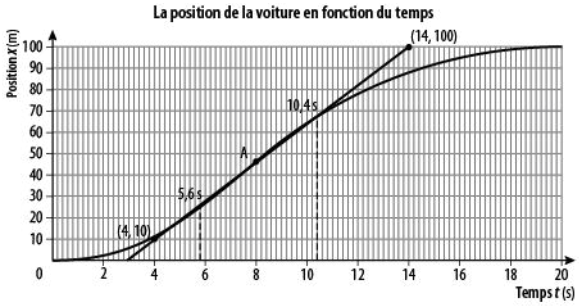
   $\Delta t = 0{,}25\text{ h} + 0{,}50\text{ h} + 0{,}25\text{ h} = 1{,}0\text{ h}$

3. Enfin, on applique la formule de la vitesse :

   $v_{moy} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{65\text{ km}}{1{,}0\text{ h}} = 65\text{ km/h}$

Réponse : La vitesse moyenne du conducteur est de 65 km/h.

2.



a)
- De $t = 0$ s à environ $t = 5{,}6$ s. Si on traçait une tangente en chaque point de la courbe durant cette période, on constaterait que sa pente est de plus en plus grande. En d'autre mots, la distance parcourue à chaque intervalle de temps est plus grande.
- De $t = 10{,}4$ s à environ $t = 20$ s. Si on traçait une tangente en chaque point de la courbe durant cette période, on constaterait que sa pente est de plus en plus petite. En d'autre mots, la distance parcourue à chaque intervalle de temps est plus petite.

b) Visuellement, la voiture roule à vitesse maximale entre $t = 5{,}6$ s et $t = 10{,}4$ s ($t = 8$ s plus exactement). En effet, la vitesse maximale correspond à la portion de la courbe où la pente est la plus grande.

c) On choisit deux points de la tangente à la courbe au point A : ici, (4, 10) et (14, 100).

$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{100\text{ m} - 10\text{ m}}{14\text{ s} - 4\text{ s}} = 9{,}0\text{ m/s}$

Réponse : La vitesse atteinte par la voiture à $t = 8$ s est de 9,0 m/s.

d) On calcule la vitesse moyenne en utilisant les points (0, 0) et (20, 100).

$v_{moy} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{100\text{ m} - 0\text{ m}}{20\text{ s} - 0\text{ s}} = 5{,}0\text{ m/s}$

Réponse : La vitesse moyenne de la voiture est de 5,0 m/s.

Section 5
Le graphique de l'accélération en fonction du temps

Cahier, p. 58 et 59

1. *a)* 1. Il faut d'abord calculer l'aire de la surface sous la courbe de $t = 0$ s à $t = 5{,}0$ s.

Données

$t_i = 0$ s	$v_i = 0$ m/s	$v_f = ?$
$t_f = 5{,}0$ s	$a = 15$ m/s^2	

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Solution

$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow \Delta v = a \times \Delta t$

$(v_f - v_i) = a \times (t_f - t_i)$

$v_f = a \times (t_f - t_i) + v_i$

$v_f = 15\ \text{m/s}^2 \times (5{,}0\ \text{s} - 0\ \text{s}) + 0\ \text{m/s}$

$v_f = 75\ \text{m/s}$

2. La vitesse est constante entre $t = 5{,}0$ s et $t = 7{,}0$ s. Il faut ensuite calculer l'aire de la surface sous la courbe de $t = 7{,}0$ s à $t = 8{,}0$ s.

Données

$t_i = 7{,}0$ s $\quad v_i = 75$ m/s $\quad v_f = ?$

$t_f = 8{,}0$ s $\quad a = {}^-25\ \text{m/s}^2$

Solution

$\Delta v = a \times \Delta t$

$v_f - v_i = a \times (t_f - t_i)$

$v_f = a \times (t_f - t_i) + v_i$

$v_f = {}^-25\ \text{m/s}^2 \times (8{,}0\ \text{s} - 7{,}0\ \text{s}) + 75\ \text{m/s}$

$v_f = 50\ \text{m/s}$

Réponse : La vitesse de la voiture à 8,0 s est de 50 m/s.

b) La voiture roule à vitesse constante : $a = 0\ \text{m/s}^2$.

c) Non. Si on calcule l'aire totale sous la courbe, nous arrivons au bout de 10,0 s à une vitesse nulle, soit l'arrêt de la voiture. Jamais on observe une vitesse négative.

En effet, de $t = 8{,}0$ s à $t = 10{,}0$ s, on a :

$\Delta v = a \times \Delta t = {}^-25\ \text{m/s}^2 \times (10{,}0\ \text{s} - 8{,}0\ \text{s}) = {}^-50\ \text{m/s}$

Donc, de *a)* on obtient :

$\Delta v = v_f - v_i \rightarrow v_f = v_i + \Delta v = 50\ \text{m/s} + ({}^-50\ \text{m/s}) = 0\ \text{m/s}$

2. *a)* **Données**

$a = 3{,}0\ \text{m/s}^2 \quad t_f = 20{,}0\ \text{s} \quad v_f = ?$

$t_i = 0\ \text{s} \quad v_i = 0\ \text{m/s}$

Solution

$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow \Delta v = a \times \Delta t$

$(v_f - v_i) = a \times (t_f - t_i) \quad \rightarrow \quad v_f = a \times (t_f - t_i) + v_i$

$v_f = 3{,}0\ \text{m/s}^2 \times (20{,}0\ \text{s} - 0\ \text{s}) + 0\ \text{m/s} = 60\ \text{m/s}$

Réponse : La vitesse de l'avion sera de 60 m/s après 20,0 s.

b) **Données**

$a = 3{,}0\ \text{m/s}^2 \quad t_f = ? \quad v_f = 250\ \text{km/h}$

$t_i = 0\ \text{s} \quad v_i = 0\ \text{m/s}$

Solution

Il faut transformer les unités pour effectuer le calcul :

$v_f = 250 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}} \times \frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}} = 69{,}4\ \text{m/s}$

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

$(t_f - t_i) = \frac{(v_f - v_i)}{a} \rightarrow t_f = \frac{(v_f - v_i)}{a} + t_i$

$t_f = \frac{(69{,}4\ \text{m/s} - 0\ \text{m/s})}{3{,}0\ \text{m/s}^2} + 0\ \text{s} = 23\ \text{s}$

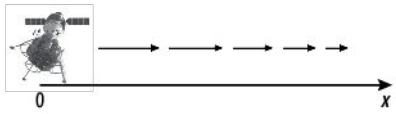
Réponse : L'avion atteindra une vitesse de 250 km/h après 23 s.

Section 6
Le formalisme mathématique du mouvement rectiligne uniformément accéléré

Cahier, p. 62 et 63

1. *a)* **Données**

1. Tracer un schéma de la situation.



2. Identifier les variables dont on connaît la valeur.

$x_i = 0\ \text{m} \quad t_i = 0\ \text{s}$

$x_f = ? \quad t_f = 30{,}0\ \text{min}$

$v_i = 3{,}13 \times 10^4\ \text{km/h} \quad a = {}^-2{,}00\ \text{m/s}^2$

$v_f = ?$

Solution

3. Sélectionner l'équation. Pour déterminer la vitesse de la sonde après la poussée des moteurs, on peut utiliser l'équation 1. Auparavant, on doit uniformiser les unités de mesure.

$v_i = 3{,}13 \times 10^4 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}} \times \frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}} = 8{,}69 \times 10^3\ \text{m/s}$

$t_f = 30{,}0\ \text{min} \rightarrow 1{,}80 \times 10^3\ \text{s}$

$v_f = v_i + a \times \Delta t$

$v_f = 8{,}69 \times 10^3\ \text{m/s} + ({}^-2{,}00\ \text{m/s}^2) \times 1{,}80 \times 10^3$

$v_f = 5{,}09 \times 10^3\ \text{m/s}$

Réponse : La vitesse de la sonde sera de $5{,}09 \times 10^3$ m/s.

b) Les étapes 1 et 2 sont les mêmes qu'en *a)*.

Solution

3. Sélectionner l'équation. Pour déterminer la distance sur laquelle s'effectuera la poussée des moteurs, on peut utiliser l'équation 3.

$x_f = x_i + v_i \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2$

$x_f = 0\ \text{m} + 8{,}69 \times 10^3\ \text{m/s} \times 1{,}80 \times 10^3 + \frac{1}{2} \times ({}^-2{,}00\ \text{m/s}^2) \times (1{,}80 \times 10^3\ \text{s})^2$

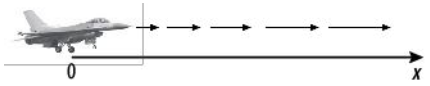
Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

$x_f = 1{,}24 \times 10^7$ km

Réponse : La poussée des moteurs s'effectuera sur $1{,}24 \times 10^7$ m, soit $1{,}24 \times 10^4$ km.

2. *a)* **Données**

1. Tracer un schéma de la situation.



2. Identifier les variables dont on connaît la valeur.

$x_i = 0$ m $\quad v_f = ?$ $\quad a = 30$ m/s²
$x_f = 80$ m $\quad t_i = 0$ s
$v_i = 0$ m/s $\quad t_f = ?$

Solution

3. Sélectionner l'équation. Pour déterminer la durée de l'accélération, on peut utiliser l'équation 3.

$$x_f = x_i + v_i\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2$$

$$80\text{ m} = 0\text{ m} + 0\text{ m/s} \times \Delta t + \frac{1}{2} \times 30\text{ m/s}^2 \times \Delta t^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 30\text{ m/s}^2 \times \Delta t^2$$

$$\Delta t = \sqrt{\frac{80\text{ m}}{\frac{1}{2} \times 30\text{ m/s}^2}} = 2{,}3\text{ s}$$

$$\Delta t = t_f - t_i \rightarrow t_f = t_i + \Delta t = 0\text{ s} + 2{,}3\text{ s} = 2{,}3\text{ s}$$

Réponse : La durée de l'accélération est de 2,3 s.

b) Les étapes 1 et 2 sont les mêmes qu'en *a)*.

3. Pour déterminer la vitesse des avions, on peut utiliser l'équation 4.

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$$

$$v_f = \sqrt{v_i^2 + 2a\Delta x}$$

$$v_f = \sqrt{(0\text{ m/s})^2 + 2 \times (30\text{ m/s}^2) \times 80\text{ m}}$$

$$v_f = 69\text{ m/s}$$

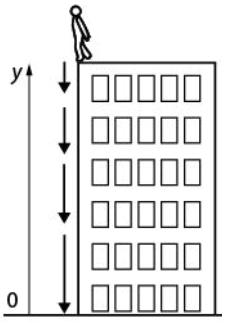
Réponse : La vitesse des avions au bout de la piste est de 69 m/s.

Section 7
La chute libre

Cahier, p. 66 et 67

1. Données

$y_i = ?$ $\quad t_i = 0$ s
$y_f = 0$ m $\quad t_f = ?$
$v_i = 0$ m/s $\quad a = {}^-9{,}80$ m/s²
$v_f = {}^-25$ m/s



Solution

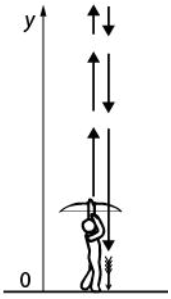
Pour déterminer le temps final de la chute, on peut utiliser l'équation 1.

$$v_f = v_i + a \times \Delta t \rightarrow \Delta t = \frac{v_f - v_i}{a}$$

$$\Delta t = \frac{{}^-25\text{ m/s} - 0\text{ m/s}}{{}^-9{,}80\text{ m/s}^2} = 2{,}6\text{ s}$$

Réponse : La chute durera 2,6 s.

2. *a)* **Données**



$y_i = 0$ m $\quad t_i = 0$ s
$y_f = 0$ m $\quad t_f = 7{,}0$ s
$v_i = ?$ $\quad a = {}^-9{,}80$ m/s²
$v_f = ?$

Solution

Pour déterminer la vitesse initiale de la flèche, on peut utiliser l'équation 3.

$$y_f = y_i + v_i\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2 \rightarrow v_i = \frac{(y_f - y_i) - \frac{1}{2}a\Delta t^2}{\Delta t}$$

$$v_i = \frac{0\text{ m} - \frac{1}{2}({}^-9{,}80\text{ m/s}^2) \times (7{,}0\text{ s})^2}{7{,}0\text{ s}} = 34\text{ m/s}$$

Réponse : La vitesse initiale de la flèche est de 34 m/s.

b) **Données**

$y_i = 0$ m $\quad v_f = ?$ $\quad a = {}^-9{,}80$ m/s²
$y_f = ?$ $\quad t_i = 0$ s
$v_i = 34$ m/s $\quad t_f = 2{,}0$ s

Solution

Pour déterminer la vitesse de la flèche à $t = 2{,}0$ s, on peut utiliser l'équation 1.

$$v_f = v_i + a \times \Delta t$$

$$v_f = 34\text{ m/s} + ({}^-9{,}80\text{ m/s}^2) \times 2{,}0\text{ s} = 14\text{ m/s}$$

Réponse : La vitesse de la flèche après 2,0 s est de 14 m/s.

c) **Données**

$y_i = 0$ m $\quad v_f = 0$ m/s $\quad a = {}^-9{,}80$ m/s²
$y_f = ?$ $\quad t_i = 0$ s
$v_i = 34$ m/s $\quad t_f = ?$

Solution

Pour déterminer la hauteur maximale de la flèche, on peut utiliser l'équation 4.

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta y \rightarrow y_f = \frac{v_f^2 - v_i^2 + 2ay_i}{2a}$$

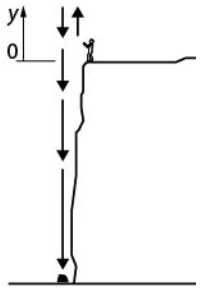
$$y_f = \frac{(0\text{ m/s})^2 - (34\text{ m/s})^2 + 2({}^-9{,}80\text{ m/s}^2) \times 0\text{ m}}{2({}^-9{,}80\text{ m/s}^2)}$$

$$y_f = \frac{{}^-(34\text{ m/s})^2}{{}^-19{,}6\text{ m/s}^2} = 59\text{ m}$$

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Réponse : La hauteur maximale de la flèche est de 59 m.

3. *a)* **Données**



$y_i = 0$ m $\quad t_i = 0$ s

$y_f = ?$ $\quad t_f = ?$

$v_i = 15{,}0$ m/s $\quad a = {}^{-}9{,}80$ m/s^2

$v_f = 0$ m/s

Solution

Pour déterminer la hauteur maximale de la pierre, on peut utiliser l'équation 4.

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta y \rightarrow y_f = \frac{v_f^2 - v_i^2 + 2ay_i}{2a}$$

$$y_f = \frac{(0\text{ m/s})^2 - (15{,}0\text{ m/s})^2 + 2(^{-}9{,}80\text{ m/s}^2)\times 0\text{ m}}{2(^{-}9{,}80\text{ m/s}^2)}$$

$$y_f = \frac{^{-}225\text{ m}^2/\text{s}^2}{^{-}19{,}6\text{ m/s}^2} = 11{,}5\text{ m}$$

Réponse : La hauteur maximale atteinte par la pierre par rapport au sommet de la falaise est de 11,5 m.

b) **Données**

$y_i = 0$ m $\quad v_f = ?$ $\quad a = {}^{-}9{,}80$ m/s^2

$y_f = ?$ $\quad t_i = 0$ s

$v_i = 15{,}0$ m/s $\quad t_f = 4{,}00$ s

Solution

Pour déterminer la position de la pierre par rapport au sommet de la falaise à $t = 4{,}00$ s, on peut utiliser l'équation 3.

$$y_f = y_i + v_i\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2$$

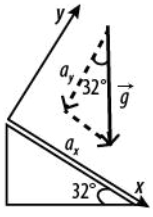
$$y_f = 0\text{ m} + (15{,}0\text{ m/s})\times 4{,}00\text{ s} + \frac{1}{2}(^{-}9{,}80\text{ m/s}^2)\times(4{,}00\text{ s})^2 = {}^{-}18{,}4\text{ m}$$

Réponse : À $t = 4{,}00$ s, la pierre se trouve 18,4 m plus bas que le sommet de la falaise.

Section 8
Le plan incliné

Cahier, p. 69 et 70

1. *a)* **Données**



$g = 9{,}80$ m/s^2

$\theta = 32°$

$a_x = ?$

Solution

$a_x = g\sin\theta$

$a_x = 9{,}80\text{ m/s}^2 \times \sin 32°$

$a_x = 5{,}2\text{ m/s}^2$

Réponse : L'accélération de la boîte est de 5,2 m/s^2.

b) **Données**

$x_i = 0$ m $\quad v_f = ?$ $\quad a_x = 5{,}2$ m/s^2

$x_f = 2{,}5$ m $\quad t_i = 0$ s

$v_i = 0$ m/s $\quad t_f = ?$

Solution

Pour déterminer la vitesse de la boîte, on peut utiliser l'équation 4.

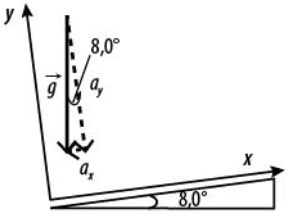
$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$$

$$v_f = \sqrt{v_i^2 + 2a\Delta x} = \sqrt{(0\text{ m/s})^2 + 2\times(5{,}2\text{ m/s}^2)\times 2{,}5\text{ m}}$$

$$v_f = 5{,}1\text{ m/s}$$

Réponse : La vitesse de la boîte à l'extrémité du plan incliné est de 5,1 m/s.

2. *a)* **Données**



$x_i = 0$ m

$x_f = ?$

$v_i = 2{,}0$ m/s

$v_f = 0$ m/s

$t_i = 0$ s

$t_f = ?$

$a_x = {}^{-}g\sin\theta = {}^{-}9{,}80\text{ m/s}^2 \times \sin 8{,}0° = {}^{-}1{,}4\text{ m/s}^2$

Solution

Pour déterminer la distance que la rondelle parcourra avant de s'arrêter, on peut utiliser l'équation 4.

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$$

$$\rightarrow \Delta x = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a} = \frac{(0\text{ m/s})^2 - (2{,}0\text{ m/s})^2}{2\text{ x }^{-}1{,}4\text{ m/s}^2} = 1{,}4\text{ m}$$

$$\Delta x = x_f - x_i$$

$$\rightarrow x_f = x_i + \Delta x = 0\text{ m} + 1{,}4\text{ m} = 1{,}4\text{ m}$$

Réponse : La distance que parcourra la rondelle est de 1,4 m.

b) **Données**

$x_i = 4{,}00$ m $\quad v_f = ?$ $\quad a_x = {}^{-}1{,}4$ m/s^2

$x_f = 0$ m $\quad t_i = 0$ s

$v_i = 0$ m/s $\quad t_f = ?$

Solution

Pour déterminer le temps que mettra la rondelle à glisser d'un bout à l'autre du plan incliné, on peut utiliser l'équation 3.

$$x_f = x_i + v_i\Delta t + \frac{1}{2}a_x\Delta t^2$$

$$0\text{ m} = 4{,}00\text{ m} + 0\text{ m/s}\times\Delta t + \frac{1}{2}\times(^{-}1{,}4\text{ m/s}^2)\times\Delta t^2$$

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

Réponse : Le temps que mettra la rondelle pour glisser de haut en bas du plan incliné est de 2,4 s.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Chapitre 2
Synthèse

Cahier, p. 72 à 74

1 *a)* $v_{moy} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{20\,km}{0{,}50\,h} = 40\,km/h$

Réponse : Sa vitesse moyenne est de 40 km/h.

b) Oui. La vitesse calculée en *b)* est une vitesse moyenne. Il peut avoir été plus rapide à certains moments de son trajet et plus lent à d'autres.

2 **Solution**

Il faut calculer l'aire sous la courbe de $t = 0$ s à $t = 200$ s. L'équation à utiliser est :

$\Delta x = v \times \Delta t = v \times (t_f - t_i)$

De $t = 0$ s à $t = 40$ s : on a un triangle

$\rightarrow \Delta x_1 = \frac{20\,m/s \times 40\,s}{2} = 400\,m$

De $t = 40$ s à $t = 80$ s : on a un rectangle

$\rightarrow \Delta x_2 = 20\,m/s \times 40\,s = 800\,m$

De $t = 80$ s à $t = 100$ s : on a un triangle

$\rightarrow \Delta x_3 = \frac{20\,m/s \times 20\,s}{2} = 200\,m$

De $t = 120$ s à $t = 150$ s : on a un triangle

$\rightarrow \Delta x_4 = \frac{15\,m/s \times 30\,s}{2} = 225\,m$

De $t = 150$ s à $t = 200$ s : on a un rectangle

$\rightarrow \Delta x_5 = 15\,m/s \times 50\,s = 750\,m$

$L = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \ldots + |\Delta x_5|$

$= 400\,m + 800\,m + 200\,m + 225\,m + 750\,m$

$= 2375\,m$

Réponse : La distance parcourue est de 2375 m.

3 **Données**

$y_i = 70{,}0$ m	$v_i = ?$	$a = {}^{-}9{,}8$ m/s²
$y_f = 0$ m	$t_i = 0$ s	
$v_f = ?$	$t_f = 20{,}0$ s	

Solution

Il faut choisir une équation où seule v_i est inconnue. Il s'agit de l'équation 3.

$$y_f = y_i + v_i \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2 \quad \rightarrow \quad v_i = \frac{(y_f - y_i) - \left(\frac{1}{2} a \Delta t^2\right)}{\Delta t}$$

$$v_i = \frac{(0\,m - 70{,}0\,m) - \left(\frac{1}{2}(^{-}9{,}80\,m/s^2) \times (20{,}0\,s)^2\right)}{20{,}0\,s} = 94{,}5\,m/s$$

Réponse : La vitesse initiale du carreau d'arbalète est de 94,5 m/s.

4 **Données**

$x_i = 0$ m	$v_i = 12{,}0$ m/s	$t_i = 0$ s	$a = ?$
$x_f = 50{,}0$ m	$v_f = ?$	$t_f = ?$	

Si on fait coïncider l'axe des x avec le plan incliné, il faut premièrement trouver l'accélération en x.

$a_x = g \sin\theta = 9{,}80\,m/s^2 \times \sin 15{,}0° = 2{,}54\,m/s^2$

Solution

Sélectionner l'équation. Il faut choisir une équation où seule v_f est inconnue. Il s'agit de l'équation 4.

$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$

$v_f = \sqrt{v_i^2 + 2a\Delta x}$

$= \sqrt{(12{,}0\,m/s)^2 + 2 \times 2{,}54\,m/s^2 \times 50{,}0\,m} = 19{,}9\,m/s$

Réponse : La vitesse à la fin du dernier tronçon sera de 19,9 m/s.

5 A, B et D

6 *a)* **Données**

$x_i = 0$ m	$t_i = 0$ s	$x_f = ?$
$v_i = 60{,}0$ m/s	$t_f = 30{,}0$ s	
$v_f = 0$ m/s	$a = ?$	

Solution

Il faut choisir une équation où seule a est inconnue. Il s'agit de l'équation 1.

$$v_f = v_i + a \times \Delta t \rightarrow a = \frac{v_f - v_i}{\Delta t}$$

$$a = \frac{0\,m/s - 60{,}0\,m/s}{30{,}0\,s - 0\,s} = {}^{-}2{,}00\,m/s^2$$

Réponse : L'accélération de l'avion est de ⁻2,00 m/s².

b) **Données**

$x_i = 0$ m	$t_i = 0$ s	$x_f = ?$
$v_i = 60{,}0$ m/s	$t_f = 30{,}0$ s	
$v_f = 0$ m/s	$a = {}^{-}2{,}00$ m/s²	

Solution

Il faut choisir une équation où seule x_f est inconnue. Il s'agit de l'équation 2 (ou de l'équation 3).

$$x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_i + v_f)\Delta t$$

$$x_f = 0\,m + \frac{1}{2} \times (60{,}0\,m/s + 0\,m/s) \times 30{,}0\,s = 900\,m$$

Réponse : La distance parcourue par l'avion est de 900 m.

7 A et B

8 A

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

LABO 2

Le mouvement sur un plan incliné

Cahier, p. 68

Mise en situation

Et que ça roule !

Dans les parcs d'attractions, un manège se démarque des autres par sa popularité : les montagnes russes. Bien que leurs trajets et leurs voitures soient différents, toutes les montagnes russes fonctionnent sur le même principe de base. Initialement immobiles, les wagons sont tirés jusqu'au point le plus haut du trajet par un système mécanique. Une fois les wagons rendus au sommet, la force gravitationnelle prend le dessus et tire les voitures vers le bas, leur imposant une accélération plus ou moins importante de façon qu'elles atteignent une vitesse optimale pour parcourir la distance prévue. Cependant, avant de fabriquer des montagnes russes, les ingénieurs responsables de concevoir ce manège doivent calculer l'accélération des voitures afin d'éviter que des forces excessives s'exercent sur les passagers, tout en s'assurant que les voitures ne s'immobilisent pas à mi-parcours.

La préparation

1. Dans l'exemple des montagnes russes, quelle est la vitesse initiale des voitures avant qu'elles ne dévalent la première côte ?

_____

2. Selon votre expérience personnelle, quelle est la relation entre le déplacement d'un objet qu'on lâche le long d'un plan incliné et le temps écoulé ?

_____

_____

_____

_____

3. Quelle est la relation entre la vitesse d'un objet qu'on lâche le long d'un plan incliné et le temps écoulé ?

_____

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

LABO 2 Le mouvement sur un plan incliné

Cahier, p. 68

Le but de l'expérience

Vérifier des hypothèses concernant les relations entre le déplacement, la vitesse, l'accélération et le temps pour un corps lâché sur un plan incliné.

Les hypothèses

Question A. Selon vous, quelle est la relation entre le déplacement d'un objet qu'on lâche le long d'un plan incliné et le temps écoulé ? (Le déplacement augmente-t-il de façon régulière dans le temps, de plus en plus vite ou de moins en moins vite ?) Expliquez votre réponse en vous basant sur les analyses graphiques du mouvement rectiligne uniformément accéléré (MRUA) que vous avez faites jusqu'à présent.

Question B. Selon vous, quelle est la relation entre la vitesse d'un objet qu'on lâche le long d'un plan incliné et le temps écoulé ? (La vitesse est-elle constante, augmente-t-elle ou diminue-t-elle ? Varie-t-elle de façon régulière dans le temps, de plus en plus vite ou de moins en moins vite ?) Expliquez votre réponse en vous basant les analyses graphiques du MRUA que vous avez faites jusqu'à présent.

Question C. Selon vous, quelle est la relation entre l'accélération d'un objet qu'on lâche le long d'un plan incliné et le temps écoulé ? (L'accélération est-elle constante, augmente-t-elle ou diminue-t-elle ? Varie-t-elle de façon régulière dans le temps, de plus en plus vite ou de moins en moins vite ?) Expliquez votre réponse en vous basant entre autres sur les analyses graphiques du MRUA que vous avez faites jusqu'à présent.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Le protocole de l'expérience

Matériel

- Un chariot à faible frottement et son rail (ou un plan incliné standard)
- Un ou deux supports universels
- Une tige d'acier
- Un chronomètre à étincelles (ou à jets d'encre)
- Un ruban enregistreur
- Une règle de 1 m
- Un butoir (si le rail n'en est pas équipé)
- Une ou deux serres en C
- Du ruban adhésif

Manipulations

1 Si la fréquence du chronomètre est ajustable, la régler à 60 Hz. Répondre à la question 1 de la section « Les résultats ».

2 Réaliser le montage illustré à la figure 1 :
- insérer la tige d'acier dans le support universel et dans le rail de façon à relever l'une des extrémités de celui-ci pour qu'il forme un angle d'environ 10° avec l'horizontale ;
- fixer le chronomètre à étincelles à l'extrémité la plus élevée du rail à l'aide d'une serre en C ;
- insérer le ruban enregistreur dans le chronomètre et en fixer l'extrémité au centre du dos du chariot à l'aide du ruban adhésif ;
- si le rail n'est pas déjà équipé d'un butoir, en fixer un à l'extrémité du bas à l'aide d'une serre en C ;
- poser le chariot au haut du rail et le tenir en place avec la main.

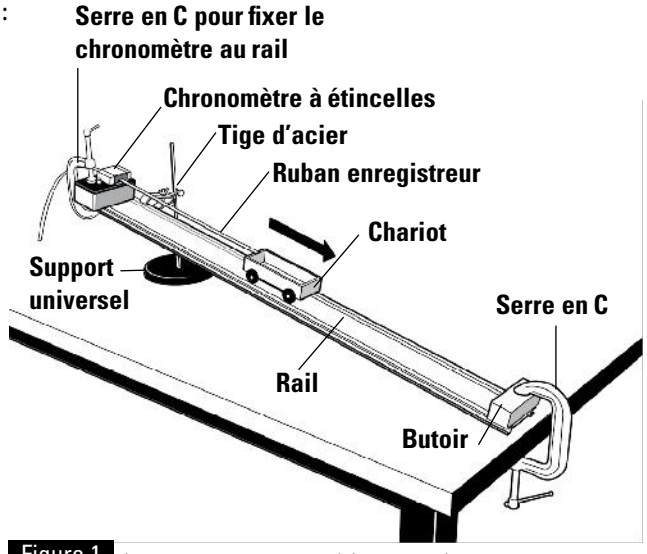


Figure 1 Le montage servant à produire et à analyser un mouvement rectiligne uniformément accéléré.

3 Démarrer le chronomètre et, immédiatement après, lâcher le chariot (sans le pousser), de façon qu'il glisse sur le rail. (S'assurer préalablement que le butoir soit fonctionnel et que le chariot ne tombe pas en arrivant au bout du rail.)

4 Arrêter le chronomètre et retirer le ruban enregistreur. S'assurer que les points sont bien visibles sur le ruban. Sinon, consulter l'enseignant (ou le technicien en travaux pratiques) et recommencer l'expérience si nécessaire.

5 Encercler le point correspondant à la position initiale du chariot et l'identifier comme correspondant au temps $t = 0{,}00$ s. Remplir ensuite le tableau 1, à la question 2 de la section « Les résultats ». Attention, les mesures des positions des points doivent être très précises.

Remarque

Il est possible que les étincelles émises au moment où le chariot n'avait pas encore commencé à glisser ne soient pas parfaitement superposées. Dans un tel cas, on considérera que la position initiale du chariot correspond au centre du petit « nuage » de points. Par ailleurs, négliger les derniers points sur le ruban, car ceux-ci ne sont souvent pas représentatifs, puisque le chariot ralentit brusquement puis rebondit (il n'est plus en MRUA).

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Les résultats

1. Compte tenu de la fréquence (f) du chronomètre, quel intervalle de temps (Δt) séparera deux points consécutifs sur le ruban enregistreur ?

2. Remplissez le tableau 1 ci-dessous. Ne tenez pas compte de tous les points imprimés sur le ruban, mais seulement d'un point sur trois. (On tient compte d'un point sur trois pour des raisons de commodité. Cela permet de gagner du temps sans perdre de précision.)

TABLEAU 1
La position du chariot en fonction du temps

Temps t (s)	Position x (m)	Temps t (s)	Position x (m)
0,00			

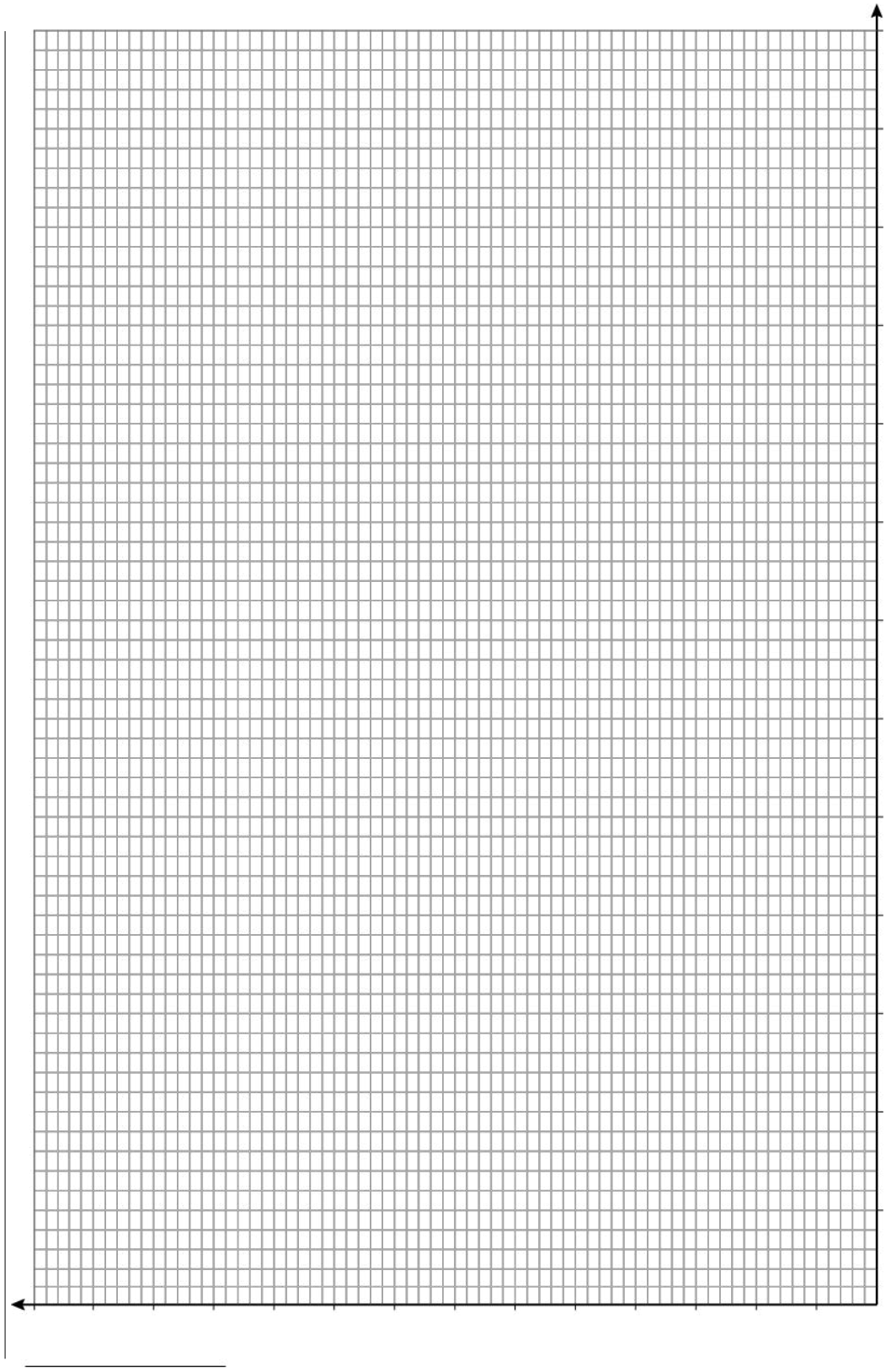
L'analyse des résultats

3. Observez la progression des données de position dans le tableau 1. Que remarquez-vous ?

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4. Sur le quadrillage ci-dessous, tracez le graphique de la position du chariot en fonction du temps, à partir des données que vous avez recueillies au tableau 1. Donnez un titre à votre graphique.



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

5. Quelle est la forme du tracé du graphique de la position du chariot en fonction du temps ?

_____

_____

6. À partir de votre graphique de la position du chariot en fonction du temps, évaluez la vitesse du chariot à cinq instants différents. (Faites en sorte de choisir des instants espacés régulièrement et couvrant l'ensemble du mouvement du chariot sur le rail.) Reportez vos résultats dans le tableau 2 ci-dessous. Laissez des traces de votre démarche dans l'encadré qui suit.

TABLEAU 2
La vitesse du chariot en fonction du temps

Temps *t* (s)	Vitesse *v* (m/s)

7. Observez la progression des données de vitesse dans le tableau 2. Que remarquez-vous ?

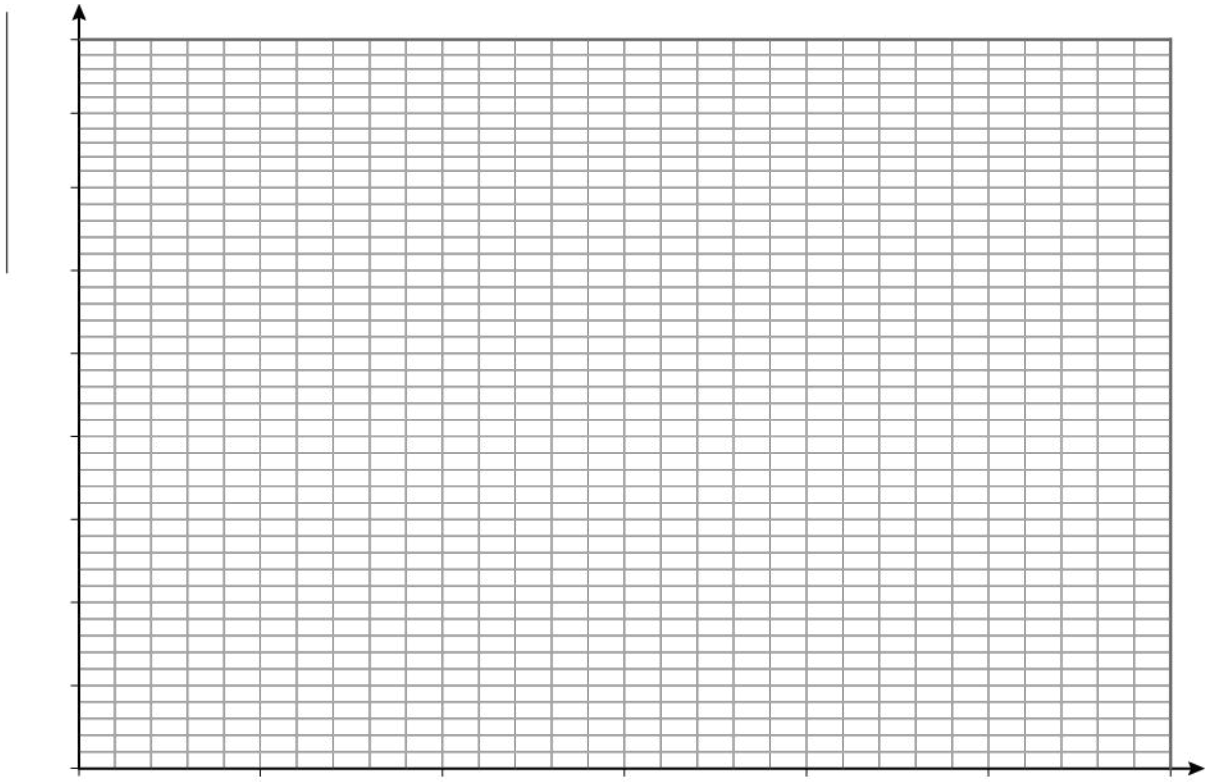
_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

8. Sur le quadrillage ci-dessous, tracez le graphique de la vitesse du chariot en fonction du temps à partir des données que vous avez recueillies au tableau 2. Donnez un titre à votre graphique.



9. *a)* À quel type de courbe correspond celle de votre graphique de la vitesse en fonction du temps ?

b) Le type de courbe que vous avez nommé en *a)* correspond-il à la définition du mouvement rectiligne uniformément accéléré ? Expliquez les écarts possibles.

c) D'après votre graphique, quelle était la vitesse initiale du chariot ? Expliquez votre réponse.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

10. À partir du graphique de la vitesse en fonction du temps que vous avez tracé, évaluez l'accélération moyenne du chariot durant l'ensemble de son mouvement.

11. Quelles sont les causes d'erreurs dans cette expérience ?

La conclusion

12. Décrivez les différentes relations observées expérimentalement pour un corps qu'on lâche le long d'un plan incliné :

a) la relation entre le déplacement et le temps ;

b) la relation entre la vitesse instantanée et le temps ;

c) la relation entre l'accélération et le temps.

13. Vos hypothèses sont-elles confirmées ou infirmées ? Si elles sont infirmées (en tout ou en partie), expliquez de quelle façon.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

LABO 3 L'analyse de la position d'un corps en chute libre

Cahier, p. 64

Mise en situation

Le grand saut

Le parachutisme est un sport extrême qui nécessite une grande confiance du parachutiste en son équipement, puisque sa survie en dépend. Après avoir sauté d'un avion ou d'un hélicoptère, le parachutiste dispose d'à peine quelques minutes, voire de quelques secondes, pour ouvrir son parachute. S'il l'ouvre trop tôt, alors qu'il n'a pas pris assez de vitesse, le parachute ne se déploiera pas correctement. S'il attend trop longtemps, le parachute n'aura pas le temps de ralentir suffisamment sa chute avant qu'il n'atteigne le sol. Ainsi, afin de planifier son saut adéquatement, le parachutiste doit posséder une bonne compréhension des principes de chute libre et d'accélération gravitationnelle, car une simple erreur de sa part pourrait être lourde de conséquences.

La préparation

1. Dans l'exemple du parachutisme, le corps est-il véritablement en chute libre ? Justifiez votre réponse.

_____

_____

_____

2. Au moment de sauter de l'avion, quelle est la vitesse initiale du parachutiste ? Ne tenez compte que de la composante verticale.

_____

_____

_____

3. Dans une situation de chute libre, comment évolue la vitesse du corps en fonction du temps ?

_____

_____

_____

4. Quelle est la valeur théorique de l'accélération gravitationnelle ?

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

LABO 3 L'analyse de la position d'un corps en chute libre

Cahier, p. 64

Le but de l'expérience

- Enregistrer puis analyser graphiquement l'évolution de la position d'un corps en chute libre.
- Déterminer expérimentalement la valeur de l'accélération gravitationnelle *g*.

Les hypothèses

Question A. D'après vous, quelles formes prendront les courbes de la position et de la vitesse de la masse que vous laisserez tomber en fonction du temps ? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

_____

_____

Question B. D'après vous, quelle sera la valeur de l'accélération de la masse que vous laisserez tomber lors de ce laboratoire ? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

_____

Le protocole de l'expérience

Matériel

- Un chronomètre à étincelles (ou à jets d'encre)
- Un ruban enregistreur
- Une masse à crochet d'environ 200 g
- Environ 1,25 m de fil à pêche
- Une serre en C
- Une poulie de table de force
- Un morceau de mousse pour protéger le plancher
- Une règle de 1 m

Manipulations

Réaliser les étapes suivantes.

1. Si la fréquence du chronomètre est ajustable, la régler à 60 Hz. Répondre à la question 1 de la section « Les résultats ».
2. Réaliser le montage de la figure 1 :
   – fixer la poulie au bord de la table ;
   – fixer le chronomètre à la table à l'aide de la serre en C, à environ 1,10 m de la poulie ;

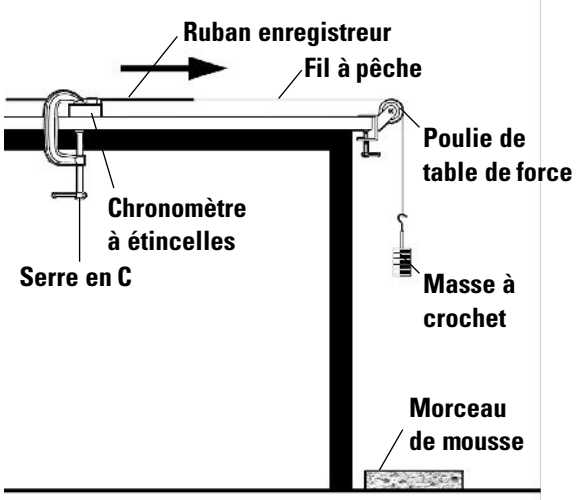


Figure 1 Le montage servant à produire et à analyser un mouvement de chute libre.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

– insérer le ruban enregistreur dans le chronomètre ;
– attacher l'extrémité du ruban enregistreur au fil à pêche (au besoin, poinçonner un petit trou dans le ruban et y faire passer le fil en le nouant) ;
– faire passer le fil à pêche par la poulie ;
– suspendre la masse au fil à pêche et bien la retenir en place avec la main ;
– placer le morceau de mousse sur le plancher vis-à-vis de la masse de façon que celle-ci tombe dessus lorsqu'elle sera lâchée.

3 Démarrer le chronomètre et, immédiatement après, lâcher la masse.

4 Arrêter le chronomètre et retirer le ruban enregistreur. S'assurer que les points sont bien visibles sur le ruban. Sinon, consulter l'enseignant (ou le technicien en travaux pratiques) et recommencer l'expérience si nécessaire. (Négliger les derniers points sur le ruban, car ceux-ci ne sont pas souvent représentatifs à cause du contact de la masse avec le sol.)

5 Encercler le point correspondant à la position initiale de la masse et l'identifier comme correspondant au temps $t = 0{,}00$ s. Remplir ensuite le tableau 1, à la question 2 de la section « Les résultats ». Attention, les mesures des positions des points doivent être très précises.

Remarque

Il est possible que les étincelles émises au moment où la masse n'avait pas encore commencé à descendre ne soient pas parfaitement superposées. Dans un tel cas, définir le premier point clairement isolé comme position initiale.

Les résultats

1. Compte tenu de la fréquence (f) du chronomètre, quel intervalle de temps (Δt) séparera deux points consécutifs sur le ruban enregistreur ?

2. Remplissez le tableau 1 ci-dessous. Pour des raisons de commodité, ne tenez pas compte de tous les points, mais seulement d'un point sur trois. (Ainsi, à partir du point que vous avez identifié comme correspondant au temps $t = 0{,}00$ s, sautez deux points, puis indiquez le temps auquel correspond le troisième point et mesurez sa position.)

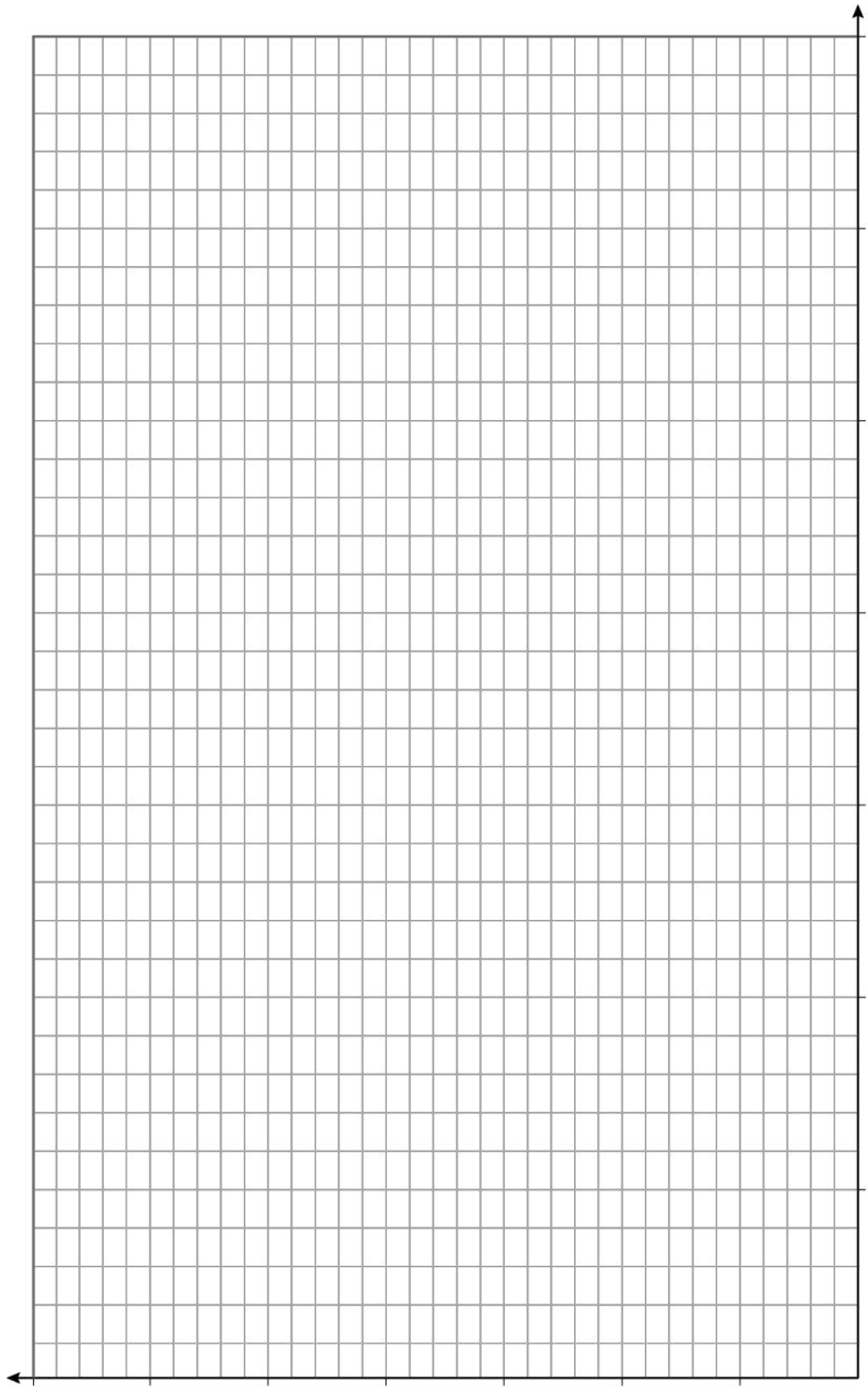
TABLEAU 1
La position de la masse en fonction du temps

Temps t (s)	Position x (m)	Temps t (s)	Position x (m)

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

L'analyse des résultats

3. Sur le quadrillage ci-dessous, tracez le graphique de la position de la masse en fonction du temps à partir des données du tableau 1. Donnez un titre à votre graphique.



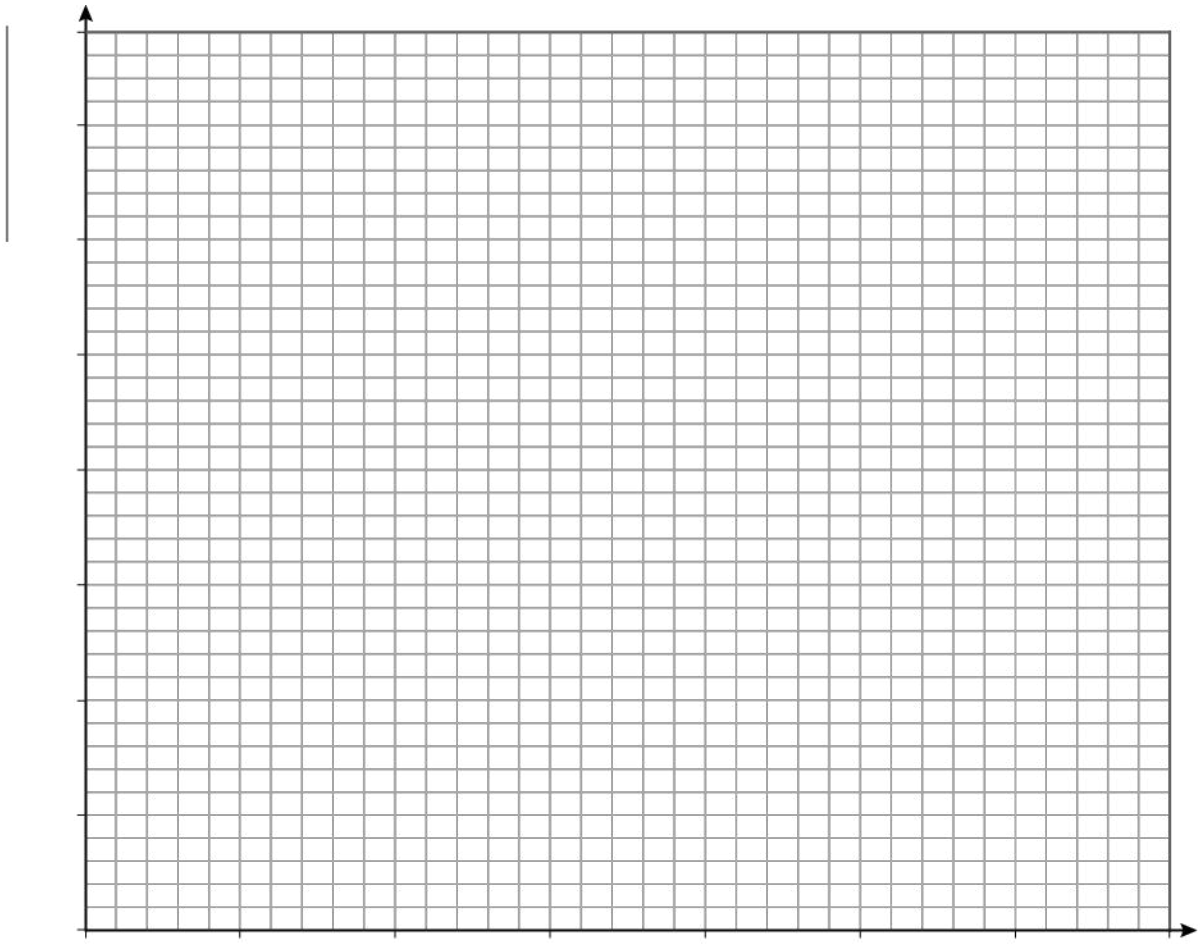
Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4. À partir de votre graphique de la position de la masse en fonction du temps, évaluez la vitesse de la masse à cinq instants différents. (Faites en sorte de choisir des instants espacés régulièrement et couvrant l'ensemble du mouvement de la masse.) Reportez vos résultats dans le tableau 2 ci-dessous. Laissez des traces de votre démarche dans l'encadré qui suit.

TABLEAU 2
La vitesse de la masse de 200 g en fonction du temps

Temps *t* (s)	Vitesse *v* (m/s)

5. Sur le quadrillage ci-dessous, tracez le graphique de la vitesse de la masse en fonction du temps à partir des données du tableau 2. Donnez un titre à votre graphique.



6. À partir du graphique de la vitesse en fonction du temps que vous avez tracé, évaluez l'accélération moyenne de la masse durant l'ensemble de son mouvement.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

7. Comparez la valeur de l'accélération mesurée à la valeur théorique de l'accélération gravitationnelle *g*, égale à 9,80 m/s².

8. Quelles sont les causes d'erreurs dans cette expérience ?

La conclusion

9. Votre hypothèse concernant la forme des courbes de la position et de la vitesse de la masse en fonction du temps a-t-elle été confirmée ? Expliquez votre réponse. Si votre hypothèse a été infirmée (en tout ou en partie), expliquez de quelle façon.

10. Votre hypothèse concernant l'accélération de la masse a-t-elle été confirmée ? Expliquez votre réponse. Si votre hypothèse a été infirmée (en tout ou en partie), expliquez de quelle façon.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 2 Le mouvement rectiligne uniformément accéléré

1 Complétez les définitions suivantes.

a) L'accélération correspond au taux de _____ de la _____ par rapport au _____ et a comme unité le _____.

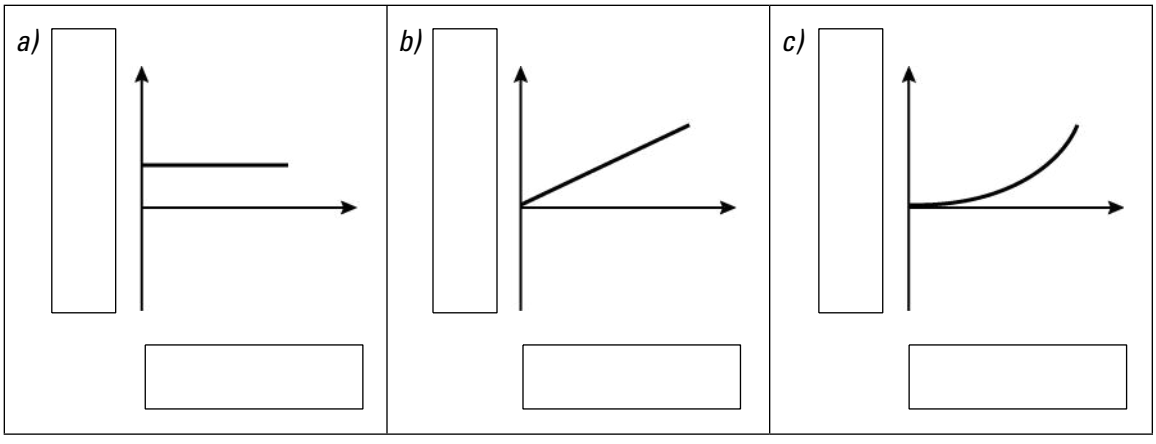
b) Un mouvement rectiligne uniformément accéléré (MRUA) est un _____ qui s'effectue en ligne _____ et qui a une accélération _____.

c) La vitesse moyenne d'un corps correspond au rythme de sa _____ de _____ durant un intervalle de _____ relativement _____, alors que la vitesse instantanée s'obtient pour un intervalle de _____ très _____.

d) L'accélération gravitationnelle moyenne à la surface terrestre est d'environ _____ et est représentée par un vecteur vers le _____.

e) Un plan incliné est une surface _____ par rapport à l'_____.

2 Les trois graphiques suivants représentent un mouvement rectiligne uniformément accéléré. En vous basant sur les courbes, identifiez correctement les axes et précisez les unités de mesure selon le système international.



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

3 Une voiture de course accélère de 2,5 m/s² à partir de la ligne de départ. Quelle est la vitesse de la voiture :

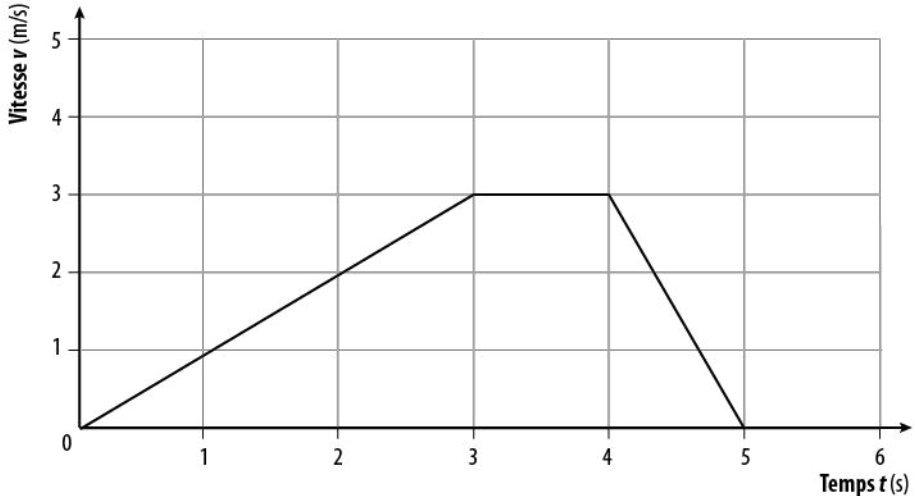
a) après 10,0 secondes ?

b) après 0,50 minute ?

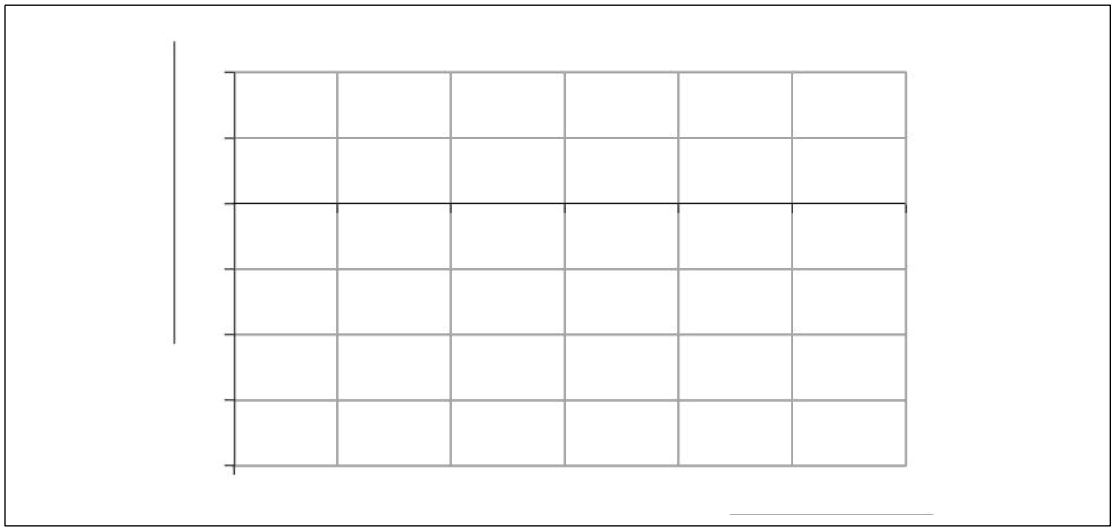
4 L'observatoire de l'Empire State Building de New York se situe à environ 370 m d'altitude. Si vous deviez laisser tomber une pièce de monnaie de cette hauteur, quelle serait sa vitesse en arrivant sur le sol ? Donnez votre réponse en km/h.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

5 Voici un graphique de la vitesse en fonction du temps représentant un MRUA.



a) Sur le quadrillage ci-dessous, tracez le graphique de l'accélération en fonction du temps.



b) Sur le quadrillage ci-dessous, tracez le graphique de la position en fonction du temps.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

6 Sur les autoroutes du Québec, la limite de vitesse est fixée à 100 km/h. Une voiture roule à 25 km/h et accélère à un rythme de 3,0 m/s² pendant 10 secondes. Son conducteur risque-t-il une contravention ?

7 En montagne, un skieur descend à une vitesse initiale de 1,5 m/s le long d'une pente de 35°. S'il décide de se laisser descendre sans se propulser, quelle sera sa vitesse après qu'il ait parcouru 50 m ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

8 DÉFI

Certains feux d'artifice ont la capacité de changer de vitesse après leur lancement. Ainsi, une pièce pyrotechnique lancée à partir d'une barge grâce à un mortier situé à 3,0 m au-dessus de l'eau sort du canon à une vitesse initiale de 3,0 m/s. La poudre s'enflamme immédiatement, ce qui permet à la fusée de subir une accélération de 8,0 m/s^2 jusqu'à son explosion à une altitude de 100 m. Pour synchroniser le feu d'artifice avec la musique, les techniciens doivent connaître le délai entre le lancement et l'explosion. Quelle est cette valeur ?

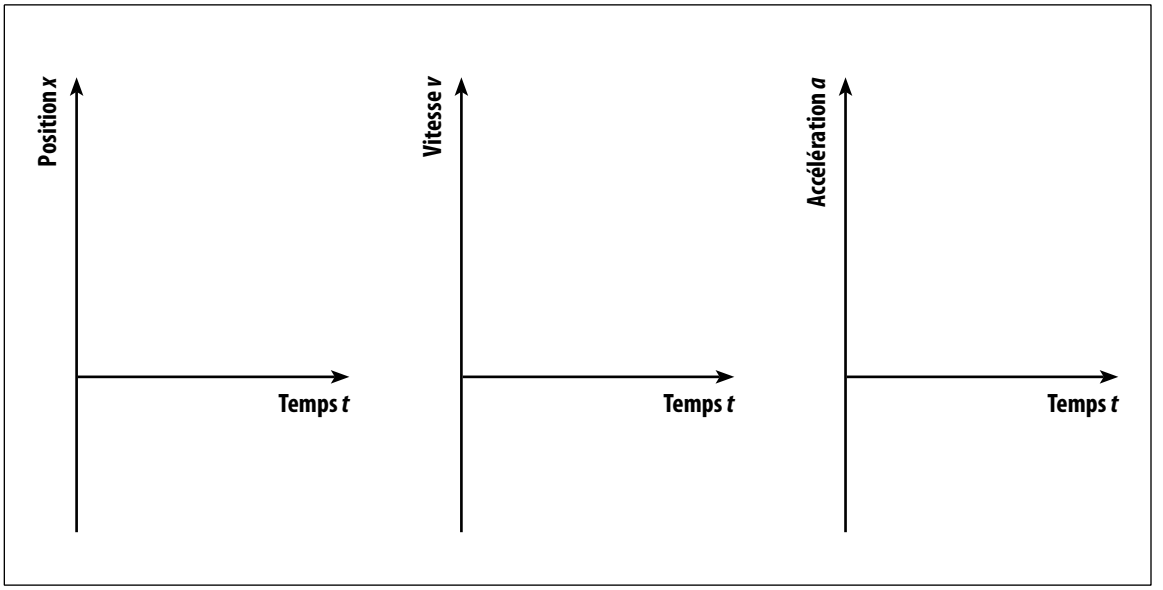
Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 2 Le mouvement rectiligne uniformément accéléré

/100

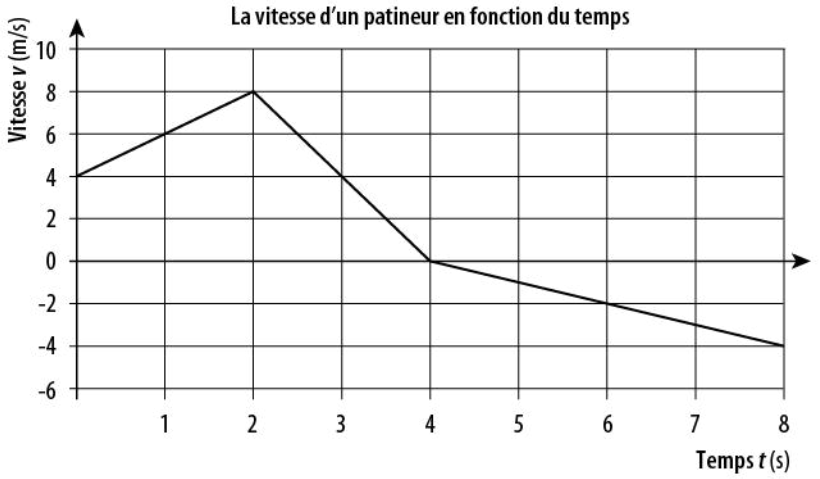
1. Un train se prépare à entrer en gare. Il arrive à grande vitesse, mais doit ralentir graduellement en adoptant une accélération constante. Sur les trois systèmes d'axes ci-dessous, esquissez la forme des courbes représentant la position, la vitesse et l'accélération du train en fonction du temps. Considérez que l'origine coïncide avec la position initiale du train et que l'axe des *x* positifs pointe vers la gare, comme illustré. Ne graduez pas les axes. **/15**



2. La vitesse d'un camion passe de 25,0 m/s à 22,0 m/s en diminuant de façon régulière pendant 7,5 s. Quelle est l'accélération du camion durant ce mouvement ? **/10**

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

3. Voici un graphique de la vitesse d'un patineur en fonction du temps. S'il était initialement à la position $x = 0$ m, où se trouve-t-il après 6 s ? **/15**



4. Dans lequel ou lesquels des cas suivants est-il *impossible* que le corps dont il est question soit en chute libre ? **/10**

A. La grandeur de l'accélération du corps est égale à 9,80 m/s².

B. La grandeur de la vitesse du corps diminue, atteint zéro, puis commence à augmenter.

C. La grandeur de l'accélération du corps est donnée par $a = g \sin 25°$.

D. La vitesse du corps est orientée vers le bas et sa grandeur est constante.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

5. Un planchiste descend une pente sans freiner ni faire d'effort pour augmenter sa vitesse. La pente est inclinée à 7,00° par rapport à l'horizontale. La vitesse initiale du planchiste en haut de la pente est de 3,00 m/s. On suppose que le frottement est négligeable. **/50**

a) Quelle est la grandeur de l'accélération du planchiste ?

b) Quelle distance le planchiste aura-t-il parcourue après 5,00 s ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

c) Quelle est la vitesse du planchiste quand il arrive au bas de la pente, après avoir franchi 50,0 m ?

d) Quelle est la vitesse moyenne du planchiste sur l'ensemble de son mouvement (sur 50,0 m) ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Sommaire

Mécanique – Module 1 La cinématique

Chapitre 3 Le mouvement des projectiles

	Fiche
Corrigé du cahier (exercices du chapitre)	M-57
Corrigé du cahier (consolidation du module 1)	M-61
Labo 4	M-62
Exercices	M-68
Évaluation	M-72
Évaluation du module 1	M-76

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 3 Le mouvement des projectiles

Cahier, p. 77

Section 1 L'indépendance des mouvements horizontal et vertical

Cahier, p. 77

1. Similitude : La variation de position en fonction du temps selon l'axe vertical est identique, que la balle soit lancée (balle blanche) ou simplement lâchée (balle rouge, $v_i = 0$).

Différence : La balle lancée (balle blanche) suit une trajectoire curviligne tandis que la balle lâchée (balle rouge) suit une trajectoire rectiligne.

2. A, C, D, E et F

3. *a)* Elle doublerait. Comme le mouvement horizontal est indépendant du mouvement vertical, et que ce dernier ne change pas, une vitesse doublée implique une distance horizontale doublée.

b) Elle diminuerait du quart. Comme le mouvement horizontal est indépendant du mouvement vertical, et que ce dernier ne change pas, une vitesse diminuée du quart implique une distance horizontale également diminuée du quart.

Section 2 Les équations du mouvement des projectiles

Cahier, p. 80 et 81

1. *a)* **Données**

1. On situe l'origine du référentiel au pied de la falaise. Ainsi, la position initiale de la lance est $x_i = 0$ m, $y_i = 15$ m.
2. Puisque la lance part horizontalement, sa vitesse initiale est selon l'axe des *x* seulement ($v_{iy} = 0$).

$x_i = 0$ m	$v_{ix} = 10{,}0$ m/s	$v_{fy} = ?$
$x_f = ?$	$v_{fx} = 10{,}0$ m/s	$a_y = {}^-9{,}80$ m/s^2
$y_i = 15{,}0$ m	$v_{iy} = 0$ m/s	$\Delta t = ?$
$y_f = 0$ m		

Solution

3. Pour trouver la distance horizontale parcourue, on doit connaître le temps requis pour que la lance touche le sol. Pour cela, on traite le mouvement vertical en premier. Avec l'équation 4, on peut déterminer le temps. On peut résoudre l'équation 4 par factorisation ou comme ceci :

$$y_f = y_i + v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y\Delta t^2$$

$$\rightarrow 0\text{ m} = 15{,}0\text{ m} + 0\text{ m/s} \times \Delta t + \frac{1}{2} \times {}^-9{,}80\text{ m/s}^2 \times \Delta t^2$$

$$\rightarrow \Delta t^2 = \frac{0\text{ m} - 15{,}0\text{ m}}{{}^-4{,}90\text{ m/s}^2} = \Delta t = \sqrt{\frac{{}^-15\text{ m}}{{}^-4{,}90\text{ m/s}^2}} = 1{,}75\text{ s}$$

Maintenant que l'on connaît le temps mis par la lance pour toucher le sol, on peut trouver la distance horizontale parcourue avec l'équation 1 :

$$x_f = x_i + v_{ix}\Delta t = 0\text{ m} + 10{,}0\text{ m/s} \times 1{,}75\text{ s} = 17{,}5\text{ m}$$

Réponse : La distance horizontale parcourue par la lance est de 17,5 m.

b) La vitesse horizontale étant constante, il faut calculer la vitesse finale en *y* avec l'équation 5 :

$$v_{fy}^2 = v_{iy}^2 + 2a_y\Delta y$$

$$v_{fy} = \sqrt{v_{iy}^2 + 2a_y\Delta y}$$

$$= \sqrt{(0\text{ m})^2 + 2 \times ({}^-9{,}80\text{ m/s}^2) \times ({}^-15{,}0\text{ m})} = \pm 17{,}1\text{ m/s}$$

Comme la vitesse est dirigée vers le bas, le signe de la vitesse en *y* est négatif.

On calcule la norme du vecteur vitesse à l'aide du théorème de Pythagore :

$$v_f = \sqrt{v_{fx}^2 + v_{fy}^2} = \sqrt{(10{,}0\text{ m/s})^2 + ({}^-17{,}1\text{ m/s})^2} = 19{,}8\text{ m/s}$$

Réponse : La grandeur de la vitesse finale de la lance est de 19,8 m/s.

c) La composante horizontale (*x*) de la vitesse est positive ($v_x = 10{,}0$ m/s) et la composante verticale (*y*) est négative ($v_y = {}^-17{,}1$ m/s).

On a donc $\theta = 360° - \alpha$, avec :

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{v_y}{v_x}\right|\right) = \tan^{-1}\left(\left|\frac{{}^-17{,}1\text{ m/s}}{10{,}0\text{ m/s}}\right|\right) = 59{,}7°$$

Ainsi : $\theta = 360° - \alpha = 360° - 59{,}7° = 300{,}3°$

Réponse : Le vecteur vitesse fait un angle de 300,3° avec l'horizontale (mesuré en sens antihoraire à partir de l'axe des *x* positifs).

2. *a)* Comme le vecteur vitesse fait un angle de 45° avec le sol, la composante *x* de la vitesse est égale à la composante *y*. En effet :

$$v_{iy} = v\sin 45° = 69{,}0\text{ m/s} \times 0{,}707 = 48{,}8\text{ m/s}$$

$$v_{ix} = v\cos 45° = 69{,}0\text{ m/s} \times 0{,}707 = 48{,}8\text{ m/s}$$

Réponse : Les composantes horizontale et verticale sont égales, soit de 48,8 m/s.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) **Données**

$x_i = 0$ m $\quad v_{iy} = 48{,}8$ m/s

$x_f = ?$ $\quad v_{fy} = ?$

$y_i = 0$ m $\quad t_i = 0$ s

$y_f = ?$ $\quad t_f = 4{,}00$ s

$v_{ix} = 48{,}8$ m/s $\quad a_y = {}^{-}9{,}80$ m/s^2

$v_{fx} = 48{,}8$ m/s

Solution

La vitesse horizontale ne varie pas :

$v_{ix} = v_{fx} = 48{,}8$ m/s

On doit choisir une équation qui peut fournir v_{fy} en fonction des valeurs que l'on connaît.

Il s'agit de l'équation 2 (*voir le tableau 3.1, à la page 78*) :

$$v_{fy} = v_{iy} + a_y \times \Delta t$$
$$= 48{,}8 \text{ m/s} + ({}^{-}9{,}80 \text{ m/s}^2) \times 4{,}00 \text{ s}$$
$$= 9{,}59 \text{ m/s}$$

En utilisant le théorème de Pythagore, on calcule :

$$v_f = \sqrt{v_{fx}^2 + v_{fy}^2} = \sqrt{(48{,}8 \text{ m/s})^2 + (9{,}59 \text{ m/s})^2} = 49{,}7 \text{ m/s}$$

Réponse : La norme du vecteur vitesse à $t = 4{,}00$ s est de 49,7 m/s.

Section 3
Le mouvement des projectiles lancés horizontalement

Cahier, p. 83 et 84

1. B, D, E, F et G

2. *a)* **Données**

$x_i = 0$ m $\quad v_{iy} = 0$ m/s

$x_f = 50{,}0$ m $\quad v_{fy} = ?$

$y_i = 85{,}0$ m $\quad t_i = 0$ s

$y_f = 0$ m $\quad t_f = ?$

$v_{ix} = ?$ $\quad a_y = {}^{-}9{,}80$ m/s^2

$v_{fx} = ?$

Solution

Seul le mouvement vertical est utile pour trouver le temps que dure la chute. On utilise l'équation 4.

$$y_f = y_i + v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y \Delta t^2$$

$$0 \text{ m} = 85{,}0 \text{ m} + 0 \text{ m/s} \times \Delta t + \frac{1}{2} \times {}^{-}9{,}80 \text{ m/s}^2 \times \Delta t^2$$

$$\rightarrow \Delta t^2 = \frac{0 \text{ m} - 85{,}0 \text{ m}}{{}^{-}4{,}90 \text{ m/s}^2}$$

$$\Delta t = \sqrt{\frac{{}^{-}85 \text{ m}}{{}^{-}4{,}90 \text{ m/s}^2}} = 4{,}16 \text{ s}$$

Réponse : La pierre prendra 4,16 s pour toucher le sol.

b) **Solution**

On utilise l'équation 1 pour trouver v_{ix} :

$$x_f = x_i + v_{ix}\Delta t \quad \rightarrow \quad v_{ix} = \frac{x_f - x_i}{\Delta t} = \frac{50{,}0 \text{ m} - 0 \text{ m}}{4{,}16 \text{ s}} = 12{,}0 \text{ m/s}$$

Réponse : La vitesse horizontale initiale de la pierre est de 12,0 m/s.

3. Données

À l'arrivée au sol de la lance, on peut dire que $y_f = 0$. La composante v_x demeure constante, donc $v_{ix} = v_{fx}$, tandis que la composante $v_{iy} = 0$.

$x_i = 0$ m $\quad v_{iy} = 0$ m/s

$x_f = ?$ $\quad v_{fy} = ?$

$y_i = 6{,}00$ m $\quad t_i = 0$ s

$y_f = 0$ m $\quad t_f = ?$

$v_{ix} = 15{,}0$ m/s $\quad a_y = {}^{-}9{,}80$ m/s^2

$v_{fx} = 15{,}0$ m/s

Solution

1. On doit d'abord trouver le temps que dure la chute. Seul le mouvement vertical est utile pour le trouver. On utilise l'équation 4.

$$y_f = y_i + v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y \Delta t^2$$

$$0 \text{ m} = 6{,}00 \text{ m} + 0 \text{ m/s} \times \Delta t + \frac{1}{2} \times {}^{-}9{,}80 \text{ m/s}^2 \times \Delta t^2$$

$$\rightarrow \Delta t^2 = \frac{0 \text{ m} - 6{,}00 \text{ m}}{{}^{-}4{,}9 \text{ m/s}^2}$$

$$\Delta t = \sqrt{\frac{{}^{-}6{,}00 \text{ m}}{{}^{-}4{,}90 \text{ m/s}^2}} = 1{,}11 \text{ s}$$

2. On utilise ensuite l'équation 1 pour trouver x_f :

$$x_f = x_i + v_{ix}\Delta t$$
$$= 0 \text{ m} + 15{,}0 \text{ m/s} \times 1{,}11 \text{ s} = 16{,}6 \text{ m}$$

Réponse : Puisque la lance touchera le sol à 16,6 m du pied de la crête rocheuse, elle n'atteindra pas l'animal situé à 17 m.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Section 4
Le mouvement des projectiles lancés obliquement

Cahier, p. 86 et 87

1. *a)* **Données**

$v_y = 15{,}0$ m/s $\quad v_x = 10{,}0$ m/s $\quad v = ?$

Solution

À partir des composantes v_x et v_y du vecteur vitesse à un instant donné, et en utilisant le théorème de Pythagore, on calcule :

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(10{,}0\text{ m/s})^2 + (15{,}0\text{ m/s})^2} = 18{,}0\text{ m/s}$$

Réponse : La grandeur du vecteur vitesse est de 18,0 m/s.

b) **Données**

$v_y = 15{,}0$ m/s $\quad v_x = 10{,}0$ m/s $\quad \theta = ?$

Solution

Puisque les deux composantes de la vitesse sont positives, $\theta = \alpha$:

$$\theta = \alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{v_y}{v_x}\right|\right) = \tan^{-1}\left(\left|\frac{15{,}0\text{ m/s}}{10{,}0\text{ m/s}}\right|\right) = 56{,}3°$$

Réponse : L'angle initial du lancer est de 56,3°.

2. *a)* **Données**

Portée = ? $\quad \theta_i = 30°$

$v_i = 18{,}0$ m/s $\quad a_y = 9{,}80$ m/s^2

Solution

On peut utiliser l'équation de la portée.

$$\text{Portée} = \frac{v_i^2 \sin 2\theta_i}{g} = \frac{(18{,}0\text{ m/s})^2 \sin(2 \times 30°)}{9{,}80\text{ m/s}^2} = 28{,}6\text{ m}$$

Réponse : La portée sera de 28,6 m.

b) **Solution**

On peut utiliser l'équation de la portée, mais avec un angle de 45°.

$$\text{Portée} = \frac{v_i^2 \sin 2\theta_i}{g} = \frac{(18{,}0\text{ m/s})^2 \sin(2 \times 45°)}{9{,}80\text{ m/s}^2} = 33{,}1\text{ m}$$

Réponse : La portée maximale aurait pu être de 33,1 m.

3. *a)* **Données**

Portée = ? $\quad \theta_i = 40°$

$v_i = 200$ m/s $\quad a_y = 9{,}80$ m/s^2

Solution

On peut utiliser l'équation de la portée.

$$\text{Portée} = \frac{v_i^2 \sin 2\theta_i}{g}$$

$$= \frac{(200\text{ m/s})^2 \sin(2 \times 40°)}{9{,}80\text{ m/s}^2} = 4{,}02 \times 10^3\text{ m}$$

$$= 4{,}02 \times 10^3\text{ m}$$

Réponse : La portée du projectile est de $4{,}02 \times 10^3$ m.

b) **Données**

Il faut calculer la composante v_{iy}.

$v_{iy} = v_i \sin\theta = 200\text{ m/s} \times \sin 40° = 129\text{ m/s}$

$x_i = 0$ m

$x_f = 4{,}02 \times 10^3$ m

$y_i = 0$ m

$y_f = 0$ m

$\Delta t = ?$

$a_y = -9{,}80$ m/s^2

Note : Il n'est pas nécessaire de calculer la composante en x de la vitesse initiale et finale.

Solution

Il faut utiliser l'équation 4 pour trouver le temps de vol du projectile.

$$y_f = y_i + v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y \Delta t^2$$

$$0\text{ m} = 0\text{ m} + 129\text{ m/s} \times \Delta t + \frac{1}{2} \times (-9{,}80\text{ m/s}^2) \times \Delta t^2$$

$$4{,}90\text{ m/s}^2 \Delta t^2 - 129\text{ m/s}\,\Delta t = 0\text{ m}$$

Après factorisation, on a :

$$\Delta t(4{,}90\text{ m/s}^2\,\Delta t - 129\text{ m/s}) = 0\text{ m} \rightarrow \Delta t = 0\text{ s ou } \Delta t = 26{,}2\text{ s}$$

$\Delta t = 0$ s est à rejeter, donc on a : $\Delta t = 26{,}2$ s

Réponse : Le temps de vol du projectile est de 26,2 s.

Chapitre 3
Synthèse

Cahier, p. 88 à 90

1 B

2 **Données**

Portée = 204 m

$v_i = ?$

$\theta_i = 24°$

$a_y = 9{,}80$ m/s^2

Solution

On doit choisir une équation qui peut fournir la vitesse initiale en fonction des valeurs que l'on connaît. C'est l'équation de la portée :

$$\text{Portée} = \frac{v_i^2 \sin 2\theta_i}{g}$$

$$\rightarrow v_i = \sqrt{\frac{\text{Portée} \times g}{\sin 2\theta_i}} = \sqrt{\frac{204\text{ m} \times 9{,}80\text{ m/s}^2}{\sin(2 \times 24°)}} = 51{,}9\text{ m/s}$$

Réponse : La vitesse initiale doit être de 51,9 m/s.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

3 *a)* Il devrait sauter avec un angle de 45° : c'est l'angle qui donne la plus grande portée pour une vitesse initiale donnée.

b) **Données**

$x_i = 0\,\text{m}$ $\quad t_i = 0\,\text{s}$

$x_f = 3{,}00\,\text{m}$ $\quad t_f = ?$

$y_i = 0\,\text{m}$ $\quad a_y = -9{,}80\,\text{m/s}^2$

$y_f = 0\,\text{m}$ $\quad \theta = 45°$

$v_{iy} = ?$ $\quad v_{ix} = v_{fx} = ?$

$v_{fy} = 0\,\text{m/s}$

Solution

On doit choisir une équation qui peut fournir la vitesse initiale en fonction des valeurs que l'on connaît. C'est l'équation de la portée :

$$\text{Portée} = \frac{v_i^2 \sin 2\theta_i}{g}$$

$$v_i = \sqrt{\frac{\text{Portée} \times g}{\sin 2\theta_i}} = \sqrt{\frac{3{,}00\,\text{m} \times 9{,}80\,\text{m/s}^2}{\sin(2 \times 45°)}} = 5{,}42\,\text{m/s}$$

Réponse : La vitesse initiale minimale devrait être de 5,42 m/s.

4 *a)* **Données**

$x_i = 0\,\text{m}$ $\quad v_{iy} = 0\,\text{m/s}$

$x_f = ?$ $\quad v_{fy} = ?$

$y_i = 20{,}0\,\text{m}$ $\quad t_i = 0\,\text{s}$

$y_f = 0\,\text{m}$ $\quad t_f = ?$

$v_{ix} = 150\,\text{m/s}$ $\quad a_y = -9{,}80\,\text{m/s}^2$

$v_{fx} = 150\,\text{m/s}$

Solution

On doit choisir une équation qui peut fournir t_f en fonction des valeurs que l'on connaît. C'est l'équation 4 :

$$y_f = y_i + v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y \Delta t^2$$

$$0\,\text{m} = 20{,}0\,\text{m} + 0\,\text{m/s} \times \Delta t + \frac{1}{2} \times (-9{,}80\,\text{m/s}^2) \times \Delta t^2$$

$$\Delta t = \pm\sqrt{\frac{20{,}0\,\text{m}}{4{,}9\,\text{m/s}^2}} = \pm 2{,}02\,\text{s}$$

On rejette la solution négative ; donc $\Delta t = 2{,}02$ s.

Réponse : Le temps de vol sera de 2,02 s.

b) **Données**

$x_i = 0\,\text{m}$ $\quad v_{iy} = 0\,\text{m/s}$

$x_f = ?$ $\quad v_{fy} = ?$

$y_i = 20{,}0\,\text{m}$ $\quad t_i = 0\,\text{s}$

$y_f = 0\,\text{m}$ $\quad t_f = 2{,}02\,\text{s}$

$v_{ix} = 150\,\text{m/s}$ $\quad a_y = -9{,}80\,\text{m/s}^2$

$v_{fx} = 150\,\text{m/s}$

Solution

Puisque $x_i = 0$ m, la distance horizontale parcourue correspond à x_f.

On doit choisir une équation qui peut fournir x_f en fonction des valeurs que l'on connaît.

C'est l'équation 1 :

$$x_f = x_i + v_{ix}\Delta t = 0\,\text{m} + 150\,\text{m/s} \times 2{,}02\,\text{s} = 303\,\text{m}$$

Réponse : La distance hotizontale parcourue sera de 303 m.

5 **Données**

$x_i = 0\,\text{m}$ $\quad v_{iy} = ?$

$x_f = ?$ $\quad v_{fy} = ?$

$y_i = 20{,}0\,\text{m}$ $\quad t_i = 0\,\text{s}$

$y_f = 0\,\text{m}$ $\quad t_f = 3{,}00\,\text{s}$

$v_{ix} = v_{fx} = ?$ $\quad a_y = -9{,}80\,\text{m/s}^2$

$\theta = 20°$

Solution

On doit choisir une équation qui peut fournir la vitesse initiale en fonction des valeurs que l'on connaît. C'est l'équation 4 :

$$y_f = y_i + v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y \Delta t^2$$

$$v_{iy} = \frac{y_f - y_i - \frac{1}{2}a_y \Delta t^2}{\Delta t}$$

$$= \frac{0\,\text{m} - 20{,}0\,\text{m} - \frac{1}{2} \times (-9{,}80\,\text{m/s}^2) \times (3{,}00\,\text{s})^2}{3{,}00\,\text{s}} = 8{,}03\,\text{m/s}$$

Ainsi,

$$v_{iy} = v_i \sin\theta$$

$$v_i = \frac{v_{iy}}{\sin\theta} = \frac{8{,}03\,\text{m/s}}{\sin 20°} = 23{,}5\,\text{m/s}$$

Donc,

$$v_{ix} = v_i \cos\theta = 23{,}5\,\text{m/s} \times \cos 20° = 22{,}1\,\text{m/s}$$

Réponse : Les composantes de sa vitesse initiale juste avant qu'il ne quitte le tremplin ainsi que la grandeur du vecteur vitesse initiale sont les suivantes : $v_{ix} = 22{,}1$ m/s ; $v_{iy} = 8{,}03$ m/s ; $v_i = 23{,}5$ m/s.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Module 1 Consolidation

Cahier, p. 91 et 92

1. *a)* **Solution**

On calcule la vitesse moyenne entre $t = 0$ s et $t = 4$ s en utilisant les points (0, 0) et (4, 32).

$$v_{moy} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{32\text{ m} - 0\text{ m}}{4\text{ s} - 0\text{ s}} = 8\text{ s}$$

b) Plusieurs réponses possibles. Ex. : On pourrait calculer la vitesse instantanée à chaque seconde (en calculant la pente de la tangente à la courbe à chaque seconde) et tracer le graphique de la vitesse du skieur en fonction du temps. Le calcul de la pente de ce graphique nous donnerait l'accélération du skieur, qui est constante pendant toute la descente.

2. Données

$y_i = 0$ m	$v_f = 0$ m/s	$a = ?$
$y_f = 10$ m	$t_i = 0$ s	
$v_i = 20$ m/s	$t_f = 3{,}0$ s	

Solution

Pour déterminer l'accélération de l'ascenseur, on peut utiliser l'équation 3 (du tableau 2.1 de la page 60) :

$$y_f = y_i + v_i\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2$$

$$\rightarrow a = \frac{2 \times (y_f - y_i - v_i\Delta t)}{\Delta t^2}$$

$$= \frac{2 \times (10\text{ m} - 0\text{ m} - 20\text{ m/s} \times 3{,}0\text{ s})}{(3{,}0\text{ s})^2} = {}^{-}11\text{ m/s}^2$$

L'accélération de l'ascenseur est de $^{-}11$ m/s². Elle est négative, car il s'agit d'une décélération.

3. C

4. *a)* Il est dans les airs durant 3,40 s, car le mouvement est décrit par une parabole : 1,70 s pour monter, et 1,70 s pour redescendre.

b) $v_{ix} = v\cos 28° = 35{,}0\text{ m/s} \times 0{,}883 = 30{,}9\text{ m/s}$
$v_{iy} = v\sin 28° = 35{,}0\text{ m/s} \times 0{,}469 = 16{,}4\text{ m/s}$

Réponse : Les composantes horizontale et verticale sont respectivement de 30,9 m/s et de 16,4 m/s.

c) **Données**

$x_i = 0$ m	$v_{iy} = 16{,}4$ m/s
$x_f = ?$	$v_{fy} = ?$
$y_i = 0$ m	$t_i = 0$ s
$y_f = ?$	$t_f = 1{,}00$ s
$v_{ix} = 30{,}9$ m/s	$a_y = {}^{-}9{,}80$ m/s²
$v_{fx} = 30{,}9$ m/s	

Solution

On doit choisir une équation qui peut fournir v_{fy} en fonction des valeurs que l'on connaît. Il s'agit de l'équation 2 (du tableau 3.1 de la page 78) :

$$v_{fy} = v_{iy} + a_y \times \Delta t$$

$$= 16{,}4\text{ m/s} + ({}^{-}9{,}80\text{ m/s}^2) \times 1{,}00\text{ s}$$

$$= 6{,}6\text{ m/s}$$

En utilisant le théorème de Pythagore, on calcule :

$$v_f = \sqrt{v_{fx}^2 + v_{fy}^2} = \sqrt{(30{,}9\text{ m/s})^2 + (6{,}6\text{ m/s})^2} = 31{,}6\text{ m/s}$$

Réponse : La norme du vecteur vitesse à $t = 1{,}00$ s est de 31,6 m/s.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

LABO 4 La portée d'un projectile lancé horizontalement

Cahier, p. 82

Mise en situation

Le saut de l'ange

Dans différentes régions du monde, d'immenses falaises bordent la mer ou l'océan. Certains baigneurs, très téméraires, n'hésitent pas à se lancer du haut de ces crêtes pour plonger dans l'eau. Le danger réside dans le fait que si les baigneurs ne s'élancent pas assez loin, ils pourraient se heurter à la paroi rocheuse. C'est pour cette raison qu'il est préférable de courir au sommet de la falaise avant de sauter du bord. Alors que la plupart de ces cascadeurs utilisent leur jugement pour estimer très approximativement la distance de leur saut, une personne plus raisonnable effectuera un bref calcul pour obtenir une réponse beaucoup plus précise et ainsi prendre un risque bien calculé.

La préparation

1. Quand une personne court et saute d'une falaise, possède-t-elle une vitesse initiale selon les deux axes ?

_____

_____

_____

2. Si on néglige la friction de l'air, comment évolue la vitesse horizontale du corps ?

_____

_____

3. Si on néglige la friction de l'air, comment évolue la vitesse verticale du corps ?

_____

_____

4. Quel facteur détermine la durée du saut ?

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

LABO 4 La portée d'un projectile lancé horizontalement

Cahier, p. 82

Remarque

Ce laboratoire est réalisé en deux étapes : l'expérience préliminaire et l'expérience principale.

Le but de l'expérience principale

Vérifier expérimentalement la justesse d'une équation destinée à prévoir la portée d'un projectile lancé horizontalement.

L'hypothèse

Dans cette expérience, une bille roulera horizontalement à vitesse constante sur une table. Rendue au bout de la table, la bille tombera dans le vide.

En vous basant sur les équations qui décrivent le mouvement d'un projectile, trouvez une équation qui permettra de calculer la portée horizontale de la bille à partir de la hauteur h de la table et de la vitesse initiale v_i de la bille. Expliquez bien votre démarche.

Pour pouvoir calculer la portée d'un projectile lancé horizontalement, il faut connaître sa vitesse et sa hauteur initiales. Vous procéderez donc à une expérience préliminaire qui vous permettra d'évaluer ces paramètres. Vous serez ensuite en mesure d'utiliser la formule trouvée dans la partie « L'hypothèse » pour prévoir la portée du projectile.

EXPÉRIENCE PRÉLIMINAIRE

Les buts de l'expérience préliminaire

- Mesurer les valeurs numériques nécessaires pour prévoir la portée d'un projectile lancé horizontalement.
- Prévoir la portée d'un projectile lancé horizontalement.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Le protocole de l'expérience préliminaire

Matériel

- Une bille de métal
- Un plan incliné et une pince
- Un support universel
- Un chronomètre à déclenchement manuel
- Du ruban adhésif de couleur
- Un mètre (ou un ruban à mesurer)
- Un niveau

Manipulations

1 Réaliser le montage de la figure 1. Utiliser un niveau pour s'assurer que le plan incliné soit bien droit transversalement. Coller un petit morceau de ruban adhésif de couleur sur le plan incliné, à une hauteur de 4 à 5 cm au-dessus du niveau de la table, pour marquer l'endroit d'où la bille sera projetée. Coller deux autres morceaux de ruban adhésif sur la table, le long de la trajectoire de la bille, pour obtenir deux points de repère. (Faire en sorte que la seconde marque soit près du bord de la table. La distance entre les deux marques devrait être d'au moins 25 cm.)

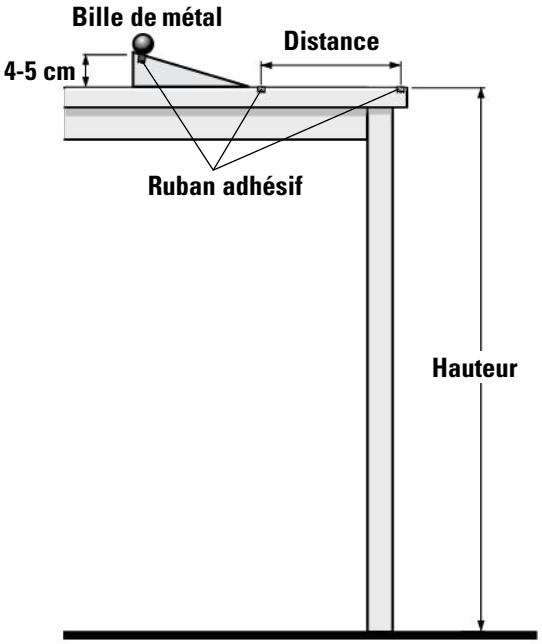


Figure 1 Le montage de l'expérience préliminaire.

2 Mesurer la distance entre les deux marques de ruban adhésif collé sur la table et noter le résultat en répondant à la question 1 de la partie « Les résultats de l'expérience préliminaire ».

3 Placer la bille vis-à-vis du morceau de ruban adhésif qui a été collé sur le plan incliné, puis laisser tomber la bille (sans lui donner d'élan) de façon qu'elle glisse sur le plan incliné, puis sur la table. Mettre en marche le chronomètre lorsque la bille passe devant la première marque de ruban adhésif et l'arrêter lorsqu'elle passe devant la seconde marque. Saisir la bille avant qu'elle ne tombe de la table. Noter l'intervalle de temps mesuré par le chronomètre dans le tableau 1 de la question 2 de la partie « Les résultats de l'expérience préliminaire ».

4 Répéter cette manipulation sept autres fois et noter les résultats dans le tableau 1 de la question 2. À chaque essai, s'assurer de laisser tomber la bille exactement à la même hauteur (au même endroit, vis-à-vis de la marque de ruban adhésif). De plus, s'assurer de mesurer l'intervalle de temps qui correspond à la distance qui a été mesurée entre les deux rubans à la manipulation 2. (Ex. : si on a mesuré la distance entre le centre de la première marque de ruban et le centre de la seconde marque, démarrer le chronomètre lorsque la bille passe au centre de la première marque et l'arrêter lorsqu'elle passe au centre de la seconde marque.)

5 Mesurer la hauteur de la table à l'aide du mètre et noter le résultat en répondant à la question 3 de la partie « Les résultats de l'expérience préliminaire ».

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Les résultats de l'expérience préliminaire

1. Quelle est la distance qui sépare les deux marques de ruban adhésif collé sur la table ?

_____

2. Complétez le tableau 1 ci-dessous à l'aide des résultats obtenus.

TABLEAU 1
L'intervalle de temps mesuré

Essai	Temps *t* (s)	Essai	Temps *t* (s)
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

3. Quelle est la hauteur de la table (correspondant à la hauteur initiale d'où la bille a commencé son mouvement de projectile) ?

_____

L'analyse des résultats de l'expérience préliminaire

4. Quelle est la valeur moyenne du temps mis par la bille pour franchir la distance séparant les deux marques de ruban adhésif collé sur la table ? Laissez des traces de votre démarche.

5. Quelle est, en mètres par seconde, la vitesse moyenne de la bille lorsqu'elle franchit la distance séparant les deux marques de ruban adhésif collé sur la table ? Laissez des traces de votre démarche.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

6. D'après vous, peut-on considérer que la vitesse calculée à la question 5 correspond à la vitesse que la bille aura, dans l'expérience principale, au début de son mouvement de projectile (lorsqu'elle quittera la table) ? Expliquez votre réponse.

La conclusion de l'expérience préliminaire

7. À partir de la valeur de la vitesse de la bille lors de son mouvement rectiligne uniforme (MRU) et de la hauteur de la table, évaluez la portée que la bille aura lors de son mouvement de projectile. Laissez des traces de votre démarche.

EXPÉRIENCE PRINCIPALE

Le protocole de l'expérience principale

Matériel

- Une bille de métal
- Un plan incliné et une pince
- Un support universel
- Du ruban adhésif
- Un mètre (ou un ruban à mesurer)
- Une feuille de papier millimétrique
- Une feuille de papier carbone (21,6 cm × 27,9 cm ou plus)

Manipulations

1 Dessiner un système d'axes perpendiculaires au centre de la feuille de papier millimétrique. Utiliser toute la hauteur et toute la largeur de la feuille pour tracer les axes.

2 À partir du montage de l'expérience préliminaire, réaliser le montage de la figure 2 en plaçant la feuille de papier

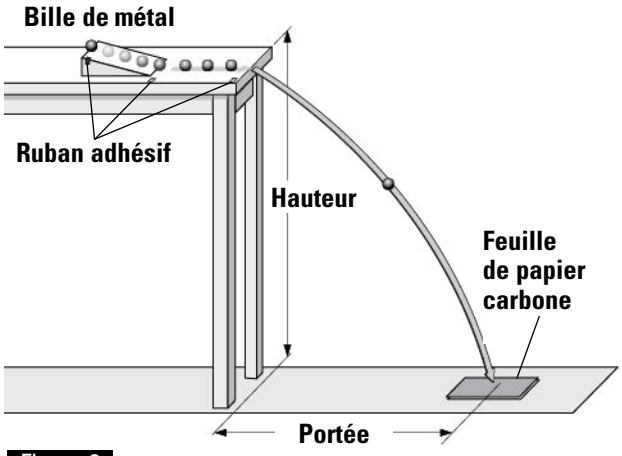


Figure 2 Le montage de l'expérience principale.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

millimétrique de telle sorte que l'origine du système d'axes qui y a été dessiné soit à une distance du bord de la table égale à la portée du projectile calculée à la question 7. (Mesurer la distance entre la table et le centre de la feuille avec le ruban à mesurer.) Fixer la feuille de papier millimétrique au sol à l'aide de ruban adhésif. Puis, placer la face noire du papier carbone sur la feuille millimétrique et la fixer avec du ruban adhésif.

3 Tenir la bille sur le plan incliné au même niveau que lors de l'expérience préliminaire (vis-à-vis de la marque de ruban adhésif de couleur), puis la laisser tomber (sans lui donner d'élan) de façon qu'elle glisse sur le plan incliné puis sur la table, et qu'elle tombe sur le sol.

4 Décoller les deux feuilles de papier du sol et vérifier qu'il y a bien une marque sur la feuille de papier millimétrique à l'endroit où la bille est tombée. À l'aide d'un stylo, marquer d'un X le point d'impact de la bille sur la feuille de papier millimétrique. Répondre aux questions des parties « Les résultats de l'expérience principale » et « L'analyse des résultats de l'expérience principale ».

Les résultats de l'expérience principale

8. Sur la feuille de papier millimétrique, quelle est la distance entre le point où la bille est tombée et l'origine du système d'axes que vous aviez dessiné ?

_____

L'analyse des résultats de l'expérience principale

9. À la lumière de vos résultats, évaluez la validité de l'équation que vous avez trouvée dans la partie « L'hypothèse » pour prédire la portée d'un projectile lancé horizontalement. Devriez-vous apporter des corrections à cette équation ? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

10. Quelles sont les causes d'erreurs possibles dans cette expérience ?

_____

_____

_____

_____

_____

La conclusion de l'expérience principale

11. À la lumière de votre expérience, est-il possible de prédire la portée d'un projectile lancé horizontalement ? Si oui, donnez l'équation qui permet d'évaluer cette portée. Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 3 Le mouvement des projectiles

1 Complétez les définitions suivantes.

a) Un projectile est un _____ lancé dans les airs et qui _____ sous la seule influence de la force _____.

b) Le mouvement d'un projectile peut être _____ en un mouvement _____ rectiligne uniformément _____ et un mouvement _____ rectiligne _____.

c) Le vecteur vitesse peut comporter une composante _____ et une composante _____.

d) La portée d'un projectile correspond à la _____ _____ qu'il peut parcourir de son point de _____ à son point d'_____.

e) En l'absence de résistance de l'air, la portée maximale s'obtient quand l'angle de départ correspond à _____.

f) Le temps de vol d'un projectile correspond à l'intervalle de _____ entre son _____ et son _____ avec le sol.

2 Vous lancez un ballon de football à votre ami selon une trajectoire curviligne. Expliquez comment évoluent les composantes horizontale et verticale de la vitesse du ballon. Notez que la résistance de l'air est négligeable.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

3 Qu'arrive-t-il à la trajectoire d'un projectile si son angle de départ est de 90° ?

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4 Un joueur de soccer botte un ballon à un angle de 45° avec une vitesse de 15 m/s. Quelle est la portée maximale qu'il peut atteindre ?

5 Un bombardier, un avion militaire capable de larguer des bombes sur une cible au sol, vole à une vitesse de 270 km/h à une altitude de 750 m.

a) À quel moment le pilote doit-il larguer la bombe pour s'assurer de toucher la cible ?

b) Quelle sera la distance horizontale entre l'avion et la cible au moment du largage ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

6 Un joueur de baseball frappe une balle à une vitesse de 35,0 m/s avec un angle de 42,0°. Si le contact a lieu à 1,50 m du sol, les conditions sont-elles favorables pour que le joueur réussisse un circuit, c'est-à-dire que la balle passe par-dessus un mur de 3,50 m de hauteur situé à 124 m du marbre ?

7 DÉFI

Pour impressionner ses amis, un casse-cou court au sommet d'une falaise à une vitesse horizontale de 1,5 m/s et plonge dans une rivière située 7,6 m plus bas.

a) À quelle distance du pied de la falaise entrera-t-il dans l'eau ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) À quelle vitesse entrera-t-il dans l'eau ?

c) Quel sera son angle d'entrée dans l'eau ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 3 Le mouvement des projectiles

/100

1. Complétez les énoncés suivants en écrivant « mouvement rectiligne uniforme » ou « mouvement rectiligne uniformément accéléré » aux endroits appropriés. **/10**

a) La composante horizontale du mouvement d'un projectile correspond à un

_____.

b) La composante verticale du mouvement d'un projectile correspond à un

_____.

2. Deux amis font un saut à partir du même plongeoir. Louis se laisse tomber, tandis qu'Émilie court et se projette horizontalement. **/15**

a) Encerclez l'énoncé qui est vrai et justifiez votre choix.

I) Le temps que mettra Louis pour atteindre la surface de l'eau est plus petit que celui que mettra Émilie pour atteindre l'eau.

II) Le temps que mettra Louis pour atteindre la surface de l'eau est égal à celui que mettra Émilie pour atteindre l'eau.

III) Le temps que mettra Louis pour atteindre la surface de l'eau est plus grand que celui que mettra Émilie pour atteindre l'eau.

IV) On ne dispose pas de suffisamment d'information pour savoir si c'est Louis ou Émilie qui mettra le plus de temps à atteindre l'eau.

Justification : _____

b) Quand Louis touchera l'eau, la grandeur de sa vitesse sera-t-elle plus grande, plus petite ou égale à celle d'Émilie quand elle touchera l'eau ? Expliquez votre réponse.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

c) Louis effectue à nouveau le saut en se donnant cette fois un élan vers le haut. Lors de ce deuxième saut, touchera-t-il l'eau avec une vitesse plus grande, plus petite ou égale à celle qu'il avait lors de son premier saut en entrant dans l'eau ? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

3. D'un balcon, une espionne lance une clé à son complice qui se trouve au sol. Elle lance la clé horizontalement, d'une hauteur initiale de 10,0 m au-dessus du sol. Son acolyte l'attrape à une distance horizontale de 3,00 m du balcon, en mettant ses mains à 1,50 m au-dessus du sol. À quelle vitesse l'espionne a-t-elle lancé la clé ? **/20**

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4. Qu'est-ce que la portée d'un projectile ? **/10**

_____

_____

_____

5. Un ballon de basketball est projeté à 15,0 m/s à un angle de 25,0° au-dessus de l'horizontale. **/45**

a) Quelle hauteur maximale atteindra le ballon, par rapport au niveau d'où il a été lancé ?

b) Quelle est la portée du ballon ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

c) Quelles sont la grandeur et l'orientation de la vitesse du ballon, 1,20 s après qu'il ait été lancé ?

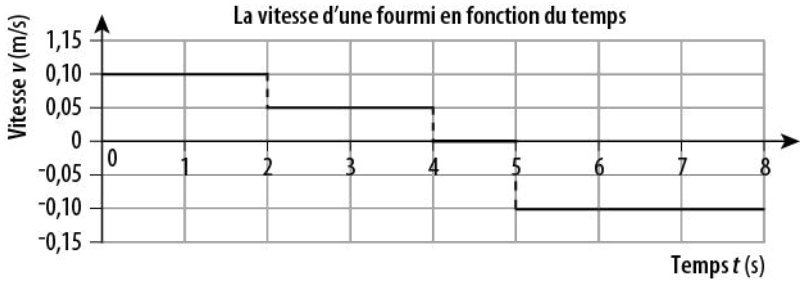
Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Module 1 La cinématique

/100

1. Le graphique suivant illustre la vitesse d'une fourmi en fonction du temps. **/10**



a) Quel est le déplacement de la fourmi après 7 s ?

b) Quelle est la distance parcourue par la fourmi après 7 s ?

2. Dites si chaque énoncé est vrai ou faux. Corrigez ceux qui sont faux. **/10**

a) Dans un graphique de la vitesse en fonction du temps, l'accélération correspond à l'aire de la surface sous la courbe et le déplacement correspond à la pente.

_____

_____

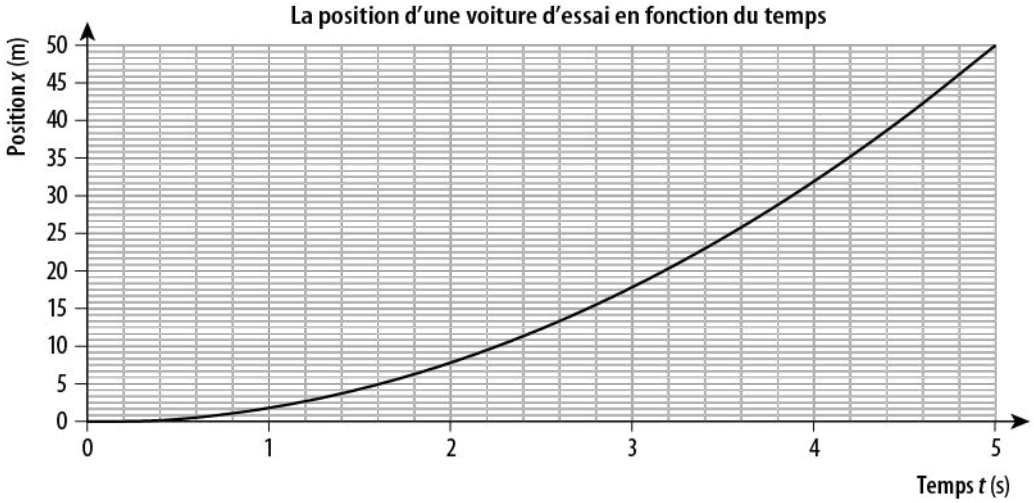
b) Si un corps initialement au repos accélère au taux de 3,0 m/s² pendant 4,0 s, il aura, au terme de cette accélération, une vitesse instantanée de 12 m/s.

_____

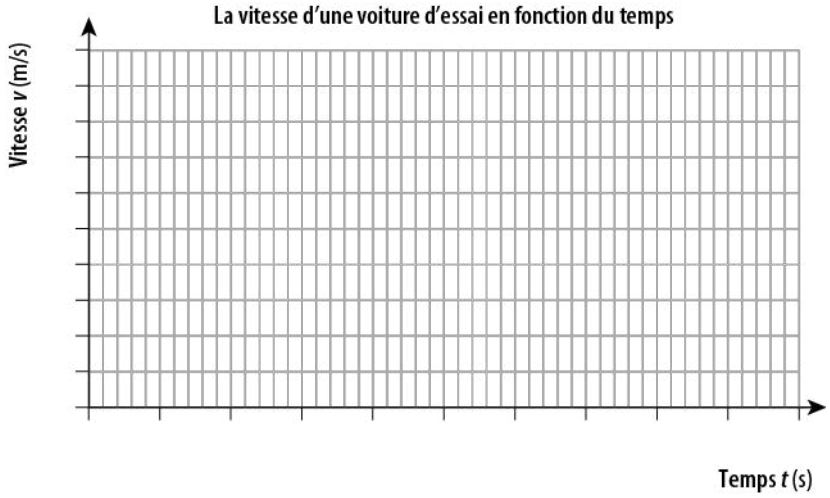
_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

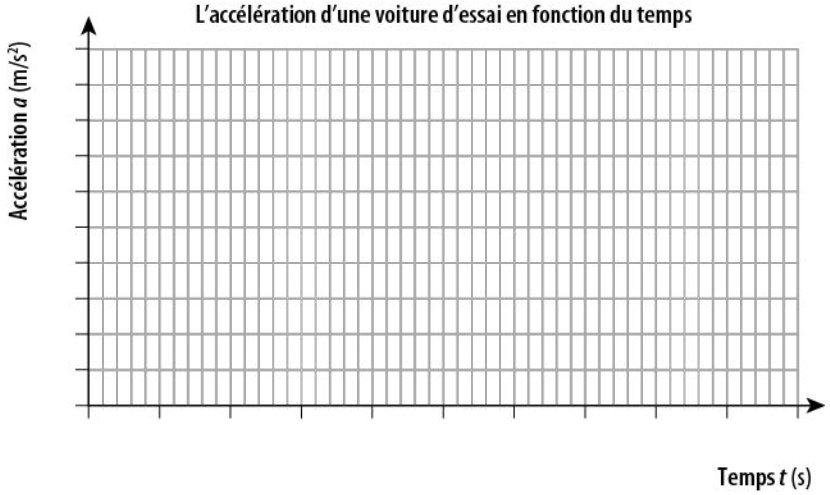
3. Lors d'un essai routier, une automobile initialement immobile accélère en effectuant un mouvement rectiligne uniformément accéléré sur 50 m. Voici un graphique de la position de cette voiture en fonction du temps durant ce mouvement. **/20**



a) Sur le graphique quadrillé ci-contre, tracez la courbe de la vitesse de la voiture en fonction du temps.



b) Sur le graphique quadrillé ci-contre, tracez la courbe de l'accélération de la voiture en fonction du temps.



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4. Depuis un pont, un enfant laisse tomber une petite pierre dans la rivière qui se trouve à 8,80 m sous le niveau de sa main. **/30**

a) À quelle hauteur, par rapport au niveau de la rivière, la pierre se trouve-t-elle 0,35 s après que l'enfant l'a lâchée ?

b) Quelle est la grandeur de la vitesse moyenne de la pierre durant sa chute, de la main de l'enfant jusqu'à la rivière ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

5. Une balle de baseball est projetée à une vitesse initiale de 18,0 m/s, avec un angle de 35,0° au-dessus de l'horizontale. **/30**

a) Quelles sont la grandeur et l'orientation de la vitesse de la balle après 2,00 s ?

b) Quelle est la hauteur maximale atteinte par la balle, par rapport à son point de départ ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

DELTA

PHYSIQUE
OPTIQUE

PHYSIQUE
MÉCANIQUE

Avis aux utilisateurs

Les modules 2 et 3 (chapitres 4 à 9)
de la section Mécanique ainsi
que les examens de fin d'année
seront disponibles à l'automne 2015.
Vous pourrez donc très bientôt
accéder à tout le contenu
du guide-corrigé.

Sommaire

Mécanique – Module 2 La dynamique

Chapitre 4 Les différents types de forces

	Fiche
Corrigé du cahier (exercices du chapitre)	M-83
Labo 5	M-88
Labo 6	M-93
Exercices	M-100
Évaluation	M-104

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 4 Les différents types de forces

Cahier, p. 100

Sections 1 et 2 La notion de force et la force gravitationnelle

Cahier, p. 100 et 101

1. *a)* Faux *b)* Vrai *c)* Vrai

Justification : *a)* 1 N équivaut à la force requise pour donner à un objet de 1 kg une accélération de 1 m/s² ou 1 N équivaut à la force requise pour donner à un objet de 10 kg une accélération de 0,1 m/s².

2. *a)* Vrai *d)* Faux

b) Faux *e)* Faux

c) Vrai *f)* Faux

Justification : *b)* Même si un objet est immobile, une force gravitationnelle peut s'exercer sur lui. *d)* Pour une même masse planétaire, plus le diamètre d'une planète est grand, plus la force gravitationnelle est petite à sa surface ou vice-versa. *e)* g (9,80 m/s²) n'est pas une constante universelle ; c'est G ($6{,}67\times10^{-11}\ \mathrm{N\times m^2/kg^2}$) qui est une constante universelle. *f)* La masse d'un objet ne dépend pas de la planète sur laquelle il se trouve ; c'est le poids d'un objet qui dépend de la planète sur laquelle il se trouve.

3. Données

$g = 9{,}80\ \mathrm{m/s^2}$

$m = 80{,}0\ \mathrm{kg}$

$\vec{F}_g = ?$

Solution

$\vec{F}_g = m\vec{g}$

$F_g = 80{,}0\ \mathrm{kg}\times 9{,}80\ \mathrm{m/s^2} = 784\ \mathrm{N}$

Réponse : La force gravitationnelle est de 784 N vers le bas.

4. Données

$g = 9{,}80\ \mathrm{m/s^2}$ (au niveau de la mer)

$m_T = 5{,}98\times10^{24}\ \mathrm{kg}$

$r_T = 6{,}37\times10^{6}\ \mathrm{m}$

$g_{4r_T} = ?$

Solution

$$g = \frac{Gm_T}{r_T^2}$$

$$g_{4r_T} = \frac{Gm_T}{(4\times r_T)^2}$$

$$= \frac{\left(6{,}67\times10^{-11}\,\frac{\mathrm{N\times m^2}}{\mathrm{kg^2}}\right)\times\left(5{,}98\times10^{24}\ \mathrm{kg}\right)}{\left(4\times6{,}37\times10^{6}\ \mathrm{m}\right)^2}$$

$$= 0{,}613\ \mathrm{m/s^2}$$

Réponse : L'accélération gravitationnelle est de 0,613 m/s².

5. Données

$g_{Lune} \approx g_{Terre} + 6$

$g_{Lune} \approx 9{,}80\ \mathrm{m/s^2} + 6 \approx 1{,}63\ \mathrm{m/s^2}$

$m = 85{,}0\ \mathrm{kg}$

$F_g = ?$

Solution

$F_g = mg_{Lune}$

$F_g = 85{,}0\ \mathrm{kg}\times(1{,}63\ \mathrm{m/s^2}) \approx 139\ \mathrm{N}$

$F_g \approx 139\ \mathrm{N}$

Réponse : Son poids est d'environ 139 N.

6. *a)* **Données**

$g_{Terre} = 9{,}80\ \mathrm{m/s^2}$ $r \approx 5r_T$

$m \approx 18m_T$ $g_{planète} = ?$

Solution

$$g_{planète} \approx \frac{Gm}{r^2}$$

$$g_{planète} \approx \frac{G(18m_T)}{(5r_T)^2} = \frac{18}{25}\times\frac{Gm_T}{r_T^2} = \frac{18}{25}\times g_{Terre}$$

$$g_{planète} \approx 0{,}72\ g_{Terre} = 0{,}72\times9{,}80\ \mathrm{m/s^2} = 7{,}06\ \mathrm{m/s^2}$$

Réponse : L'accélération gravitationnelle est d'environ 7,06 m/s².

b) **Données**

$g_{planète} \approx 7{,}06\ \mathrm{m/s^2}$

$m = 70{,}0\ \mathrm{kg}$

$F_g = ?$

Solution

$F_g = mg_{planète}$

$F_g \approx 70{,}0\ \mathrm{kg}\times(7{,}06\ \mathrm{m/s^2}) \approx 494\ \mathrm{N}$

Réponse : Son poids serait d'environ 494 N.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Section 3
La force normale

Cahier, p. 103

1. *a)* Faux *c)* Faux
   b) Vrai *d)* Faux
   Justification : *a)* Une force normale s'applique seulement s'il y a contact entre deux corps. *c)* La force normale est la résistance de la surface d'un corps à une force exercée par un autre corps en contact. *d)* La force normale est une force de contact : elle n'agit pas à distance.

2. **Données**
   $m = 90{,}0\ \text{kg}$
   $g = 9{,}80\ \text{m/s}^2$
   $\vec{F}_N = ?$
   Solution
   $F_N = F_g = mg$
   $F_N = 90{,}0\ \text{kg} \times (9{,}80\ \text{m/s}^2) = 882\ \text{N}$
   Réponse : La force normale est de 882 N vers le haut.

3. **Données**
   $m = 60{,}0\ \text{kg}$
   $g = 9{,}80\ \text{m/s}^2$
   $\theta = 15{,}0°$
   $\vec{F}_N = ?$
   Solution
   $F_N = mg \times \cos\theta$
   $F_N = 60{,}0\ \text{kg} \times (9{,}80\ \text{m/s}^2) \times \cos 15{,}0° = 568\ \text{N}$
   Réponse : La force normale est de 568 N perpendiculaire au plan incliné et vers le haut.

4. **Données**
   $F_A = 15\ \text{N}$
   Solution
   $F_N = 15\ \text{N}$
   $\theta_N = 180° - 40° = 140°$
   Réponse : La force normale est de 15 N à 140° par rapport à l'horizontale vers la droite, mesurée dans le sens antihoraire, soit exactement en sens opposé à la force appliquée sur la sphère.

Section 4
La force de frottement

Cahier, p. 106 et 107

1. A : La force gravitationnelle (le poids)
   B : La force normale
   C : La force (poussée) exercée par l'homme
   D : La force de frottement

2. Le frottement statique empêche deux corps de glisser l'un contre l'autre malgré une force exercée.
   Le frottement cinétique se produit lorsque deux corps glissent l'un contre l'autre.

3. *a)* Statique
   b) Cinétique
   c) Cinétique

4. Exemples de réponse : La course à pied, le ski de fond, le ski alpin, l'alpinisme.

5. A, B et C
   Justification : A. Le frottement dépend de la nature des surfaces en contact. B. Le frottement dépend de la rugosité des surfaces en contact. C. Une masse plus grande implique une force gravitationnelle plus grande, et donc une force normale plus grande. Or, la force de frottement est directement proportionnelle à la force normale.

6. On ne peut pas connaître la valeur exacte de la force déployée par l'enfant. Par contre, comme il n'a pas réussi à bouger la caisse, on sait qu'il a fourni une force inférieure à 265 N.

7. *a)* La force de frottement (frottement statique maximal) est de 50 N.
   Note à l'enseignant : Cet exercice est facultatif.
   b) **Données**
   $m = 20{,}0\ \text{kg}$
   $F_g = ?$
   $F_N = ?$
   $\mu_s = ?$
   Solution
   1. Calcul de la force gravitationnelle pour connaître la force normale :
      $F_N = F_g = mg = 20{,}0\ \text{kg} \times (9{,}80\ \text{m/s}^2) = 196\ \text{N}$
   2. Calcul du coefficient de frottement statique. Puisque la force de frottement déterminée en *a)* est de 50 N :
      $F_{f(\text{statique})} \leq \mu_s F_N \rightarrow F_{f(\text{statique})\max} = \mu_s F_N$
      $\mu_s = \dfrac{F_{f(\text{statique})\max}}{F_N}$
      $= \dfrac{50\ \text{N}}{196\ \text{N}}$
      $= 0{,}26$
   Réponse : Le coefficient de frottement est de 0,26.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Section 5
La tension

Cahier, p. 109

1. **Données**

$m = 10\ \text{kg}$ $F_T = ?$

$F_g = ?$

Solution

Comme le lustre est immobile, $F_T = F_g$.

$F_T = F_g = mg = 10\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 = 98\ \text{N}$

Réponse : La tension dans la chaîne est de 98 N.

2. **Données**

$F_{T_{max}} = 60\ \text{N}$ $m = ?$

$F_g = ?$

Solution

Puisque $F_{T_{max}} = F_g$:

$F_{T_{max}} = mg$

$m = \frac{F_{T_{max}}}{g} = \frac{60\ \text{N}}{9{,}80\ \text{m/s}^2} = 6{,}1\ \text{kg}$

Réponse : La masse du plus gros poisson que je pourrai pêcher ne pourra pas dépasser 6,1 kg.

3. **Données**

$m = 75{,}0\ \text{kg} + 60{,}0\ \text{kg} = 135{,}0\ \text{kg}$

$F_{T_{max}} = 1{,}25 \times 10^3\ \text{N}$

$F_g = ?$

Solution

$F_g = mg = 135{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 = 1{,}32 \times 10^3\ \text{N}$

$F_g > F_{T_{max}}$

Réponse : La corde ne sera pas assez résistante pour les supporter sans danger.

4. La tension doit lutter contre la force de frottement statique pour mettre la caisse en mouvement. Ainsi, pour que la caisse se mette en mouvement, la tension doit dépasser la valeur maximale du frottement statique, soit 45,0 N.

Section 6
La force centripète

Cahier, p. 112 et 113

1. **Données**

$m = 1200\ \text{kg}$ $F_f = 7056\ \text{N}$

$r = 75{,}0\ \text{m}$ $F_c = ?$

$v_{\text{voiture}} = 90{,}0\ \text{km/h}$

Solution

$v = 90{,}0\ \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}} \times \frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}} = 25{,}0\ \text{m/s}$

Pour qu'une voiture de 1200 kg puisse rouler à une vitesse de 25,0 m/s dans une courbe de 75,0 m de rayon, la force centripète doit être :

$F_c = \frac{mv^2}{r} = \frac{1200\ \text{kg} \times (25{,}0\ \text{m/s})^2}{75{,}0\ \text{m}} = 1{,}00 \times 10^4\ \text{N}$

$F_f < F_c$

Réponse : Non, la force de frottement statique est trop faible pour que la voiture puisse effectuer le virage sans déraper.

2. *a)* **Données**

$m = 500\ \text{g} = 0{,}500\ \text{kg}$

$r = 0{,}400\ \text{m}$

$v = ?$

$F_T = F_c = ?$

Solution

Dans cette situation, c'est la tension de la corde qui fait office de force centripète. Il faut trouver la vitesse du bloc en m/s afin de déterminer la force centripète.

Calcul de la circonférence de la trajectoire :

$C = 2\pi r = 2 \times 3{,}14 \times 0{,}400\ \text{m} = 2{,}51\ \text{m}$

Calcul de la vitesse :

$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{40{,}0 \times 2{,}51\ \text{m}}{60\ \text{s}} = 1{,}67\ \text{m/s}$

Calcul de la force centripète :

$F_c = \frac{mv^2}{r} = \frac{0{,}500\ \text{kg} \times (1{,}67\ \text{m/s})^2}{0{,}400\ \text{m}} = 3{,}49\ \text{N}$

Réponse : La tension dans la corde est de 3,49 N.

b) **Données**

$m = 500\ \text{g} = 0{,}500\ \text{kg}$

$r = 0{,}400\ \text{m}$

$v = ?$

$F_T = F_c = 10{,}0\ \text{N}$

Solution

Calcul de la vitesse du bloc pour une force centripète F_c de 10,0 N :

$F_c = \frac{mv^2}{r} \rightarrow v = \sqrt{\frac{rF_c}{m}} = \sqrt{\frac{0{,}400\ \text{m} \times 10{,}0\ \text{N}}{0{,}500\ \text{kg}}} = 2{,}83\ \text{m/s}$

Calcul du nombre de tours par minute :

$\frac{2{,}83\ \text{m}}{\text{s}} \times \frac{1\ \text{tour}}{2{,}51\ \text{m}} \times \frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}} = 67{,}6\ \text{tours/min}$

Réponse : Le bloc peut faire 67,6 tours/min avant que la corde se rompe.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

3. *a)* **Données**

$m = 500\ \text{g} = 0{,}500\ \text{kg}$

$r = 0{,}450\ \text{m}$

$v = 5{,}00\ \text{m/s}$

$F_g = ?$

$F_c = ?$

$F_T = ?$

Solution

Calcul de la force gravitationnelle exercée sur la balle (poids) :

$F_g = mg = 0{,}500\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 = 4{,}90\ \text{N}$

Calcul de la force centripète :

$$F_c = \frac{mv^2}{r} = \frac{0{,}500\ \text{kg} \times (5{,}00\ \text{m/s})^2}{0{,}450\ \text{m}} = 27{,}8\ \text{N}$$

Au sommet de la trajectoire de la balle, la tension de la corde est dirigée vers le bas, comme la force gravitationnelle. La tension et le poids jouent tous les deux le rôle de force centripète. La force centripète totale correspond donc à la somme de la tension et du poids.

$F_T + F_g = F_c$

$F_T = F_c - F_g = 27{,}8\ \text{N} - 4{,}90\ \text{N} = 22{,}9\ \text{N}$

Réponse : Au sommet de la trajectoire, $F_T = 22{,}9\ \text{N}$ vers le bas.

b) **Données**

$F_g = 4{,}90\ \text{N}$

$F_c = 27{,}8\ \text{N}$

$F_T = ?$

Solution

Au bas de la trajectoire, la tension de la corde est vers le haut tandis que la force gravitationnelle est vers le bas.

$F_T - F_g = F_c$

$F_T = F_g + F_c = 4{,}90\ \text{N} + 27{,}8\ \text{N} = 32{,}7\ \text{N}$

Réponse : Au bas de la trajectoire, $F_T = 32{,}7\ \text{N}$ vers le haut.

Chapitre 4 Synthèse

Cahier, p. 115 à 118

1 B, C et E

Justification : B. Tout corps est sujet à être attiré par un autre corps. C. $g = 9{,}80\ \text{m/s}^2$ est une valeur moyenne. La valeur de g varie, entre autres, à cause de la forme elliptique de la Terre, où r est plus grand à l'équateur qu'aux pôles. E. Ils arrivent au sol en même temps, car l'accélération gravitationnelle qu'ils subissent est la même.

2 *a)* **Données**

$r = 5{,}000 \times 10^6\ \text{m}$

$m_{\text{planète}} = ?$

$g_{\text{planète}} = 12{,}0\ \text{m/s}^2$

Solution

L'accélération gravitationnelle est décrite par l'équation :

$$g_{\text{planète}} = \frac{Gm_{\text{planète}}}{r^2}$$

$$\rightarrow\ m_{\text{planète}} = \frac{gr^2}{G} = \frac{(12{,}0\ \text{m/s}^2) \times (5{,}000 \times 10^6\ \text{m})^2}{\left(6{,}67 \times 10^{-11}\ \frac{\text{N} \times \text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)}$$

$$= 4{,}50 \times 10^{24}\ \text{kg}$$

Note à l'enseignant : Revoir avec les élèves l'encadré de la page 98.

Réponse : La masse de la planète est de $4{,}50 \times 10^{24}$ kg.

b) Non. La masse d'un corps est indépendante de l'accélération gravitationnelle. Il s'agit d'une caractéristique intrinsèque d'un corps, une mesure de la quantité de matière qui le compose.

3 *a)* Faux
b) Faux
c) Faux
d) Vrai
e) Faux
f) Vrai
g) Faux

4 *a)* **Données**

$r_L = 1{,}737 \times 10^6\ \text{m}$

$m_L = 7{,}35 \times 10^{22}\ \text{kg}$

$m_2 = 385\ \text{kg}$

$F_g = ?$

Solution

$$F_g = \frac{Gm_L m_2}{r^2}$$

$$F_g = \frac{\left(6{,}67 \times 10^{-11}\ \frac{\text{N} \times \text{m}^2}{\text{kg}^2}\right) \times (7{,}35 \times 10^{22}\ \text{kg}) \times 385\ \text{kg}}{(1{,}737 \times 10^6\ \text{m})^2}$$

$$= 626\ \text{N}$$

Réponse : Les roches subissaient une force gravitationnelle de 626 N sur la Lune.

b) **Données**

$r_T = 6{,}37 \times 10^6\ \text{m}$

$m_T = 5{,}98 \times 10^{24}\ \text{kg}$

$m_2 = 385\ \text{kg}$

$F_g = ?$

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Solution

Deux démarches sont possibles :

1. $F_g = \frac{Gm_T m_2}{r^2}$

$$= \frac{\left(6{,}67\times10^{-11}\,\frac{\text{N}\times\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\times\left(5{,}98\times10^{24}\text{ kg}\right)\times385\text{ kg}}{\left(6{,}37\times10^{6}\text{ m}\right)^2}$$

$$= 3{,}79\times10^{3}\text{ N}$$

2. $F_g = mg = 385\text{ kg}\times9{,}80\text{ N/kg} = 3{,}77\times10^3\text{ N}$

Réponse : Les roches subissent une force gravitationnelle de $3{,}79\times10^3$ N (ou $3{,}77\times10^3$ N) sur la Terre.

c) On prend $F_{g\text{Terre}} = 3{,}77\times10^3$ N.

Si on fait le rapport des forces gravitationnelles, on obtient : $\frac{F_{g\text{Terre}}}{F_{g\text{Lune}}} = \frac{3{,}79\times10^3\text{ N}}{626\text{ N}} = 6{,}05$

La force gravitationnelle est environ 6 fois plus petite sur la Lune que sur la Terre.

5 Données

$m = 850$ kg $\quad F_c = ?$

$r = 50{,}0$ m $\quad v = ?$

$F_{f(\text{statique})} = 5{,}83\times10^3$ N

Solution

Dans cette situation, la force centripète correspond à la force de frottement qui garde la voiture sur la route.

Ainsi,

$$F_c = F_f = \frac{mv^2}{r} = 5{,}83\times10^3\text{ N}$$

$$v = \sqrt{\frac{rF_c}{m}} = \sqrt{\frac{50{,}0\text{ m}\times5{,}83\times10^3\text{ N}}{850\text{ kg}}} = 18{,}5\text{ m/s}$$

$$18{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\times\frac{3600\text{ s}}{1\text{ h}}\times\frac{1\text{ km}}{1000\text{ m}} = 66{,}6\text{ km/h}$$

Réponse : La vitesse maximale est de 66,6 km/h.

6 Données

$m = 20$ kg $\quad F_T = ?$

$m_2 = ?$ $\quad F_f = 137$ N

Solution

Comme la force horizontale qui s'oppose au frottement est la force gravitationnelle s'exerçant sur m_2 : $F_T = F_{gm_2} = F_f = 137$ N

$$F_{gm_2} = m_2 g \rightarrow m_2 = \frac{F_{gm_2}}{g} = \frac{137\text{ N}}{9{,}80\text{ m/s}^2} = 14{,}0\text{ kg}$$

Réponse : La masse suspendue doit être de 14,0 kg pour mettre le bloc en mouvement.

7 Données

$F_f = 250$ N $\quad F_T = ?$ $\quad \theta = 40{,}0°$

Solution

La composante horizontale de la force de tension est égale à la force de frottement statique : $F_{Tx} = F_f = 250$ N.

Calcul de la force de tension :

$$F_{Tx} = F_T\cos\theta \rightarrow F_T = \frac{F_{Tx}}{\cos\theta} = \frac{250\text{ N}}{\cos40{,}0°} = 326\text{ N}$$

Réponse : La tension requise est de 326 N.

8 Données

$m = 90{,}0$ kg $\quad v = 200$ m/s

$r = ?$ $\quad F_c = ?$

Solution

Dans ce problème, la force centripète correspond à la force gravitationnelle.

$$F_g = F_c = \frac{Gm_1m_2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad (m_2 = m)$$

Après simplification, on obtient :

$$\frac{Gm_1}{r} = v^2$$

$$r = \frac{Gm_1}{v^2} = \frac{\left(6{,}67\times10^{-11}\,\frac{\text{N}\times\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\times\left(5{,}98\times10^{24}\text{ kg}\right)}{\left(200\text{ m/s}\right)^2} = 9{,}97\times10^9\text{ m}$$

Réponse : Le rayon de l'orbite du satellite est de $9{,}97\times10^9$ m.

9 DÉFI

Données

$m = 75{,}0$ kg $\quad v = ?$

$r = 50{,}0$ m $\quad F_c = ?$

Solution

1. Calcul du poids de l'astronaute sur la Terre :

   $F_g = mg = 75{,}0\text{ kg}\times9{,}80\text{ m/s}^2 = 735$ N

   La force centripète générée par la rotation de l'anneau doit donc être égale à 735 N.

2. Calcul de la vitesse de l'anneau :

   $$F_c = \frac{mv^2}{r} \rightarrow v = \sqrt{\frac{rF_c}{m}} = \sqrt{\frac{50{,}0\text{ m}\times735\text{ N}}{75{,}0\text{ kg}}} = 22{,}1\text{ m/s}$$

Note à l'enseignant : Pour que la gravité artificielle soit semblable à celle de la Terre, l'astronaute doit subir une force normale exercée par le plancher (paroi) du corridor circulaire égale à celle qu'il ressentirait sur Terre (où la force normale est exercée par le sol). Dans cette situation, la force centripète correspond à la force normale exercée par le plancher du corridor.

Réponse : L'anneau doit tourner à une vitesse de 22,1 m/s pour qu'un astronaute y ait le même poids apparent que sur la Terre.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

LABO 5 La relation entre la masse et le poids d'un objet

Cahier, p. 97

Mise en situation

La plume et le marteau

Le 30 juillet 1971, le vaisseau de la mission Apollo 15 se posa sur la Lune, son équipage devant y effectuer une série d'expériences et prélever des échantillons de sol. Au cours de leur dernière sortie du module lunaire, les astronautes David R. Scott et James B. Irwin s'adonnèrent à une expérience dont le résultat est impossible sur Terre : Scott laissa tomber en même temps une plume de faucon d'une masse de 0,03 kg et un marteau en aluminium d'une masse de 1,32 kg. Malgré le fait que ce dernier soit plus massif, les deux objets touchèrent le sol au même moment. Pourquoi ? Parce que sur la lune, il y absence d'atmosphère (et donc d'air) pouvant ralentir chaque objet lors de sa chute.

La préparation

1 Quelle est la différence entre la masse d'un corps et son poids ?

_____

_____

_____

2. Quelle est la valeur de l'accélération gravitationnelle terrestre ?

_____

_____

_____

3. Comment peut-on définir, à l'aide d'autres unités de mesure, la valeur de 1 N ?

_____

_____

4. La valeur de l'accélération gravitationnelle est-elle la même pour tous les astres ?

_____

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

LABO 5 La relation entre la masse et le poids d'un objet

Cahier, p. 97

Les buts de l'expérience

- Découvrir la relation entre la masse et le poids d'un objet.
- Mesurer expérimentalement la valeur de l'accélération gravitationnelle terrestre.

Les hypothèses

L'accélération gravitationnelle est-elle la même pour des objets de masses différentes?

_____

_____

_____

Le protocole expérimental

Matériel

- Un dynamomètre de 0 à 2,5 N
- Un dynamomètre de 0 à 20 N
- Un support universel
- Une pince universelle
- Une balance électronique
- Un ensemble de poids (ou une série d'objets massifs ayant des masses différentes)

Manipulations

1. Peser soigneusement les « poids » ou les objets à l'aide de la balance électronique.
2. Noter les valeurs des masses (m) dans le tableau de résultats de la question 1.
   Si la masse est inscrite sur les « poids », noter directement cette valeur.
3. Placer la pince sur le support universel et y accrocher le dynamomètre.
4. Suspendre au dynamomètre, un à la fois, les « poids » ou les objets massifs et mesurer leur poids (N).

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

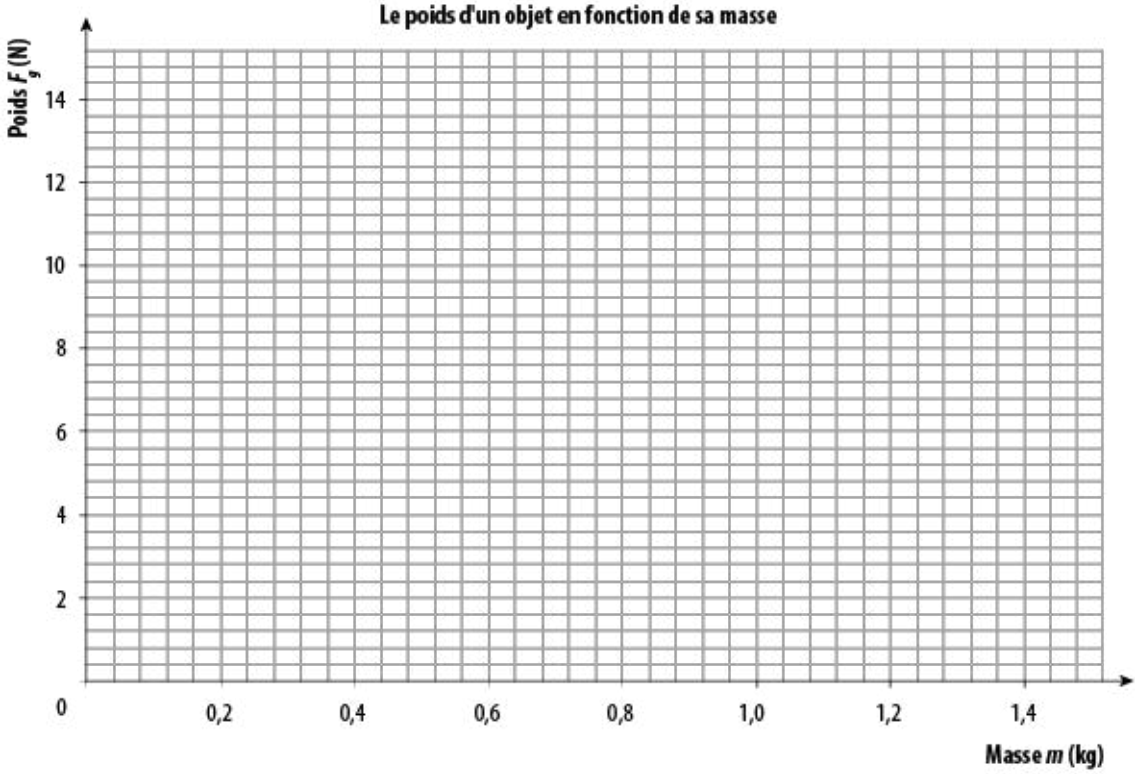
Les résultats

1. Remplissez le tableau de résultats suivant.

TABLEAU 1 Le poids d'un objet en fonction de sa masse		
« Poids » ou objet	**Masse *m* (kg)**	**Poids F_g (N)**
–	0	0

L'analyse des résultats

2. Tracez le graphique du poids d'un objet en fonction de sa masse.



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

3. Quel type de courbe obtenez-vous ?

_____

4. Quel type de relation mathématique existe-t-il entre F_g et m ?

_____

5. Comment peut-on écrire cette relation mathématique ?

_____

_____

6. Que représente le taux de variation de cette courbe ?

_____

7. Quelle est la valeur du taux de variation ? Laissez des traces de votre démarche.

8. Si un dynamomètre de précision avait été utilisé lors du laboratoire, la valeur du taux de variation obtenu serait près de 9,80 N/kg. Que deviendrait, dans ce cas, la relation mathématique entre F_g et m sur Terre ?

_____

9. Quel est le symbole de l'accélération gravitationnelle terrestre et quelle est sa valeur numérique ?

_____

_____

10. Quelle est la relation générale qui relie le poids, la masse et l'accélération gravitationnelle terrestre ?

_____

11. Le poids, la masse et l'accélération gravitationnelle sont des grandeurs physiques. Parmi ces grandeurs physiques, nommez celles qui sont scalaires et celles qui sont vectorielles.

_____

_____

12. Quelle est la relation vectorielle qui relie le poids, la masse et l'accélération gravitationnelle terrestre ?

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

13. Déterminez la valeur numérique de la constante gravitationnelle (G), sachant que la masse (m) de la Terre est de $5{,}98 \times 10^{24}$ kg et que le rayon (r) moyen de la Terre est de $6{,}37 \times 10^{6}$ m. Laissez des traces de votre démarche.

14. Sachant que l'intensité du champ gravitationnel sur la Lune est environ 6 fois moins élevée que sur Terre, qu'est-ce qui changerait si cette même expérience était réalisée sur la Lune ?

La conclusion

15. Selon les résultats que vous avez obtenus, diriez-vous que vos hypothèses de départ étaient justes ? Expliquez votre réponse en décrivant les nouvelles connaissances que vous avez acquises au cours de cette expérience.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

LABO 6 L'influence de divers facteurs sur le frottement

Cahier, p. 104

Mise en situation

Le bon matériel

Le matériel utilisé par les athlètes de haut niveau a une influence considérable sur leurs performances. Pensons à l'univers des skieurs. Alors que les athlètes en ski de fond (aussi appelés fondeurs ou skieurs de fond) privilégient des skis très étroits, ceux qui exercent le saut à ski en préfèrent de plus larges. Pour la descente, c'est plutôt la courbure du ski qui importe. De plus, les skis peuvent être fabriqués dans une grande variété de matériaux de masses différentes. Au-delà du choix des skis, la préparation du matériel entre aussi en jeu, car un ski mal ciré induira une plus grande résistance et sera donc beaucoup moins performant. Si un athlète veut réduire au maximum le frottement afin d'améliorer ses résultats, il doit tenir compte de divers de facteurs.

La préparation

1. Au point de vue vectoriel, dans quelle direction et dans quel sens s'applique la force de frottement?

_____

_____

_____

2. Quels sont les deux types de frottement?

_____

_____

3. Quelle variable est utilisée pour représenter le coefficient de frottement entre deux matériaux?

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

LABO 6 L'influence de divers facteurs sur le frottement

Cahier, p. 104

Le but de l'expérience

Trouver expérimentalement les facteurs qui influent sur le frottement.

Les hypothèses

Question A. Quelle est l'influence, sur la force de frottement, du poids de l'objet en contact avec une surface ?

_____

_____

Question B. Quelle est l'influence, sur la force de frottement, de l'aire de la surface de contact ?

_____

_____

Question C. Quelle est l'influence, sur la force de frottement, de la nature des surfaces en contact ?

_____

_____

_____

Le protocole expérimental

Matériel

- Une trousse comprenant trois blocs de friction munis de crochets (pour attacher les blocs les uns aux autres), ayant chacun une surface recouverte de l'un des matériaux suivants : aluminium, liège ou papier-émeri
- Une planche de bois (qui servira de surface de contact) munie d'un crochet (pour tirer la planche)
- Un support de bois muni d'un crochet (pour y accrocher le dynamomètre)
- Deux fils de traction
- Une poulie sur tige et son support
- Un dynamomètre de 2,5 N
- Un dynamomètre de 20 N
- Une balance électronique
- Du ruban adhésif de couleur
- Un ruban à mesurer ou un mètre
- Un niveau
- Un crayon à mine
- Une ou plusieurs serres en C (pour maintenir le support de bois sur la table)

Manipulations

PARTIE A – L'effet du poids du bloc

1 Peser soigneusement, un à la fois, les trois blocs de friction à l'aide de la balance électronique et noter leur masse dans le tableau 1 de la partie « Les résultats » (même si ces blocs sont identiques, on doit connaître précisément leurs poids).

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

2 Réaliser le montage expérimental de la figure 1 en s'assurant que la table est bien horizontale. Au besoin, l'ajuster à l'aide d'un niveau.

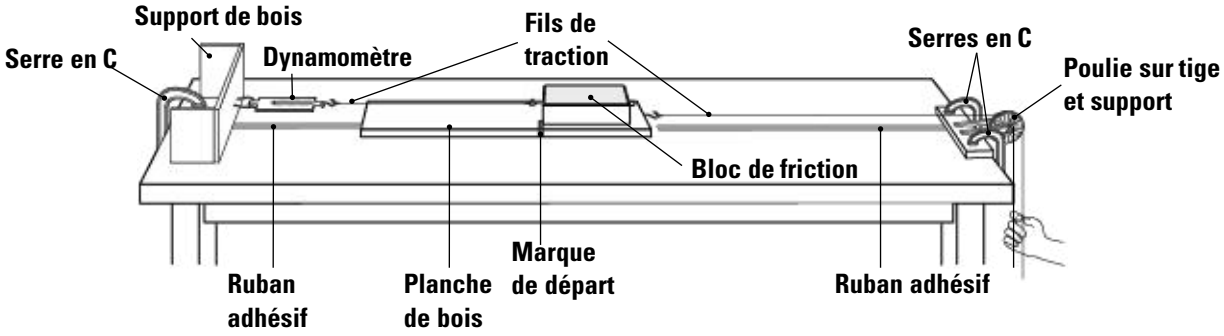
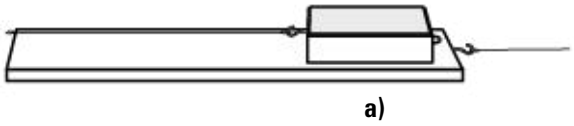


Figure 1 Le montage expérimental.

3 Déposer un bloc de friction sur la planche de bois, dans le sens de la longueur. La surface en bois du bloc doit être placée contre la planche. À l'aide d'un crayon à mine, marquer l'endroit, sur la planche de bois, où le bloc a été placé. De cette façon, tous les essais seront effectués du même point de départ. Accrocher le bloc de friction au dynamomètre à l'aide d'un fil de traction *(voir la figure 2 a)*.



4 S'assurer que le fil de traction qui relie le bloc au dynamomètre est horizontal et tendu, et que le dynamomètre indique 0. Il est important de ne pas trop tendre le fil, sinon on obtiendrait une valeur positive sur le dynamomètre, ce qui pourrait constituer une source d'erreur importante dans ce laboratoire. Coller, sur la table, un morceau de ruban adhésif de couleur sous le fil de traction de façon à avoir un guide d'alignement durant les expériences.

5 À l'aide d'un autre fil de traction accroché à la planche de bois, tirer la planche de façon à augmenter la force de traction dont la valeur se lit sur le dynamomètre.

6 Prendre note de la valeur de la force de traction qui correspond à la limite d'équilibre, c'est-à-dire juste avant que la planche ne commence à glisser.

7 Refaire l'expérience et reprendre la mesure quatre ou cinq fois en plaçant toujours le bloc au même endroit. Calculer la valeur moyenne de ces mesures. Notez-la dans le tableau 2 de la partie « Les résultats ».

8 Réaliser à nouveau les étapes 3 à 6 en plaçant deux blocs l'un sur l'autre (*voir la figure 2 b*), de telle sorte que la planche de bois reste fixe. Noter la valeur moyenne de la force de traction dans le tableau 2.

9 Refaire la même expérience avec trois blocs posés les uns sur les autres (*voir la figure 2 c*), de telle sorte que la planche de bois reste fixe. Noter la valeur moyenne de la force de traction dans le tableau 2.

10 Répondre aux questions 4 à 9 de «L'analyse des résultats».

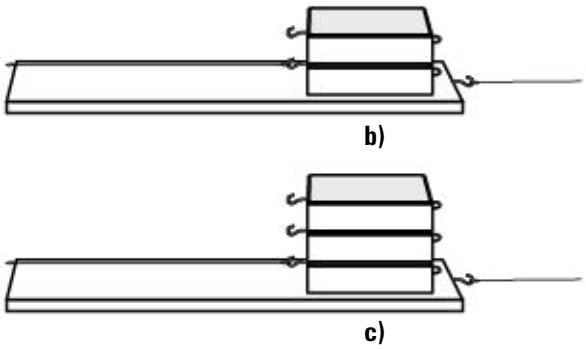


Figure 2 La disposition des blocs de la partie A du laboratoire.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

PARTIE B – L'effet de l'aire de la surface des blocs

1 À l'aide d'un mètre ou d'un ruban à mesurer, évaluer les valeurs des aires des surfaces des blocs de friction qui subiront le frottement correspondant à chacune des configurations représentées à la figure 3. Reporter les valeurs de ces aires dans le tableau 3 de la partie « Les résultats ».

2 Noter, dans le tableau 3, la valeur obtenue à l'étape 9 des manipulations de la partie A (trois blocs posés les uns sur les autres, comme cela est illustré à la figure 3 d).

3 Réaliser à nouveau les étapes 3 à 6 de la partie A en plaçant les trois blocs comme cela est illustré à la figure 3 e. Noter la valeur moyenne de la force de traction dans le tableau 3.

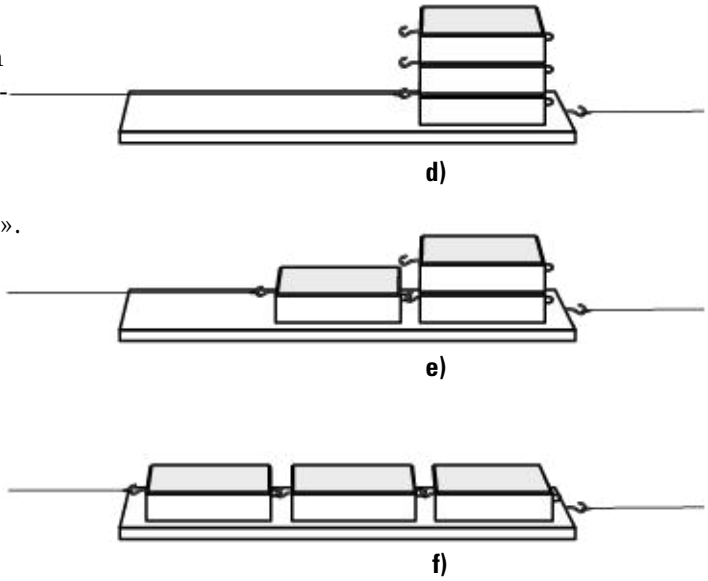


Figure 3 La disposition des blocs de la partie B du laboratoire.

4 Refaire la même expérience avec trois blocs disposés comme cela est illustré à la figure 3 f. Noter la valeur moyenne de la force de traction dans le tableau 3.

5 Répondre aux questions 10 et 11 de «L'analyse des résultats».

PARTIE C – L'effet de la nature des surfaces en contact

1 Empiler les trois blocs de friction comme cela est illustré à la figure 3 d, en plaçant la surface d'aluminium d'un bloc contre la planche de bois. Les deux autres blocs, à surface de liège et à surface de papier-émeri, seront donc placés sur le bloc à surface d'aluminium.

2 Noter, dans le tableau 4 de la partie « Les résultats », la valeur du poids total (N) de ces trois blocs ainsi disposés. (Cette valeur sera la même que celle des trois blocs de la figure 2 c, notée dans le tableau 2.)

3 Réaliser à nouveau les étapes 3 à 6 de la partie A en remplaçant le dynamomètre de 2,5 N par celui de 20 N et en plaçant le bloc de friction recouvert d'aluminium en contact avec la planche de bois. Noter la valeur moyenne de la force de traction dans le tableau 4.

4 Refaire la même expérience en plaçant le bloc de friction recouvert de liège en contact avec la planche de bois. Noter la valeur moyenne de la force de traction dans le tableau 4.

5 Refaire la même expérience en plaçant le bloc de friction recouvert de papier-émeri en contact avec la planche de bois. Noter la valeur moyenne de la force de traction dans le tableau 4.

6 Répondre aux questions 12 et 13 de «L'analyse des résultats».

7 Formuler des conclusions en répondant aux questions 14 à 18.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Les résultats

PARTIE A – L'effet du poids du bloc

1. Remplissez les tableaux 1 et 2 des résultats.

TABLEAU 1
Le poids des blocs selon les masses

Bloc	Masse m (kg)	Poids F_g (N)
Bloc à surface d'aluminium		
Bloc à surface de liège		
Bloc à surface de papier-émeri		

TABLEAU 2
La force de traction selon le poids des blocs

Disposition des blocs	Poids F_g (N)	Force de traction F (N)
Un bloc de la figure 2 a		
Deux blocs de la figure 2 b		
Trois blocs de la figure 2 c		

PARTIE B – L'effet de l'aire de la surface des blocs

2. Remplissez le tableau 3 des résultats.

TABLEAU 3
La force de traction selon l'aire de la surface des blocs

Disposition des blocs	Aire de la surface des blocs utilisés (cm^2)	Force de traction F (N)
Blocs de la figure 3 d		
Blocs de la figure 3 e		
Blocs de la figure 3 f		

PARTIE C – L'effet de la nature des surfaces en contact

3. Remplissez le tableau 4 des résultats.

TABLEAU 4
La force de traction selon la nature des surfaces en contact

Nature des surfaces en contact	Poids F_g total des blocs (N)	Force de traction F (N)
Bois/aluminium		
Bois/liège		
Bois/papier-émeri		

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

L'analyse des résultats

PARTIE A – L'effet du poids du bloc

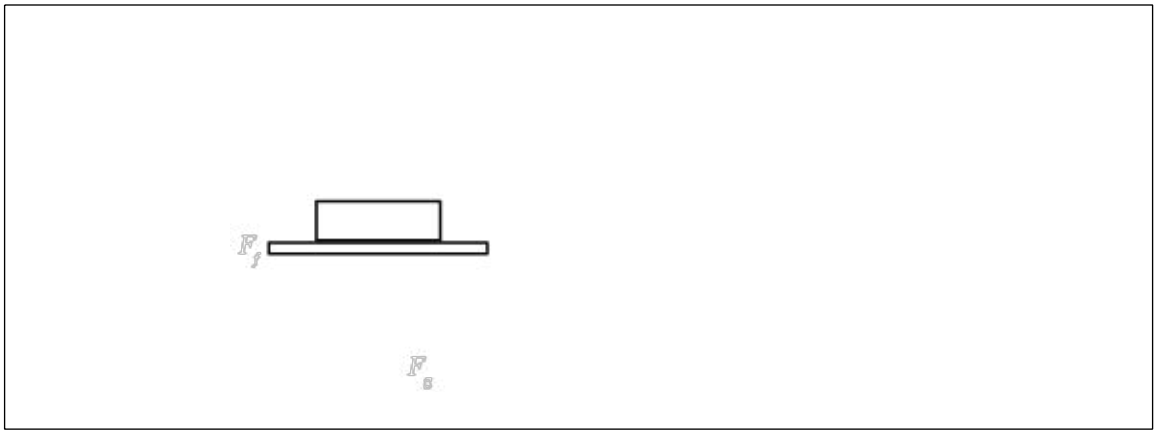
4. Dans la figure 2 de la page M-95, les blocs sont disposés de façon à maintenir deux paramètres fixes et à en faire varier un autre. De quels paramètres s'agit-il ?

_____

_____

_____

5. Sur le schéma ci-dessous, représentez toutes les forces qui sont appliquées au bloc de friction juste avant qu'il ne glisse. La longueur d'une flèche doit être proportionnelle à la grandeur de la force qu'elle représente.



6. En vous servant du schéma de la question 5, comparez la force de traction $\vec{F}$ (mesurée par le dynamomètre) et la force de frottement statique maximale $\vec{F}_f$.

_____

_____

7. Quelle est la relation mathématique qui relie F et F_f ?

_____

8. En examinant le tableau 2 de la page précédente, dites comment se comporte la force de frottement statique maximale $\vec{F}_f$ lorsqu'on augmente le poids des blocs ?

_____

_____

9. Quel coefficient de frottement caractérise ce type de frottement ?

_____

PARTIE B – L'effet de l'aire de la surface des blocs

10. Dans la figure 3 de la page M-96, quels sont les paramètres fixes et quel est celui qui varie ?

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

11. Sachant que la force de traction (*F*) correspond à la force de frottement statique maximale, comment se comporte cette dernière force lorsqu'on augmente l'aire de la surface des blocs ?

_____

_____

_____

PARTIE C – L'effet de la nature des surfaces en contact

12. Dans la partie C du laboratoire, un paramètre varie alors que deux autres sont maintenus fixes. Quels sont ces paramètres ?

_____

_____

13. Sachant que la force de traction (*F*) correspond à la force de frottement statique maximale, comment se comporte cette dernière force lorsqu'on varie la nature des surfaces en contact ?

_____

_____

La conclusion partielle

PARTIE A – L'effet du poids du bloc

14. Est-ce que la force de frottement dépend du poids des blocs ?

_____

PARTIE B – L'effet de l'aire de la surface des blocs

15. Est-ce que la force de frottement dépend de l'aire de la surface des blocs ?

_____

PARTIE C – L'effet de la nature des surfaces en contact

16. Est-ce que la force de frottement dépend de la nature des surfaces en contact ?

_____

La conclusion générale

17. D'après les expériences effectuées, de quoi dépend la force de frottement d'un objet en contact avec une surface ?

_____

_____

18. Selon les résultats que vous avez obtenus, vos hypothèses de départ étaient-elles justes ? Expliquez votre réponse en décrivant les connaissances que vous avez acquises au cours de cette expérience.

_____

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 4 Les différents types de forces

1 Complétez les définitions suivantes.

a) Une force est une grandeur _____ qui peut être mesurée à l'aide d'un _____.

b) La force _____ ($\vec{F}_g$) est l'_____ mutuelle entre des _____ due à leur _____.

c) La force _____ ($\vec{F}_N$) est la _____ de la surface d'un _____ à une force exercée par un autre _____ en contact. Cette force est toujours _____ à la surface de contact entre les deux _____.

d) La force de _____ ($\vec{F}_f$) est une force qui s'_____ au mouvement et qui est orientée en sens _____ à celui-ci. Le frottement peut être _____ ou _____.

e) La _____ ($\vec{F}_T$) est la force de _____ qu'une corde ou tout objet long et mince exerce sur un _____.

f) La force _____ ($\vec{F}_c$) permet de maintenir un _____ dans un mouvement _____.

g) Dans un mouvement _____ uniforme, la norme de la vitesse est _____, mais sa direction _____ constamment, et le vecteur vitesse est toujours _____ à la trajectoire et _____ au rayon de courbure.

2 Calculez le poids des objets suivants sur Terre.

a) Un classeur de 126,5 kg.

b) Un livre de 1,8 kg.

c) Un crayon de 45 g.

d) Un petit caillou de 7,6 mg.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

3 On dépose les quatre objets de la question précédente sur le plancher d'une classe.

a) Quelle sera la valeur de la force exercée par le plancher sur chacun de ces objets ?

_____

_____

b) Comment se nomme cette force ?

_____

c) Comment sont orientées les forces en présence dans ces situations ?

_____

_____

4 Indiquez si les exemples suivants concernent une force de frottement statique ou cinétique.

	Statique	Cinétique
a) Une voiture stationnée dans une pente.		
b) Un patin qui glisse sur la glace.		
c) Un divan poussé sur un plancher de bois.		
d) Deux pièces de velcro accrochées l'une à l'autre.		
e) Un papier de verre frotté sur une planche de cèdre.		
f) La neige qui déferle lors d'une avalanche.		
g) Un livre déposé sur une table.		

5 Vous achetez une chaîne pouvant supporter une tension de 250 N. Cette chaîne est-elle adéquate pour accrocher un luminaire d'une masse de 32,0 kg au plafond de votre salle à manger ?

6 À quelle vitesse tourne le passager d'un carrousel si sa masse est de 22 kg et qu'il se situe à 3,5 m du centre de manège, sachant qu'il subit une force centripète de 1,6 N ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

7 La sonde robotisée *Curiosity* avait un poids de 8810 N lorsqu'elle a été pesée sur Terre avant son départ. Quel est son poids sur la planète Mars (g_{Mars} = 3,71 N/kg) ?

8 Un divan d'une masse de 95 kg est posé sur un sol parfaitement horizontal. Le coefficient de frottement statique entre les pattes du divan et le sol est de 0,42. Calculez la force nécessaire pour déplacer ce divan en le glissant.

9 La Lune a une masse de $7{,}35 \times 10^{22}$ kg et un rayon de 1740 km. Quelle est la masse d'un astronaute si son poids sur la Lune est de 125 N ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

10 DÉFI

La Station spatiale internationale (SSI) est en orbite à une altitude moyenne de 390 km par rapport à la surface terrestre et, malgré sa masse de 450 000 kg, elle fait le tour du globe en 93 minutes. À l'aide des valeurs données à la page 100 du cahier, répondez aux questions suivante.

a) À quelle vitesse la station tourne-t-elle autour de la Terre ?

b) Calculez la valeur de la force centripète exercée sur la station spatiale.

c) Calculez la valeur de la force gravitationnelle exercée sur elle. La masse de la Terre est de $5{,}98 \times 10^{24}$ kg.

d) Comparez les valeurs trouvées en *b)* et en *c)*. Que remarquez-vous ?
Comment pouvez-vous l'expliquer ?

_____

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 4 Les différents types de forces

/100

1. Complétez les énoncés suivants à l'aide des expressions dans l'encadré. **/16**

- une diminution de la vitesse
- une augmentation de la vitesse
- un changement de direction
- une mise en mouvement

a) Quand elle est exercée sur un corps initialement immobile, une force peut entraîner _____ du corps.

b) Quand elle est exercée sur un corps en mouvement, une force qui agit dans une direction différente de celle du mouvement peut entraîner _____ du corps.

c) Quand elle est exercée sur un corps en mouvement, une force qui agit dans le même sens que le mouvement peut entraîner _____ du corps.

d) Quand elle est exercée sur un corps en mouvement, une force qui agit en sens inverse par rapport au mouvement peut entraîner _____ du corps.

2. Vrai ou faux ? Justifiez votre réponse lorsque vous jugez qu'un énoncé est faux. **/15**

	Vrai	Faux
a) La force gravitationnelle exercée par la Terre sur un chien correspond au poids de ce chien.	☐	☐
b) La force normale agit toujours à la verticale vers le haut.	☐	☐
c) La force de frottement cinétique qui agit sur un objet est toujours en sens inverse par rapport au mouvement de cet objet.	☐	☐

Justification : _____

_____

_____

3. Les astronautes qui ont marché sur la Lune donnaient un peu l'impression de flotter quand ils sautaient. **/24**

a) Votre ami vous explique que la principale raison pour laquelle les astronautes retombent moins vite au sol sur la Lune que sur la Terre est qu'il n'y a pas de résistance de l'air sur la Lune, puisqu'il n'y a pas d'air. Que pensez-vous de son affirmation ?

Si vous êtes d'accord, expliquez pourquoi. Si vous êtes en désaccord, expliquez pourquoi et dites quelle est, selon vous, la principale raison pour laquelle les astronautes retombent moins vite au sol sur la Lune.

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) Supposons que, sur la Terre, le poids de l'un des astronautes d'une mission Apollo avec tout son équipement est de $1{,}55 \times 10^3$ N. Quel serait son poids sur la Lune, où l'accélération gravitationnelle est de 1,63 m/s² ?

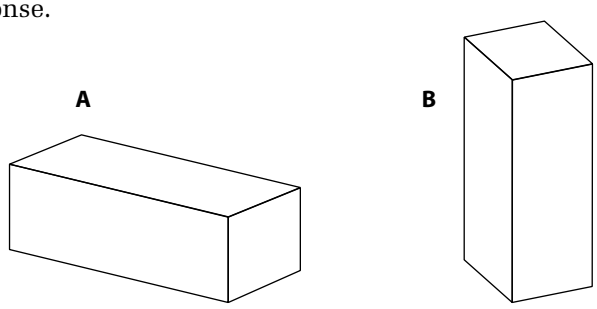
c) Le rayon de la Lune est près de quatre fois plus petit que celui de la Terre. Pourtant, l'accélération gravitationnelle est six fois plus petite sur la Lune que sur la Terre.

I) Pourquoi cela peut-il sembler surprenant ?

II) Pourquoi l'accélération gravitationnelle est-elle plus petite sur la Lune bien que son rayon soit plus petit ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4. Vous devez pousser une lourde boîte en carton en forme de prisme rectangulaire. Elle est très lourde et cela est très difficile. Au départ, la boîte est placée de sorte que sa plus grande face est en contact avec le sol (*voir la figure A*). Votre collègue vous suggère de placer la boîte de façon à ce que la plus petite surface soit en contact avec le sol (*voir la figure B*), puisque cela diminuera le frottement. A-t-il raison ? Expliquez votre réponse. **/5**



_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

5. Dans chacune des situations suivantes, identifiez la force qui joue le rôle de force centripète sur le corps dont le nom est écrit en gras. **/15**

a) La **Station spatiale internationale** est en orbite autour de la Terre.

_____

b) Une **tasse** placée sur le plateau rotatif d'un four à micro-ondes tourne pendant qu'on réchauffe son contenu.

_____

c) Un homme fait tournoyer ses **clés** au bout de la chaîne de son porte-clés, dans un plan horizontal.

_____

6. Une enfant fait tourner une balle attachée à l'extrémité d'une corde. **/10**

a) Si la vitesse de la balle augmente, la corde deviendra-t-elle plus tendue ou plus lâche ? Expliquez votre réponse en faisant référence au lien entre la vitesse d'un corps en rotation et la grandeur de la force centripète.

_____

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) Si l'enfant allonge la corde pour doubler le rayon de la trajectoire de la balle, la tension dans la corde changera-t-elle ? De quelle manière ? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

_____

7. Une planchiste de 55,0 kg prend une pause au cours d'une descente. Elle s'assoit au sol dans une pente inclinée à 15,0°. **/15**

a) Sur l'illustration ci-dessous, tracez une flèche indiquant la direction de la force normale qui agit sur la planchiste.

b) Quelle est la grandeur de la force normale qui agit sur elle ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Sommaire

Mécanique – Module 2 La dynamique

Chapitre 5 Les corps soumis à différentes forces

	Fiche
Corrigé du cahier (exercices du chapitre)	M-111
Labo 7	M-116
Exercices	M-122
Évaluation	M-126

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

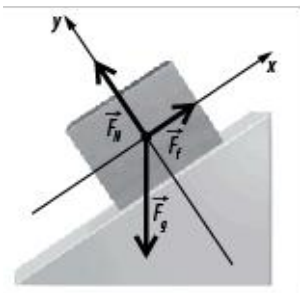
Chapitre 5 Les corps soumis à différentes forces

Cahier, p. 121

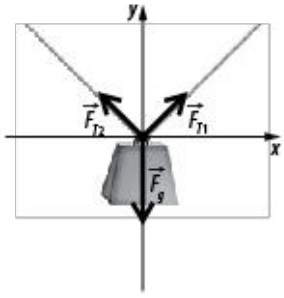
Section 1
Le diagramme de corps libre

Cahier, p. 121

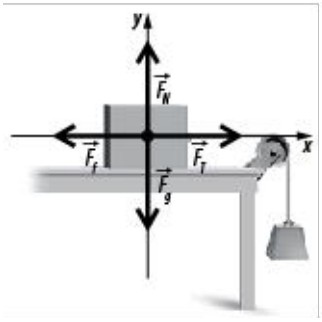
1. *a)*



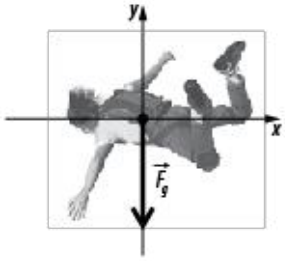
b)



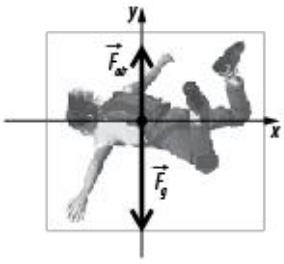
c)



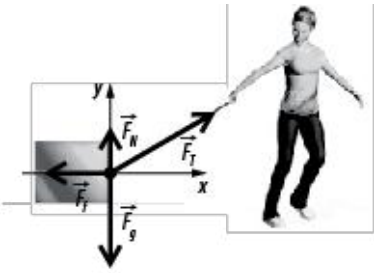
d)



e)



f)



Note à l'enseignant : À ce stade-ci, on ne s'attend pas à ce que l'élève représente les différentes forces de telle sorte que les longueurs relatives des flèches correspondantes soient réalistes.

Section 2
La résultante de plusieurs forces

Cahier, p. 124 à 126

1. *a)* **Données**

$\vec{F}_1 = 3{,}5$ N à 31°

$\vec{F}_2 = 5{,}0$ N à 0°

$\vec{F}_3 = 4{,}2$ N à 228°
(228° = 360° – 132°)

$\vec{F}_R = ?$

Solution

$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$

On additionne les composantes en *x* et en *y*.

En *x* :

$F_{Rx} = 3{,}5\ \text{N} \times \cos 31° + 5{,}0\ \text{N} \times \cos 0° + 4{,}2\ \text{N} \times \cos 228° = 5{,}2\ \text{N}$

En *y* :

$F_{Ry} = 3{,}5\ \text{N} \times \sin 31° + 5{,}0\ \text{N} \times \sin 0° + 4{,}2\ \text{N} \times \sin 228° = -1{,}3\ \text{N}$

Calcul de la norme et de l'angle de la force résultante :

$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{(5{,}2\ \text{N})^2 + (-1{,}3\ \text{N})^2} = 5{,}4\ \text{N}$

$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{F_{Ry}}{F_{Rx}}\right|\right) = \tan^{-1}\left(\left|\frac{-1{,}3}{5{,}2}\right|\right) = 14°$

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Puisque F_{Rx} est positive et F_{Ry} est négative :

$\theta = 360° - \alpha = 360° - 14° = 346°$

$\vec{F}_R = 5{,}4 \text{ N à } 346°$

Réponse : La force résultante exercée sur l'anneau est de 5,4 N à 346°.

b) **Données**

$\vec{F}_1 = 63 \text{ N à } 157°$ (157° = 180° – 23°)

$\vec{F}_2 = 54 \text{ N à } 65°$

$\vec{F}_3 = 70 \text{ N à } 90°$

$\vec{F}_R = ?$

Solution

$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$

On additionne les composantes en *x* et en *y*.

En *x* :

$F_{Rx} = 63 \text{ N} \times \cos 157° + 54 \text{ N} \times \cos 65° = -35 \text{ N}$

En *y* :

$F_{Ry} = 63 \text{ N} \times \sin 157° + 70 \text{ N} + 54 \text{ N} \times \sin 65° = 144 \text{ N}$

Calcul de la norme et de l'angle de la force résultante :

$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{(-35 \text{ N})^2 + (144 \text{ N})^2} = 148 \text{ N}$

$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{F_{Ry}}{F_{Rx}}\right|\right) = \tan^{-1}\left(\left|\frac{144}{-35}\right|\right) = 76°$

Puisque la composante *x* est négative et que la composante *y* est positive :

$\theta = 180° - 76° = 104°$

$\vec{F}_R = 148 \text{ N à } 104°$

Réponse : La force résultante sur le pieu est de 148 N à 104°.

2. Données

$m = 850 \text{ kg}$ $\quad \vec{F}_g = ?$

$\vec{F}_{T1} = 8{,}10 \times 10^3 \text{ N à } 105{,}0°$ $\quad \vec{F}_R = ?$

$\vec{F}_{T2} = 2{,}20 \times 10^3 \text{ N à } 35{,}0°$

Solution

Calcul de la force gravitationnelle :

$F_g = mg = 850 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 = 8{,}33 \times 10^3 \text{ N}$

$\vec{F}_g = 8{,}33 \times 10^3 \text{ N à } 270°$

Calcul de la force résultante :

$\vec{F}_R = \vec{F}_{T1} + \vec{F}_{T2} + \vec{F}_g$

Selon *x* :

$F_{T1x} = F_{T1} \cos\theta = (8{,}10 \times 10^3 \text{ N}) \times \cos 105{,}0° = -2{,}10 \times 10^3 \text{ N}$

$F_{T2x} = F_{T2} \cos\theta = (2{,}20 \times 10^3 \text{ N}) \times \cos 35{,}0° = 1{,}80 \times 10^3 \text{ N}$

$F_{gx} = F_g \cos\theta = 8{,}33 \times 10^3 \text{ N} \times \cos 270° = 0 \text{ N}$

$F_{Rx} = F_{T1x} + F_{T2x} + F_{gx} = -2{,}10 \times 10^3 \text{ N} + 1{,}80 \times 10^3 \text{ N} + 0 \text{ N}$

$= -3{,}0 \times 10^2 \text{ N}$

Selon *y* :

$F_{T1y} = F_{T1} \sin\theta = (8{,}10 \times 10^3 \text{ N}) \times \sin 105° = 7{,}82 \times 10^3 \text{ N}$

$F_{T2y} = F_{T2} \sin\theta = (2{,}20 \times 10^3 \text{ N}) \times \sin 35° = 1{,}26 \times 10^3 \text{ N}$

$F_{gy} = F_g \sin\theta = (8{,}33 \times 10^3 \text{ N}) \times \sin 270° = -8{,}33 \times 10^3 \text{ N}$

$F_{Ry} = F_{T1y} + F_{T2y} + F_{gy}$

$= 7{,}82 \times 10^3 \text{ N} + 1{,}26 \times 10^3 \text{ N} + (-8{,}33 \times 10^3 \text{ N})$

$= 7{,}5 \times 10^2 \text{ N}$

Calcul de la norme et de l'angle de la force résultante :

$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{(-3{,}0 \times 10^2 \text{ N})^2 + (7{,}5 \times 10^2 \text{ N})^2} = 8{,}1 \times 10^2 \text{ N}$

$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{F_{Rx}}{F_{Ry}}\right|\right) = \tan^{-1}\left(\left|\frac{-3{,}0 \times 10^2 \text{ N}}{7{,}5 \times 10^2 \text{ N}}\right|\right) = 22°$

Puisque le composante *x* est négative et que la composante *y* est positive :

$\theta = \alpha + 90° = 22° + 90° = 112°$

$\vec{F}_R = 8{,}1 \times 10^2 \text{ N à } 112°$

Réponse : La force résultante exercée sur le bloc par la grue est de $8{,}1 \times 10^2$ N à 112°.

3. Données

$\vec{F}_{poussée} = 60{,}0 \text{ N à } 0°$

$\vec{F}_{T1} = 35{,}0 \text{ N à } 160°$

$\vec{F}_{T2} = 30{,}0 \text{ N à } 220°$

$\vec{F}_R = ?$

Solution

Pour additionner les vecteurs, on décompose la force de tension selon *x* et *y* :

$\vec{F}_R = \vec{F}_{T1} + \vec{F}_{T2} + \vec{F}_{poussée}$

Selon *x* :

$F_{poussée(x)} = 60{,}0 \text{ N} \times \cos 0° = 60{,}0 \text{ N}$

$F_{T1x} = F_{T1} \cos\theta = 35{,}0 \text{ N} \times \cos 160° = -32{,}9 \text{ N}$

$F_{T2x} = F_{T2} \cos\theta = 30{,}0 \text{ N} \times \cos 220° = -23{,}0 \text{ N}$

$F_{Rx} = F_{T1x} + F_{T2x} + F_{poussée(x)} = -32{,}9 \text{ N} + (-23{,}0 \text{ N}) + 60{,}0 \text{ N} = 4{,}1 \text{ N}$

Selon *y* :

$F_{poussée(y)} = 60{,}0 \text{ N} \times \sin 0° = 0 \text{ N}$

$F_{T1y} = F_{T1} \sin\theta = 35{,}0 \text{ N} \times \sin 160° = 12{,}0 \text{ N}$

$F_{T2y} = F_{T2} \sin\theta = 30{,}0 \text{ N} \times \sin 220° = -19{,}3 \text{ N}$

$F_{Ry} = F_{poussée(y)} + F_{T1y} + F_{T2y} = 0 \text{ N} + 12{,}0 \text{ N} + -19{,}3 \text{ N} = -7{,}3 \text{ N}$

Calcul de la norme et de l'angle de la force résultante :

$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{(4{,}1 \text{ N})^2 + (-7{,}3 \text{ N})^2} = 8{,}4 \text{ N}$

Puisque F_{Rx} est positive et que F_{Ry} est négative, θ est compris entre 270° et 360°.

$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{F_{Ry}}{F_{Rx}}\right|\right) = \tan^{-1}\left(\left|\frac{-7{,}3 \text{ N}}{4{,}1 \text{ N}}\right|\right) = 61°$

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

$\theta = 360° - \alpha = 360° - 61° = 299°$

$\vec{F}_R = 8{,}4 \text{ N à } 299°$

Réponse : La force résultante sur l'astronaute est de 8,4 N à 299°.

Section 3
La notion d'équilibre

Cahier, p. 130 et 131

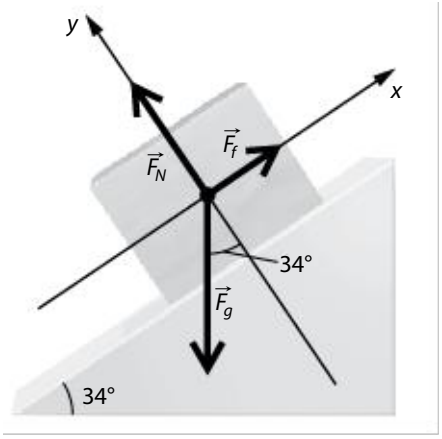
1. Données

$m = 75{,}0 \text{ kg}$

$\vec{F}_g = m\vec{g} = 75{,}0 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2$
$\text{à } (270° - 34°) = 735 \text{ N à } 236°$

$\vec{F}_f = ?$

Solution



On fixe l'axe des *x* parallèle au plan incliné. La force de frottement s'oppose au mouvement du bloc et agit donc vers le haut du plan incliné, pour empêcher le bloc de glisser.

Si le bloc ne glisse pas, c'est qu'il est en équilibre statique, et donc que la force résultante est nulle ($F_{Rx} = 0$ N, $F_{Ry} = 0$ N).

Pour résoudre le problème, on s'intéresse aux composantes *x* des forces :

$$F_{Rx} = F_{f_x} + F_{Nx} + F_{gx} = F_f \cos 0° + F_N \cos 90° + (735 \text{ N}) \times \cos 236°$$
$$= F_f + 0 \text{ N} + (^-411 \text{ N}) = 0 \text{ N}$$

$F_f = 411$ N

Réponse : La force de frottement est de 411 N, vers le haut du plan incliné.

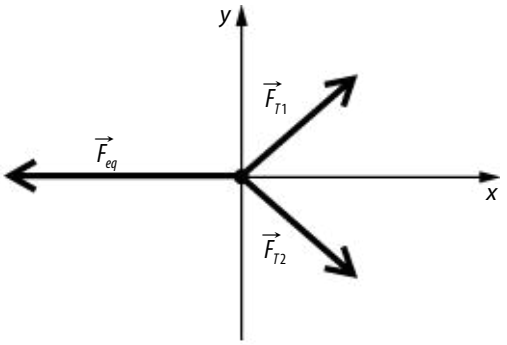
2. Données

$\vec{F}_{T1} = 38{,}0 \text{ N à } 41{,}0°$

$\vec{F}_{T2} = 38{,}0 \text{ N à } 319{,}0°$

$\vec{F}_{eq} = ?$

Solution



Il apparaît évident que les forces de tension se neutralisent selon *y*. Pour additionner les vecteurs, on décompose la force de tension selon *x* :

$$F_{T1x} = F_{T1} \cos\theta = 38{,}0 \text{ N} \times \cos 41{,}0° = 28{,}7 \text{ N}$$

$$F_{T2x} = F_{T2} \cos\theta = 38{,}0 \text{ N} \times \cos 319{,}0° = 28{,}7 \text{ N}$$

Puisqu'il y a équilibre,

$$F_{Rx} = F_{T1x} + F_{T2x} + F_{eqx} = 0$$

$$F_{eqx} = -(F_{T1x} + F_{T2x}) = -(28{,}7 \text{ N} + 28{,}7 \text{ N}) = -57{,}4 \text{ N}$$

Puisque la composante *y* de la force équilibrante est nulle et que la composante *x* est négative, le vecteur $\vec{F}_R$ est orienté à 180°.

Réponse : L'archère doit exercer une tension de 57,4 N à 180°.

3. Données

$\vec{F}_1 = 6{,}00 \text{ N à } 0°$

$\vec{F}_2 = 8{,}00 \text{ N à } 140°$

$\vec{F}_3 = 5{,}00 \text{ N à } 270°$

$\vec{F}_R = ?$

$\vec{F}_{eq} = ?$

Solution

Par la méthode des composantes, on calcule la force résultante en *x* et en *y* :

$$F_{Rx} = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x}$$
$$= 6{,}00 \text{ N} \times \cos 0° + 8{,}00 \text{ N} \times \cos 140° + 5{,}00 \text{ N} \times \cos 270°$$
$$= -0{,}13 \text{ N}$$

$$F_{Ry} = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y}$$
$$= 6{,}00 \text{ N} \times \sin 0° + 8{,}00 \text{ N} \times \sin 140° + 5{,}00 \text{ N} \times \sin 270°$$
$$= 0{,}14 \text{ N}$$

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{(-0{,}13 \text{ N})^2 + (0{,}14 \text{ N})^2} = 0{,}19 \text{ N}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{F_{Ry}}{F_{Rx}}\right|\right) = \tan^{-1}\left(\left|\frac{0{,}14}{-0{,}13}\right|\right) = 47{,}9°$$

Puisque F_{Rx} est négative et que F_{Ry} est positive :

$\theta = 180° - 47{,}9° = 132{,}1°$

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

La force équilibrante est : $\vec{F}_{eq} = -\vec{F}_R$

La force équilibrante a la même grandeur que la force résultante, mais elle est orientée en sens inverse, soit à 180° + 132,1° = 312,1°.

Réponse : La force équilibrante est de 0,19 N à 313°.

4. Données

$\vec{F}_{motrice} = 35\,000$ N à 125,0°

(90° + 35,0° = 125,0°)

$\vec{F}_{air} = 28\,000$ N à 270°

$\vec{F}_{vent} = ?$

Solution

Comme l'avion vole à vitesse constante, il est en équilibre. Pour trouver la force du vent (force équilibrante), on doit calculer d'abord la force résultante (somme de $\vec{F}_{motrice}$ et de $\vec{F}_{air}$) par la méthode des composantes :

$$F_{Rx} = F_{motrice(x)} + F_{air(x)}$$
$$= 35\,000 \text{ N} \times \cos 125{,}0° + 28\,000 \text{ N} \times \cos 270°$$
$$= -2{,}008 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{Ry} = F_{motrice(y)} + F_{air(y)}$$
$$= 35\,000 \text{ N} \times \sin 125{,}0° + 28\,000 \text{ N} \times \sin 270° = 6{,}7 \times 10^2 \text{ N}$$

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{(-2{,}008 \times 10^4 \text{ N})^2 + (6{,}7 \times 10^2 \text{ N})^2}$$
$$= 2{,}009 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{F_{Ry}}{F_{Rx}}\right|\right) = \tan^{-1}\left(\left|\frac{6{,}7 \times 10^2}{-2{,}008 \times 10^4}\right|\right) = 1{,}9°$$

Puisque F_{Rx} est négative et que F_{Ry} est positive :

$\theta = 180° - 1{,}9° = 178{,}1°$

La force équilibrante est : $\vec{F}_{vent} = \vec{F}_{eq} = -\vec{F}_R$

La force équilibrante a la même grandeur que la force résultante, mais elle est orientée en sens inverse, soit à 180° + 178,1° = 358,1°.

Réponse : La force du vent est de $2{,}009 \times 10^4$ N à 358,1°, ou encore à 1,9° au sud de l'est.

Chapitre 5 Synthèse

Cahier, p. 132 à 135

1 *a)* NE
b) ES
c) NE
d) NE
e) ED
f) ES
g) NE
h) ES
i) NE
j) NE
k) ES
l) ED

2 Données

$\vec{F}_{T1} = 10{,}0$ cN à 70,0°

$\vec{F}_{T2} = 16{,}0$ cN à 120,0°

$\vec{F}_{T3} = 19{,}0$ cN à 200,0°

$\vec{F}_{T4} = ?$

Solution

Il faut décomposer chaque vecteur par ses composantes. On doit calculer la force résultante en *x* et en *y* :

$$F_{Rx} = F_{T1x} + F_{T2x} + F_{T3x}$$
$$= 10{,}0 \text{ cN} \times \cos 70{,}0° + 16{,}0 \text{ cN} \times \cos 120{,}0° + 19{,}0 \text{ cN} \times \cos 200{,}0°$$
$$= 3{,}42 \text{ cN} + (-8{,}00 \text{ cN}) + (-17{,}9 \text{ cN}) = -22{,}5 \text{ cN}$$

$$F_{Ry} = F_{T1y} + F_{T2y} + F_{T3y}$$
$$= 10{,}0 \text{ cN} \times \sin 70{,}0° + 16{,}0 \text{ cN} \times \sin 120{,}0° + 19{,}0 \text{ cN} \times \sin 200{,}0°$$
$$= 9{,}40 \text{cN} + 13{,}9 \text{cN} + (-6{,}50 \text{cN}) = 16{,}8 \text{cN}$$

La force équilibrante est opposée à la force résultante. Alors :

$\vec{F}_{T4} = \vec{F}_{eq} = -\vec{F}_R$

$F_{T4x} = 22{,}5$ cN, $F_{T4y} = -16{,}8$ cN

$$F_{T4} = \sqrt{(22{,}5 \text{ cN})^2 + (-16{,}8 \text{ cN})^2} = 28{,}1 \text{ cN}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\left|\frac{F_{T4y}}{F_{T4x}}\right|\right) = \tan^{-1}\left(\left|\frac{-16{,}8}{22{,}5}\right|\right) = 36{,}7°$$

Alors : $\theta = 360° - \alpha = 360° - 36{,}7° = 323{,}3°$

Réponse : La tension dans le 4e fil est de 28,1 cN à 323,3°.

3 *a)* **Données**

$\vec{F}_{T1} = 300$ N à 140,0°

$\vec{F}_{T2} = 220$ N à 80,0°

$\vec{F}_{T3} = 380$ N à 30,0°

$\vec{F}_R = ?$

Solution

On fixe l'axe des *x* à l'horizontale et l'axe des *y* selon la verticale. On décompose les forces de tension selon *y* :

$$F_{T1y} = F_{T1} \sin 140{,}0° = 300 \text{ N} \times \sin 140{,}0° = 193 \text{ N}$$

$$F_{T2y} = F_{T2} \sin 80{,}0° = 220 \text{ N} \times \sin 80{,}0° = 217 \text{ N}$$

$$F_{T3y} = F_{T3} \sin 30{,}0° = 380 \text{ N} \times \sin 30{,}0° = 190 \text{ N}$$

$$F_y = F_{T1y} + F_{T2y} + F_{T3y} = 193 \text{ N} + 217 \text{ N} + 190 \text{ N} = 600 \text{ N}$$

Réponse : La force résultante verticale est de 600 N. L'œillet sera assez fort pour encaisser les forces verticales.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) On décompose les forces de tension selon *x* :

$F_{T1x} = F_{T1}\cos 140{,}0° = 300\text{ N} \times \cos 140{,}0° = -230\text{ N}$

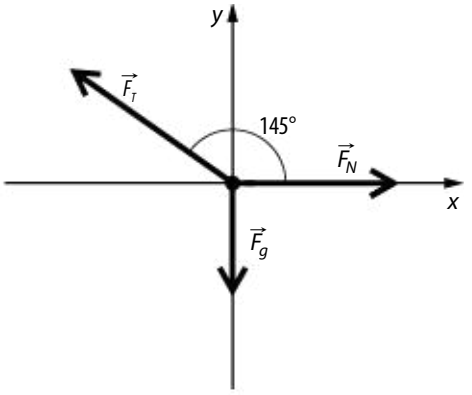
$F_{T2x} = F_{T2}\cos 80{,}0° = 220\text{ N} \times \cos 80{,}0° = 38{,}2\text{ N}$

$F_{T3x} = F_{T3}\cos 30{,}0° = 380\text{ N} \times \cos 30{,}0° = 329\text{ N}$

$F_x = F_{T1x} + F_{T2x} + F_{T3x} = -230\text{ N} + 38{,}2\text{ N} + 329\text{ N} = 137\text{ N}$

Réponse : La force résultante horizontale est de 137 N. L'œillet peut donc également encaisser les forces horizontales.

4 *a)* **Données**



$m = 15{,}0\text{ kg}$

$\vec{F}_g = m\vec{g} = 15{,}0\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 = 147\text{ N à } 270°$

$\vec{F}_T = ?$

$\vec{F}_N = ?$

Solution

On fixe l'axe des *y* parallèle au mur vers le haut et l'axe des *x* parallèle au sol vers la droite.

Comme le système est à l'équilibre, la somme des forces doit être nulle. Pour trouver la norme de F_T, on peut se contenter de s'intéresser aux composantes *y* des forces :

$$F_{Ry} = F_{gy} + F_{Ny} + F_{Ty} = 147\text{ N} \times \sin 270° + F_N \sin 0° + F_T \sin 145°$$
$$= (-147\text{ N}) + 0\text{ N} + F_T \sin 145° = F_T \sin 145° - 147\text{ N} = 0\text{ N}$$

$F_T \sin 145° = 147\text{ N}$

$$F_T = \frac{147\text{ N}}{\sin 145°} = 256\text{ N}$$

Réponse : La force de tension de la chaîne est de 256 N.

b) On peut trouver la force normale en s'intéressant aux composantes *x* des forces.

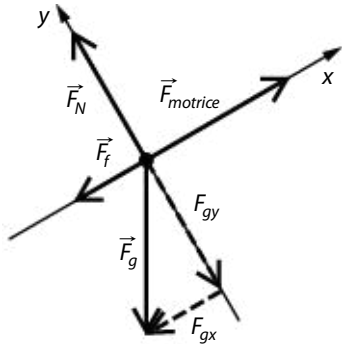
$F_{Rx} = 0\text{ N}$

$$F_{Rx} = F_{gx} + F_{Nx} + F_{Tx}$$
$$= 147\text{ N} \times \cos 270° + F_N \cos 0° + 256\text{ N} \times \cos 145°$$
$$= F_N + (-210\text{ N}) = 0\text{ N}$$

$F_N = -210\text{ N}$

Réponse : La force normale fournie par le mur est de -210 N.

5 **Données**



$m = 10{,}0\text{ kg}$

$\vec{F}_g = m\vec{g} = 10{,}0\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 \text{ à } (270° - 30°) = 98{,}0\text{ N à } 240°$

$\vec{F}_f = 25{,}5\text{ N à } 180°$

$\vec{F}_{motrice} = ?$

Solution

On fixe l'axe des *x* parallèle au plan incliné. Si le bloc se met en mouvement, c'est que l'équilibre statique est rompu. La force résultante ne vaut donc plus 0 N. Pour trouver la force motrice minimale requise pour mettre le bloc en mouvement, on peut calculer la force motrice qu'il faut pour que le bloc soit en équilibre statique et que la force de frottement statique soit maximale. On saura que dès que la force motrice va dépasser cette valeur limite, le bloc va se mettre en mouvement.

Puisque la force motrice tire le bloc vers le haut du plan incliné, la force de frottement statique, qui s'oppose au mouvement, doit être vers le bas du plan incliné.

On s'intéresse aux composantes *x* des forces ($F_{Rx} = 0$ N). Pour l'axe des *x* :

$$F_{Rx} = F_{motrice(x)} + F_{Nx} + F_{fx} + F_{gx}$$
$$= F_{motrice}\cos 0° + F_N \cos 90° + (25{,}5\text{ N}) \times \cos 180° + (98{,}0\text{ N}) \times \cos 240°$$
$$= F_{motrice} + 0\text{ N} + (-25{,}5\text{ N}) + (-49{,}0\text{ N})$$
$$= F_{motrice} - 74{,}5\text{ N} = 0\text{ N}$$

$F_{motrice} = 74{,}5\text{ N}$

Ainsi, lorsque la force motrice est de 74,5 N, la force de frottement statique atteint sa valeur maximale et le bloc est tout juste sur le point de se mettre en mouvement. Dès que la grandeur de la force motrice dépassera 74,5 N, le bloc se mettra en mouvement.

Réponse : La force motrice doit être supérieure à 74,5 N, vers le haut du plan incliné.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

LABO 7 Les forces exercées sur un corps en équilibre

Cahier, p. 127

Mise en situation

Le grand chapiteau

Lors d'importants événements en plein air, les organisateurs optent souvent pour l'installation d'un chapiteau afin de procurer de l'ombre aux participants ou pour les protéger des intempéries. Pour monter ce genre de structure, les techniciens doivent positionner les mâts principaux parfaitement à la verticale. Pour y parvenir, ils utilisent généralement des câbles métalliques, appelés « haubans », reliant le sommet des mâts à des points d'ancrage au sol. Pour s'assurer que les mâts ne bougent pas, l'installation requiert plusieurs haubans orientés dans différentes directions. Le plus grand défi pour les techniciens est d'ajuster correctement la tension dans chaque câble afin de s'assurer que les mâts soient en équilibre et stables. La moindre erreur pourrait causer l'effondrement du chapiteau.

La préparation

1. Comment calcule-t-on une force résultante ?

_____

_____

2. Qu'arrive-t-il lorsqu'un objet subit une force résultante non nulle ?

_____

_____

3. Comment se nomme la force qui s'oppose à une force résultante non nulle et qui annule son influence ?

_____

_____

4. Comment calcule-t-on cette force ?

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

LABO 7 Les forces exercées sur un corps en équilibre

Cahier, p. 127

Le but de l'expérience

Déterminer expérimentalement la norme et la direction de la force qui doit s'exercer sur un corps pour qu'il soit en équilibre.

L'hypothèse

Dans cette expérience, vous exercerez, sur un anneau, deux forces différentes dans des directions distinctes. Vous devrez ensuite trouver la troisième force (grandeur et orientation de cette force) qu'il vous faudra exercer sur cet anneau pour le maintenir en état d'équilibre.

a) D'après vous, comment peut-on évaluer la norme et la direction de la troisième force à appliquer?

_____

_____

_____

_____

_____

b) Y a-t-il une seule force qui peut maintenir l'anneau en état d'équilibre (et ainsi jouer le rôle de force équilibrante) ou plusieurs forces différentes peuvent-elles le faire? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

_____

Le protocole expérimental

Matériel

- Une table d'étude des forces
- Trois cordes
- Un anneau métallique
- Trois poulies
- Trois supports pour masses suspendues
- Un ensemble de masses variées
- Une balance électronique
- Un niveau

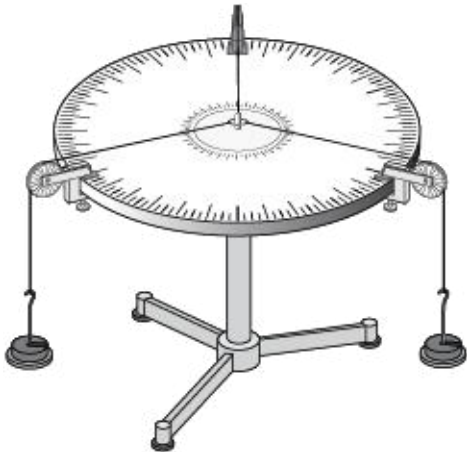


Figure 1 Le montage de l'expérience.

Manipulations

1 Peser les supports de masses et noter la valeur mesurée en répondant à la question 1 de la partie «Les résultats». (Peser les trois supports et faire une moyenne grossière des valeurs. Il n'est pas nécessaire, à cette étape-ci, d'avoir une valeur de masse très précise.)

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

2 Utiliser un niveau pour vérifier l'horizontalité de la table d'étude des forces. L'ajuster au besoin.

3 Fixer, sur le bord de la table, une poulie à 15,0° et une autre à 120,0°.

4 Nouer chacune des trois cordes à l'anneau métallique placé autour de la tige centrale de la table.

5 Insérer deux des cordes liées à l'anneau métallique sur les deux poulies fixées à la table. Y suspendre deux supports de masses. Le montage devrait ressembler à ce qui est illustré à la figure 1 de la page précédente.

6 Accrocher les masses nécessaires au support relié à la corde orientée à 15,0° pour que la masse totale suspendue à cette corde (incluant la masse du support notée à la question 1) soit de 150 g. (À ce stade-ci, il suffit de se fier aux valeurs de masses indiquées sur les pièces de métal. La masse totale suspendue à chaque corde, incluant la masse du support, sera pesée avec précision ultérieurement.)

7 Accrocher les masses nécessaires au support relié à la corde orientée à 120,0° pour que la masse totale suspendue à cette corde (incluant la masse du support notée à la question 1) soit de 110 g. (À ce stade-ci, il suffit de se fier aux valeurs de masses indiquées sur les pièces de métal. Les masses seront pesées avec précision ultérieurement.)

8 Avec la main, exercer une force sur la troisième corde en tirant et modifier l'orientation et la grandeur de la force exercée jusqu'à ce que l'anneau métallique soit centré autour de la tige. Noter alors l'orientation de la corde en répondant à la question 2 *a* de la partie « Les résultats ». Déplacer ensuite la corde de façon à faire le tour de la table pour vérifier s'il y a d'autres orientations de la corde qui permettent de maintenir l'anneau en état d'équilibre. Répondre ensuite à la question 2 *b* de la partie « Les résultats ».

9 Fixer, sur le bord de la table, la troisième poulie selon l'orientation notée à la question 2 *a* de la partie « Les résultats ». Faire passer la troisième corde sur la troisième poulie et y suspendre un support de masses.

10 Ajouter des masses au troisième support jusqu'à ce que l'anneau soit bien centré autour de la tige. Noter la masse nécessaire pour maintenir l'anneau en état d'équilibre en répondant à la question 3 de la partie « Les résultats ».

11 Lorsqu'on est certain que l'anneau métallique est bien centré autour de la tige de la table (se pencher au-dessus de la tige pour s'en assurer), il faut vérifier que l'équilibre est bien atteint. Noter vos observations en répondant à la question 4 de la partie « Les résultats ».

12 Décrocher les trois masses suspendues, y compris la masse des supports, et les peser successivement avec précision. Noter les valeurs mesurées en répondant à la question 5 de la partie « Les résultats ».

Les résultats

1. Quelle est, environ, la masse des supports utilisés ?

_____

2. *a)* Quelle est l'orientation de la corde qui vous permet d'exercer une force telle que vous êtes en mesure de maintenir l'anneau en équilibre ?

_____

b) Outre l'orientation que vous avez notée en *a*, y a-t-il d'autres orientations de la corde qui vous permettent d'exercer une force équilibrante sur l'anneau ? Si oui, quelles sont ces orientations ?

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

3. Quelle est la masse totale (en incluant la masse du support notée à la question 1) que vous devez suspendre à la troisième corde pour maintenir l'anneau dans un état d'équilibre ?

_____

4. *a)* Pourquoi peut-on affirmer que l'anneau est en état d'équilibre lorsqu'il est bien centré autour de la tige ?

_____

_____

_____

b) De quel type d'équilibre s'agit-il ?

_____

_____

5. Notez la valeur précise de chacune des trois masses suspendues (en incluant la masse des supports).

a) Première masse (orientée à 15,0°) : _____

b) Deuxième masse (orientée à 120,0°) : _____

c) Troisième masse : _____

L'analyse des résultats

6. Remplissez le tableau 1. Puis, choisissez une valeur de masse suspendue parmi celles inscrites dans le tableau et donnez, dans l'encadré ci-dessous, un exemple du calcul de la grandeur de la force exercée par cette masse.

TABLEAU 1
Les différentes forces exercées sur l'anneau

Poulie	Masse suspendue (kg)	Grandeur de la force exercée sur l'anneau (N)	Orientation de la force (°)
1			15,0°
2			120,0°
3			

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

7. Tracez, dans l'encadré ci-dessous, le diagramme de corps libre représentant les trois forces horizontales exercées sur l'anneau.

8. *a)* Dans l'encadré ci-dessous, utilisez la méthode graphique d'addition vectorielle pour additionner les forces exercées sur l'anneau par les deux premières cordes. À côté du vecteur représentant le résultat de l'addition de ces deux forces, tracez le vecteur qui représente la force exercée sur l'anneau par la première corde.

b) Que remarquez-vous en observant le tracé que vous avez fait en *a* ?

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

9. *a)* Dans l'encadré ci-dessous, utilisez la méthode graphique d'addition vectorielle pour additionner les trois forces horizontales exercées sur l'anneau.

b) Que remarquez-vous en observant le tracé que vous avez fait en *a* ?

_____

_____

_____

La conclusion

10. À la lumière de l'expérience que vous avez réalisée, votre hypothèse était-elle juste ? Si oui, précisez, au besoin, la démarche qui vous a permis de déterminer la force équilibrante d'un système de forces. Sinon, expliquez ce qui était erroné et corrigez les éléments fautifs.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 5 Les corps soumis à différentes forces

1 Complétez les définitions suivantes.

a) Un diagramme de corps _____ est un diagramme où sont représentées par des _____ toutes les _____ qui s'exercent sur ce _____.

b) La force _____ ($\vec{F}_R$) est la somme _____ de toutes les _____ qui s'exercent sur un _____.

c) L'équilibre est l'état d'un _____ sur lequel agit une force résultante _____. Le corps ne subit alors aucune variation de _____. $\vec{F}_R$ = _____.

d) La force _____ ($\vec{F}_{eq}$) est la force _____ qui serait en mesure de s'_____ à la force _____ et d'_____ son influence. $\vec{F}_{eq}$ = _____.

2 Pour chacune des mises en situation suivantes, tracez le diagramme de corps libre et identifiez les forces présentes.

a) Un déménageur fait glisser un divan sur le plancher du salon.

b) Une fusée accélère au décollage (la résistance de l'air est négligeable).

3 Dans une partie de souque-à-la-corde (aussi appelée *tir à la corde*), deux équipes de quatre joueurs s'affrontent. Si, dans la première équipe, chaque joueur exerce une force de 225 N sur la corde, quelle sera la force que l'autre équipe devra exercer pour gagner ?

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4 Un ascenseur, initialement immobile, exerce une force de 532 N vers le haut sur un passager de 67,0 kg.

a) Indiquez si l'ascenseur monte ou descend.

b) Calculez la valeur de la force équilibrante.

_____

_____

c) Si l'ascenseur effectue le déplacement trouvé en *a)* et qu'il ajoute la force trouvée en *b)*, quelle en sera la conséquence ?

_____

_____

5 Un skieur de 95 kg utilise un remonte-pente qui le tire vers le sommet d'une montagne inclinée à 25° par rapport à l'horizontale à une vitesse de 1,5 m/s.

a) Quelle est la tension dans le câble du remonte-pente s'il n'y a pas de frottement entre le skieur et la pente (sol) ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) Quelle est la tension dans le câble s'il existe une force de frottement de 120 N entre la pente et les skis du skieur ?

6 DÉFI

Deux petits bateaux-remorqueurs tirent un grand pétrolier pour l'aider à accoster dans un port. Le premier remorqueur exerce une force de $2,40 \times 10^5$ N pour tirer l'avant du bateau, alors que le second tire à un angle de 45° vers la droite du bateau (tribord) et avec une force de $3,05 \times 10^5$ N.

a) Tracez le diagramme de corps libre de cette situation. Utilisez l'axe des *y* pour représenter l'orientation du bateau et l'axe des *x* pour la gauche et la droite.

b) Trouvez la force résultante en utilisant la méthode graphique.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

c) Trouvez la force résultante en utilisant la méthode des composantes.

d) Quelle méthode donne le résultat le plus précis ?

_____

_____

e) Lorsque les remorqueurs tirent le pétrolier à vitesse constante, quelle force s'oppose à la force résultante calculée en *c)* ? Quels facteurs influencent cette force ?

_____

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 5 Les corps soumis à différentes forces

/100

1. Complétez le tableau ci-dessous à l'aide des expressions dans l'encadré. **/12**

- Équilibre
- Non-équilibre
- il se met en mouvement
- il reste immobile
- sa vitesse change
- sa vitesse est constante

Force résultante	Conséquences
$\vec{F}_R = \vec{0}$ _____	Si le corps est initialement au repos, _____. Si le corps est initialement en mouvement à vitesse constante, _____.
$\vec{F}_R \neq \vec{0}$ _____	Si le corps est initialement au repos, _____. Si le corps est initialement en mouvement à vitesse constante, _____.

2. Quelles sont les caractéristiques d'une force qu'on peut qualifier d'équilibrante ? **/8**

_____

_____

_____

3. Après une avalanche, un alpiniste de 70,0 kg est secouru par un hélicoptère. À un certain moment, l'homme est hissé à vitesse constante vers l'hélicoptère dont la position est fixe au-dessus du sol. **/20**

a) Tracez le diagramme de corps libre de l'homme à cet instant. Négligez la force attribuable au vent.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) Quelle est la grandeur de la tension dans le câble qui tire l'homme à cet instant ?

4. Un treuil tire une caisse de 500,0 kg à vitesse constante vers le haut le long d'un plan incliné à 25,0°. La force de frottement qui agit sur la caisse est de 600 N. **/30**

a) Tracez le diagramme de corps libre de la caisse.

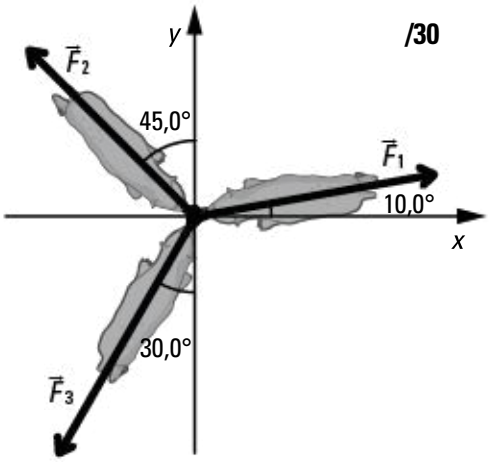
b) Quelle est la grandeur de la tension dans la corde ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

c) Quelle est la grandeur de la force normale qui agit sur la caisse ?

5. Trois bébés hyènes se disputent un os en jouant. L'illustration ci-contre présente la situation à un instant donné. À cet instant, la première hyène exerce une force $\vec{F}_1$ dont la grandeur est de 200 N, la deuxième, une force $\vec{F}_2$ dont la grandeur est de 190 N, et la troisième, une force $\vec{F}_3$ dont la grandeur est de 250 N.

/30



Quelles sont la grandeur et l'orientation de la force résultante agissant sur l'os à cet instant ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Sommaire

Mécanique – Module 2 La dynamique

Chapitre 6 Les lois de Newton

	Fiche
Corrigé du cahier (exercices du chapitre)	M-131
Corrigé du cahier (consolidation du module 2)	M-135
Labo 8	M-136
Labo 9	M-143
Exercices	M-149
Évaluation	M-153
Évaluation du module 2	M-157

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 6 Les lois de Newton

Cahier, p. 139

Section 1
La première loi de Newton

Cahier, p. 139 et 140

1. *a)* Vrai *c)* Vrai *e)* Faux
b) Faux *d)* Vrai

Justification : *b)* La boule de bowling a une plus grande inertie que la balle de baseball, car sa masse est plus grande. *e)* Tout corps possède une inertie.

2. La laitue et l'eau qui s'y trouve sont mises en rotation. De par leur inertie, elles ont tendance à continuer tout droit. Étant donné que les feuilles de laitue sont retenues par le panier, seules les gouttes d'eau quittent la trajectoire circulaire et vont s'écraser sur les parois avant de couler au fond de l'essoreuse.

3. *a)* IV *b)* II

4. *a)* Cette collision illustre le principe d'inertie. Une collision à grande vitesse fait en sorte que les passagers ont tendance à continuer leur mouvement vers l'avant dans une voiture qui est subitement arrêtée. Les passagers continuent leur mouvement vers l'avant à la vitesse qu'avait la voiture avant la collision.

b) Ces objets sont eux aussi soumis à la première loi de Newton : en poursuivant leur mouvement, ils deviennent des projectiles qui pourraient blesser les occupants de la voiture.

Section 2
La deuxième loi de Newton

Cahier, p. 144 à 147

1. *a)* **Données**

$m = 5{,}00$ kg
$a = 4{,}50$ m/s²
$F_R = ?$

Solution

Il faut utiliser la deuxième loi de Newton :
$F_R = ma = 5{,}00 \text{ kg} \times 4{,}50 \text{ m/s}^2 = 22{,}5 \text{ N}$

Réponse : La force résultante qui s'exerce sur le corps est de 22,5 N dans le sens de l'accélération.

b) Comme la force est directement proportionnelle à l'accélération, l'accélération serait aussi diminuée de moitié : $\frac{a}{2} = \frac{4{,}50 \text{ m/s}^2}{2} = 2{,}25 \text{ m/s}^2$

Note à l'enseignant : Autre bonne réponse :

$$F_R = ma \rightarrow a = \frac{F_R}{m} = \frac{\left(\frac{22{,}5 \text{ N}}{2}\right)}{5{,}00 \text{ kg}} = 2{,}25 \text{ m/s}^2$$

Réponse : L'accélération serait de 2,25 m/s².

c) Comme la force est directement proportionnelle à la masse, la masse devrait être diminuée de moitié :
$\frac{m}{2} = \frac{5{,}00 \text{ kg}}{2} = 2{,}50 \text{ kg}$

Note à l'enseignant : Autre bonne réponse :

$$F_R = ma \rightarrow m = \frac{F_R}{a} = \frac{\left(\frac{22{,}5 \text{ N}}{2}\right)}{4{,}50 \text{ m/s}^2} = 2{,}50 \text{ kg}$$

Réponse : La masse du corps devrait être de 2,50 kg.

d) Comme la force est directement proportionnelle à la masse et à l'accélération, on aurait :
$F_R = ma \rightarrow (4m)(2a) = 8ma = 8F$

La force serait 8 fois plus grande ($8 \times 22{,}5$ N) : $F_R = 180$ N

Note à l'enseignant : Autre bonne réponse :
$F_R = ma = (4 \times 5{,}00 \text{ kg}) \times (2 \times 4{,}50 \text{ m/s}^2) = 180$ N

Réponse : La force devrait être de 180 N.

2. **Données**

$m = 860$ kg
$v_i = 0$ m/s
$v_f = 28$ m/s
$\Delta t = 6{,}0$ s
$F_R = ?$
$a = ?$

Solution

Calcul de l'accélération :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{28 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}}{6{,}0 \text{ s}} = 4{,}7 \text{ m/s}^2$$

Application de la deuxième loi de Newton :
$F_R = ma = 860 \text{ kg} \times 4{,}7 \text{ m/s}^2 = 4{,}0 \times 10^3$ N

Réponse : La force résultante requise est de $4{,}0 \times 10^3$ N.

3. **Données**

$m = 960$ kg
$\Delta t = 0{,}80$ s
$v_f = 0$ m/s
$v_i = 30$ m/s
$F_R = ?$
$a = ?$

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Solution

1. Calcul de l'accélération :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0\text{ m/s} - 30\text{ m/s}}{0{,}80\text{ s}} = {}^{-}38\text{ m/s}^2$$

2. Application de la deuxième loi de Newton :

$$F_R = ma = 960\text{ kg} \times {}^{-}38\text{ m/s}^2 = {}^{-}3{,}6 \times 10^4\text{ N}$$

Le signe négatif indique que la force s'exerce dans le sens inverse du mouvement.

Réponse : La force qui s'exerce sur la voiture est de $3{,}6 \times 10^4$ N dans le sens inverse du mouvement.

4. Données

$m = 1{,}17 \times 10^3$ kg

$F_{\text{motrice}} = 3{,}50 \times 10^3$ N

$a = 2{,}24$ m/s²

$F_f = ?$

Solution

On oriente l'axe des *x* positifs dans le sens du mouvement de la voiture.

Il n'y a que deux forces qui possèdent une composante *x* : la force motrice (dans le sens du mouvement) et la force de frottement (dans le sens opposé au mouvement).

$$F_{Rx} = F_{\text{motrice}} - F_f = ma_x \quad \rightarrow \quad F_f = F_{\text{motrice}} - ma_x$$

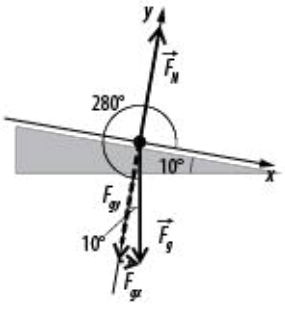
$$F_f = 3{,}50 \times 10^3\text{ N} - (1{,}17 \times 10^3\text{ kg} \times 2{,}24\text{ m/s}^2) = 8{,}8 \times 10^2\text{ N}$$

Réponse : La grandeur de la force de frottement est de $8{,}8 \times 10^2$ N.

5. Données

$m = 25{,}0$ kg $\qquad \vec{a} = ?$

Solution



Calcul de la composante de la force gravitationnelle parallèle au plan :

$$F_{gx} = F_g \cos\theta = mg\sin\theta = 25{,}0\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 \times \cos 280°$$
$$= 42{,}5\text{ N}$$

Cette composante correspond à la force résultante.

Ainsi, à partir de la deuxième loi de Newton :

$$F_R = ma \rightarrow a = \frac{F_R}{m} = \frac{42{,}5\text{ N}}{25{,}0\text{ kg}} = 1{,}70\text{ m/s}^2$$

On aurait obtenu le même résultat avec l'équation $a_x = g\sin\theta$ de la section 8 du chapitre 2, en utilisant $\theta = 10°$ (*voir la figure 2.14, page 68*).

Réponse : L'accélération du bloc est de 1,70 m/s² vers le bas du plan incliné.

6. *a)* **Données**

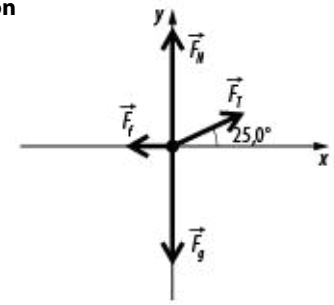
$m = 35{,}0$ kg

$\vec{F}_T = 175$ N à 25,0°

$\Delta x = ?$

$\vec{a}_x = ?$

Solution



On traite le problème selon l'axe des *x*. Puisque le traîneau ne quitte pas le sol, l'accélération est entièrement orientée dans cette direction.

Puisque la force normale et la force gravitationnelle sont orientées verticalement, leurs composantes horizontales sont nulles :

$$F_{Rx} = F_{Tx} + F_{Nx} + F_{gx} + F_{fx}$$
$$= 175\text{ N} \times \cos 25{,}0° + 0\text{ N} + 0\text{ N} + ({}^{-}120\text{ N})$$
$$= 39\text{ N} = ma_x$$

$$a_x = \frac{F_{Rx}}{m} = \frac{39\text{ N}}{35{,}0\text{ kg}} = 1{,}1\text{ m/s}^2$$

Réponse : L'accélération du traîneau est de 1,1 m/s² horizontalement dans le sens de la force exercée par le père.

b) **Solution**

Connaissant l'accélération a_x et le temps Δt, on peut utiliser l'équation 3 du mouvement rectiligne uniformément accéléré :

$$x_f = x_i + v_i\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2$$
$$= 0\text{ m} + 0\text{ m/s} \times 3{,}00\text{ s} + \frac{1}{2} \times 1{,}1\text{ m/s}^2 \times (3{,}00\text{ s})^2$$
$$= 5{,}0\text{ m}$$

Réponse : Le traîneau aura parcouru 5,0 m en 3,00 s.

c) **Solution**

Puisque le traîneau ne quitte pas le sol, on sait que celui-ci n'accélère pas verticalement. La composante *y* de la force résultante est donc nulle.

La force normale ne correspond pas exactement à la force gravitationnelle, car il faut tenir compte de la composante verticale de la force de tension exercée par le père.

$$F_{Ry} = F_{Ty} + F_{Ny} + F_{gy} + F_{fy} = 0$$

$$F_{Ny} = {}^{-}F_{gy} - F_{fy} - F_{Ty} = {}^{-}mg\sin 270° - F_T \sin 25{,}0° - 0\text{ N}$$
$$= 35{,}0\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 - 175\text{ N} \times \sin 25{,}0° = 269\text{ N}$$

Réponse : La force normale est de 269 N.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Section 3
La troisième loi de Newton

Cahier, p. 149 et 150

1. Si l'astronaute A exerce une force de 60,0 N sur l'astronaute B, une force de 60,0 N dans le sens contraire est exercée sur l'astronaute A, car $\vec{F}_{A\rightarrow B} = -\vec{F}_{B\rightarrow A}$.

2. *a)* La force gravitationnelle exercée par la Terre sur le parachutiste est :

$\vec{F}_g = m\vec{g} = 70{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 = 686\ \text{N vers le bas}$

Si cette force est considérée comme la force d'action, alors la force de réaction est la force gravitationnelle exercée par le parachutiste sur la Terre.

Elle est donc de 686 N vers le haut.

b) Si on considère la force motrice de 150 N exercée par la personne sur le bloc vers la gauche comme la force d'action, alors la force de réaction est une force de 150 N exercée par le bloc sur la personne, vers la droite.

c) La force gravitationnelle exercée sur le gymnaste par la Terre est :

$\vec{F}_g = mg = 65{,}5\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 = 642\ \text{N vers le bas}$

Si cette force est considérée comme la force d'action, alors la force de réaction est la force gravitationnelle exercée sur la Terre par le gymnaste. Cette force est donc de 642 N vers le haut.

3. La force exercée par la voiture sur le camion a la même grandeur que celle exercée par le camion sur la voiture, mais en sens opposé, car $\vec{F}_{\text{camion}\rightarrow\text{voiture}} = -\vec{F}_{\text{voiture}\rightarrow\text{camion}}$.

4. **Données**

$m = 55{,}0\ \text{kg}$

$M_T = 5{,}98 \times 10^{24}\ \text{kg}$

$a_T = ?$

Solution

La force gravitationnelle exercée sur la personne par la Terre est :

$F_g = mg = 55{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 = 539\ \text{N}$

La force de réaction de sens contraire qui s'exerce sur la Terre est causée par l'attraction de la Terre par la personne. On constate que l'accélération de la Terre vers la personne qui en découle est tellement petite qu'elle en devient négligeable. En effet, si cette force était la seule qui agissait sur la Terre, elle serait responsable d'une accélération a_T telle que :

$$F_g = M_T a_T \rightarrow a_T = \frac{F_g}{M_T} = \frac{539\ \text{N}}{5{,}98 \times 10^{24}\ \text{kg}} = 9{,}01 \times 10^{-23}\ \text{m/s}^2$$

Chapitre 6 Synthèse

Cahier, p. 151 à 154

1 *a)* Vrai
b) Vrai
c) Vrai
d) Vrai
e) Faux

Justification : *e)* Si aucune force résultante ne s'exerce sur un corps, celui-ci a tendance à conserver son état de mouvement.

2 Si on analyse ce mouvement, on se rend compte qu'en faisant varier brusquement la trajectoire de nos mains, les gouttes d'eau présentes sur celles-ci ont tendance à poursuivre leur trajectoire à cause de l'inertie. Comme elles sont faiblement liées aux mains, elles tombent.

3 *a)* **Données**

$F_g = 300\ \text{N}$

$a = 2{,}25\ \text{m/s}^2$

$F_R = ?$

$m = ?$

Solution

1. Il faut calculer la masse du bloc :

$$F_g = mg \rightarrow m = \frac{F_g}{g} = \frac{300\ \text{N}}{9{,}80\ \text{m/s}^2} = 30{,}6\ \text{kg}$$

2. À partir de la deuxième loi de Newton, on obtient :

$F_R = ma = 30{,}6\ \text{kg} \times 2{,}25\ \text{m/s}^2 = 68{,}9\ \text{N}$

Réponse : La grandeur de la force résultante s'exerçant sur le bloc est de 68,9 N.

b) **Données**

F_R (avec frottement de 85,0 N) = 68,9 N

$m = 30{,}6\ \text{kg}$

$a = ?$

Solution

1. Puisque la vitesse du bloc augmente, la force résultante est orientée dans le sens de son mouvement. La force de frottement, quant à elle, est toujours orientée dans le sens opposé au mouvement. Comme il n'y a pas de frottement, la force résultante est plus grande. Ainsi :

$F_R = 68{,}9\ \text{N} + 85{,}0\ \text{N} = 153{,}9\ \text{N}$

2. À partir de la deuxième loi de Newton, on obtient :

$$F_R = ma \rightarrow a = \frac{F_R}{m} = \frac{153{,}9\ \text{N}}{30{,}6\ \text{kg}} = 5{,}03\ \text{m/s}^2$$

Réponse : L'accélération serait de 5,03 m/s².

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4 Données

$\vec{F_f} = 10{,}0$ N dans le sens opposé au mouvement

$\vec{F_T} = 65{,}0$ N à 30° au-dessus de l'horizontale

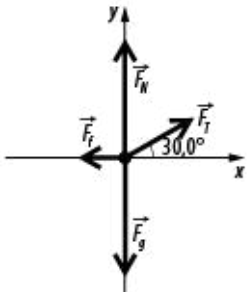
$m_{\text{chariot}} = 25{,}0$ kg

$a = 1{,}05$ m/s²

$\vec{F_R} = ?$

$m_{\text{enfant}} = ?$

Solution



1. Calcul de la composante *x* de la force résultante (sachant que les composantes *x* de la force normale et de la force gravitationnelle sont nulles) :

$$F_{Rx} = F_x + F_{gx} + F_{Nx} + F_{fx}$$
$$= 65{,}0 \text{ N} \times \cos 30{,}0° + 0 \text{ N} + 0 \text{ N} + 10{,}0 \text{ N} \times \cos 180°$$
$$= 46{,}3 \text{ N}$$

2. Calcul de la masse totale du chariot et de l'enfant réunis :

$$F_R = ma \rightarrow m = \frac{F_R}{a} = \frac{46{,}3 \text{ N}}{1{,}05 \text{ m/s}^2} = 44{,}1 \text{ kg}$$

3. Calcul de la masse de l'enfant :

$$m = m_{\text{chariot}} + m_{\text{enfant}}$$
$$\rightarrow m_{\text{enfant}} = m - m_{\text{chariot}}$$
$$= 44{,}1 \text{ kg} - 25{,}0 \text{ kg} = 19{,}1 \text{ kg}$$

Réponse : La masse de l'enfant est de 19,1 kg.

5 Données

$v_i = 18{,}0$ m/s $\quad m = 3{,}300 \times 10^6$ kg

$v_f = 28{,}0$ m/s $\quad F_R = ?$

$\Delta x = 1000$ m

Solution

1. Calcul de l'accélération à partir de l'équation 4 :

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$$
$$\rightarrow a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2\Delta x} = \frac{(28{,}0 \text{ m/s})^2 - (18{,}0 \text{ m/s})^2}{2 \times 1000 \text{ m}} = 0{,}230 \text{ m/s}^2$$

2. Calcul de la force motrice supplémentaire à l'aide de la deuxième loi de Newton :

$$F_R = ma = 3{,}300 \times 10^6 \text{ kg} \times 0{,}230 \text{ m/s}^2 = 7{,}59 \times 10^6 \text{ N}$$

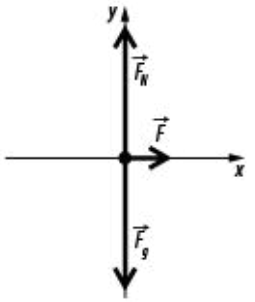
Réponse : Le moteur de la locomotive doit fournir $7{,}59 \times 10^6$ N supplémentaires pour que celle-ci accélère.

6 Données

$F = 350{,}0$ N $\quad x_i = 0$ m $\quad m = 150$ kg

$v_i = 0$ m/s $\quad x_f = 20{,}0$ m $\quad \Delta t = ?$

Solution



1. Calcul de l'accélération à partir de la deuxième loi de Newton (sachant que la force exercée par la femme est la seule qui possède une composante dans le sens de l'accélération) :

$$F_x = ma \rightarrow a = \frac{F_x}{m} = \frac{350{,}0 \text{ N}}{150 \text{ kg}} = 2{,}33 \text{ m/s}^2$$

2. Connaissant l'accélération, à partir de l'équation 3, on obtient :

$$x_f = x_i + v_i\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2 \text{ avec } x_i = 0 \text{ m et } v_i = 0 \text{ m/s :}$$
$$x_f = \frac{a\Delta t^2}{2} \rightarrow \Delta t = \sqrt{\frac{2x_f}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times 20{,}0 \text{ m}}{2{,}33 \text{ m/s}^2}} = 4{,}14 \text{ s}$$

Réponse : Il faudra 4,14 s à la participante pour franchir la ligne d'arrivée.

7 DÉFI

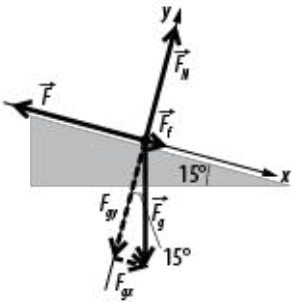
Données

$\vec{F_f} = 15{,}0$ N vers le bas du plan incliné

$\vec{F_g} = 950$ N à la verticale vers le bas

$\vec{F} = ?$

Solution



La force minimale requise pour pousser le fauteuil roulant est celle qui fait en sorte que la force résultante est nulle (de sorte que le fauteuil peut se déplacer à vitesse constante). Elle doit être orientée vers le haut du plan incliné.

On s'intéresse à la composante *x* de la force résultante :

$$F_{Rx} = F_x + F_{gx} + F_{Nx} + F_{fx}$$
$$= F\cos 180° + F_g\cos 285° + F_N\cos 90° + F_f\cos 0°$$
$$= F\cos 180° + 950 \text{ N} \times \cos 285° + 0 \text{ N} + 15{,}0 \text{ N} \times \cos 0°$$
$$= -F + 261 \text{ N} = 0 \text{ N}$$

$F = 261$ N

Réponse : La force minimale requise est de 261 N vers le haut de la rampe.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Module 2 Consolidation

Cahier, p. 155 et 156

1. B

2. *a)* Vrai

b) Faux

c) Faux

d) Faux

e) Faux

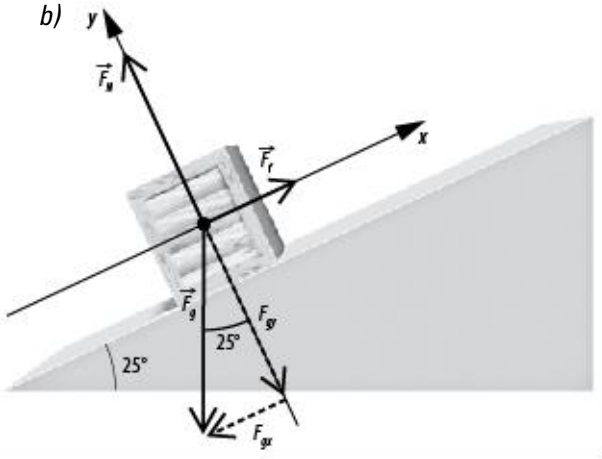
f) Vrai

Justification : *b)* La masse est une mesure de la quantité de matière dont est constitué un corps tandis que le poids correspond à la force gravitationnelle exercée sur ce corps. *c)* L'accélération gravitationnelle *g* est la même pour tout corps indépendamment de sa masse. *d)* Sur la Lune, en l'absence d'atmosphère, un objet lourd tombe à la même vitesse qu'un objet léger. *e)* Votre poids sur la Terre est différent (plus grand) de votre poids sur la Lune.

3. Imaginons que la Lune se déplace en ligne droite dans l'espace. Selon la première loi de Newton, la Lune tend à conserver ce mouvement rectiligne tant qu'elle ne subit pas l'influence d'une force résultante. À proximité de la Terre, la Lune subit son attraction gravitationnelle, et elle accélère (tombe) vers la Terre (comme une pomme le fait près de la surface de la Terre). Toutefois, comme la Lune se déplace à une vitesse tangente à sa trajectoire circulaire suffisamment grande, elle arrive à se maintenir à une même distance de la Terre en tout temps.

4. *a)* Parce qu'une force de frottement statique est exercée sur elle par la surface de la plate-forme et agit sur elle dans le sens opposé à celui où elle glisserait. Cette force de frottement est telle que la force résultante qui agit sur la caisse est nulle.

b)



c) **Données**

$m = 90{,}0\ \text{kg}$

$F_g = mg = 90{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 = 882\ \text{N}$

$F_f = ?$

Solution

On fixe l'axe des *x* parallèle au plan incliné. La force de frottement s'oppose au mouvement du bloc et agit donc vers le haut du plan incliné, pour empêcher le bloc de glisser.

Si le bloc ne glisse pas, c'est qu'il est en équilibre statique, et donc que la force résultante est nulle ($F_{Rx} = 0$ N, $F_{Ry} = 0$ N).

Pour résoudre le problème, on s'intéresse aux composantes *x* des forces :

$$\begin{aligned} F_{Rx} &= F_{fx} + F_{Nx} + F_{gx} \\ &= F_f \cos 0° + F_N \cos 90° + (882\ \text{N}) \times \cos 245° \\ &= F_f + 0\ \text{N} + (-373\ \text{N}) = 0\ \text{N} \end{aligned}$$

$F_f = 373$ N

Réponse : La grandeur de la force de frottement est de 373 N.

5. *a)* **Données**

$a = 1{,}50\ \text{m/s}^2$

$m = 88{,}0\ \text{kg}$

$F_R = ?$

Solution

Puisqu'on connaît l'accélération et la masse du randonneur, on peut évaluer la force résultante avec la deuxième loi de Newton :

$F_R = ma = 88{,}0\ \text{kg} \times 1{,}50\ \text{m/s}^2 = 132\ \text{N}$

Réponse : La force résultante s'exerçant sur le randonneur est de 132 N.

b) **Solution**

La force résultante de 132 N (en présence de frottement) agit vers le bas de la pente, dans le sens du mouvement. La force de frottement, elle, agit en sens inverse. S'il n'y a pas de frottement, il faut ajouter 255 N à la force résultante :

$F_R = 132\ \text{N} + 255\ \text{N} = 387\ \text{N}$

Selon la deuxième loi de Newton :

$$F_R = ma \rightarrow a = \frac{F_R}{m} = \frac{387\ \text{N}}{88{,}0\ \text{kg}} = 4{,}40\ \text{m/s}^2$$

Réponse : L'accélération du randonneur serait de 4,40 m/s².

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Labo 8

La relation entre la grandeur de la force et l'accélération

Cahier, p. 141

Mise en situation

Restez en piste

En raison de nos hivers rigoureux, les sports de glisse sont très populaires au Québec. Qu'il s'agisse de ski ou de planche à neige, le principe est toujours le même : on se rend au sommet de la montagne en utilisant une remontée mécanique et on redescend par l'action de la force gravitationnelle qui s'exerce sur nous. Or, les centres de ski se sont dotés d'un système de classement pour qualifier la difficulté d'une piste. Ils emploient généralement un cercle vert (facile), un carré bleu (intermédiaire) et un losange noir (difficile). Concrètement, ce système se base principalement sur l'inclinaison de la pente pour déterminer son niveau de difficulté. Ce fait soulève donc la question suivante : en quoi l'inclinaison d'une pente rend-elle la descente plus difficile ?

La préparation

1. Quelle équation traduit mathématiquement la deuxième loi de Newton ?

_____

2. Que représentent les variables utilisées dans cette formule et quelles sont leurs unités respectives ?

_____

_____

_____

3. Quelle composante de l'accélération gravitationnelle permet le déplacement de l'objet sur un plan incliné ?

_____

_____

4. À l'aide de quelle formule calcule-t-on l'accélération sur un plan incliné ?

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Labo 8

La relation entre la grandeur de la force et l'accélération

Cahier, p. 141

Le but de l'expérience

Vérifier expérimentalement une hypothèse concernant la relation entre la grandeur de la force exercée sur un objet et l'accélération qui en résulte.

Les hypothèses

Question A. Selon vous, que se passe-t-il lorsqu'on soumet un corps de masse *m* à une force constante ? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

Question B. Selon vous, si le même corps est soumis à une force de plus en plus grande, comment réagira-t-il ? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

Question C. Pour un même corps, quelle sera l'allure du graphique de la force appliquée en fonction de l'accélération ? Inspirez-vous de la deuxième loi de Newton pour répondre à la question.

_____

_____

_____

Question D. Quelle équation permet de calculer l'angle d'élévation d'un plan incliné de longueur *x* et de hauteur *h* ? Tracez un schéma qui illustre votre réponse.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Question E. En partant de la deuxième loi de Newton, quelle équation permet de calculer la valeur de la force résultante sur un corps de masse m posé sur un plan incliné, de hauteur h et de longueur x, sans frottement (composante de la force gravitationnelle parallèle au plan incliné) ? Tracez un schéma qui illustre votre réponse.

Question F. À partir des équations de MRUA, comment calcule-t-on la valeur de l'accélération d'un corps initialement au repos si on ne connaît que la variation de position et la variation de temps ? Laissez des traces de votre démarche.

Réponse : _____

Le protocole expérimental

Matériel

- Un chariot à roulement à billes à faible frottement, de masse connue ou mesurable, et son rail gradué
- Un support universel (ou deux) et une pince (pour stabiliser le rail)
- Un butoir pour arrêter le chariot (si le rail n'en est pas équipé)
- Une ou plusieurs serres en C
- Un chronomètre électronique à photodiodes et les deux supports des photodiodes
- Un mètre
- Une balance électronique
- Du ruban adhésif
- Un niveau
- Une masse de 1 kg
- Un bâton (ou une règle)

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Manipulations

1 Mettre la masse de 1 kg dans le chariot. Mesurer la masse *m* du chariot (incluant celle de la masse qu'il transporte) à l'aide de la balance électronique. Noter cette valeur dans l'encadré placé à la droite du tableau 1 de la partie « Les résultats ».

2 Réaliser le montage de la figure 1. Il est important d'utiliser un niveau pour s'assurer que le plan incliné soit bien droit transversalement.

3 Établir les différentes hauteurs (*h*) qui détermineront les angles d'inclinaison de la pente. Inscrire ces valeurs dans le tableau 1 de la partie « Les résultats ». (Ces valeurs vous auront peut-être été remises par votre enseignant.) À l'aide du mètre, ajuster le rail à la première hauteur, soit la plus basse.

4 Marquer le point de départ et le point d'arrivée du chariot sur le rail gradué à l'aide des curseurs (ou du ruban adhésif). Mesurer cette distance avec un mètre et la noter dans l'encadré placé à la droite du tableau 1. Installer les photodiodes au-dessus du rail, vis-à-vis des points de départ et d'arrivée.

5 Placer le chariot à son point de départ (le devant du chariot doit être derrière cette marque) et le retenir à l'aide d'un bâton ou d'une règle. Il ne faut pas tenir le chariot avec ses mains, car on pourrait le pousser ou encore le maintenir en place au moment où on devra le laisser glisser le long du plan.

6 Démarrer le chronomètre électronique à photodiodes et laisser aller le chariot. Ce dernier s'arrêtera automatiquement lorsqu'il passera devant la photodiode située au-dessus du point d'arrivée. Lire ensuite la mesure de temps (*t*) indiquée sur l'écran du chronomètre.

7 Répéter trois ou quatre fois les étapes 5 et 6 pour une même hauteur de plan incliné et calculer la moyenne des temps. Noter cette valeur de temps dans le tableau 1 de la partie « Les résultats ».

8 Recommencer les étapes 5 à 7 pour chaque hauteur inscrite dans le tableau 1.

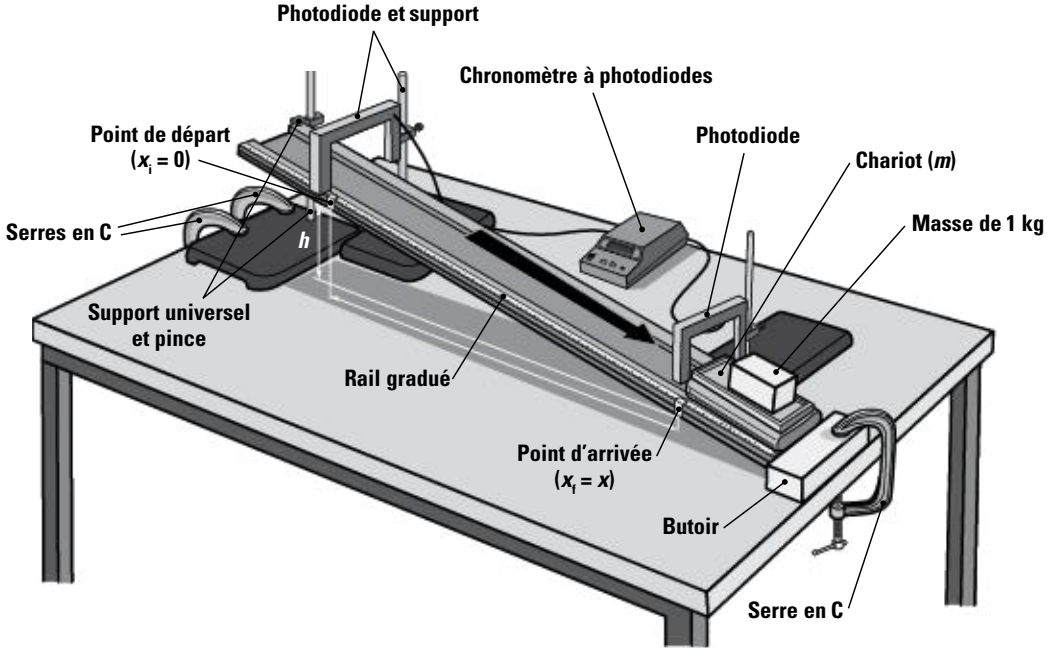


Figure 1 Le montage qui sert à produire une force constante et à mesurer l'accélération.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Les résultats

1. Remplissez le tableau suivant à l'aide des valeurs obtenues.

TABLEAU 1 Les mesures des hauteurs et des temps	
h **(m)**	***t*** **(s)**

m (masse du chariot) = _____ kg

x (longueur du trajet du chariot) = _____ m

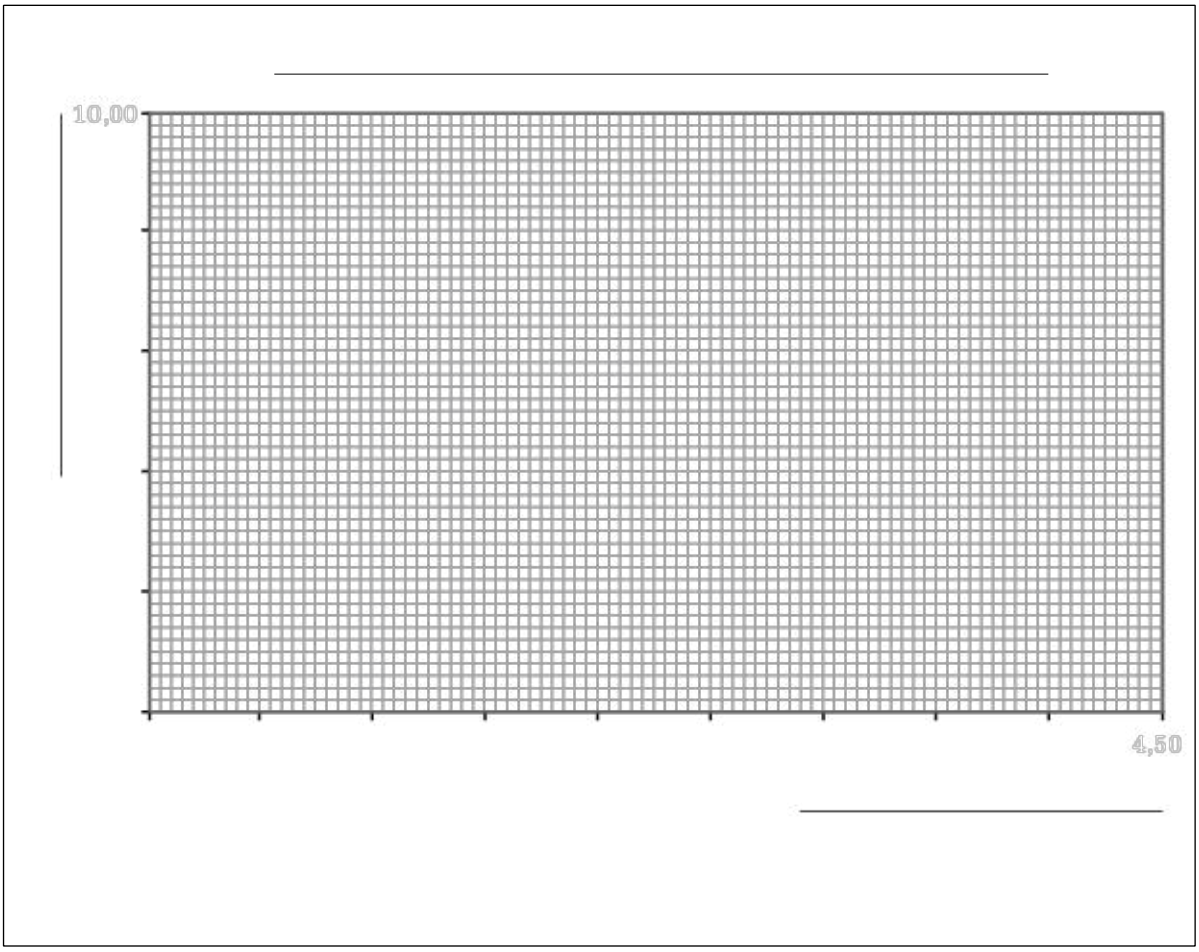
L'analyse des résultats

2. Pour chaque valeur de hauteur (h) inscrite dans le tableau 1, calculez la composante de la force gravitationnelle parallèle au plan (F_{gx}) appliquée sur le chariot et sur son accélération (a_x). Notez les résultats dans le tableau 2.

TABLEAU 2 La force appliquée et l'accélération	
F_{gx} **(N)**	a_x **(m/s²)**

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

3. Sur le quadrillage ci-dessous, tracez les points correspondant à la force appliquée en fonction de l'accélération ($F_{gx} = f(a_x)$). Donnez un titre au graphique, identifiez les deux axes et graduez-les.



4. À l'aide d'une règle, tracez, sur le graphique de la question 3, une droite qui représente la tendance générale des mesures. Calculez la pente de cette droite. Laissez des traces de votre démarche.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

5. Comparez la valeur de la pente avec la mesure directe de la masse du chariot. Ces mesures sont-elles égales ?

6. Selon le graphique de la question 3, quelle est l'ordonnée à l'origine de la droite ? Quelle devrait être sa valeur théorique ?

7. Quelles sont les causes d'erreurs dans cette expérience ?

8. De quelle façon pourrait-on améliorer cette expérience en gardant le même matériel ?

La conclusion

9. Le graphique obtenu correspond-il à votre hypothèse de départ (question C) ?

10. Votre hypothèse concernant l'accélération de la masse a-t-elle été confirmée (questions A, B et C) ? Expliquez votre réponse. Si votre hypothèse a été infirmée (en tout ou en partie), dites de quelle façon.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Labo 9

La relation entre la masse et l'accélération

Cahier, p. 141

Mise en situation

Léger comme l'air

L'aéronautique est un domaine technique qui se spécialise dans la conception et la fabrication d'avions et autres types d'aéronefs, comme les vaisseaux spatiaux. Puisque ces engins doivent être en mesure de quitter le sol et que la force de leurs moteurs est limitée, les ingénieurs cherchent toujours de nouveaux moyens pour réduire au maximum la masse des matériaux utilisés. Ainsi, grâce à la découverte de nouveaux alliages (mélanges de métaux aux propriétés différentes), on peut concevoir des avions toujours plus légers, mais tout aussi résistants. Parallèlement, les compagnies aériennes cherchent elles aussi à réduire la masse de leurs appareils par différents moyens. Par exemple, elles limitent le nombre et la masse de bagages permis par passager, la quantité de carburant pour se rendre à destination, etc. En somme, les ingénieurs et les compagnies aériennes cherchent tous deux à réduire la masse des avions avec les moyens dont ils disposent.

La préparation

1. Dans l'équation exprimant la deuxième loi de Newton, quelle variable a une grandeur scalaire ?

_____

2. Dans cette même équation, quelles variables ont une grandeur vectorielle ?

_____

_____

3. Que devient cette équation si on isole l'accélération (a) ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Labo 9 La relation entre la masse et l'accélération

Cahier, p. 141

Le but de l'expérience

Vérifier expérimentalement une hypothèse concernant la relation entre la masse d'un objet et l'accélération que cet objet subit sous l'action d'une force constante.

Les hypothèses

Question A. Selon vous, que se passe-t-il lorsqu'on soumet un corps de masse m à une force constante ? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

Question B. Selon vous, si la masse du corps augmente mais qu'on lui applique toujours la même force, comment ce corps réagira-t-il ? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

Question C. Pour un corps dont la masse varie et sur lequel on applique une force constante, quelle allure prendrait le graphique de l'accélération en fonction de $\frac{1}{m}$? Inspirez-vous de la deuxième loi de Newton pour répondre à la question.

_____

_____

_____

Question D. Comment calcule-t-on la valeur de l'accélération d'un corps initialement au repos si on ne connaît que la variation de position et la variation de temps ?

Réponse : _____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Le protocole expérimental

Matériel

- Un chariot à roulement à billes à faible frottement, muni d'un crochet, et son rail gradué
- Un butoir
- Une ou deux serres en C (pour fixer le butoir)
- De la ficelle solide, légère et non élastique
- Un dynamomètre de 2,5 N
- Un chronomètre manuel
- Une balance électronique
- Un ensemble de masses jaugées
- Du ruban adhésif

Manipulations

1. À l'aide d'une balance électronique, mesurer la masse M du chariot. Noter cette valeur dans l'encadré qui est à la droite du tableau 1 de la partie « Les résultats ».
2. Réaliser le montage de la figure 1.
3. Marquer les points de départ et d'arrivée du chariot sur le rail à l'aide des curseurs (ou du ruban adhésif). Mesurer et noter la distance (x) qui sépare ces deux points dans l'encadré placé à la droite du tableau 1.
4. Placer le chariot à la position de départ.
5. Ajouter une masse (m) jaugée sur le chariot.
6. Simultanément, démarrer le chronomètre et tirer sur le chariot avec un dynamomètre en maintenant une force constante horizontale de 0,5 N. (Comme il est difficile de maintenir une force constante, quelques répétitions seront nécessaires.)
7. Arrêter le chronomètre aussitôt que le chariot atteint le point d'arrivée. Noter la mesure de temps (t) dans le tableau 1 de la question 1.
8. Faire de cinq à huit essais des étapes 6 et 7 avec une même masse et calculer la moyenne des temps obtenus. Noter cette valeur dans le tableau 1.
9. Répéter les étapes 4 à 8 pour chacune des masses (m) indiquées dans le tableau 1. (Votre enseignant vous donnera la valeur des masses ainsi que la valeur de la force F appliquée sur le chariot.)

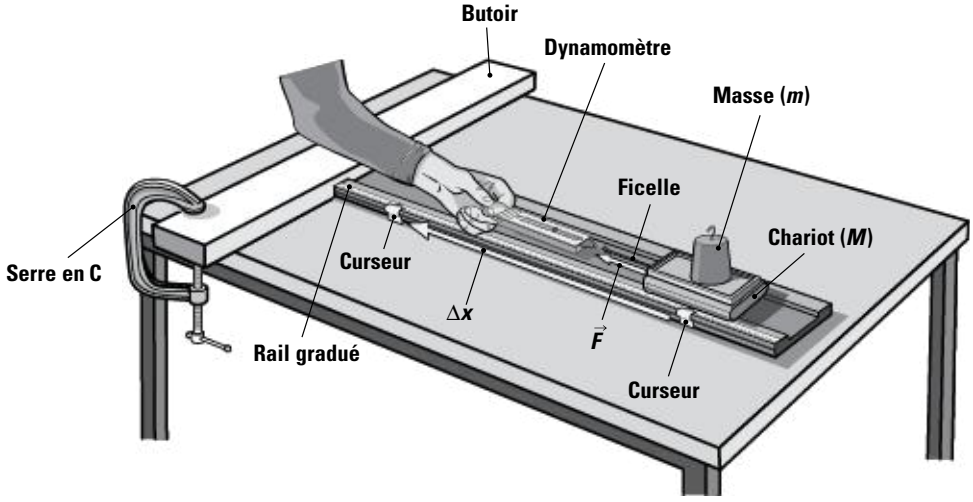


Figure 1 Le montage qui sert à produire une force constante et à mesurer l'accélération de masses variables.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Les résultats

1. Remplissez le tableau 1 selon les résultats obtenus et la valeur des masses données.

TABLEAU 1
Les mesures des masses et des temps

m **(kg)**	***t*** **(s)**

F (norme de la force appliquée sur le chariot) = _____ N

x (longueur du trajet du chariot) = _____ m

M (masse du chariot) = _____ kg

L'analyse des résultats

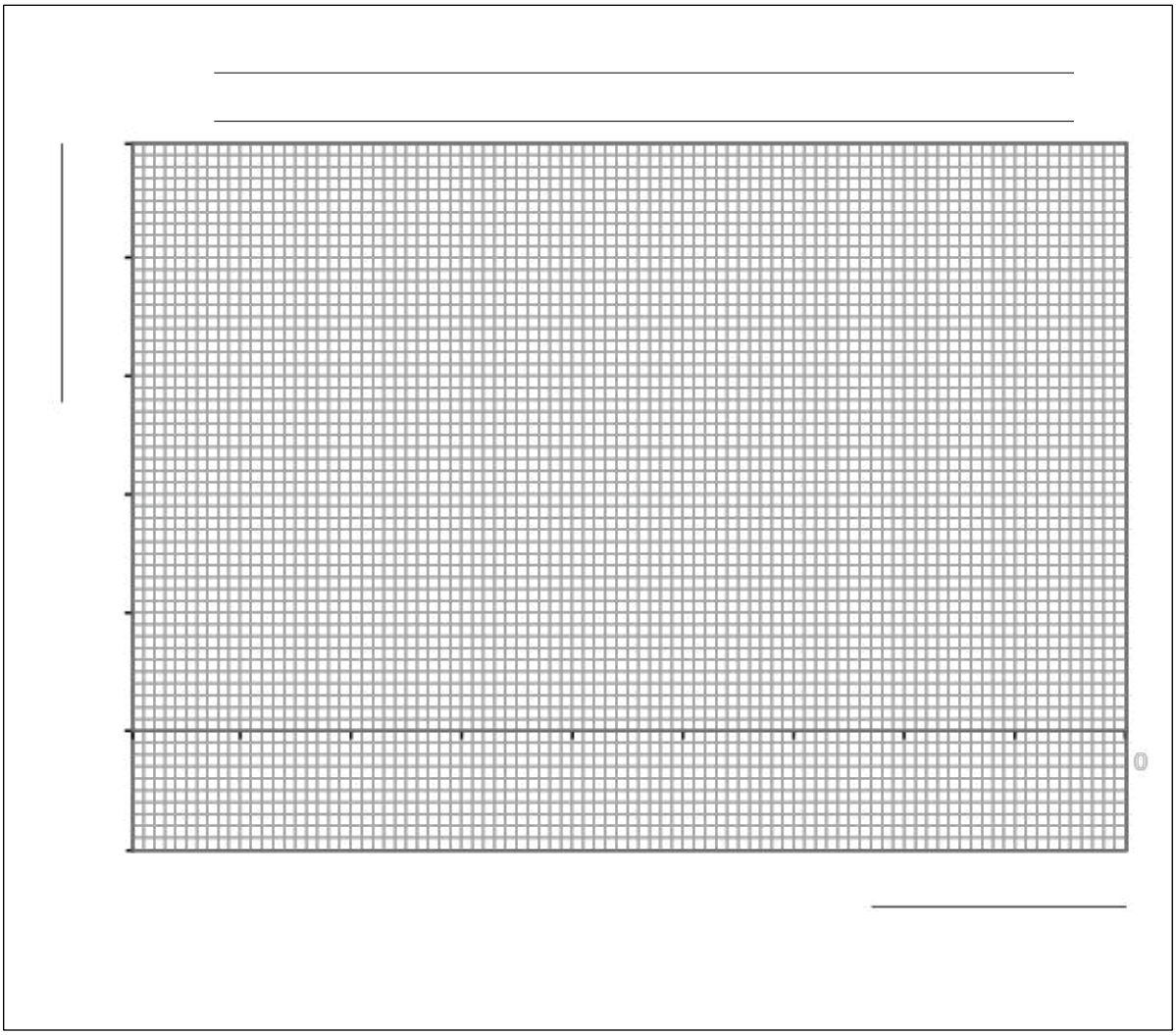
2. Pour chaque valeur de masse *m* notée dans le tableau 1, calculez la masse totale du chariot ($M + m$), l'inverse de la masse totale, $\frac{1}{(M+m)}$, de même que l'accélération du chariot. Inscrivez les résultats dans le tableau 2 ci-dessous en arrondissant vos résultats au millième près.

TABLEAU 2
La masse totale, l'inverse de la masse totale et l'accélération du chariot

$M + m$ (kg)	$\frac{1}{(M+m)}$ (kg^{-1})	a_x (m/s^2)

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

3. Tracez, sur le quadrillage ci-dessous, les points correspondant à l'accélération du chariot en fonction de l'inverse de la masse totale. Donnez un titre au graphique, identifiez les axes et graduez-les en fonction de vos données.



4. À l'aide d'une règle, tracez, sur le graphique de la question 3, une droite qui représente la tendance générale des mesures. Calculez la pente de cette droite. Laissez des traces de votre démarche.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

5. Comparez la valeur de la pente avec la force appliquée sur le chariot. Ces mesures sont-elles égales ?

6. Quelle est l'ordonnée à l'origine de la droite ? Quelle devrait-être la valeur théorique ? Expliquez votre réponse.

7. Quelles sont les causes d'erreurs dans cette expérience ?

8. De quelle façon pourrait-on améliorer cette expérience ?

La conclusion

9. Le graphique obtenu correspond-il à votre hypothèse de départ ?

10. Votre hypothèse concernant l'accélération de la masse a-t-elle été confirmée ? Expliquez votre réponse. Si votre hypothèse a été infirmée (en tout ou en partie), dites de quelle façon.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 6 Les lois de Newton

1 Complétez les définitions suivantes.

a) L'inertie est la tendance d'un _____ à _____ son état de mouvement, qu'il soit au _____ ou en mouvement _____ uniforme. La _____ d'un corps quantifie son inertie. Plus sa _____ est élevée, plus un _____ tend à _____ son état de mouvement.

b) La _____ loi de Newton stipule qu'en l'absence de force _____ résultante agissant sur lui, un corps demeure au _____ ou en mouvement _____ uniforme. Si aucune _____ résultante ne s'exerce sur un corps, l'accélération de ce corps est _____.

c) La _____ loi de Newton stipule que la force _____ ($\vec{F}_R$) exercée sur un _____ est égale à la _____ (m) de ce dernier multipliée par son _____ ($\vec{a}$) : $\vec{F}_R =$ _____.

d) La _____ loi de Newton stipule que lorsqu'un corps A exerce une force sur un corps B, ce dernier exerce une force de même _____, mais dirigée en sens _____ : $\vec{F}_{A \to B} =$ _____. On surnomme parfois cette relation le « principe d'_____ ».

e) Une force n'existe jamais _____ : une force n'existe que s'il y a _____ entre deux _____.

2 Lorsqu'une voiture freine, pourquoi le corps des passagers s'incline-t-il vers l'avant ?

_____

_____

_____

_____

3 Au Québec, pourquoi la limite de vitesse dans les zones scolaires est-elle fixée à 30 km/h ?

_____

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4 Un parachutiste de 75,0 kg se laisse tomber d'un avion et subit, au début de sa chute, une force de frottement de 125 N causée par l'air.

a) Calculez la force résultante.

b) Calculez l'accélération subie par le parachutiste.

c) Après un certain temps, le parachutiste atteint une vitesse dite terminale, qui est constante. Quelle est alors la force du frottement causée par l'air ?

_____

_____

_____

5 Pour aider votre voilier à avancer, vous décidez d'installer un ventilateur très puissant sur le bateau afin qu'il souffle de l'air sur la voile. Votre système sera-t-il efficace ? Justifiez votre réponse.

_____

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

6 Un joueur de baseball utilise un bâton de 1,0 kg pour frapper une balle de 145 g. Après l'impact, la balle subit une accélération de 9,1 m/s². Quelle est l'accélération subie par le bâton ?

7 DÉFI

Lors d'un déménagement, vous faites glisser une boîte de 30,0 kg vers le bas d'une rampe d'embarquement possédant un angle d'élévation de 15,0°. La norme de la force de frottement est de 56,0 N.

a) Représentez cette situation par un diagramme de corps libre.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) Quelles forces influencent le déplacement de cette boîte ?

_____

_____

c) Calculez la valeur de chacune de ces forces.

d) Calculez la force résultante.

e) Calculez l'accélération subie par la boîte.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 6 Les lois de Newton

/100

1. Vous êtes assis dans l'autobus alors que celui-ci prend un virage à grande vitesse. Vous vous sentez déporté sur le côté de votre siège, vers l'extérieur de la courbe de la route. Expliquez ce phénomène. **/12**

_____

_____

_____

_____

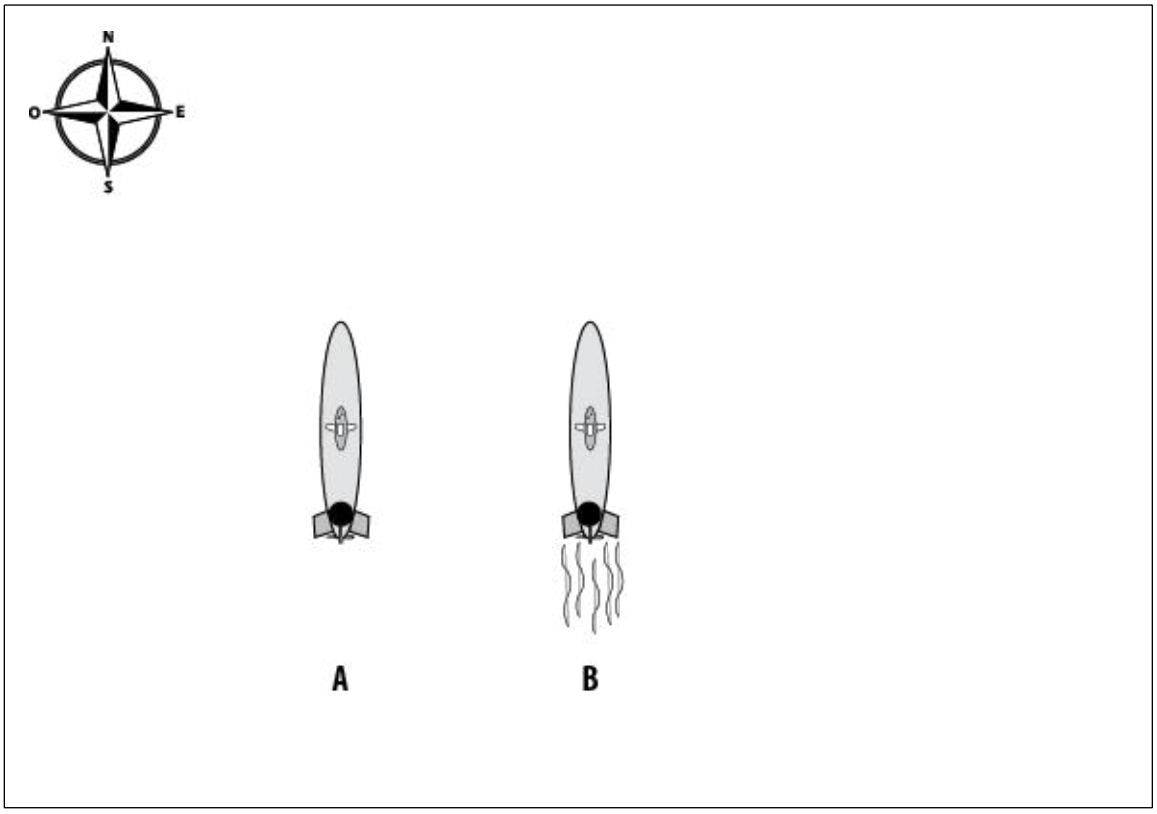
_____

2. Dans les profondeurs sous-marines, en l'absence de courant important et tandis que son moteur est éteint, un sous-marin se déplace latéralement vers l'est du point A au point B. En atteignant le point B, l'équipage allume le moteur, qui exerce une poussée vers le nord. Le moteur reste allumé quelques minutes, le temps que le sous-marin atteigne le point C, puis est de nouveau éteint. **/20**

Sur l'illustration ci-dessous :

a) tracez la trajectoire du sous-marin du point B au point C (vous devez situer le point C vous-même) ;

b) tracez la trajectoire du sous-marin une fois le moteur arrêté à nouveau après le point C.

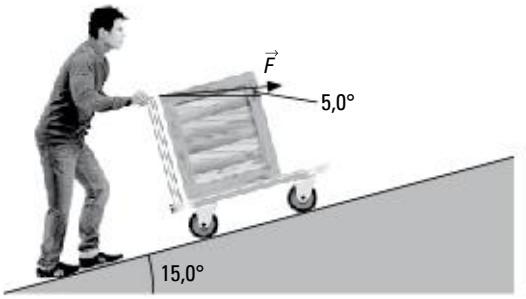


Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

3. Juste après l'ouverture de son parachute, la vitesse d'un parachutiste diminue de façon marquée. En effet, dans les premières secondes qui suivent le déploiement de la toile, un parachutiste peut ressentir une décélération dont la grandeur correspond à trois ou quatre fois la grandeur de l'accélération gravitationnelle. **/20**

Si un parachutiste (dont la masse totale, avec son parachute, est de 80,0 kg) subit une décélération au taux de 24,0 m/s², quelle est la grandeur de la force de résistance de l'air qui agit sur son parachute et sur lui-même à ce moment-là ?

4. Un homme pousse un chariot de 50,0 kg vers le haut d'un plan incliné à 15,0° avec l'horizontale. L'homme exerce sur le chariot une force de 200 N faisant un angle de 5,0° au-dessus de l'horizontale. Le chariot accélère vers le haut au taux de 0,80 m/s². **/30**



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

a) Quelle est la grandeur de la force de frottement qui agit sur le chariot ?

b) Quelle est la grandeur de la force normale qui agit sur le chariot ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

5. Un père (ayant une masse de 75,0 kg) et sa fille de six ans (ayant une masse de 22,0 kg) sont tous les deux en patins et s'amusent sur une patinoire. **/18**

Pour jouer, le père et sa fille se font face au centre de la patinoire. Ils se collent les mains ensemble, puis chacun pousse sur les mains de l'autre pour s'éloigner.

a) Lequel des énoncés suivants est vrai ? Encerclez le chiffre correspondant à la bonne réponse, puis justifiez votre choix.

1. La force exercée par la petite fille sur son père est plus petite que celle exercée sur elle par son père.
2. La force exercée par la petite fille sur son père est de la même grandeur que celle exercée sur elle par son père.
3. La force exercée par la petite fille sur son père est plus grande que celle exercée sur elle par son père.

Justification : _____

b) Lequel des énoncés suivants est vrai ? Encerclez le chiffre correspondant à la bonne réponse, puis justifiez votre choix.

1. L'accélération de la petite fille sera plus petite que l'accélération de son père.
2. L'accélération de la petite fille sera de la même grandeur que l'accélération de son père.
3. L'accélération de la petite fille sera plus grande que l'accélération de son père.

Justification : _____

c) Plus tard, toujours sur la patinoire, le père et sa fille s'amusent à se lancer un lourd ballon d'une masse de 2,5 kg. Qu'arrivera-t-il à la fillette quand elle projettera le ballon vers l'avant pour l'envoyer à son père ? Encerclez le chiffre correspondant à la bonne réponse, puis justifiez votre choix.

1. Elle va avancer.
2. Elle va rester sur place.
3. Elle va reculer.

Justification : _____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Module 2 La dynamique

/100

1. Votre cahier de physique vous glisse des mains et tombe au sol. **/20**

a) Tracez le diagramme de corps libre de votre livre lors de sa chute. (Supposez que la force de résistance de l'air est négligeable.)

b) Expliquez pourquoi votre livre va de plus en plus vite à mesure qu'il s'approche du sol. Assurez-vous de donner la direction de l'accélération du livre et d'expliquer le lien entre l'accélération du livre et la ou les forces qui agissent sur lui.

_____

_____

_____

_____

2. En 2013, les autorités de Terre-Neuve-et-Labrador eurent recours à un avion-citerne pour éteindre un camion qui avait pris feu sur une route isolée en pleine forêt. Le risque qu'un incendie de forêt se déclenche était grand et il aurait été trop long d'attendre que les pompiers se rendent sur les lieux en camion. L'endroit où le pilote de l'avion-citerne devait larguer sa cargaison d'eau était donc très bien circonscrit. **/10**

Encerclez la lettre correspondant à l'énoncé qui complète bien la phrase suivante, puis justifiez votre choix.

En se dirigeant vers le camion qui brûlait, pour que l'eau tombe exactement sur le camion, le pilote devait ouvrir la porte de la citerne…

A. un peu avant d'arriver au-dessus du camion.

B. exactement au moment de passer au-dessus du camion.

C. un peu après avoir dépassé le camion.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Justification : _____

_____

_____

_____

3. Un gros chaudron plein de sauce à spaghetti est posé sur un comptoir. Une personne exerce sur lui une force de 40,0 N à 10,0° sous l'horizontale vers la droite. Le chaudron ne quitte pas la surface du comptoir. La force de frottement entre le chaudron et le comptoir est de 15,0 N. La masse du chaudron plein est de 6,00 kg. **/40**

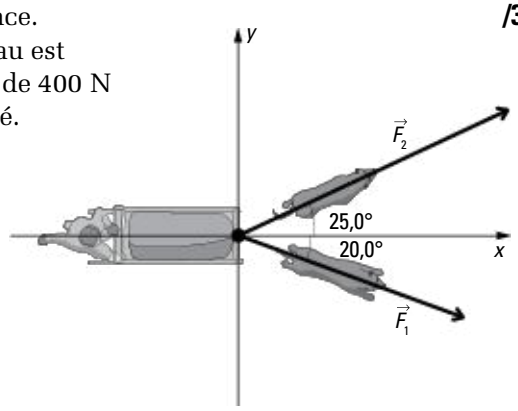
a) Tracez le diagramme de corps libre du chaudron.

b) Quelles sont la grandeur et l'orientation de la force résultante qui agit sur le chaudron ?

c) Quelle est la grandeur de l'accélération du chaudron ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4. Deux chiens tirent un traîneau de 200 kg sur la glace. Le frottement entre la glace et les patins du traîneau est négligeable. Le premier chien exerce une force $\vec{F}_1$ de 400 N et le second, une force $\vec{F}_2$ de 500 N, comme illustré. **/30**



a) Quelles sont la grandeur et l'orientation de la force résultante qui agit sur le traîneau ?

b) Quelles sont la grandeur et l'orientation de la force exercée par le traîneau sur le premier chien ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Sommaire

Mécanique – Module 3 L'énergie et ses transformations

Chapitre 7 Le travail et la puissance mécanique

	Fiche
Corrigé du cahier (exercices du chapitre)	M-163
Exercices	M-166
Évaluation	M-169

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 7 Le travail et la puissance mécanique

Cahier, p. 162

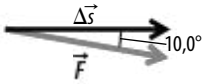
Section 1
Le travail d'une force

Cahier, p. 162 à 164

1. *a)* **Données**

$F = 215$ N $\quad \theta = 10{,}0°$

$\Delta s = 1{,}20$ m $\quad W = ?$



Solution

$W = F \times \Delta s \times \cos\theta$

$= 215\text{ N} \times 1{,}20\text{ m} \times \cos 10{,}0°$

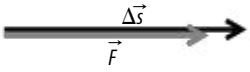
$= 254\text{ J}$

Réponse : Le travail effectué par la femme est égal à 254 J.

b) **Données**

$F = 215$ N $\quad \theta = 0°$

$\Delta s = 1{,}20$ m $\quad W = ?$



Solution

$W = F \times \Delta s \times \cos\theta$

$= 215\text{ N} \times 1{,}20\text{ m} \times \cos 0°$

$= 258\text{ J}$

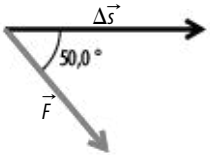
Réponse : Le travail effectué serait égal à 258 J.

2. *a)* **Données**

$F = 75{,}0$ N

$\theta = 90{,}0° - 40{,}0° = 50{,}0°$ (angle entre la force et le déplacement)

$F_{eff} = ?$



Solution

$F_{eff} = F \times \cos\theta$

$= 75{,}0\text{ N} \times \cos 50{,}0°$

$= 48{,}2\text{ N}$

Réponse : La force efficace équivaut à 48,2 N.

b) **Données**

$F_{eff} = 48{,}2$ N (calculée en *a*)

$W = 964$ J

$\Delta s = ?$ (Ici, le déplacement correspond à la distance parcourue.)

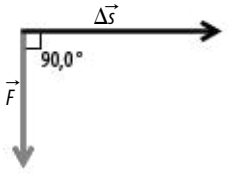
Solution

$$W = F_{eff} \times \Delta s \rightarrow \Delta s = \frac{W}{F_{eff}} = \frac{964\text{ J}}{48{,}2\text{ N}} = 20{,}0\text{ m}$$

Réponse : Elle pousse la tondeuse sur 20,0 m.

c) **Réponse :** La force gravitationnelle effectue un travail nul (0 J) sur la tondeuse.

En effet, étant donné que la valeur du cosinus de 90° est égale à 0, la valeur de $F_g \times \Delta s \times \cos 90°$ est aussi égale à 0, quelle que soit la grandeur de la force gravitationnelle (F_g).

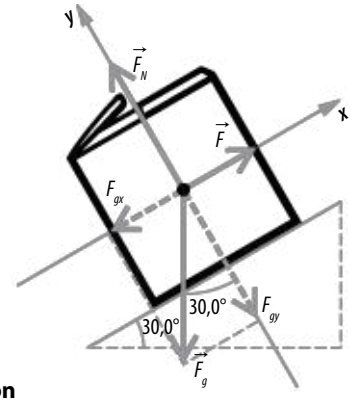


3. *a)* **Données**

$\Delta s = 3{,}00$ m $\quad m = 10{,}0$ kg

$\theta = 0°$ (angle entre la force et le déplacement) $\quad F = ?$

$W = ?$



Solution

1. Calcul de la grandeur de la force (F) à exercer :

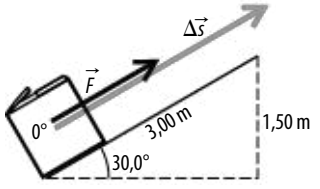
   Puisque la vitesse est constante, l'accélération est nulle le long de l'axe des *x*. En vertu de la deuxième loi de Newton, la force résultante agissant en *x* est nulle. Ainsi :

   $F_{Rx} = F + (-F_{gx}) = 0$

   $F = F_{gx} = F_g \times \sin 30{,}0° = mg \times \sin 30{,}0°$

   $= 10{,}0\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 \times \sin 30{,}0° = 49{,}0\text{ N}$

2. Calcul du travail (W) fait par la force ($\vec{F}$) :



$W = F \times \Delta s \times \cos\theta$

$= 49{,}0\text{ N} \times 3{,}00\text{ m} \times \cos 0° = 147\text{ J}$

Réponse : J'effectue un travail égal à 147 J.

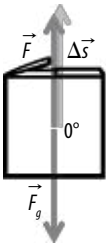
Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) **Données**

$\Delta s = 1{,}50$ m $\quad F = ?$

$\theta = 0°$ $\quad W = ?$

$m = 10{,}0$ kg



Solution

1. Calcul de la grandeur de la force (F) à exercer pour soulever la boîte verticalement à vitesse constante :

   Puisque le mouvement s'effectue à vitesse constante, l'accélération est nulle. Cela implique que la force résultante est nulle. Ainsi :

   $F_{R_y} = F + (-F_g) = 0$

   $F = F_g = mg = 10{,}0\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 = 98{,}0\text{ N}$

2. Calcul du travail (W) fait par la force $\vec{F}$:

   $W = F \times \Delta s \times \cos\theta$

   $= 98{,}0\text{ N} \times 1{,}50\text{ m} \times \cos 0° = 147\text{ J}$

Réponse : J'aurais effectué un travail égal à 147 J.

c) Pour transférer une quantité d'énergie donnée à un objet, on peut exercer soit une petite force sur une grande distance, soit une plus grande force sur une plus petite distance. Le travail effectué est alors le même. En effet, puisque le travail correspond à la quantité d'énergie transférée, si on transfère la même quantité d'énergie à un objet, on effectue le même travail.

4. *a)* IV

Justification : La force normale ne peut pas effectuer de travail sur un corps, car elle est toujours perpendiculaire au déplacement des corps sur lesquels elle agit ($\cos 90° = 0$).

b) III

Justification : La force de frottement cinétique effectue toujours un travail négatif, car elle agit toujours en sens inverse par rapport au mouvement d'un corps ($\cos 180° = {}^{-}1$).

Section 2
La puissance mécanique

Cahier, p. 166 et 167

1. *a)* **Données**

$W = 6{,}00\text{ kJ} = 6{,}00 \times 10^3\text{ J}$ $\quad P = ?$

$\Delta t = 5{,}00\text{ min} = 300\text{ s}$

Solution

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{6{,}00 \times 10^3\text{ J}}{300\text{ s}} = 20{,}0\text{ W}$$

Réponse : La puissance de la machine est de 20,0 W.

b) **Données**

$P = 2 \times 20{,}0\text{ W} = 40{,}0\text{ W}$ $\quad W = ?$

$\Delta t = 5{,}00\text{ min} = 300\text{ s}$

Solution

$$P = \frac{W}{\Delta t} \rightarrow W = P \times \Delta t = 40{,}0\text{ W} \times 300\text{ s}$$
$$= 1{,}20 \times 10^4\text{ J} = 12{,}0\text{ kJ}$$

Réponse : Une machine deux fois plus puissante pourrait effectuer un travail de 12,0 kJ.

c) **Données**

$P = \frac{20{,}0}{2}\text{ W} = 10{,}0\text{ W}$ $\quad W = 6{,}00\text{ kJ} = 6{,}00 \times 10^3\text{ J}$

$\Delta t = ?$

Solution

$$P = \frac{W}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{W}{P} = \frac{6{,}00 \times 10^3\text{ J}}{10{,}0\text{ W}}$$
$$= 600\text{ s} = 10{,}0\text{ min}$$

Réponse : Une machine deux fois moins puissante mettrait 10,0 min pour effectuer le même travail.

2. Données

$m = 3000$ kg

$\Delta s = 25{,}0$ m

$\theta = 0°$ (angle entre la force exercée par la grue sur la caisse et le déplacement de la caisse)

$P = 2500$ W

$F = ?$

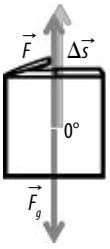
$W = ?$

$\Delta t = ?$

Solution

1. Calcul de la force exercée par la grue sur la caisse :

   La grandeur de la force (F) que la grue doit exercer pour soulever la caisse à vitesse constante est égale à la grandeur de la force gravitationnelle (F_g) qui agit sur la caisse.



   $F = F_g = mg = 3000\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2$

   $= 2{,}94 \times 10^4\text{ N}$

2. Calcul du travail fait par la grue sur la caisse :

   $W = F \times \Delta s \times \cos\theta$

   $= (2{,}94 \times 10^4\text{ N}) \times 25{,}0\text{ m} \times \cos 0°$

   $= 7{,}35 \times 10^5\text{ J}$

3. Calcul du temps nécessaire à la grue pour faire le travail :

   $$P = \frac{W}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{W}{P} = \frac{7{,}35 \times 10^5\text{ J}}{2500\text{ W}} = 294\text{ s}$$

Réponse : La grue met 294 s (ou 4 min 54 s) pour soulever la caisse de 25,0 m.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

3. **Données**

$F = mg = 75\,\text{kg} \times 9{,}80\,\text{m/s}^2 = 735\,\text{N}$

$\Delta s = 1\,\text{m}$

$\Delta t = 1\,\text{s}$

$\theta = 0°$ (angle entre la force exercée par le cheval et le déplacement de la charge)

$P = ?$

Solution

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{F \times \Delta s \times \cos\theta}{\Delta t} = \frac{735\,\text{N} \times 1\,\text{m} \times \cos 0°}{1\,\text{s}} = 735\,\text{W}$$

Réponse : 1 ch = 735 W

Chapitre 7 Synthèse

Cahier, p. 168 à 170

1 *a)* Travail et puissance *c)* Puissance
b) Travail *d)* Puissance

2 *a)* 3 *b)* 2 *c)* 1 *d)* 4

3 *a)* **Données**

$W = 8{,}00 \times 10^4\,\text{J}$ $\Delta s = 300\,\text{m}$ $\theta = 5{,}00°$ $F = ?$

Solution

$$W = F \times \Delta s \times \cos\theta \rightarrow F = \frac{W}{\Delta s \times \cos\theta} = \frac{8{,}00 \times 10^4\,\text{J}}{300\,\text{m} \times \cos 5{,}00°} = 268\,\text{N}$$

Réponse : La force exercée par le bateau sur le skieur est de 268 N.

b) **Données**

$$v = 45{,}0\,\text{km/h} \times \frac{1000\,\text{m}}{1\,\text{km}} \times \frac{1\,\text{h}}{3600\,\text{s}} = 12{,}5\,\text{m/s}$$

$W = 8{,}00 \times 10^4\,\text{J}$ $\Delta s = 300\,\text{m}$

$\Delta t = ?$ $P = ?$

Solution

1. Calcul du temps nécessaire au déplacement de 300 m :

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{300\,\text{m}}{12{,}5\,\text{m/s}} = 24{,}0\,\text{s}$$

2. Calcul de la puissance :

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{8{,}00 \times 10^4\,\text{J}}{24{,}0\,\text{s}} = 3{,}33 \times 10^3\,\text{W}$$

Réponse : La puissance est de $3{,}33 \times 10^3$ W.

4 DÉFI

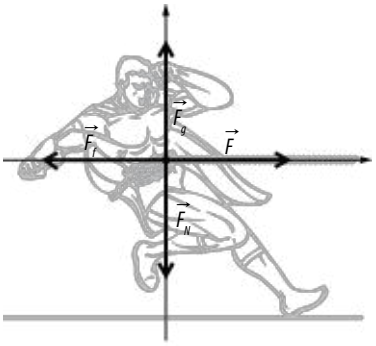
Données

$v = 0{,}500\,\text{m/s}$ $F = ?$

$F_f = 750\,\text{N}$ $\Delta s = ?$

$\theta = 0°$ (angle entre la force exercée par le treuil sur le superhéros et le déplacement du superhéros) $W = ?$ $\Delta t = ?$ $P = ?$

Solution



1. Calcul de la force exercée par le treuil sur le superhéros :

Puisque le mouvement est à vitesse constante, l'accélération est nulle. Cela implique que la force résultante est nulle. Ainsi, à l'horizontale, $F = F_f = 750\,\text{N}$.

2. Calcul du travail fait par le treuil sur le superhéros :

On doit utiliser une valeur de travail (W) pour calculer la puissance (P), mais le déplacement (Δs) n'est pas précisé. Toutefois, on peut calculer le travail pour un déplacement choisi arbitrairement (par exemple : 0,500 m). Si on associe correctement ce travail au temps nécessaire pour l'effectuer, la puissance calculée sera indépendante du choix fait ici.

$W = F \times \Delta s \times \cos\theta = 750\,\text{N} \times 0{,}500\,\text{m} \times \cos 0° = 375\,\text{J}$

3. Calcul de la puissance développée par le treuil :

Comme on a choisi à l'étape précédente $\Delta s = 0{,}500$ m, on utilise $\Delta t = 1{,}00$ s, puisque c'est le temps nécessaire pour parcourir 0,500 m à la vitesse de 0,500 m/s.

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{375\,\text{J}}{1{,}00\,\text{s}} = 375\,\text{W}$$

Note : On aurait obtenu le même résultat plus rapidement en utilisant l'équation $P = F \times v \times \cos\theta$, dont il est question dans la rubrique *En plus* « La relation entre la puissance, la force et la vitesse » à la page 166.

$P = F \times v \times \cos\theta = 750\,\text{N} \times 0{,}500\,\text{m/s} \times \cos 0° = 375\,\text{W}$

Réponse : La puissance développée par le treuil est de 375 W.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 7 Le travail et la puissance mécanique

1 Complétez les définitions suivantes.

a) La force _____ (F_{eff}) est la composante d'une force qui est _____ au _____ du corps sur lequel elle agit.

b) Le _____ (W) correspond au produit de la force _____ (F_{eff}) et du _____ (Δs). Il se mesure en _____ (J) et correspond à l'énergie qui est _____ à un corps par l'action de _____ extérieures.

c) Le travail est positif quand ce corps _____ de l'énergie et il est négatif quand il _____ de l'énergie.

d) La _____ mécanique (P) est la quantité de _____ (W) effectuée par unité de _____ (Δt). Elle se mesure en _____ (W). Un _____ équivaut à un joule par _____.

2 Une personne pousse un panier d'épicerie avec un angle de 60° par rapport à l'horizontale. Plus elle met d'articles dans le panier, plus celui-ci devient difficile à pousser. Expliquez comment cette personne pourrait augmenter l'efficacité de la force appliquée.

_____

_____

_____

3 Une personne applique une force de 125 N pour pousser une brouette. Calculez la force efficace pour les deux scénarios suivants :

a) Elle pousse la brouette avec un angle de 60,0° par rapport à l'horizontale.

b) Elle pousse la brouette avec un angle de 40,0° par rapport à l'horizontale.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4 Dans les calculs de forces efficaces, pourquoi ne tient-on pas compte de la force normale ?

_____

_____

5 Un ascenseur et ses passagers ont une masse totale de 475 kg. Quelle est la puissance du moteur de l'ascenseur s'il parcourt 25,0 m en 12,0 s à une vitesse constante ?

6 DÉFI

Une voiture de 1250 kg monte une pente d'une longueur de 70,0 m en 14,0 s à une vitesse constante en subissant des forces de frottement (pneus sur route, résistance de l'air) de 380 N. Le moteur fournit une puissance de $1,00 \times 10^4$ W.

a) Tracez le diagramme de corps libre.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) Quelle est la force efficace exercée par la voiture ?

c) Quel est l'angle d'inclinaison de la pente ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 7 Le travail et la puissance mécanique

/100

1. Vous calculez le travail effectué par une force donnée sur une pièce mécanique en mouvement et vous obtenez une valeur négative. **/10**

a) Que cela implique-t-il au sujet de l'orientation de cette force ?

_____

_____

_____

b) Quel est l'effet de l'action de cette force sur la pièce mécanique ?

_____

_____

_____

2. Une camionnette tire une remorque sur une distance de 16,0 km en 15,0 min et effectue ainsi un travail de $2{,}25 \times 10^7$ J. **/45**

a) Quelle est la puissance développée par la camionnette ?

b) Quelle est la grandeur de la force exercée par la camionnette sur la remorque si celle-ci est dirigée parallèlement au sol ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

c) Si le mouvement de la camionnette s'effectue à une vitesse constante, quelle est la quantité d'énergie transférée par la camionnette à la remorque en 30,0 s ?

3. Une travailleuse pousse une brouette à une vitesse de 1,50 m/s pendant 30,0 s. Elle exerce une force de 125 N parallèlement aux bras de la brouette, à un angle de 35,0° par rapport à l'horizontale. Quel travail a-t-elle accompli sur la brouette ? **/20**

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4. En 5,00 s, un tracteur tire un tronc d'arbre de 100 kg sur une distance de 15,0 m vers le haut d'une pente inclinée à 15,0°. Une force de frottement de 750 N agit sur le tronc. La force que le tracteur exerce sur le tronc d'arbre est parallèle à la surface de la pente. Quelle est la puissance développée par le tracteur ? **/25**

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Sommaire

Mécanique – Module 3 L'énergie et ses transformations

Chapitre 8 L'énergie mécanique

	Fiche
Corrigé du cahier (exercices du chapitre)	M-175
Labo 10	M-180
Exercices	M-187
Évaluation	M-192

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 8 L'énergie mécanique

Cahier, p. 176

Section 1
L'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle

Cahier, p. 176 et 177

1. *a)* Vrai *b)* Vrai *c)* Faux *d)* Faux

   Justification : *c)* L'énergie potentielle gravitationnelle, comme toutes les formes d'énergie, est une quantité scalaire. *d)* L'énergie cinétique, comme toutes les formes d'énergie, est une quantité scalaire.

2. *a)* L'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle varient.
   b) L'énergie cinétique varie.
   d) L'énergie potentielle gravitationnelle varie.

3. *a)* Un camion semi-remorque qui avance à 100 km/h
   b) Une boule de quille qui roule à 20 m/s
   c) Un train qui compte 10 wagons vides et qui avance à 100 km/h

4. **Données**

   $m = 5{,}00\ \text{kg}$ $E_c = 60{,}0\ \text{J}$ $v = ?$

   Solution

   $$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 60{,}0\ \text{J}}{5{,}00\ \text{kg}}} = 4{,}90\ \text{m/s}$$

   Réponse : Le jeune projette son sac à 4,90 m/s.

5. Non, l'énergie cinétique du ballon n'est pas nulle quand il atteint le sommet de sa trajectoire. En effet, même si sa vitesse instantanée verticale est nulle quand il atteint le sommet, sa vitesse horizontale, elle, n'est jamais nulle. En conséquence, le ballon possède une vitesse, et donc de l'énergie cinétique, en tous points de sa trajectoire.

6. **Données**

   On place le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au rez-de-chaussée.

   $h_i = 0\ \text{m}$ $h_f = 20{,}0\ \text{m}$ $m = 60{,}0\ \text{kg}$ $\Delta E_{pg} = ?$

   Solution

   $$\begin{aligned} E_{pgi} &= mgh_i \\ &= 60{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times 0\ \text{m} \\ &= 0\ \text{J} \end{aligned}$$

   $$\begin{aligned} E_{pgf} &= mgh_f \\ &= 60{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times 20{,}0\ \text{m} \\ &= 1{,}18 \times 10^4\ \text{J} \end{aligned}$$

   $$\begin{aligned} \Delta E_{pg} &= E_{pgf} - E_{pgi} \\ &= 1{,}18 \times 10^4\ \text{J} - 0\ \text{J} \\ &= 1{,}18 \times 10^4\ \text{J} \end{aligned}$$

   Réponse : Le système gagne $1{,}18 \times 10^4$ J d'énergie potentielle gravitationnelle.

Section 2
La conservation de l'énergie mécanique

Section 2.1
Les systèmes isolés et les systèmes non isolés

Cahier, p. 179 et 180

1. *a)* Système non isolé

   Justification : La force gravitationnelle exercée par la Terre sur la noix est une force extérieure qui fait un travail sur l'un des corps qui composent le système (la noix).

   b) Système isolé

   Justification : Il n'y a pas de frottement et aucune force extérieure ne fait de travail sur les corps qui composent le système.

   c) Système non isolé

   Justification : Il y a du frottement entre la salière et la table. Le travail fait par ce frottement retire de l'énergie mécanique au système.

   d) Système isolé

   Justification : Il n'y a pas de frottement et aucune force extérieure ne fait de travail sur les corps qui composent le système.

Section 2.2
La conservation de l'énergie mécanique dans un système isolé

Cahier, p. 183 à 185

1. *a)* i) Quand elle quitte la main du lanceur, la balle a une énergie cinétique **maximale**.

   ii) Lorsque la balle monte dans les airs, le système qu'elle forme avec la Terre **gagne** de l'énergie potentielle gravitationnelle. Toutefois, la balle ralentit, ce qui lui fait **perdre** de l'énergie cinétique.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

iii) À un certain moment, le système a épuisé son énergie **cinétique**. Son énergie **potentielle gravitationnelle** est alors maximale : la balle est au sommet de sa trajectoire. La balle s'arrête momentanément avant de retomber.

iv) Quand la balle retombe, l'énergie **potentielle gravitationnelle** se transforme en énergie **cinétique**. La balle gagne de la vitesse jusqu'à ce qu'elle soit rattrapée par la personne qui l'a lancée.

b) **Données**

1. On s'intéresse au système formé de la balle et de la Terre. C'est un système isolé.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au niveau du sol.
3. L'instant initial est celui où la balle quitte la main du lanceur et l'instant final est celui où elle est à 3,00 m au-dessus du sol.
4. Valeurs :

$m = 145\text{ g} = 0{,}145\text{ kg}$ $\quad h_f = 3{,}00\text{ m}$

$v_i = 9{,}00\text{ m/s}$ $\quad v_f = ?$

$h_i = 1{,}70\text{ m}$

Solution

5. Valeurs d'énergies :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 0{,}145\text{ kg} \times (9{,}00\text{ m/s})^2 = 5{,}87\text{ J}$$

$$E_{cf} = ?$$

$$E_{pgi} = mgh_i = 0{,}145\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 \times 1{,}70\text{ m} = 2{,}42\text{ J}$$

$$E_{pgf} = mgh_f = 0{,}145\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 \times 3{,}00\text{ m} = 4{,}26\text{ J}$$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système isolé :

$$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf} \rightarrow E_{cf} = E_{ci} + E_{pgi} - E_{pgf} = 5{,}87\text{ J} + 2{,}42\text{ J} - 4{,}26\text{ J} = 4{,}03\text{ J}$$

$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2 \rightarrow v_f = \sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 4{,}03\text{ J}}{0{,}145\text{ kg}}} = 7{,}45\text{ m/s}$$

Réponse : La vitesse de la balle quand elle est à 3,00 m au-dessus du sol est de 7,45 m/s.

c) **Données**

1. On s'intéresse au système formé de la balle et de la Terre. C'est un système isolé.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au niveau du sol.
3. L'instant initial est celui où la balle quitte la main du lanceur et l'instant final est celui où elle est au sommet de sa trajectoire, au moment où sa vitesse instantanée est nulle.
4. Valeurs :

$m = 145\text{ g} = 0{,}145\text{ kg}$ $\quad h_i = 1{,}70\text{ m}$

$v_i = 9{,}00\text{ m/s}$ $\quad h_f = ?$

$v_f = 0\text{ m/s}$

Solution

5. Valeurs d'énergies :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 0{,}145\text{ kg} \times (9{,}00\text{ m/s})^2 = 5{,}87\text{ J}$$

$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2} \times 0{,}145\text{ kg} \times (0\text{ m/s})^2 = 0\text{ J}$$

$$E_{pgi} = mgh_i = 0{,}145\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 \times 1{,}70\text{ m} = 2{,}42\text{ J}$$

$$E_{pgf} = ?$$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système isolé :

$$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf} \rightarrow E_{pgf} = E_{ci} + E_{pgi} - E_{cf} = 5{,}87\text{ J} + 2{,}42\text{ J} - 0\text{ J} = 8{,}29\text{ J}$$

$$E_{pgf} = mgh_f \rightarrow h_f = \frac{E_{pgf}}{mg} = \frac{8{,}29\text{ J}}{0{,}145\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2} = 5{,}83\text{ m}$$

Réponse : La hauteur maximale atteinte par la balle est de 5,83 m au-dessus du sol.

2. Données

1. On s'intéresse au système formé du manchot et de la Terre. C'est un système isolé.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au pied de la pente.
3. L'instant initial est le moment où le manchot est au sommet de la pente et l'instant final, celui où il est au bas de la pente.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4. Valeurs :

$m = 25{,}0\ \text{kg}$ $\quad h_i = 2{,}00\ \text{m}$ $\quad v_f = ?$

$v_i = 5{,}00\ \text{m/s}$ $\quad h_f = 0\ \text{m}$

Solution

5. Valeurs d'énergies :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 25{,}0\ \text{kg} \times (5{,}00\ \text{m/s})^2$$
$$= 313\ \text{J}$$
$$E_{cf} = ?$$
$$E_{pgi} = mgh_i$$
$$= 25{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times 2{,}00\ \text{m}$$
$$= 490\ \text{J}$$
$$E_{pgf} = mgh_f$$
$$= 25{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times 0\ \text{m}$$
$$= 0\ \text{J}$$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système isolé :

$$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf} \rightarrow E_{cf} = E_{ci} + E_{pgi} - E_{pgf}$$
$$= 313\ \text{J} + 490\ \text{J} - 0\ \text{J}$$
$$= 803\ \text{J}$$
$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2 \rightarrow v_f = \sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}}$$
$$= \sqrt{\frac{2 \times 803\ \text{J}}{25{,}0\ \text{kg}}}$$
$$= 8{,}01\ \text{m/s}$$

Réponse : Le manchot arrive au pied de la pente à 8,01 m/s.

Section 2.3
L'énergie dans les systèmes non isolés

Cahier, p. 189 et 190

1. Données

1. Le système à considérer ici est constitué de la parachutiste avec son parachute et de la Terre. Ce n'est pas un système isolé, puisque la résistance de l'air fait un travail sur la parachutiste et son parachute.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au sol.
3. L'instant initial est celui où la parachutiste ouvre son parachute. L'instant final, celui où elle atteint le sol.
4. Valeurs :

$m = 60{,}0\ \text{kg} + 10{,}0\ \text{kg} = 70{,}0\ \text{kg}$

$v_i = 50{,}0\ \text{m/s}$

$v_f = 5{,}00\ \text{m/s}$

$h_i = 1{,}00\ \text{km} = 1{,}00 \times 10^3\ \text{m}$

$h_f = 0\ \text{m}$

$W_{ext} = ?$

Solution

5. Valeurs d'énergies et de travail :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 70{,}0\ \text{kg} \times (50{,}0\ \text{m/s})^2$$
$$= 8{,}75 \times 10^4\ \text{J}$$
$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 70{,}0\ \text{kg} \times (5{,}00\ \text{m/s})^2$$
$$= 875\ \text{J}$$
$$E_{pgi} = mgh_i$$
$$= 70{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times (1{,}00 \times 10^3\ \text{m})$$
$$= 6{,}86 \times 10^5\ \text{J}$$
$$E_{pgf} = mgh_f$$
$$= 70{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times 0\ \text{m}$$
$$= 0\ \text{J}$$
$$W_{ext} = ?$$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système non isolé :

$$E_{ci} + E_{pgi} + W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf}$$
$$\rightarrow W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf} - E_{ci} - E_{pgi}$$
$$= 875\ \text{J} + 0\ \text{J} - 8{,}75 \times 10^4\ \text{J} - 6{,}86 \times 10^5\ \text{J}$$
$$= {}^{-}7{,}73 \times 10^5\ \text{J}$$

Réponse : La résistance de l'air fait un travail de $^{-}7{,}73 \times 10^5$ J sur la parachutiste et son parachute.

2. *a)* Le système à considérer ici est constitué de l'enfant avec son traîneau et de la Terre. En haut de la pente, la vitesse de l'enfant est nulle. L'énergie cinétique du système est donc nulle, mais son énergie potentielle est maximale. Quand l'enfant descend, l'énergie potentielle gravitationnelle se transforme en énergie cinétique. En arrivant au pied de la pente, l'enfant a une grande vitesse, mais il ralentit sous l'effet de la force de frottement. À cause du travail fait par la force de frottement, l'énergie cinétique du système se transforme en énergie thermique.

b) **Données**

1. Le système à considérer ici est constitué de l'enfant avec son traîneau et de la Terre. Ce n'est pas un système isolé, car il y a du frottement sur la zone de neige râpeuse.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au pied de la colline.
3. L'instant initial est celui où l'enfant est en haut de la colline. L'instant final est celui où il est arrêté au bas de la colline, sur la neige râpeuse.
4. Valeurs :

$m = 35{,}0\ \text{kg}$ $\quad h_i = 8{,}00\ \text{m}$

$v_i = 0\ \text{m/s}$ $\quad h_f = 0\ \text{m}$

$v_f = 0\ \text{m/s}$ $\quad F_{ext} = 100\ \text{N}$

$\theta = 180°$ (angle entre la force de frottement et le déplacement de l'enfant)

$\Delta s = ?$

Solution

5. Valeurs d'énergies et de travail :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 35{,}0\ \text{kg} \times (0\ \text{m/s})^2 = 0\ \text{J}$$

$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2} \times 35{,}0\ \text{kg} \times (0\ \text{m/s})^2 = 0\ \text{J}$$

$$E_{pgi} = mgh = 35{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times 8{,}00\ \text{m} = 2{,}74 \times 10^3\ \text{J}$$

$$E_{pgf} = mgh_f = 35{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times 0\ \text{m} = 0\ \text{J}$$

$W_{ext} = ?$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système non isolé :

$$E_{ci} + E_{pgi} + W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf}$$

$$\rightarrow W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf} - E_{ci} - E_{pgi} = 0\ \text{J} + 0\ \text{J} - 0\ \text{J} - 2{,}74 \times 10^3\ \text{J} = {}^{-}2{,}74 \times 10^3\ \text{J}$$

$$W_{ext} = F_{ext}\Delta s \cos\theta \rightarrow \Delta s = \frac{W_{ext}}{F_{ext}\cos\theta} = \frac{{}^{-}2{,}74 \times 10^3\ \text{J}}{100\ \text{N} \times \cos 180°} = 27{,}4\ \text{m}$$

Réponse : L'enfant glissera horizontalement sur 27,4 m, à partir du bas de la colline, avant de s'arrêter.

Chapitre 8 Synthèse

Cahier, p. 192 à 194

1 *a)* i) Vrai ii) Faux iii) Vrai

Justification : ii) L'énergie potentielle gravitationnelle n'est pas transformée en énergie cinétique, puisque le système ne gagne pas d'énergie cinétique, étant donné que la vitesse de l'ascenseur est constante ($E_{ci} = E_{cf}$).

b) La tension du câble qui retient la cabine de l'ascenseur.

c) Cette force agit vers le haut alors que l'ascenseur descend. Cette force fait donc un travail négatif. Cela signifie que l'action de cette force retire de l'énergie au système.

2 *a)* **Données**

1. On s'intéresse au système formé de la lugeuse (avec sa luge) et de la Terre. Il s'agit d'un système non isolé, puisque le frottement et la résistance de l'air font un travail sur la lugeuse et la luge.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au pied de la pente.
3. L'instant initial est celui où la lugeuse est immobile en haut de la pente et l'instant final, celui où elle arrive au pied de la pente.
4. Valeurs :

$m = 68{,}0\ \text{kg}$ $\quad h_f = 0\ \text{m}$

$v_i = 0\ \text{m/s}$ $\quad W_{ext} = {}^{-}2{,}50 \times 10^4\ \text{J}$

$h_i = 50{,}0\ \text{m}$ $\quad v_f = ?$

Solution

5. Valeurs d'énergies et de travail :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 68{,}0\ \text{kg} \times (0\ \text{m/s})^2 = 0\ \text{J}$$

$E_{cf} = ?$

$$E_{pgi} = mgh_i = 68{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times 50{,}0\ \text{m} = 3{,}33 \times 10^4\ \text{J}$$

$$E_{pgf} = mgh_f = 68{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times 0\ \text{m} = 0\ \text{J}$$

$W_{ext} = {}^{-}2{,}50 \times 10^4\ \text{J}$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système non isolé :

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

$E_{ci}+E_{pgi}+W_{ext}=E_{cf}+E_{pgf}$

$\rightarrow\ E_{cf}=E_{ci}+E_{pgi}+W_{ext}-E_{pgf}$

$=0\text{ J}+3{,}33\times10^4\text{ J}+{}^-2{,}50\times10^4\text{ J}-0\text{ J}$

$=8{,}33\times10^3\text{ J}$

$E_{cf}=\frac{1}{2}mv_f^2\ \rightarrow\ v_f=\sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}}=\sqrt{\frac{2\times8{,}33\times10^3\text{ J}}{68{,}0\text{ kg}}}$

$=16\text{ m/s}$

Réponse : En arrivant au pied de la pente, la lugeuse a une vitesse de 16 m/s.

b) **Données**

1. On s'intéresse au système formé de la lugeuse (avec sa luge) et de la Terre. Il s'agit d'un système non isolé, puisque le frottement et la résistance de l'air font un travail sur la lugeuse et la luge.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au pied de la pente.
3. L'instant initial est celui où la lugeuse est en haut de la pente et avance à 4,0 m/s et l'instant final, celui où elle arrive au pied de la pente.
4. Valeurs :

$m=68{,}0\text{ kg}$ $\quad h_i=45{,}0\text{ m}$

$v_i=4{,}0\text{ m/s}$ $\quad h_f=0\text{ m}$

$v_f=15{,}5\text{ m/s}$

$W_{ext}=?$ (La quantité d'énergie thermique dissipée par le frottement et la résistance de l'air correspond au travail fait par ces forces.)

Solution

5. Valeurs d'énergies et de travail :

$E_{ci}=\frac{1}{2}mv_i^2$

$=\frac{1}{2}\times68{,}0\text{ kg}\times(4{,}0\text{ m/s})^2$

$=5{,}4\times10^2\text{ J}$

$E_{cf}=\frac{1}{2}mv_f^2$

$=\frac{1}{2}\times68{,}0\text{ kg}\times(15{,}5\text{ m/s})^2$

$=8{,}17\times10^3\text{ J}$

$E_{pgi}=mgh_i$

$=68{,}0\text{ kg}\times9{,}80\text{ m/s}^2\times45{,}0\text{ m}$

$=3{,}00\times10^4\text{ J}$

$E_{pgf}=mgh_f$

$=68\text{ kg}\times9{,}80\text{ m/s}^2\times0\text{ m}$

$=0\text{ J}$

$W_{ext}=?$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système non isolé :

$E_{ci}+E_{pgi}+W_{ext}=E_{cf}+E_{pgf}$

$\rightarrow\ W_{ext}=E_{cf}+E_{pgf}-E_{ci}-E_{pgi}$

$=8{,}17\times10^3\text{ J}+0\text{ J}-5{,}4\times10^2\text{ J}-3{,}00\times10^4\text{ J}$

$={}^-2{,}24\times10^4\text{ J}$

Réponse : Puisque le travail fait par le frottement et la résistance de l'air est de ${}^-2{,}24\times10^4$ J, cela signifie que $2{,}24\times10^4$ J d'énergie thermique ont été dissipés par le frottement et la résistance de l'air.

3 DÉFI

Données

1. On s'intéresse au système formé du bloc et de la Terre. C'est un système isolé.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au sol.
3. L'instant initial est celui où le bloc vient tout juste de se détacher et l'instant final, celui où il arrive au fond du ravin.
4. Valeurs :

$h_i=40{,}0\text{ m}$ $\quad h_f=0\text{ m}$ $\quad v_i=0\text{ m/s}$ $\quad v_f=?$

Solution

5. Valeurs d'énergies :

$E_{ci}=\frac{1}{2}mv_i^2$ $\qquad E_{cf}=\frac{1}{2}mv_f^2=?$

$=\frac{1}{2}\times m\times(0\text{ m/s})^2$

$=0\text{ J}$

$E_{pgi}=mgh_i$

$=m\times9{,}80\text{ m/s}^2\times40{,}0\text{ m}$

$=392\text{ m}^2/\text{s}^2\times m$

$E_{pgf}=mgh_f$

$=m\times9{,}80\text{ m/s}^2\times0\text{ m}$

$=0\text{ J}$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système isolé :

$E_{ci}+E_{pgi}=E_{cf}+E_{pgf}$

$0\text{ J}+392\text{ m}^2/\text{s}^2\times m=\frac{1}{2}mv_f^2+0\text{ J}$

$392\text{ m}^2/\text{s}^2\times\cancel{m}=\frac{1}{2}\cancel{m}v_f^2$

Comme il y a un *m* dans chaque terme de l'équation, ceux-ci se simplifient.

$392\text{ m}^2/\text{s}^2=\frac{1}{2}v_f^2\ \rightarrow\ v_f=\sqrt{\frac{392\text{ m}^2/\text{s}^2}{\frac{1}{2}}}=28{,}0\text{ m/s}$

Réponse : On peut trouver la vitesse finale du bloc sans connaître sa masse. Elle est de 28,0 m/s.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Labo 10

L'influence de divers paramètres sur la quantité d'énergie cinétique

Cahier, p. 173

Mise en situation

Mieux vaut prévenir…

Au Québec, la limite de vitesse à proximité d'une école ou d'un terrain de jeu est fixée à 30 km/h. La raison qui justifie cette limite est simple : puisque de nombreux enfants sont présents dans ces zones, on souhaite minimiser les risques de collision. En effet, une basse vitesse donne le temps au conducteur de réagir si un enfant traverse la rue sans faire attention, et, en cas d'un freinage soudain, le véhicule s'immobilisera plus rapidement. Malheureusement, beaucoup de gens ne respectent pas cette signalisation et roulent parfois beaucoup plus vite que la loi ne le permet. Si un automobiliste roule deux fois plus vite qu'à cette limite permise, soit à 60 km/h, qu'advient-il de l'énergie cinétique de son véhicule ?

La préparation

1. Quel lien existe-t-il entre l'inertie d'une voiture en mouvement et son énergie cinétique ?

_____

_____

_____

2. Quelle formule permet de calculer l'énergie cinétique d'un corps ?

_____

3. Pour chaque variable de la formule précédente, quelles sont les unités de mesure utilisées ?

_____

_____

4. Quelle formule permet de calculer le travail effectué par un corps ?

_____

5. Pour chaque variable de la formule précédente, quelles sont les unités de mesure utilisées ?

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Labo 10

L'influence de divers paramètres sur la quantité d'énergie cinétique

Cahier, p. 173

Le but de l'expérience

Déterminer les paramètres qui influent sur la quantité d'énergie cinétique d'un corps en mouvement.

L'hypothèse

D'après vous, quels sont les paramètres qui influent sur la quantité d'énergie cinétique d'un corps ? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Le protocole expérimental

Matériel

- Un chronomètre à étincelles (ou à jets d'encre)
- Un ruban enregistreur
- Une masse à crochet d'environ 200 g
- Du fil de pêche d'environ 1,25 m de longueur
- Une poulie de table d'étude des forces
- Une serre en C
- Un morceau de mousse (pour protéger le plancher)
- Un mètre

Manipulations

1 Si la fréquence du chronomètre est ajustable, la régler à 60 Hz. Répondre à la question 1 de la partie « Les résultats ».

2 Réaliser le montage de la figure 1.
- Installer la poulie sur le bord de la table.
- Fixer le chronomètre à étincelles à la table à l'aide d'une serre en C, à environ 1,10 m de la poulie.
- Insérer le ruban enregistreur dans le chronomètre.
- Attacher l'extrémité du ruban enregistreur au fil de pêche (au besoin, faire un petit trou dans le ruban, y passer le fil et le nouer).

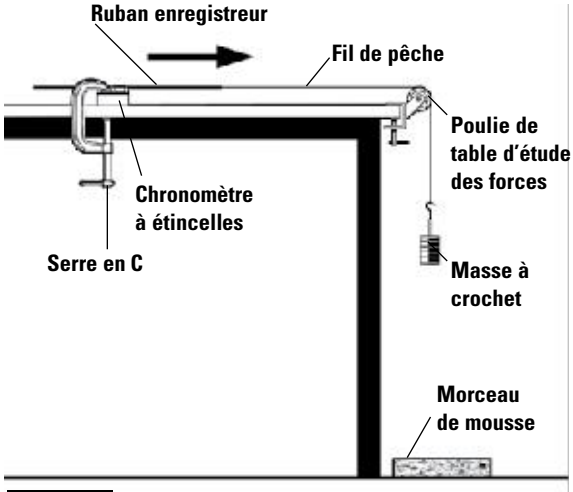


Figure 1 Le montage utilisé pour l'expérience.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

– Faire passer le fil de pêche dans la gorge de la poulie.
– Suspendre la masse à crochet au fil de pêche et bien la tenir en place avec la main.
– Installer un morceau de mousse sous la masse. Ainsi, le plancher sera protégé lorsqu'on laissera tomber la masse.

3 Démarrer le chronomètre, puis laisser tomber la masse en chute libre.

4 Arrêter le chronomètre et retirer le ruban enregistreur. S'assurer que les différents points sont bien visibles sur le ruban. Sinon, consulter votre enseignant (ou encore le technicien en travaux pratiques). Au besoin, recommencer le début de l'expérience.

5 Encercler, sur le ruban, le point correspondant à la position initiale ($x = 0{,}0$ cm) de la masse et noter que ce point correspond au temps $t = 0{,}00$ s. Remplir ensuite le tableau 1 de la partie « Les résultats » (question 2). Attention, les mesures des positions des points doivent être très précises !

(*Note :* Dans ce laboratoire, il est important que la vitesse initiale de la masse suspendue soit aussi près que possible de 0. Le point utilisé pour définir la position initiale de la masse doit donc être situé au tout début du mouvement.)

Les résultats

1. Compte tenu de la fréquence du chronomètre (f), quel intervalle de temps (Δt) séparera deux points consécutifs sur le ruban enregistreur ? Laissez des traces de votre démarche.

2. Remplissez le tableau 1 ci-dessous. Pour que cela soit plus pratique, ne tenez pas compte de tous les points marqués sur le ruban enregistreur. Considérez seulement un point sur trois. (Ainsi, à partir du point correspondant au temps $t = 0{,}00$ s, passez deux points, puis inscrivez le temps auquel correspond le troisième point et mesurez sa position.)

TABLEAU 1
La position de la masse suspendue en fonction du temps

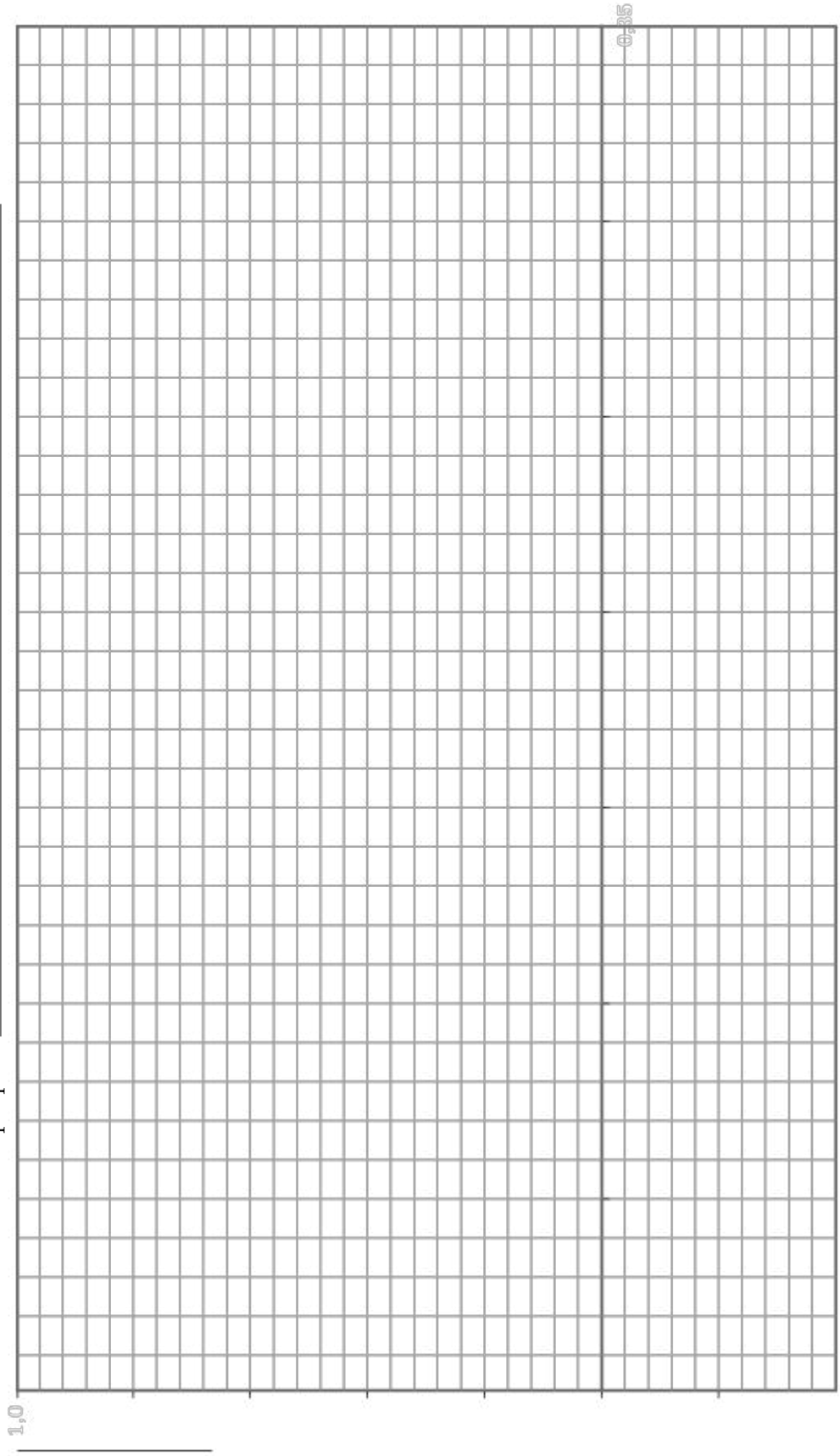
Temps t (s)	Position x (m)	Temps t (s)	Position x (m)
0,00	0,000		

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

L'analyse des résultats

3. Sur le quadrillage ci-dessous, tracez le graphique de la position de la masse suspendue en fonction du temps. Utilisez, pour ce faire, les données que vous avez notées dans le tableau 1. Donnez un titre à votre graphique, identifiez ses axes et graduez-les.

Graphique 1 _____



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4. À partir de votre graphique de la position de la masse suspendue en fonction du temps, évaluez la vitesse de la masse à cinq instants différents. (Choisissez des instants espacés de façon régulière et qui couvrent l'ensemble du mouvement de la masse.) Puis, calculez le carré de ces vitesses. Finalement, évaluez le travail effectué par la gravité sur la masse à chacun des instants choisis. Inscrivez vos résultats dans le tableau 2 ci-dessous. Dans les encadrés qui suivent le tableau, laissez des traces de la démarche que vous avez utilisée :

a) pour évaluer la vitesse de la masse suspendue en fonction du temps ;

b) pour évaluer le travail effectué par gravité sur la masse suspendue.

TABLEAU 2
La vitesse de la masse suspendue et le carré de cette vitesse en fonction du temps

Temps t (s)	Vitesse v (m/s)	Vitesse au carré v^2 (m^2/s^2)	Travail W effectué par la gravité sur la masse (J)

a) Démarche utilisée pour évaluer la vitesse (v) de la masse suspendue en fonction du temps :

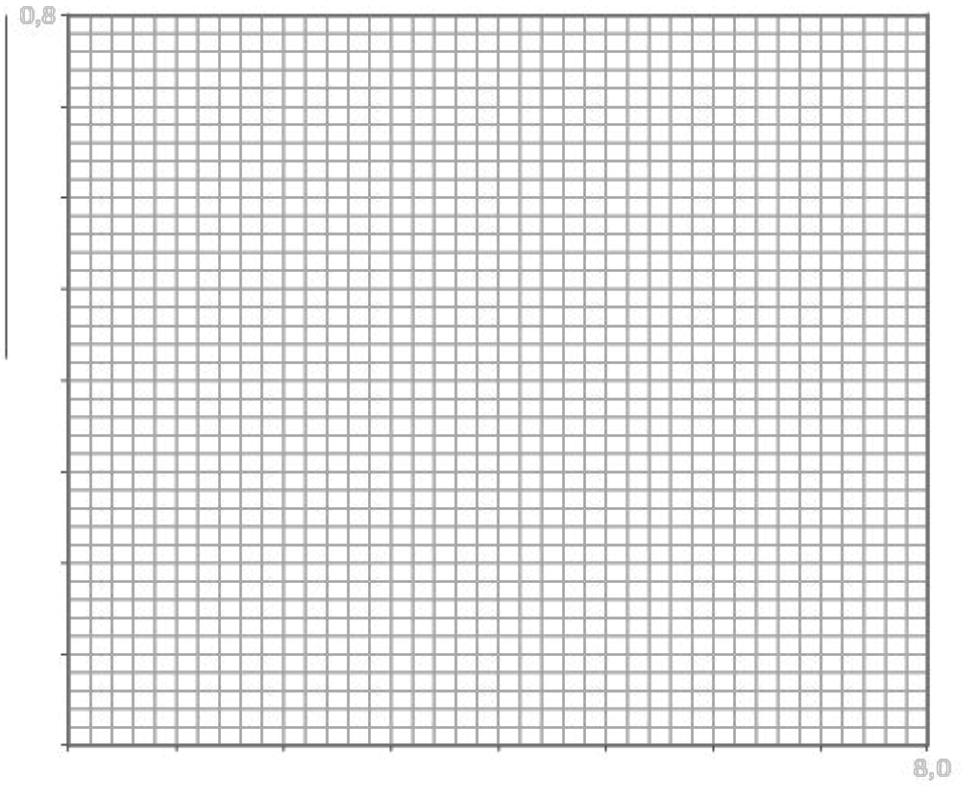
Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) Démarche utilisée pour évaluer le travail (*W*) effectué par la gravité sur la masse suspendue :

5. Sur le quadrillage ci-dessous, tracez le graphique du travail effectué par gravité sur la masse suspendue en fonction du carré de la vitesse de la masse. Pour ce faire, utilisez les données que vous avez notées dans le tableau 2. Donnez un titre à votre graphique, identifiez ses axes et graduez-les.

Graphique 2 _____

_____



6. Comparez la valeur de la pente du graphique tracé à la question 5 avec la grandeur de la masse suspendue. (Calculez le rapport entre la valeur de la pente et la grandeur de la masse suspendue.) Laissez des traces de votre démarche.

Rappel : $1\ \text{J} = 1\ \text{N} \times \text{m} = 1\ \dfrac{\text{kg} \times \text{m}^2}{\text{s}^2}$.

7. Quelles sont les causes d'erreurs dans cette expérience ?

_____

_____

_____

_____

8. En tenant compte des incertitudes liées aux mesures, il est sans doute possible que la valeur du rapport évalué à la question 6 puisse correspondre à une valeur simple (un nombre entier ou une fraction simple). En supposant que l'on puisse s'attendre à ce que le rapport ait une valeur simple, quelle serait cette valeur simple ? _____

La conclusion

9. On considère que le travail extérieur effectué sur un corps initialement au repos correspond à son énergie cinétique (E_c). Finalement, quelle équation mathématique pouvez-vous donner qui correspond à l'énergie cinétique d'un corps ? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

10. Votre hypothèse de départ était-elle juste ? Expliquez votre réponse et nommez les paramètres qui influent sur l'énergie cinétique d'un corps.

_____

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 8 L'énergie mécanique

1 Complétez les définitions suivantes.

a) L'énergie _____ (E_m) est l'énergie associée au _____ et à la _____ des corps. Il s'agit d'une quantité _____ qui se mesure en _____ (J).

b) L'énergie _____ (E_c) est l'énergie que possèdent les corps en _____ en raison de leur _____ et de leur _____.

c) L'énergie _____ _____ (E_{pg}) est l'énergie que possèdent les corps en fonction de leur _____ et de leur _____.

d) Un système _____ est un système qui n'échange pas d'_____ avec l'extérieur.

e) Quand un système non isolé subi un travail extérieur positif, le système _____ de l'énergie. Si le travail subi est négatif, le système _____ de l'énergie.

f) Dans un système non isolé, une partie de l'énergie mécanique peut se _____ dans l'environnement sous forme d'énergie _____.

2 Qu'arrive-t-il à l'énergie cinétique d'un corps si l'on double sa vitesse ?

_____

_____

_____

3 Une variation de l'énergie cinétique provoque-t-elle toujours une variation de l'énergie potentielle dans…

a) un système isolé ?

_____

_____

_____

_____

b) un système non isolé ?

_____

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4 Pour chacun des scénarios suivants, calculez l'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle. Considérez le sol comme niveau de référence.

a) Un avion en papier de 4,7 g plane à une vitesse de 0,5 m/s à une hauteur 1,0 m au-dessus du sol.

b) Une boule de quille de 4,54 kg est lâchée à 30,0 cm du sol et à une vitesse de 1,20 m/s.

c) La Station spatiale internationale (SSI) est en orbite à 410 km au-dessus de la Terre et voyage à une vitesse moyenne de 7,66 km/s. Sa masse est de $4{,}5 \times 10^5$ kg.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

5 Au Québec, la vitesse sur les routes dans les zones scolaires est fixée à 30 km/h. Si une voiture de 1750 kg possède une énergie cinétique de 41,6 kJ, respecte-t-elle cette limite ?

6 Un objet de masse inconnue, initialement immobile, est largué d'une hauteur de 5,75 m. Calculez sa vitesse au moment où il frappe le sol.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

7 Lors d'un test en circuit fermé, une voiture de luxe de 2125 kg roulant à 95,0 km/h accélère sur une distance de 400 m pour atteindre 145,0 km/h. Une force de frottement cinétique de 975 N s'exerce sur elle. Calculez la force exercée par le moteur de la voiture pour atteindre cette vitesse.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

8 DÉFI

On dépose une bille de 450 g au sommet d'un plan incliné à 35,0°. Elle se met à rouler jusqu'à en atteindre le bas à une distance de 95,0 cm. La vitesse finale de la bille est de 2,90 m/s.

a) Calculez la valeur du travail extérieur qui s'exerce sur la bille.

b) Calculez la valeur de la force extérieure qui s'exerce sur la bille. D'où pourrait-elle provenir ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 8 L'énergie mécanique

/100

1. Énoncez la loi de la conservation de l'énergie mécanique. **/10**

_____

_____

_____

2. Dites, en les indiquant par leurs initiales, à quelle forme d'énergie, parmi celles qui sont énumérées ci-dessous, chacun des énoncés suivants s'applique. Une même forme d'énergie peut correspondre à plus d'un énoncé. **/20**

- Énergie cinétique (EC)
- Énergie mécanique (EM)
- Énergie potentielle gravitationnelle (EPG)
- Énergie thermique (ET)

a) Cette forme d'énergie est conservée dans tous les systèmes isolés. _____

b) Cette forme d'énergie est celle qui est dissipée sous l'effet du frottement et de la résistance d'air. _____

c) Quand on lance une balle dans les airs (en supposant que la résistance de l'air est négligeable), la quantité d'énergie que la balle partage sous cette forme avec la Terre augmente quand la balle monte. _____

d) Quand on lance une balle dans les airs (en supposant que la résistance de l'air est négligeable), la quantité d'énergie que la balle possède sous cette forme diminue quand la balle monte. _____

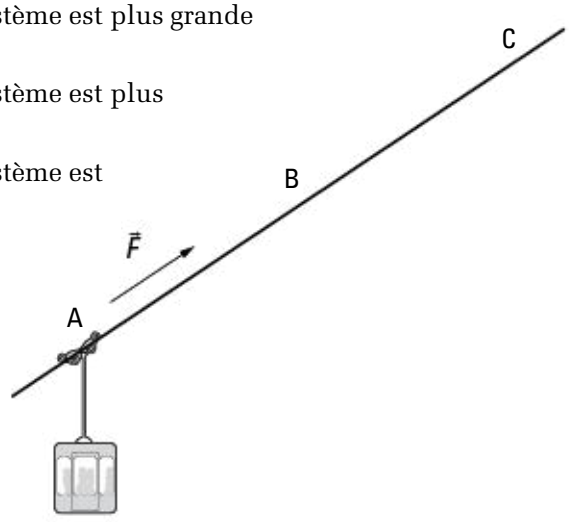
e) On peut calculer l'énergie qui est sous cette forme en additionnant l'énergie potentielle gravitationnelle et l'énergie cinétique. _____

3. Un téléphérique passe du point A au point C à vitesse constante. **/20**

On s'intéresse au système formé par la cabine du téléphérique et la Terre.

a) Parmi les énoncés suivants, encerclez celui qui est vrai.

1. L'énergie potentielle gravitationnelle du système est plus grande quand la cabine est au point A.
2. L'énergie potentielle gravitationnelle du système est plus grande quand la cabine est au point B.
3. L'énergie potentielle gravitationnelle du système est plus grande quand la cabine est au point C.
4. L'énergie potentielle gravitationnelle du système est la même durant tout le trajet de A à C.
5. On ne dispose pas de suffisamment d'informations pour savoir à quelle position de la cabine correspond la plus grande valeur d'énergie potentielle gravitationnelle.



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) Parmi les énoncés suivants, encerclez celui qui est vrai.

1. L'énergie cinétique du système est plus grande quand la cabine est au point A.
2. L'énergie cinétique du système est plus grande quand la cabine est au point B.
3. L'énergie cinétique du système est plus grande quand la cabine est au point C.
4. L'énergie cinétique du système est la même durant tout le trajet de A à C.
5. On ne dispose pas de suffisamment d'informations pour savoir à quelle position de la cabine correspond la plus grande valeur d'énergie cinétique.

c) Parmi les énoncés suivants, encerclez celui qui est vrai.

1. L'énergie mécanique du système est plus grande quand la cabine est au point A.
2. L'énergie mécanique du système est plus grande quand la cabine est au point B.
3. L'énergie mécanique du système est plus grande quand la cabine est au point C.
4. L'énergie mécanique du système est la même durant tout le trajet de A à C.
5. On ne dispose pas de suffisamment d'informations pour savoir à quelle position de la cabine correspond la plus grande valeur d'énergie mécanique.

d) Le système est-il isolé ou non ? Justifiez votre réponse.

_____

_____

_____

e) Y a-t-il une force extérieure qui effectue un travail sur le système ? Justifiez votre réponse.

_____

_____

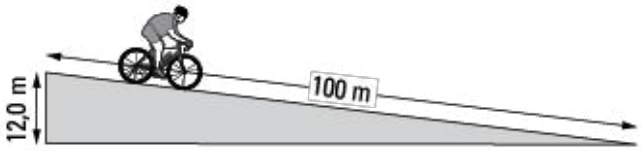
_____

4. Un homme de 80,0 kg se rend au travail à vélo. (On considère que la masse de son vélo est négligeable.) **/50**

a) Quelle est l'énergie cinétique du cycliste quand il roule à 20,0 km/h ?

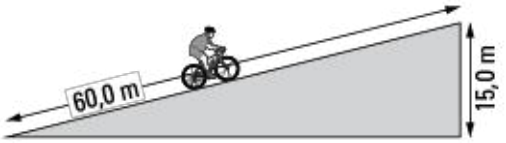
Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) Peu après être parti de chez lui, le cycliste descend une côte. Il amorce sa descente à une vitesse de 5,00 m/s. Durant la descente, il ne pédale pas et ne freine pas non plus. En parcourant 100 m, il descend de 12,0 m. L'énergie thermique dissipée sous l'effet du frottement et de la résistance de l'air est de $8{,}00 \times 10^3$ J. Quelle est la vitesse du cycliste au bas de la pente ?



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

c) Plus tard au cours de son trajet, le cycliste doit monter une côte. Durant son ascension, il s'élève de 15,0 m en parcourant 60,0 m. Sa vitesse passe de 8,00 m/s à 5,00 m/s. L'énergie thermique dissipée sous l'effet du frottement et de la résistance de l'air est de $9{,}00 \times 10^3$ J. Quel travail est effectué par la force motrice qui agit sur le vélo ?



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Sommaire

Mécanique – Module 3 L'énergie et ses transformations

Chapitre 9 L'énergie emmagasinée dans les ressorts

	Fiche
Corrigé du cahier (exercices du chapitre)	M-199
Corrigé du cahier (consolidation du module 3)	M-202
Labo 11	M-204
Labo 12	M-209
Exercices	M-217
Évaluation	M-220
Évaluation du module 3	M-223

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 9 L'énergie emmagasinée dans les ressorts

Cahier, p. 198

Section 1 Le comportement des ressorts hélicoïdaux

Cahier, p. 198 et 199

1. Données

$k = 150\ \text{N/m}$ $\Delta x = 5{,}00\ \text{cm} = 0{,}0500\ \text{m}$ $F_r = ?$

Solution

$F_r = k\Delta x = 150\ \text{N/m} \times 0{,}0500\ \text{m} = 7{,}50\ \text{N}$

Réponse : La force de rappel a une grandeur de 7,50 N.

2. *a)* C

Puisque $F = k\Delta x \rightarrow \Delta x = \frac{F}{k}$, la variation de longueur du ressort (Δx) est proportionnelle à la grandeur de la force F exercée. Si la force double, la variation de longueur double.

b) A

Puisque $F = k\Delta x \rightarrow \Delta x = \frac{F}{k}$, si la force F est constante, la variation de longueur du ressort (Δx) est inversement proportionnelle à la constante de rappel k. Si la constante de rappel double, la variation de longueur est deux fois moindre.

c) B

Puisque $F = k\Delta x \rightarrow \Delta x = \frac{F}{k}$, la variation de longueur du ressort (Δx) ne dépend que de la grandeur de la force (F) exercée et de la constante de rappel du ressort (k). La longueur naturelle du ressort n'a pas d'influence.

3. *a)* Le ressort A. Dans un graphique de la grandeur de la force de rappel en fonction de la variation de longueur d'un ressort, la pente de la droite correspond à la constante de rappel du ressort. Le ressort auquel correspond la pente la plus grande a la constante de rappel la plus élevée.

b) On peut, par exemple, faire le calcul avec les points (0, 0) et (0,30 ; 9,0).

Données

$x_i = 0\ \text{m}$ $x_f = 0{,}30\ \text{m}$ $y_i = 0\ \text{N}$ $y_f = 9{,}0\ \text{N}$

Solution

$$\text{Pente} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_f - y_i}{x_f - x_i} = \frac{9{,}0\ \text{N} - 0\ \text{N}}{0{,}30\ \text{m} - 0\ \text{m}} = 30\ \text{N/m}$$

Réponse : La constante de rappel (k) du ressort A est égale à 30 N/m.

Section 2 L'énergie potentielle élastique

Cahier, p. 203 à 206

1. *a)* **Données**

$k = 110\ \text{N/m}$ $\Delta x = 12{,}0\ \text{cm} = 0{,}120\ \text{m}$ $E_{pe} = ?$

Solution

$$E_{pe} = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 110\ \text{N/m} \times (0{,}120\ \text{m})^2$$
$$= 0{,}792\ \text{J}$$

Réponse : Le système a emmagasiné 0,792 J d'énergie potentielle élastique.

b) C

Le travail fait pour lutter contre la force de rappel d'un ressort correspond à l'énergie potentielle emmagasinée par le système qui contient ce ressort.

c)

1. A	3. C	5. A	7. C	9. A
2. B	4. B	6. B	8. B	

d) **Données**

1. Le système à considérer ici est constitué du chariot, du ressort et de la Terre. C'est un système isolé.
2. On pose que le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle est la surface sur laquelle est posé le chariot.
3. L'instant initial est celui où le chariot est lâché. L'instant final, celui où le ressort est comprimé de 2,0 cm.
4. Valeurs :

$m = 100\ \text{g} = 0{,}100\ \text{kg}$ $h_f = 0\ \text{m}$

$v_i = 0\ \text{m/s}$ $\Delta x_i = 12{,}0\ \text{cm} = 0{,}120\ \text{m}$

$k = 110\ \text{N/m}$ $\Delta x_f = 2{,}0\ \text{cm} = 0{,}020\ \text{m}$

$h_i = 0\ \text{m}$ $v_f = ?$

Solution

5. Valeurs d'énergies :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 0{,}100\ \text{kg} \times (0\ \text{m/s})^2 = 0\ \text{J}$$

$E_{cf} = ?$

$$E_{pgi} = mgh_i = 0{,}100\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times 0\ \text{m} = 0\ \text{J}$$

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

$E_{pgf} = mgh_f$
$= 0{,}100\,\text{kg} \times 9{,}80\,\text{m/s}^2 \times 0\,\text{m}$
$= 0\,\text{J}$

$E_{pel} = \frac{1}{2}k(\Delta x_i)^2$
$= \frac{1}{2} \times 110\,\text{N/m} \times (0{,}120\,\text{m})^2$
$= 0{,}792\,\text{J}$

$E_{pef} = \frac{1}{2}k(\Delta x_f)^2$
$= \frac{1}{2} \times 110\,\text{N/m} \times (0{,}020\,\text{m})^2$
$= 0{,}022\,\text{J}$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système isolé :
$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef}$
$\rightarrow E_{cf} = E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} - E_{pgf} - E_{pef}$
$= 0\,\text{J} + 0\,\text{J} + 0{,}792\,\text{J} - 0\,\text{J} - 0{,}022\,\text{J}$
$= 0{,}770\,\text{J}$

$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2 \rightarrow v_f = \sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 0{,}770\,\text{J}}{0{,}100\,\text{kg}}}$
$= 3{,}92\,\text{m/s}$

Note à l'enseignant : On aurait pu choisir de ne pas s'intéresser à l'énergie potentielle gravitationnelle, puisqu'elle ne varie pas dans cette situation. Le système n'aurait alors pas nécessairement dû inclure la Terre.

Réponse : La vitesse du chariot sera de 3,92 m/s.

2. *a)* I) Faux II) Faux

Justification : I) Pendant les oscillations du chariot, la grandeur de l'énergie mécanique du système diminue à cause des pertes d'énergie mécanique associées à la présence de frottement. II) La compression maximale est inférieure à 12,0 cm. Quand le chariot est rendu à l'extrémité gauche de sa course, toute son énergie mécanique est sous forme d'énergie potentielle élastique (à la suite de la compression du ressort), mais, à cause du frottement, il a moins d'énergie qu'au début de son mouvement. La valeur de Δx dans l'expression $E_{pe} = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$ est donc plus faible.

b) **Données**

1. Le système à considérer ici est constitué du chariot, du ressort et de la Terre. C'est un système non isolé, puisqu'il y a du frottement.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au niveau de la surface sur laquelle est posé le chariot.
3. L'instant initial est celui où le chariot est lâché. L'instant final, celui où le ressort est comprimé de 2,0 cm.
4. Valeurs :

$m = 100\,\text{g} = 0{,}100\,\text{kg}$ $h_f = 0\,\text{m}$
$v_i = 0\,\text{m/s}$ $\Delta x_i = 12{,}0\,\text{cm} = 0{,}120\,\text{m}$
$k = 110\,\text{N/m}$ $\Delta x_f = 2{,}0\,\text{cm} = 0{,}020\,\text{m}$
$h_i = 0\,\text{m}$ $F_{ext} = 0{,}190\,\text{N}$
$\Delta s = 12{,}0 + 2{,}0\,\text{cm} = 14{,}0\,\text{cm} = 0{,}140\,\text{m}$
(déplacement du chariot entre l'instant initial et l'instant final)
$\theta = 180°$ (angle entre la force de frottement $\vec{F}$ et le déplacement $\Delta\vec{s}$)
$v_f = ?$

Solution

5. Valeurs d'énergies et de travail :

$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2$
$= \frac{1}{2} \times 0{,}100\,\text{kg} \times (0\,\text{m/s})^2$
$= 0\,\text{J}$

$E_{cf} = ?$

$E_{pgi} = mgh_i$
$= 0{,}100\,\text{kg} \times 9{,}80\,\text{m/s}^2 \times 0\,\text{m}$
$= 0\,\text{J}$

$E_{pgf} = mgh_f$
$= 0{,}100\,\text{kg} \times 9{,}80\,\text{m/s}^2 \times 0\,\text{m}$
$= 0\,\text{J}$

$E_{pel} = \frac{1}{2}k(\Delta x_i)^2$
$= \frac{1}{2} \times 110\,\text{N/m} \times (0{,}120\,\text{m})^2$
$= 0{,}792\,\text{J}$

$E_{pef} = \frac{1}{2}k(\Delta x_f)^2$
$= \frac{1}{2} \times 110\,\text{N/m} \times (0{,}020\,\text{m})^2$
$= 0{,}022\,\text{J}$

$W_{ext} = F\Delta s \cos\theta$
$= 0{,}190\,\text{N} \times 0{,}140\,\text{m} \times \cos 180°$
$= -0{,}0266\,\text{J}$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système non isolé :
$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} + W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef}$
$\rightarrow E_{cf} = E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} + W_{ext} - E_{pgf} - E_{pef}$
$= 0\,\text{J} + 0\,\text{J} + 0{,}792\,\text{J} + -0{,}0266\,\text{J} - 0\,\text{J} - 0{,}022\,\text{J}$
$= 0{,}743\,\text{J}$

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2 \rightarrow v_f = \sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 0{,}743\,\text{J}}{0{,}100\,\text{kg}}}$$
$$= 3{,}85\,\text{m/s}$$

Note à l'enseignant : On aurait pu choisir de ne pas s'intéresser à l'énergie potentielle gravitationnelle, puisqu'elle ne varie pas dans cette situation. Le système n'aurait alors pas nécessairement dû inclure la Terre.

Réponse : La vitesse du chariot sera de 3,85 m/s.

Chapitre 9 Synthèse

Cahier, p. 208 et 209

1 Données

$k = 20{,}0\,\text{N/m}$ $\Delta x = 7{,}00\,\text{cm} = 0{,}0700\,\text{m}$ $F_r = ?$

Solution

Pour que le ressort tienne en place, il doit être à l'équilibre. Il faut donc que la force exercée soit égale et opposée à la force de rappel.

$F_r = k\Delta x = 20{,}0\,\text{N/m} \times 0{,}0700\,\text{m} = 1{,}40\,\text{N}$

Réponse : La force exercée doit être de 1,40 N.

2 Données

1. Le système à considérer ici est constitué du fusil, d'une fléchette et de la Terre. Entre le moment où le ressort est comprimé au maximum et se déclenche et celui où la fléchette quitte le canon, le système est un système isolé.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au niveau du ressort.
3. L'instant initial est celui où le ressort est comprimé au maximum et se déclenche. L'instant final est celui où la fléchette quitte le canon.
4. Valeurs :

$m = 12{,}0\,\text{g} = 0{,}0120\,\text{kg}$ $\Delta x_i = 7{,}00\,\text{cm} = 0{,}0700\,\text{m}$

$v_i = 0\,\text{m/s}$ $\Delta x_f = 0\,\text{m}$

$h_i = 0\,\text{m}$ $v_f = ?$

$h_f = 0\,\text{m}$

Solution

5. Valeurs d'énergies :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 0{,}0120\,\text{kg} \times (0\,\text{m/s})^2$$
$$= 0\,\text{J}$$

$E_{cf} = ?$

$$E_{pgi} = mgh_i$$
$$= 0{,}0120\,\text{kg} \times 9{,}80\,\text{m/s}^2 \times 0\,\text{m}$$
$$= 0\,\text{J}$$

$$E_{pgf} = mgh_f$$
$$= 0{,}0120\,\text{kg} \times 9{,}80\,\text{m/s}^2 \times 0\,\text{m}$$
$$= 0\,\text{J}$$

$$E_{pei} = \frac{1}{2}k(\Delta x_i)^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 20{,}0\,\text{N/m} \times (0{,}0700\,\text{m})^2$$
$$= 0{,}0490\,\text{J}$$

$$E_{pef} = \frac{1}{2}k(\Delta x_f)^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 20{,}0\,\text{N/m} \times (0\,\text{m})^2$$
$$= 0\,\text{J}$$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système isolé :

$$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef}$$
$$\rightarrow E_{cf} = E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} - E_{pgf} - E_{pef}$$
$$= 0\,\text{J} + 0\,\text{J} + 0{,}0490\,\text{J} - 0\,\text{J} - 0\,\text{J}$$
$$= 0{,}0490\,\text{J}$$

$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2 \rightarrow v_f = \sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 0{,}0490\,\text{J}}{0{,}0120\,\text{kg}}}$$
$$= 2{,}86\,\text{m/s}$$

Réponse : Lorsqu'elle quitte le canon, la fléchette atteint une vitesse de 2,86 m/s.

3 *a)* C

Si la constante de rappel du ressort est plus grande et que la compression est la même, l'énergie potentielle élastique initiale (et donc l'énergie mécanique initiale) est plus grande. L'énergie cinétique finale (et donc l'énergie mécanique finale) est donc plus grande : la vitesse de la fléchette en sortant du canon est plus grande.

b) A

L'énergie potentielle élastique ne dépend pas de la masse. Ainsi, la quantité d'énergie potentielle élastique initiale (et donc l'énergie mécanique initiale) est la même. L'énergie cinétique finale (et donc l'énergie mécanique finale) est donc également la même. Si la masse de la fléchette est plus grande, cette quantité d'énergie cinétique correspondra à une vitesse plus faible (puisque l'énergie cinétique est proportionnelle au produit de la masse et du carré de la vitesse).

c) A

Lorsque la fléchette monte dans le canon, le système transforme une partie de l'énergie potentielle élastique en énergie potentielle gravitationnelle plutôt qu'en énergie cinétique. La fléchette a donc moins d'énergie cinétique en sortant du canon, et, par conséquent, une vitesse plus faible.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Module 3 Consolidation

Cahier, p. 210 à 212

1 L'énergie mécanique peut être sous forme d'énergie cinétique, d'énergie potentielle gravitationnelle ou d'énergie potentielle élastique. Elle se mesure en joules.

Le travail est un transfert d'énergie mécanique qui s'opère par l'action d'une force. Il se mesure en joules.

La puissance mécanique correspond à la quantité de travail effectué par unité de temps. Elle se mesure en watts.

2 *a)* **Données**

1. Le système à considérer ici est constitué du camion et de la Terre. Ce n'est pas un système isolé, puisqu'il y a du frottement.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au niveau de l'entrée du lit d'arrêt.
3. L'instant initial est celui où le camion arrive sur le lit d'arrêt. L'instant final est celui où il est arrêté.
4. Valeurs :

$m = 2{,}30 \times 10^4$ kg

$F_{ext} = 7{,}00 \times 10^4$ N

$\Delta s = 120$ m

$\theta = 180°$ (angle entre la force de frottement et le déplacement du camion)

$h_i = 0$ m

$h_f = 10{,}5$ m

$v_f = 0$ m/s

$v_i = ?$

Solution

5. Valeurs d'énergies et de travail (comme il n'y a pas de ressort dans le système, l'énergie potentielle élastique n'est pas définie) :

$E_{ci} = ?$

$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2$$
$$= \frac{1}{2} \times (2{,}30 \times 10^4 \text{ kg}) \times (0 \text{ m/s})^2$$
$$= 0 \text{ J}$$

$$E_{pgi} = mgh_i$$
$$= (2{,}30 \times 10^4 \text{ kg}) \times 9{,}80 \text{ N/kg} \times 0 \text{ m}$$
$$= 0 \text{ J}$$

$$E_{pgf} = mgh_f$$
$$= (2{,}30 \times 10^4 \text{ kg}) \times 9{,}80 \text{ N/kg} \times 10{,}5 \text{ m}$$
$$= 2{,}37 \times 10^6 \text{ J}$$

$$W_{ext} = F_{ext}\Delta s \cos\theta$$
$$= (7{,}00 \times 10^4 \text{ N}) \times 120 \text{ m} \times \cos 180°$$
$$= {}^{-}8{,}40 \times 10^6 \text{ J}$$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système non isolé :

$$E_{ci} + E_{pgi} + W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf}$$
$$\rightarrow \quad E_{ci} = E_{cf} + E_{pgf} - E_{pgi} - W_{ext}$$
$$= 0 \text{ J} + 2{,}37 \times 10^6 \text{ J} + 0 \text{ J} - ({}^{-}8{,}40 \times 10^6 \text{ J})$$
$$= 1{,}08 \times 10^7 \text{ J}$$

$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2 \quad \rightarrow \quad v_f = \sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}}$$
$$= \sqrt{\frac{2 \times 1{,}08 \times 10^7 \text{ J}}{2{,}30 \times 10^4 \text{ kg}}}$$
$$= 30{,}6 \text{ m/s} = 110 \text{ km/h}$$

Réponse : Le camion est entré sur le lit d'arrêt à 110 km/h (30,6 m/s).

b) Elle est transformée en énergie thermique sous l'effet du frottement qui agit sur les pneus du camion. Cette énergie thermique est dissipée dans le camion et le gravier, puis dans l'air qui les entoure.

c) **Données**

$F = 7{,}00 \times 10^4$ N

$\Delta s = 120$ m

$\theta = 180°$ (angle entre la force de frottement et le déplacement du camion)

$\Delta t = 7{,}84$ s

$P = ?$

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Solution

1. Calcul du travail effectué par le frottement sur le camion :

$$W = F\Delta s\cos\theta$$
$$= (7{,}00\times10^4\ \text{N})\times120\ \text{m}\times\cos180°$$
$$= -8{,}40\times10^6\ \text{J}$$

(Ce résultat avait déjà été obtenu à la question *a*.)

2. Calcul de la puissance :

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{-8{,}40\times10^6\ \text{J}}{7{,}84\ \text{s}} = -1{,}07\times10^6\ \text{W}$$

Réponse : La puissance du frottement est $P = -1{,}07\times10^6$ W.

3 **Données**

1. Le système à considérer ici est constitué du bloc, du ressort et de la Terre. C'est un système isolé.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au niveau le plus bas atteint par le bloc, 15,0 cm en dessous de son point de départ.
3. L'instant initial est celui où le bloc commence à glisser. L'instant final est celui où il est arrêté sur le ressort.
4. Valeurs :

$m = 125\ \text{g} = 0{,}125\ \text{kg}$	$v_f = 0\ \text{m/s}$
$h_i = 15{,}0\ \text{cm} = 0{,}150\ \text{m}$	$\Delta x_i = 0\ \text{m}$
$h_f = 0\ \text{m}$	$\Delta x_f = 5{,}00\ \text{cm} = 0{,}0500\ \text{m}$
$v_i = 2{,}50\ \text{m/s}$	$k = ?$

Solution

5. Valeurs d'énergies :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2$$
$$= \frac{1}{2}\times0{,}125\ \text{kg}\times(2{,}50\ \text{m/s})^2$$
$$= 0{,}391\ \text{J}$$

$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2$$
$$= \frac{1}{2}\times0{,}125\ \text{kg}\times(0\ \text{m/s})^2$$
$$= 0\ \text{J}$$

$$E_{pgi} = mgh_i$$
$$= 0{,}125\ \text{kg}\times9{,}80\ \text{m/s}^2\times0{,}150\ \text{m}$$
$$= 0{,}184\ \text{J}$$

$$E_{pgf} = mgh_f$$
$$= 0{,}125\ \text{kg}\times9{,}80\ \text{m/s}^2\times0\ \text{m}$$
$$= 0\ \text{J}$$

$$E_{pei} = \frac{1}{2}k(\Delta x_i)^2$$
$$= \frac{1}{2}\times100\ \text{N/m}\times(0\ \text{m})^2$$
$$= 0\ \text{J}$$

$$E_{pef} = ?$$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système isolé :

$$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef}$$
$$\rightarrow\ E_{pef} = E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} - E_{cf} - E_{pgf}$$
$$= 0{,}391\ \text{J} + 0{,}184\ \text{J} + 0\ \text{J} - 0\ \text{J} - 0\ \text{J}$$
$$= 0{,}575\ \text{J}$$

$$E_{pef} = \frac{1}{2}k(\Delta x_f)^2 \quad\rightarrow\quad k = \frac{2E_{pef}}{(\Delta x_f)^2}$$
$$= \frac{2\times0{,}575\ \text{J}}{(0{,}0500\ \text{m})^2}$$
$$= 460\ \text{N/m}$$

Réponse : La constante de rappel du ressort est de 460 N/m.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Labo 11 La loi de Hooke

Cahier, p. 196

Mise en situation

Confort à ressort

Un élément essentiel du confort des passagers d'une voiture est sans contredit le système de suspension. Celui-ci est principalement constitué, pour chaque roue, d'un immense ressort et d'un amortisseur. Lorsque la voiture rencontre un obstacle, le ressort se comprime, puis reprend sa forme. À l'inverse, si la roue survole un trou, le ressort s'étire de façon à anticiper l'impact avec le bord du trou. Pour assurer un meilleur confort et une tenue de route optimale, le ressort utilisé doit être adapté à la masse du véhicule – les sous-compactes étant plus légères que les minifourgonnettes –, mais également à l'utilisation du véhicule (promenade, transport de marchandises, etc.). Si vous utilisez un ressort avec une constante de rappel mal adaptée à votre véhicule, vous constaterez rapidement que beaucoup d'aspects de la conduite en seront affectés.

La préparation

1. Comment se nomme la relation entre la force de rappel et la variation de longueur d'un ressort ?

_____

2. Quelle formule représente cette relation ?

_____

3. Pour chaque variable de la formule précédente, quelles sont les unités de mesure utilisées ?

_____

_____

4. Pour faciliter les calculs, nous considérons les ressorts comme « idéaux ». Que cela implique-t-il ?

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Labo 11 La loi de Hooke

Cahier, p. 196

Le but de l'expérience

Déterminer la relation entre la force appliquée sur un ressort et l'allongement de celui-ci.

L'hypothèse

D'après vous, quel type de relation y a-t-il entre la force appliquée sur un ressort et l'allongement de celui-ci ? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

_____

_____

Le protocole expérimental

Matériel

Pour le groupe classe
- Différents types de ressorts (facultatif)

Par dyade
- Un ressort de tension
- Un support universel
- Un anneau à noix
- Une tige (de 15 à 20 cm)
- Un jeu de masses à crochet (ou un jeu de masses et un support à masse)
- Une règle ou un pied à coulisse

Manipulations

1. À l'aide d'une noix d'assemblage, fixer la tige perpendiculairement au support universel. Accrocher l'une des extrémités du ressort à la tige horizontale, de façon que le ressort soit suspendu verticalement et parallèlement au support universel.
2. Mesurer la longueur du ressort. Prendre la mesure en partant de la tige à laquelle le ressort est suspendu jusqu'à la dernière spire. Cela permet de prendre des mesures plus précises, puisqu'on utilise toujours le même point de repère. Répondre à la question 1 de la partie « Les résultats ».
3. Accrocher une masse de 50 g à l'extrémité libre du ressort. Remplir la rangée correspondante du tableau 1 de la partie « Les résultats » (question 2).
4. Mesurer la longueur du ressort (attendre d'abord qu'il se soit stabilisé).
5. Répéter les manipulations 3 et 4 cinq fois en augmentant chaque fois la masse suspendue de 50 g.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Les résultats

1. Quelle est la longueur du ressort, en mètres (m), lorsqu'il est suspendu verticalement au support universel ?

_____

2. Remplissez le tableau 1 ci-dessous. Considérez que, lorsque l'équilibre est atteint, la force appliquée sur le ressort correspond à la force gravitationnelle qui agit sur la masse suspendue.

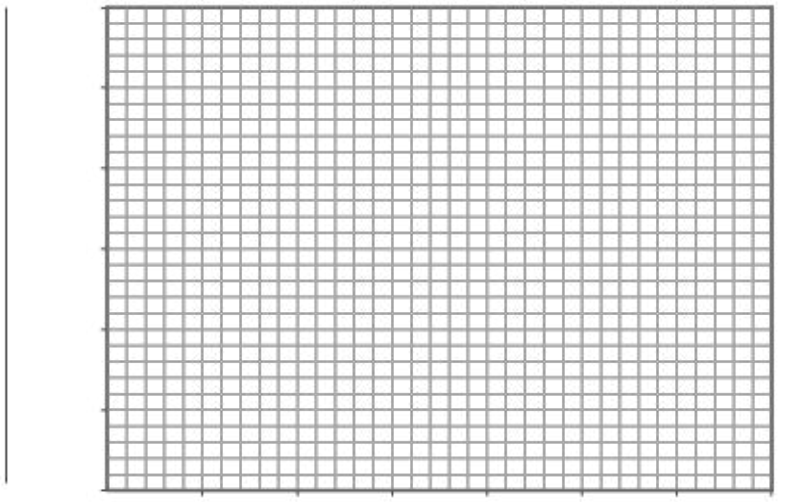
TABLEAU 1
La force appliquée sur le ressort ainsi que la longueur et l'allongement du ressort en fonction de la masse suspendue

Masse suspendue (g)	Force appliquée sur le ressort *F* (N)	Longueur du ressort (m)	Allongement du ressort Δx (m)

L'analyse des résultats

3. Sur le quadrillage ci-dessous, tracez le graphique de l'allongement du ressort en fonction de la force appliquée. Pour ce faire, utilisez les données que vous avez notées dans le tableau 1. Donnez un titre à votre graphique, identifiez ses axes et graduez-les.

_____



_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4. Quel type de relation unit la force appliquée sur un ressort à l'allongement de celui-ci ? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

5. Calculez la pente du graphique qui a été tracé à la question 3.

6. À la question 5, vous avez calculé la constante de proportionnalité dans la relation qui unit la force appliquée sur un ressort (variable indépendante) à l'allongement de ce ressort (variable dépendante). Habituellement, on choisit d'utiliser l'allongement comme variable indépendante pour exprimer l'allongement d'un ressort en fonction de la force appliquée. Que deviendrait la constante de proportionnalité du ressort dans ce cas ?

Réponse : _____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

7. Quelles sont les causes d'erreurs dans cette expérience ?

_____

_____

_____

_____

_____

_____

La conclusion

8. *a)* Au cours de ce laboratoire, vous avez déterminé la relation qui unit la force (F) appliquée sur un ressort à son allongement (Δx), dans le cas d'un ressort particulier. La relation qui unit ces deux variables est du même type pour tous les ressorts, mais la constante de proportionnalité change. Généralement, la constante de proportionnalité unissant la force (F) appliquée sur un ressort (variable dépendante) à son allongement (Δx) (variable indépendante) est appelée « constante de rappel » et elle est symbolisée par la lettre k.

Donnez l'équation générale qui relie la force (F) appliquée sur un ressort (variable dépendante), à sa constante de rappel (k) et à son allongement (Δx) (variable indépendante). Cette relation est connue sous le nom de la loi de Hooke.

_____

b) Votre hypothèse de départ était-elle juste ? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Labo 12

Le calcul de l'énergie potentielle élastique d'un ressort

Cahier, p. 200

Mise en situation

Le trampoline

Depuis quelques années, la popularité des trampolines ne cesse d'augmenter. De diamètres variés, ces jeux d'extérieur font le plaisir des enfants qui s'amusent sans relâche à y sauter et rebondir. Or, sans le savoir, ces jeunes mettent en pratique de nombreux concepts de physique mécanique. Un de ces concepts concerne l'énergie potentielle emmagasinée dans les ressorts. Plus précisément, la toile du trampoline est retenue à sa structure métallique par quelques dizaines de ressorts, chacun s'étirant en fonction du poids de l'enfant. Elle emmagasine ainsi de l'énergie, pour ensuite se contracter et libérer cette énergie pour propulser l'enfant dans les airs. La physique impliquée dans ce simple jeu est complexe: est-ce pour cette raison que le trampoline est en compétition officielle aux jeux olympiques d'été ?

La préparation

1. Sur le trampoline, quelle force tire l'enfant vers le bas ?

_____

2. Quand l'enfant est dans les airs, immobile pendant une fraction de seconde au point le plus haut de sa trajectoire,

a) quelle est la valeur de son énergie cinétique ?

_____

b) en quel type d'énergie s'est alors transformée son énergie mécanique ?

_____

3. Quelle formule permet de calculer cette énergie ?

_____

4. Pour chaque variable de la formule précédente, quelles sont les unités de mesure utilisées ?

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Labo 12

Le calcul de l'énergie potentielle élastique d'un ressort

Cahier, p. 200

Le but de l'expérience

Vérifier une hypothèse concernant l'équation utilisée pour calculer la quantité d'énergie potentielle élastique emmagasinée dans un ressort étiré ou comprimé.

L'hypothèse

En vous basant sur vos connaissances théoriques, dites quelle équation devrait pouvoir être utilisée pour évaluer la quantité d'énergie potentielle élastique emmagasinée dans un ressort étiré. Définissez les variables qui entrent dans cette équation.

_____

_____

Le protocole expérimental

Matériel

Par dyade

- Un ressort de tension dont la constante de rappel est connue
- Un bloc de bois muni d'un crochet (pour y accrocher le ressort)
- Un chronomètre à étincelles (ou à jets d'encre)
- Un ruban enregistreur
- Un chariot à faible frottement et son rail
- Une masse à crochet d'environ 500 g
- Du fil de pêche d'environ 1,5 m de longueur
- Une ou plusieurs serres en C
- Une poulie de table d'étude des forces
- Un morceau de mousse (pour protéger le plancher)
- Une règle de 1 m
- Du ruban adhésif
- Une balance électronique ou une balance à fléau

Manipulations

1. Noter la constante de rappel du ressort utilisé en répondant à la question 1 de la partie « Les résultats ».
2. Peser le chariot et répondre à la question 2 de la partie « Les résultats ».
3. Réaliser le montage illustré à la figure 1 de la page suivante.
   - Installer le chronomètre sur le bloc de bois et fixer le tout à la table au moyen d'une ou de plusieurs serres en C. Faire en sorte que le crochet du bloc de bois soit à la même hauteur que le crochet qui est sur le chariot afin que les deux crochets soient vis-à-vis l'un de l'autre lorsqu'on y accrochera le ressort.
   - Insérer le ruban enregistreur dans le chronomètre et coller l'extrémité du ruban au centre de l'arrière du chariot à l'aide du ruban adhésif.
   - Accrocher le ressort de tension au chariot et au bloc de bois.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

– Placer le chariot de façon que le ressort ne soit pas étiré.
– Attacher le fil de pêche au chariot.
– Faire passer le fil de pêche dans la gorge de la poulie.
– Suspendre la masse à crochet au fil de pêche et la tenir en place, à environ 25 cm du sol.
– Installer le morceau de mousse sous la masse. Ainsi, le plancher sera protégé lorsqu'on laissera tomber la masse.

4 Si la fréquence du chronomètre est ajustable, la régler à 60 Hz.

5 Démarrer le chronomètre et laisser tomber tout de suite la masse.

6 Arrêter le chronomètre lorsque la masse est au sol et retirer le ruban enregistreur. S'assurer que les différents points sont bien visibles sur le ruban. Sinon, consulter votre enseignant (ou encore le technicien en travaux pratiques). Au besoin, recommencer le début de l'expérience.

7 Encercler, sur le ruban, le point correspondant à la position initiale du chariot et noter que ce point correspond au temps $t = 0{,}00$ s.

8 Répondre à la question 3 de la partie « Les résultats ».

(Attention, les mesures des positions des points doivent être très précises !)

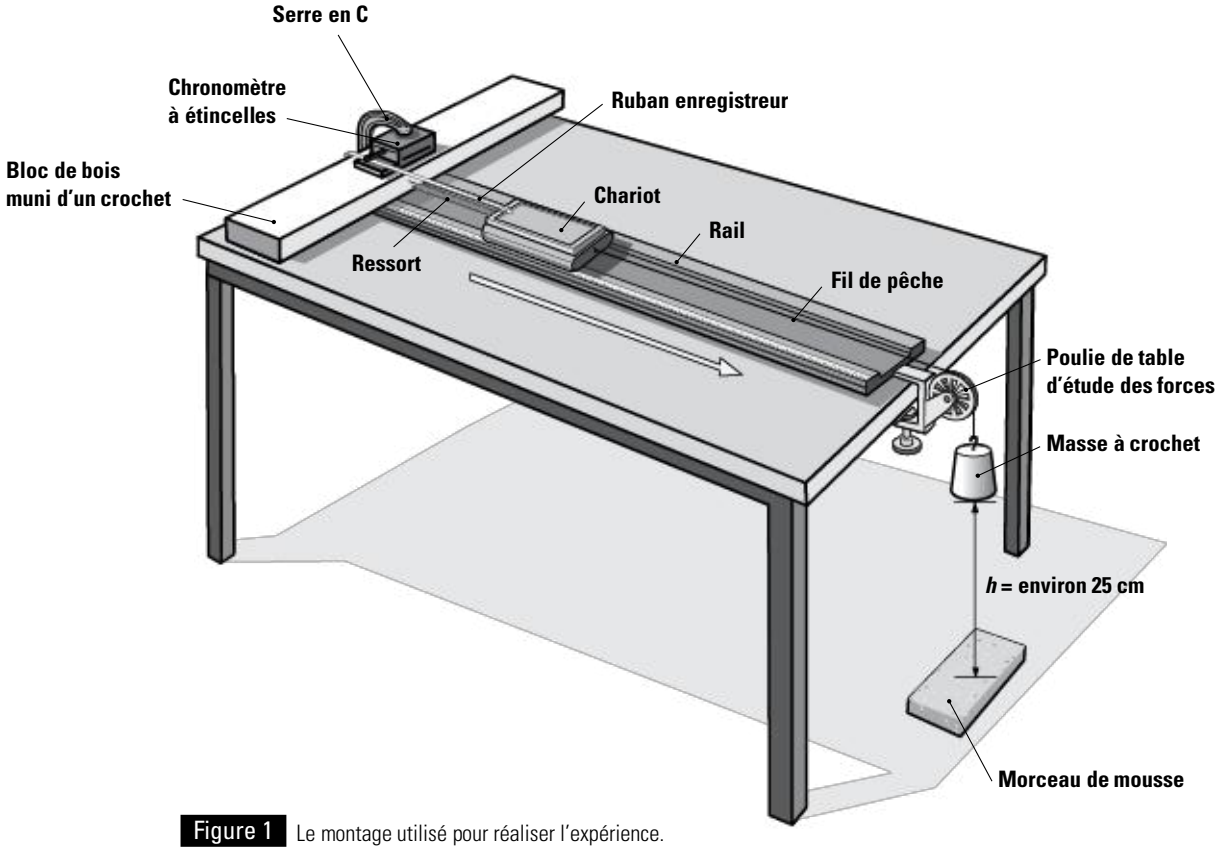


Figure 1 Le montage utilisé pour réaliser l'expérience.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Les résultats

1. Quelle est la constante de rappel, en newtons par mètre (N/m), du ressort que vous utilisez ?

_____

2. Quelle est la masse du chariot, en kilogrammes (kg) ?

_____

3. Remplissez le tableau 1 ci-dessous. Pour que cela soit plus pratique, ne tenez pas compte de tous les points marqués sur le ruban enregistreur. Considérez seulement un point sur trois. (Ainsi, à partir du point correspondant au temps $t = 0{,}00$ s, passez deux points, puis inscrivez le temps auquel correspond le troisième point et mesurez sa position.)

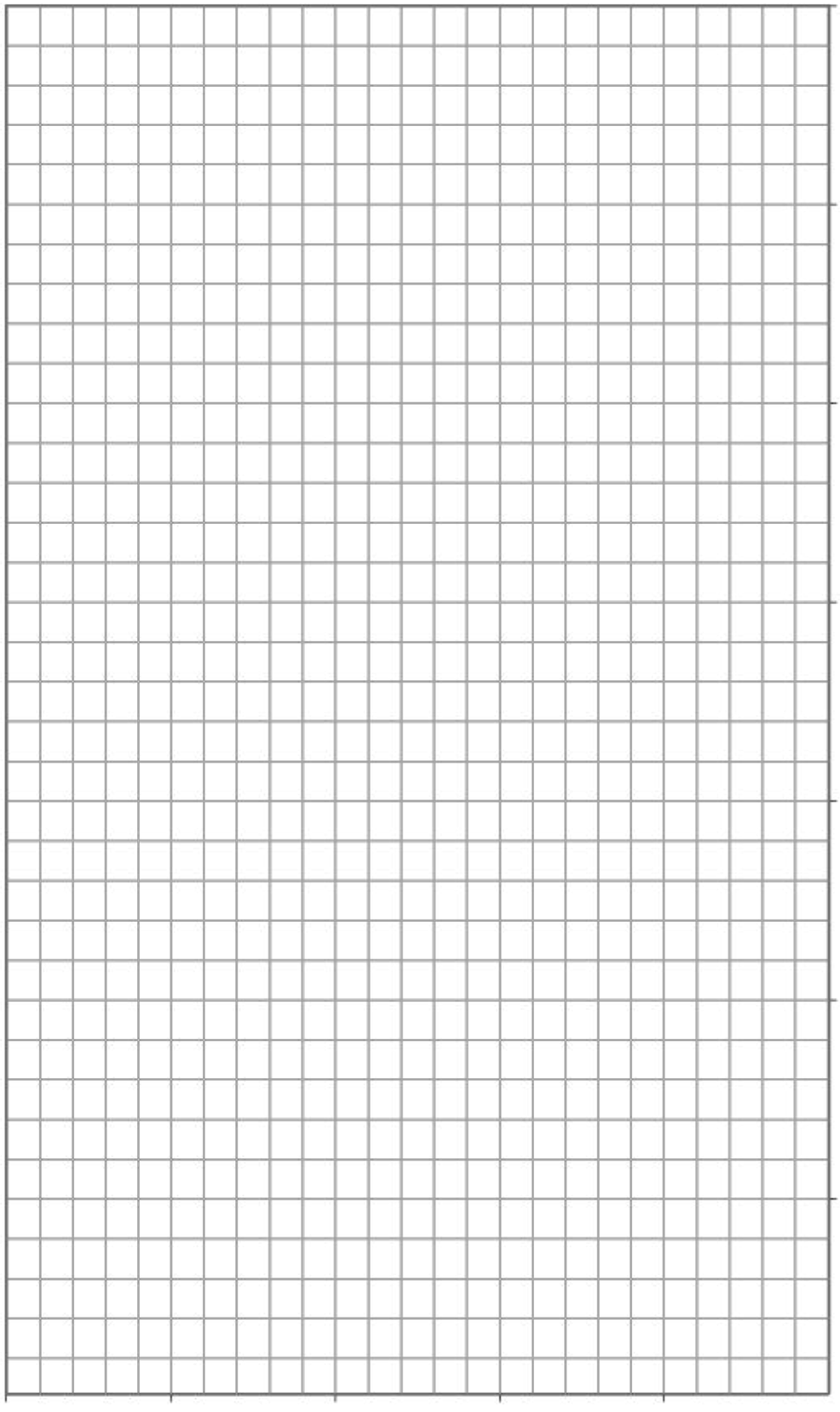
TABLEAU 1
La position du chariot en fonction du temps

Temps *t* (s)	Position *x* (m)
0,00	

L'analyse des résultats

4. *a)* Sur le quadrillage présenté à la page suivante, tracez le graphique de la position du chariot en fonction du temps. Pour ce faire, utilisez les données que vous avez notées dans le tableau 1. Donnez un titre à votre graphique, identifiez ses axes et graduez-les.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.



Réponse à la question 4 *a*
Réponse à la question 4 *b*

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) Utilisez le graphique tracé en *a* de la page précédente pour évaluer la vitesse que le chariot avait juste avant que la masse atteigne le sol. Laissez des traces de votre démarche.

5. *a)* Si l'on choisit le morceau de mousse comme niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle de la masse suspendue et que l'on suppose que l'énergie potentielle élastique emmagasinée dans le ressort était nulle (le ressort n'étant alors pas étiré) avant qu'on laisse aller la masse, quelle était l'énergie mécanique initiale (E_{mi}) du système ressort-chariot-masse suspendue avant qu'on lâche la masse ? (On ne tient pas compte de la masse du ressort.)

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) Si l'on suppose que le frottement et la résistance de l'air sont négligeables dans cette expérience, quelle devrait être l'énergie mécanique du système ressort-chariot-masse suspendue juste avant que la masse touche le morceau de mousse ? Expliquez votre réponse.

_____

_____

_____

_____

c) Donnez une expression algébrique correspondant à l'énergie mécanique finale (E_{mf}) du système juste avant que la masse touche le morceau de mousse. Définissez les variables que vous utilisez.

_____

_____

_____

_____

d) Utilisez l'équation trouvée en *c* pour évaluer numériquement l'énergie potentielle élastique finale du système.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

e) La valeur numérique trouvée en *d* à la page précédente est-elle cohérente avec l'équation posée en hypothèse ? Expliquez votre réponse.

6. Quelles sont les causes d'erreurs dans cette expérience ?

La conclusion

7. L'expérience a-t-elle confirmé la validité de l'équation de l'énergie potentielle élastique posée en hypothèse ? Expliquez votre réponse.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 9 L'énergie emmagasinée dans les ressorts

1 Complétez les définitions suivantes.

a) La relation entre la force de _____ et la variation de _____ d'un ressort est connue sous le nom de loi de _____. Cette relation permet de trouver la _____ de rappel (k) d'un ressort.

b) La force de _____ d'un ressort agit toujours en sens _____ par rapport au _____ de l'extrémité libre du ressort.

c) L'énergie _____ _____ (E_{pe}) est une forme d'énergie _____ (E_m) qui est égale à l'_____ que l'on transfère à un _____ luttant contre la _____ de rappel d'un ressort.

d) Pour faciliter les calculs, tous les ressorts sont considérés comme idéaux, c'est-à-dire que leur masse est _____ et qu'ils ne subissent aucune _____.

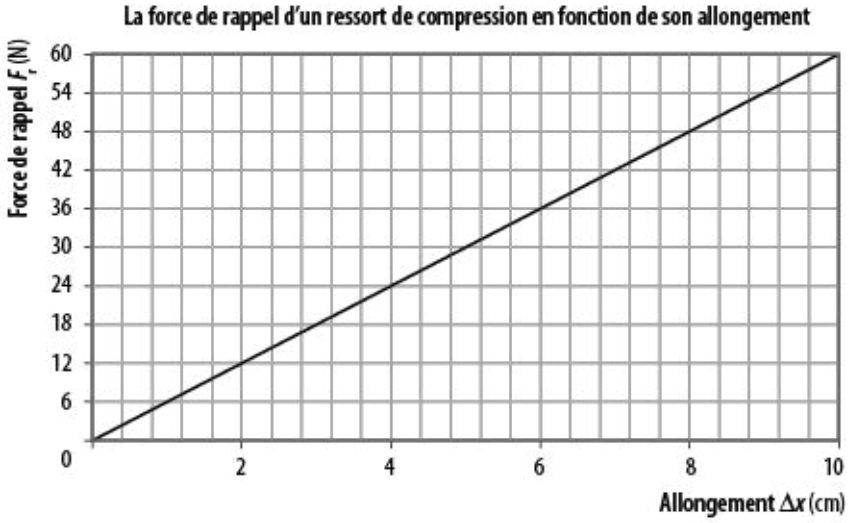
2 Un ressort comprimé de 7,5 cm possède une force de rappel de 1,25 N.

a) Calculez la constante de rappel de ce ressort.

b) Calculez son énergie potentielle élastique.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

3 Un ressort a une longueur de 24,0 cm au repos. Le graphique suivant présente la grandeur de la force de rappel requise pour obtenir différentes variations de longueur.



a) Calculez la constante de rappel de ce ressort.

b) Quelle sera la longueur du ressort, à l'équilibre, si on y accroche une masse 2,75 kg ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4 DÉFI

Un trampoline est équipé de 96 ressorts ayant chacun une constante de rappel de 3500 N/m et une longueur de 12,50 cm. Après un saut, un enfant de 45,0 kg atterrit sur le trampoline et chaque ressort s'allonge à 17,75 cm. Calculez la hauteur atteinte par l'enfant lors du saut précédent.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Chapitre 9 L'énergie emmagasinée dans les ressorts

/100

1. Deux matelas comptent le même nombre de ressorts de même dimension, mais l'un des matelas est plus ferme que l'autre. Quelle différence entre les ressorts des deux matelas peut expliquer cela ? Justifiez votre réponse. **/15**

_____

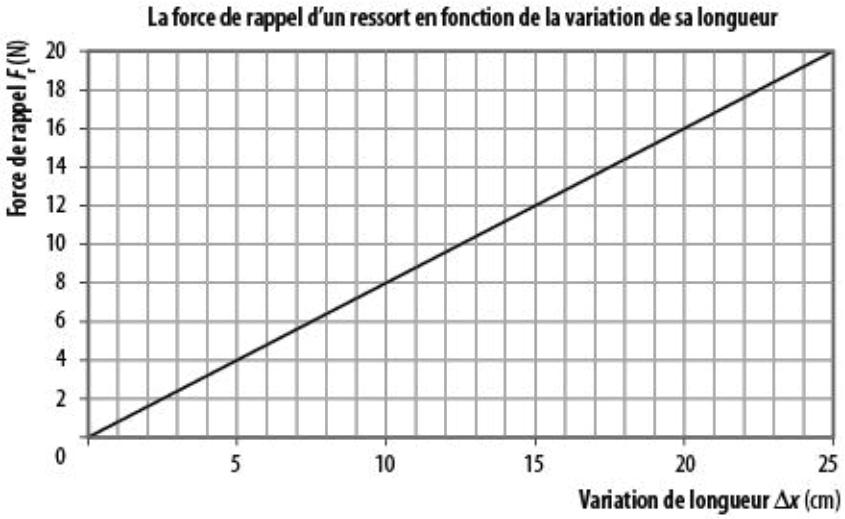
_____

_____

_____

_____

2. Le graphique ci-dessous représente la force de rappel d'un ressort en fonction de la variation de sa longueur. Lorsque la force de rappel du ressort est nulle, la longueur du ressort est de 50 cm. La force appliquée sur lui a pour effet de l'étirer. **/30**



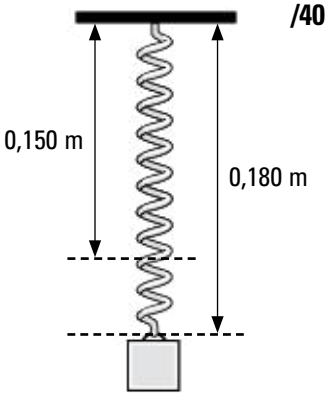
a) Quelle est la constante de rappel du ressort ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) Quelle sera la longueur du ressort, à l'équilibre, si on y applique une force d'étirement de 32,0 N ?

3. Un ressort est initialement étiré de 20,0 cm. Lorsqu'on le relâche, il libère 2,50 J d'énergie. Quelle est la constante de rappel de ce ressort ? **/15**

4. Un ressort dont la constante de rappel est de 35,0 N/m est accroché verticalement au plafond. Sa longueur naturelle est de 0,150 m. On y suspend délicatement un bloc de 0,250 kg. Le ressort et le bloc se mettent à osciller. Quelle est la vitesse du bloc quand la longueur du ressort atteint 0,180 m ? (On néglige les pertes d'énergie associées à la résistance de l'air et au frottement.) **/40**



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Module 3 L'énergie et ses transformations

/100

1. À l'aide des mots et des expressions dans l'encadré suivant, complétez les deux textes ci-dessous. Les mots et expressions peuvent être utilisés plus d'une fois. **/20**

- cinétique
- mécanique
- potentielle gravitationnelle
- potentielle élastique
- thermique

Le fonctionnement d'une voiture-jouet à ressort

En faisant tourner une manivelle, on étire un ressort. En se détendant, celui-ci entraîne le mouvement des roues de la voiture. Ainsi, l'énergie _____ emmagasinée dans le ressort est transférée aux roues (et à l'ensemble de la voiture) sous la forme d'énergie _____. Une fois le ressort complètement détendu, l'énergie _____* de la voiture est maximale. Toutefois, au fil du roulement, à cause du frottement, l'énergie _____ des roues et de la voiture diminue, en se transformant en énergie _____ .

** Deux réponses sont possibles. Écrivez-en une.*

La chute d'une noix de coco

On s'intéresse au système formé d'une noix de coco et de la Terre. Quand la noix de coco se détache de l'arbre, elle a initialement une énergie _____ nulle, mais celle-ci augmente au fur et à mesure que l'énergie _____ du système diminue. Toutefois, en présence de la force de résistance de l'air, l'énergie _____ du système n'est pas constante : une partie est convertie en énergie _____.

2. Un paysan remonte un seau d'un puits profond en tirant sur la longue corde qui le retient. Initialement immobile, le seau plein d'eau a une masse totale de 10,0 kg. 6,25 s plus tard, le seau a monté de 5,00 m et sa vitesse est de 1,60 m/s. (On néglige les effets du frottement et de la résistance de l'air.) **/50**

a) Quel est le travail effectué sur le seau par la force gravitationnelle durant les 6,25 s considérées ici ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) En utilisant la loi de la conservation de l'énergie, calculez le travail effectué sur le seau par la tension dans la corde durant les 6,25 s considérées ici.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

c) Quelle est la puissance associée à la tension dans la corde ?

3. Un ressort dont la constante de rappel est de 60,0 N/m est accroché verticalement au plafond. Sa longueur naturelle est de 0,200 m. On y suspend délicatement une petite boule. Dès qu'on la lâche, le ressort commence à s'étirer et la boule se met à descendre. Le ressort atteint une longueur maximale de 0,275 m avant que la boule ne commence à remonter. **/30**

a) Quelle est la masse de la boule ? (On néglige les pertes d'énergie associées à la résistance de l'air et au frottement.)

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) Quelle est la grandeur de la force de rappel exercée par le ressort sur la boule quand sa longueur est de 0,275 m ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Sommaire

Mécanique

Révision de fin d'année

	Fiche
Corrigé du cahier (révision de fin d'année)	M-229
Examen de fin d'année	M-234

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Révision de fin d'année

Cahier, p. 213

Chapitres 1 et 2
Le mouvement rectiligne uniforme et le mouvement rectiligne uniformément accéléré

Cahier, p. 213 à 215

1. *a)* **Solution**

Il faut calculer l'aire totale sous la courbe.

De $t = 0$ s à $t = 20$ s : $\Delta x = v\Delta t = 10\text{ m/s} \times 20\text{ s} = 200\text{ m}$

De $t = 20$ s à $t = 40$ s : $\Delta x = v_i\Delta t + \frac{1}{2} \times \Delta v \times \Delta t$

$= 10\text{ m/s} \times 20\text{ s} + \frac{1}{2} \times 10\text{ m/s} \times 20\text{ s}$

$= 300\text{ m}$

De $t = 40$ s à $t = 50$ s : $\Delta x = v\Delta t = 20\text{ m/s} \times 10\text{ s} = 200\text{ m}$

De $t = 50$ s à $t = 60$ s : $\Delta x = \frac{1}{2} \times \Delta v \times \Delta t$

$= \frac{1}{2} \times 20\text{ m/s} \times 10\text{ s} = 100\text{ m}$

De $t = 60$ s à $t = 70$ s : $\Delta x = v\Delta t = 0\text{ m/s} \times 10\text{ s} = 0\text{ m}$

De $t = 70$ s à $t = 90$ s : $\Delta x = \frac{1}{2} \times \Delta v \times \Delta t$

$= \frac{1}{2} \times {}^{-}20\text{ m/s} \times 20\text{ s} = {}^{-}200\text{ m}$

De $t = 90$ s à $t = 120$ s : $\Delta x = v\Delta t$

$= {}^{-}20\text{ m/s} \times 30\text{ s} = {}^{-}600\text{ m}$

La somme de chacun de ces déplacements est :

$\Delta x = 200\text{ m} + 300\text{ m} + 200\text{ m} + 100\text{ m} + 0\text{ m} + {}^{-}200\text{ m} + {}^{-}600\text{ m}$

$= 0\text{ m}$

Réponse : Le déplacement de la voiture est nul.

b) **Solution**

Il faut calculer la somme des valeurs absolues des déplacements :

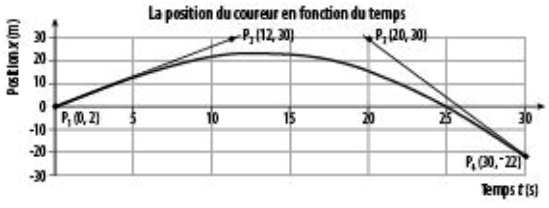
$L = |200\text{ m}| + |300\text{ m}| + |200\text{ m}| + |100\text{ m}| + |0\text{ m}| + |{}^{-}200\text{ m}| + |{}^{-}600\text{ m}|$

$= 1600\text{ m}$

Réponse : La distance parcourue par la voiture est de 1600 m.

c) La norme de l'accélération est maximale entre $t = 50$ s et $t = 60$ s. En valeur absolue, le taux de variation (la pente) est visiblement plus grand durant cet intervalle.

2.



a) **Données**

À $t = 15$ s, le coureur est à environ 22 m.

À $t = 25$ s, le coureur est à 0 m.

Solution

$$v_{moy} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{0\text{ m} - 22\text{ m}}{25\text{ s} - 15\text{ s}} = {}^{-}2{,}2\text{ m/s}$$

Réponse : La vitesse moyenne du coureur est d'environ $^{-}2{,}2$ m/s.

b) **Données**

Par la méthode de la tangente, on a : P_1 (0 s, 2 m) et P_2 (12 s, 30 m).

Solution

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{30\text{ m} - 2\text{ m}}{12\text{ s} - 0\text{ s}} = 2{,}3\text{ m/s}$$

Réponse : La vitesse instantanée à $t = 5$ s est de 2,3 m/s.

c) Le coureur est à peu près immobile entre $t = 12$ s et $t = 14$ s. Le taux de variation (la pente) de la position en fonction du temps, donc la vitesse, est nul.

d) **Données**

À $t = 30$ s, la valeur absolue du taux de variation (la pente) de la position en fonction du temps, donc la vitesse, est maximale. Par la méthode de la tangente, on a : P_3 (20 s, 30 m) et P_4 (30 s, $^{-}22$ m).

Solution

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{30\text{ m} + 22\text{ m}}{20\text{ s} - 30\text{ s}} = {}^{-}5{,}2\text{ m/s}$$

Réponse : La valeur absolue de la vitesse instantanée à $t = 30$ s est de 5,2 m/s.

3. *a)* **Données**

$x_i = 0\text{ m}$ $\quad v_f = 0\text{ m/s}$ $\quad t_f = ?$

$x_f = ?$ $\quad t_i = 0\text{ s}$ $\quad a = {}^{-}3{,}00\text{ m/s}^2$

$v_i = 90{,}0\text{ km/h} = 25{,}0\text{ m/s}$

Solution

On utilise l'équation 1 : $v_f = v_i + a\Delta t$

$$\Delta t = \frac{v_f - v_i}{a} = \frac{0\text{ m/s} - 25{,}0\text{ m/s}}{{}^{-}3{,}00\text{ m/s}^2} = 8{,}33\text{ s}$$

Réponse : Le train mettra 8,33 s pour s'arrêter.

b) **Solution**

On utilise l'équation 4 : $v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$

$$\rightarrow \quad \Delta x = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a} = \frac{(0\text{ m/s})^2 - (25{,}0\text{ m/s})^2}{2 \times ({}^{-}3{,}00\text{ m/s}^2)} = 104\text{ m}$$

Réponse : Oui, il y aura une collision.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4. Données

Si on fait coïncider l'axe des x avec le plan incliné, il faut trouver la longueur du plan incliné et l'accélération en x.

$h = 5{,}00\ \text{m} - 0{,}40\ \text{m} = 4{,}60\ \text{m}$

Comme $\sin\theta = \dfrac{h}{\Delta x}$, on peut écrire :

$$\Delta x = \frac{h}{\sin\theta} = \frac{4{,}60\ \text{m}}{\sin 35{,}0°} = 8{,}02\ \text{m}$$

$x_i = 0\ \text{m}$ $\quad v_i = 0\ \text{m/s}$ $\quad t_i = 0\ \text{s}$

$x_f = 8{,}02\ \text{m}$ $\quad v_f = ?$ $\quad t_f = ?$

$a_x = g\sin\theta = 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times \sin 35{,}0° = 5{,}62\ \text{m/s}^2$

Solution

Il faut choisir une équation où seule v_f est inconnue. Il s'agit de l'équation 4.

$v_f^2 = v_i^2 + 2a_x\Delta x$

$v_f = \sqrt{v_i^2 + 2a_x\Delta x}$

$= \sqrt{(0\ \text{m/s})^2 + 2\times(5{,}62\ \text{m/s}^2)\times 8{,}02\ \text{m}} = 9{,}49\ \text{m/s}$

Réponse : La vitesse de Sandrine à l'extrémité de la glissoire sera de 9,49 m/s.

Chapitre 3
Le mouvement des projectiles

Cahier, p. 216

5. *a)* **Données**

Il faut d'abord déterminer les composantes x et y de la vitesse initiale.

$v_{ix} = v_i\cos\theta = 12{,}0\ \text{m/s} \times \cos 30° = 10{,}4\ \text{m/s}$

$v_{iy} = v_i\sin\theta = 12{,}0\ \text{m/s} \times \sin 30° = 6{,}00\ \text{m/s}$

$x_i = 0\ \text{m}$ $\quad v_{iy} = 6{,}00\ \text{m/s}$

$x_f = ?$ $\quad v_{fy} = ?$

$y_i = 3{,}0\ \text{m}$ $\quad t_i = 0\ \text{s}$

$y_f = ?$ $\quad t_f = 1{,}00\ \text{s}$

$v_{ix} = 10{,}4\ \text{m/s}$ $\quad a_y = -9{,}80\ \text{m/s}^2$

$v_{fx} = 10{,}4\ \text{m/s}$

Solution

On utilise l'équation 1 pour trouver x_f :

$x_f = x_i + v_{ix}\Delta t = 0\ \text{m} + (10{,}4\ \text{m/s}) \times (1{,}00\ \text{s}) = 10{,}4\ \text{m}$

On utilise l'équation 4 pour trouver y_f :

$y_f = y_i + v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y\Delta t^2$

$y_f = 3{,}0\ \text{m} + 6{,}00\ \text{m/s} \times 1\ \text{s} + \frac{1}{2}(-9{,}80\ \text{m/s}^2) \times (1{,}00\ \text{s})^2$

$= 4{,}1\ \text{m}$

Avec y_f calculé, on utilise l'équation 3 pour trouver v_{fy} :

$y_f = y_i + \frac{1}{2}(v_{iy} + v_{fy})\Delta t$

$4{,}1\ \text{m} = 3{,}0\ \text{m} + \frac{1}{2}(6{,}00\ \text{m/s} + v_{fy}) \times (1{,}00\ \text{s}) \rightarrow v_{fy} = -3{,}8\ \text{m/s}$

Réponse : Les composantes des vecteurs position et vitesse de la boule de neige après 1,00 s sont les suivantes : Position : $x = 10{,}4$ m et $y = 4{,}1$ m ; Vitesse : $v_x = 10{,}4$ m/s et $v_y = -3{,}8$ m/s.

b) **Données**

$x_i = 0\ \text{m}$ $\quad v_{iy} = 6{,}00\ \text{m/s}$

$x_f = ?$ $\quad v_{fy} = ?$

$y_i = 3{,}0\ \text{m}$ $\quad t_i = 0\ \text{s}$

$y_f = 0\ \text{m}$ $\quad t_f = ?$

$v_{ix} = 10{,}4\ \text{m/s}$ $\quad a_y = -9{,}80\ \text{m/s}^2$

$v_{fx} = 10{,}4\ \text{m/s}$

Solution

On traite le mouvement vertical pour trouver Δt. On trouve Δt avec l'équation 4 :

$y_f = y_i + v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y\Delta t^2$

$0\ \text{m} = 3{,}0\ \text{m} + 6{,}00\ \text{m/s} \times \Delta t + \frac{1}{2}(-9{,}80\ \text{m/s}^2) \times \Delta t^2$

$4{,}90\ \text{m/s}^2 \times \Delta t^2 - 6{,}00\ \text{m/s} \times \Delta t - 3\ \text{m} = 0\ \text{m}$

Après utilisation de la formule quadratique

$\Delta t = \dfrac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$, on a :

$\Delta t = -0{,}38\ \text{s}$ ou $\Delta t = 1{,}6\ \text{s}$

$\Delta t = -0{,}38\ \text{s}$ est à rejeter, donc on a : $\Delta t = 1{,}6\ \text{s}$

Réponse : Le temps de vol de la boule de neige est de 1,6 s.

c) **Données**

$v_i = 12{,}0$ m/s

$\theta = 30{,}0°$

Solution

On utilise l'équation de la portée pour traiter les données initiales de la situation :

$$\text{Portée} = \frac{v_i^2\sin 2\theta_i}{g} = \frac{(12{,}0\ \text{m/s})^2\sin(2\times 30°)}{9{,}80\ \text{m/s}^2} = 12{,}7\ \text{m}$$

Réponse : La portée de la boule de neige sera de 12,7 m.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Chapitre 4
Les différents types de forces

Cahier, p. 217 et 218

6. Le rapport entre les poids est :

$$\frac{mg_{Lune}}{mg_{Terre}} = \frac{g_{Lune}}{g_{Terre}} = \frac{1{,}60\ m/s^2}{9{,}80\ m/s^2} = 0{,}16 = 16\ \%$$

Le poids d'un astronaute sur la Lune est donc 16 % de celui de son poids sur la Terre.

7. C, D

8. D'après l'équation de la force gravitationnelle, $F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$, la force gravitationnelle entre deux corps est inversement proportionnelle au carré de la distance qui sépare leurs centres. Donc, en haute altitude, *r* est plus grand qu'au niveau de la mer et, par conséquent, la force gravitationnelle est moindre.

9. C

10. A

11. *a)* Exemples de réponse : glissement d'un objet sur le sol, ski, tir d'une balle de golf, patinage, etc.

b) Exemples de réponse : meilleure adhérence soulier-piste pour les coureurs, meilleure tenue de route pour les voitures, etc.

12. *a)* Le frottement statique.

b) Le frottement cinétique.

13. D

14. Oui. L'accélération est traduite ici par le changement de direction du vecteur vitesse et non pas par la modification de sa norme. L'accélération est dirigée vers le centre de la courbe tandis que la norme de la vitesse demeure à 70 km/h.

15. Plusieurs réponses possibles. Exemples de réponse : Un satellite en orbite autour de la Terre : la force gravitationnelle agit comme force centripète. Une fronde que l'on fait tournoyer : la force de tension agit comme force centripète. Une voiture dans un virage : la force de frottement agit comme force centripète.

Chapitre 5
Les corps soumis à différentes forces

Cahier, p. 218 et 219

16. *a)* **Données**

$\vec{F}_{T1} = 34\ 000$ N à 235° $\vec{F}_{Tgrue} = ?$ N à 94°

$\vec{F}_{T2} = 23\ 200$ N à 270° $\vec{F}_{eq} = ?$

$\vec{F}_{T3} = 35\ 500$ N à 320°

Solution

Puisque la structure est en équilibre, les forces de tension doivent se neutraliser selon *y*. Pour additionner les vecteurs, on décompose la force de tension selon *y* :

$F_{T1y} = F_{T1}\sin\theta = 34\ 000\ N \times \sin 235° = {}^{-}2{,}79 \times 10^4 N$

$F_{T2y} = F_{T2}\sin\theta = 23\ 200\ N \times \sin 270° = {}^{-}2{,}32 \times 10^4 N$

$F_{T3y} = F_{T3}\sin\theta = 35\ 500\ N \times \sin 320° = {}^{-}2{,}28 \times 10^4 N$

$F_{Ry} = F_{T1y} + F_{T2y} + F_{T3y} + F_{Tgrue(y)} = 0\ N$

$\vec{F}_{Tgrue(y)} = {}^{-}(F_{T1y} + F_{T2y} + F_{T3y})$

$= {}^{-}({}^{-}2{,}79 \times 10^4 N + {}^{-}2{,}32 \times 10^4 N + {}^{-}2{,}28 \times 10^4 N)$

$= 7{,}39 \times 10^4 N$

Réponse : La grue doit fournir une force verticale de $7{,}39 \times 10^4$ N vers le haut.

b) **Solution**

Puisque la structure est en équilibre, les forces de tension doivent se neutraliser selon *x*. Pour additionner les vecteurs, on décompose la force de tension selon *x* :

$F_{T1x} = F_{T1}\cos\theta = 34\ 000\ N \times \cos 235° = {}^{-}1{,}95 \times 10^4 N$

$F_{T2x} = F_{T2}\cos\theta = 23\ 200\ N \times \cos 270° = 0\ N$

$F_{T3x} = F_{T3}\cos\theta = 35\ 500\ N \times \cos 320° = 2{,}72 \times 10^4 N$

$F_{Rx} = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{grue(x)} = 0\ N$

$F_{grue(x)} = {}^{-}(F_{T1x} + F_{T2x} + F_{T3x})$

$= {}^{-}(1{,}95 \times 10^4\ N + 0\ N + 2{,}72 \times 10^4\ N)$

$= {}^{-}7{,}70 \times 10^3\ N$

Réponse : La grue doit fournir une force horizontale de ${}^{-}7{,}70 \times 10^3$ N ou $7{,}70 \times 10^3$ N à 180°.

Chapitre 6
Les lois de Newton

Cahier, p. 219 et 220

17. Il devra lâcher le tourniquet à la position C.

18. **Données**

$m = 200$ kg $\vec{F}_{motrice} = 950$ N à 12°

$\vec{F}_f = 820$ N à 180° $a = ?$

Solution

On considère les forces selon l'axe des *x*. La composante en *x* de la force motrice est :

$F_{motricex} = F_{motrice}\cos 12° = 950\ N \times \cos 12° = 929\ N$

La force de frottement s'oppose au mouvement selon l'axe des *x*. La force résultante en *x* est donc :

$F_{Rx} = F_{fx} + F_{mx} = {}^{-}820\ N + 929\ N = 109\ N$

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Selon la deuxième loi de Newton, on pose :

$$F_x = ma_x \rightarrow a_x = \frac{F_R}{m} = \frac{109\text{ N}}{200\text{ kg}} = 0{,}545\text{ m/s}^2$$

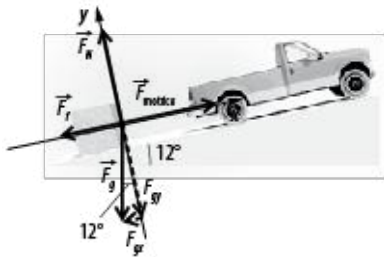
L'accélération est de 0,545 m/s².

En utilisant l'équation 3, on a :

$$x_f = x_i + v_i\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2$$
$$= 0\text{ m} + 0\text{ m/s} \times 45\text{ s} + \frac{1}{2}(0{,}545\text{ m/s}^2) \times (45\text{ s})^2$$
$$= 552\text{ m}$$

Réponse : La remorque a parcouru 552 m.

19. *a)*



b) **Données**

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

$m = 530\text{ kg}$

$\vec{F}_g = m\vec{g}$
$= 530\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2$ à $(270° - 12°)$
$= 5{,}19 \times 10^3\text{ N}$ à $258°$

$\vec{F}_f = 5{,}28 \times 10^3\text{ N}$ à $180°$

$\vec{F}_{motrice} = ?\text{ N}$ à $0°$

$\vec{F}_N = ?\text{ N}$ à $90°$

Solution

Comme le bloc se déplace à vitesse constante, $a_y = 0\text{ m/s}^2$. Selon la deuxième loi de Newton, il faut que la force résultante s'exerçant sur le bloc soit nulle.

Pour l'axe des *y* :

$$F_{Ry} = F_{motrice(y)} + F_{Ny} + F_{fy} + F_{gy}$$
$$= F_{motrice}\sin 0° + F_N \sin 90° + (5{,}28 \times 10^3\text{ N}) \times \sin 180° + (5{,}19 \times 10^3\text{ N}) \times \sin 258°$$
$$= 0\text{ N} + F_N + 0\text{ N} - 5{,}08 \times 10^3\text{ N}$$

$$F_N = 5{,}08 \times 10^3\text{ N}$$

Réponse : La grandeur de la force normale (F_N) est de $5{,}08 \times 10^3$ N.

c) **Solution**

Comme le bloc se déplace à vitesse constante, $a_x = 0\text{ m/s}^2$. Selon la deuxième loi de Newton, il faut que la force résultante s'exerçant sur le bloc soit nulle.

Pour l'axe des *x* :

$$F_{Rx} = F_{motrice(x)} + F_{Nx} + F_{fx} + F_{gx}$$
$$= F_{motrice}\cos 0° + (5{,}08 \times 10^3\text{ N}) \times \cos 90° + (5{,}28 \times 10^3\text{ N}) \times \cos 180° + (5{,}19 \times 10^3\text{ N}) \times \cos 258°$$
$$= F_{motrice} + 0\text{ N} - 5{,}28 \times 10^3\text{ N} - 1{,}08 \times 10^3\text{ N}$$
$$F_{motrice} = 6{,}36 \times 10^3\text{ N}$$

Réponse : La grandeur de la force motrice doit être de $6{,}36 \times 10^3$ N.

Chapitre 7
Le travail et la puissance mécanique

Cahier, p. 221

20. Données

$\vec{F} = 1{,}1 \times 10^6\text{ N}$	$\Delta s = 100\text{ m}$	$P = ?$
$\theta = 50°$	$\Delta t = 60\text{ s}$	

Solution

Il faut d'abord trouver le travail effectué par le remorqueur :

$$W = F\Delta s\cos\theta = (1{,}1 \times 10^6\text{ N}) \times 100\text{ m} \times \cos 50° = 7{,}1 \times 10^7\text{ J}$$

On peut maintenant évaluer la puissance développée par le remorqueur :

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{7{,}1 \times 10^7\text{ J}}{60\text{ s}} = 1{,}2 \times 10^6\text{ W}$$

Réponse : La puissance développée par le remorqueur est de $1{,}2 \times 10^6$ W.

Chapitre 8
L'énergie mécanique

Cahier, p. 221 et 222

21. *a)* Son énergie cinétique est nulle. À ce moment, la bille est au point le plus haut de sa trajectoire. Son énergie potentielle gravitationnelle est maximale.

b) L'énergie potentielle gravitationnelle se transforme en énergie cinétique.

c) L'énergie potentielle gravitationnelle est minimale. Par contre, l'énergie cinétique est maximale.

d) L'énergie cinétique se transforme en énergie potentielle gravitationnelle.

e) La bille a perdu toute son énergie cinétique, mais l'énergie potentielle gravitationnelle est maximale.

22. Données

1. Le système à considérer ici est constitué du ballon et de la Terre. Ce n'est pas un système isolé, puisque la résistance de l'air et la force exercée par le pied du joueur font un travail sur le ballon.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au sol.

 Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

3. L'instant initial est celui où le ballon est immobile au sol. L'instant final est tout juste avant celui où le gardien attrape le ballon.
4. Valeurs :

$m = 425\text{ g} = 0{,}425\text{ kg}$ $\quad h_f = 2{,}00\text{ m}$

$v_i = 0\text{ m/s}$ $\quad W_{ext} = 276\text{ J} + {}^{-}77\text{ J} = 199\text{ J}$

$h_i = 0\text{ m}$ $\quad v_f = ?$

Solution

5. Valeurs d'énergies et de travail :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 0{,}425\text{ kg} \times (0\text{ m/s})^2$$
$$= 0\text{ J}$$
$$E_{cf} = ?$$
$$E_{pgi} = mgh_i$$
$$= 0{,}425\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 \times (0\text{ m})$$
$$= 0\text{ J}$$
$$E_{pgf} = mgh_f$$
$$= 0{,}425\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 \times 2{,}00\text{ m}$$
$$= 8{,}33\text{ J}$$
$$W_{ext} = 199\text{ J}$$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système non isolé :

$$E_{ci} + E_{pgi} + W_{ext} = E_{cf} + E_{pgf}$$
$$\rightarrow \quad E_{cf} = E_{ci} + E_{pgi} + W_{ext} - E_{pgf}$$
$$= 0\text{ J} + 0\text{ J} + 199\text{ J} - 8{,}33\text{ J}$$
$$= 191\text{ J}$$
$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2 \quad \rightarrow \quad v_f = \sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 191\text{ J}}{0{,}425\text{ kg}}} = 30{,}0\text{ m/s}$$

Réponse : La vitesse du ballon juste avant que le gardien ne l'attrape était de 30,0 m/s.

Chapitre 9
L'énergie emmagasinée dans les ressorts

Cahier, p. 223

23. Données

1. Le système à considérer ici est constitué de l'échasse sauteuse, de votre amie et de la Terre. On suppose que, lors du rebond, c'est un système isolé.
2. On pose le niveau de référence pour la mesure de l'énergie potentielle gravitationnelle au niveau le plus bas atteint par votre amie (alors que l'échasse touche au sol).
3. L'instant initial est celui où le ressort de l'échasse est comprimé de 0,10 m, avant de se détendre. L'instant final, celui où votre amie est au sommet de son rebond.
4. Valeurs :

$m = 50\text{ kg}$

$v_i = 0\text{ m/s}$

$v_f = 0\text{ m/s}$

$h_i = 0\text{ m}$

$h_f = 0{,}35\text{ m}$

$\Delta x_i = 0{,}10\text{ m}$

$\Delta x_f = 0\text{ m}$

$k = ?$

Solution

5. Valeurs d'énergies :

$$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 50\text{ kg} \times (0\text{ m/s})^2$$
$$= 0\text{ J}$$
$$E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 50\text{ kg} \times (0\text{ m/s})^2$$
$$= 0\text{ J}$$
$$E_{pgi} = mgh_i$$
$$= 50\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 \times 0\text{ m}$$
$$= 0\text{ J}$$
$$E_{pgf} = mgh_f$$
$$= 50\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 \times 0{,}35\text{ m}$$
$$= 1{,}7 \times 10^2\text{ J}$$
$$E_{pei} = ?$$
$$E_{pef} = \frac{1}{2}k(\Delta x_f)^2$$
$$= \frac{1}{2} \times k \times (0\text{ m})^2$$
$$= 0\text{ J}$$

6. On applique l'équation de la loi de la conservation de l'énergie dans un système isolé :

$$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef}$$
$$\rightarrow \quad E_{pei} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef} - E_{ci} - E_{pgi}$$
$$= 0\text{ J} + 1{,}7 \times 10^2\text{ J} + 0\text{ J} - 0\text{ J} - 0\text{ J}$$
$$= 1{,}7 \times 10^2\text{ J}$$
$$E_{pei} = \frac{1}{2}k(\Delta x_f)^2 \quad \rightarrow \quad k = \frac{2E_{pei}}{(\Delta x_f)^2} = \frac{2 \times 1{,}7 \times 10^2\text{ J}}{(0{,}10\text{ m})^2}$$
$$= 3{,}4 \times 10^4\text{ N/m}$$

Réponse : La constante de rappel du ressort est de $3{,}4 \times 10^4$ N/m.

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Examen de fin d'année

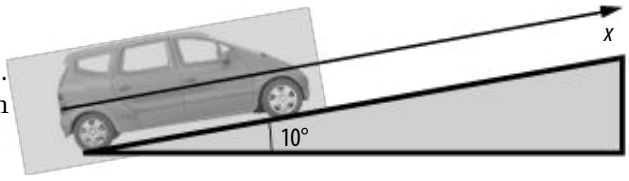
/100

1. Expliquez ce qu'est une force centripète et dites quel est l'effet d'une telle force sur un corps en mouvement. **/5**

2. Au décollage, alors que son avion accélère rapidement sur la piste, le pilote d'un avion de chasse se sent écrasé vers l'arrière dans son siège. Pourquoi ? **/5**

3. Une fourgonnette de 2100 kg monte une pente de 160 m de longueur inclinée à 10° par rapport à l'horizontale. La vitesse initiale de la fourgonnette au bas de la pente est de 14,0 m/s. **/50**

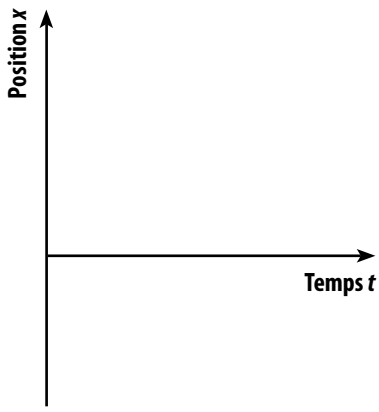
Le conducteur appuie sur l'accélérateur pour que son véhicule prenne de la vitesse. Tout au long de la montée, son accélération est constante et égale à 1,50 m/s^2.



Note : Vous n'avez pas besoin d'avoir répondu à une sous-question pour répondre à la suivante.

a) Sur le système d'axes ci-contre, tracez la forme de la courbe représentant la position (x) de la fourgonnette en fonction du temps. Considérez que l'origine de l'axe des x coïncide avec la position initiale du véhicule au bas de la pente et que l'axe des x positifs pointe vers le haut de la pente, comme illustré. Ne graduez pas les axes.

La position (x) de la fourgonnette en fonction du temps



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

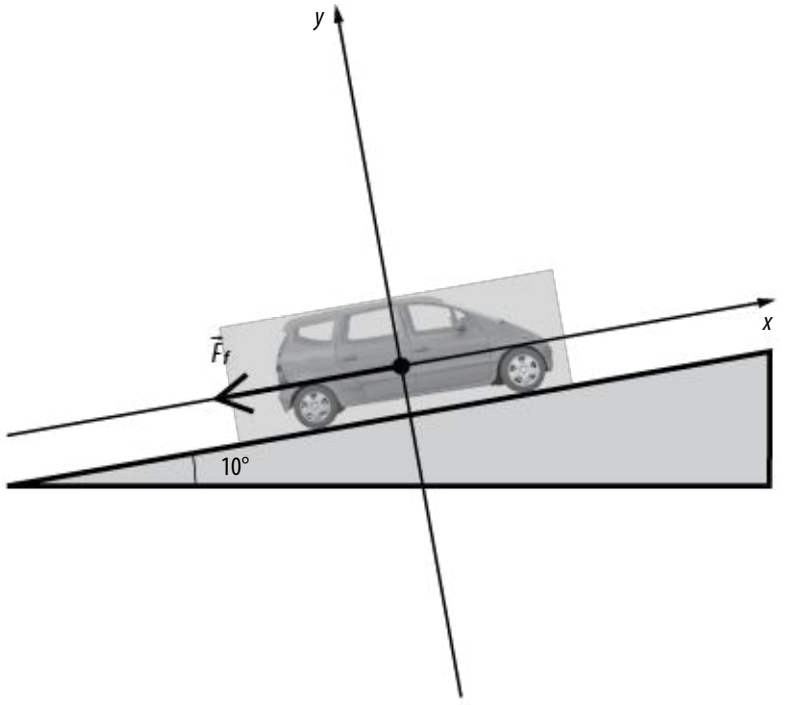
b) Quelle sera la vitesse de la fourgonnette après 5,00 s ?

c) Quelle sera la vitesse de la fourgonnette après qu'elle ait parcouru 160 m ?

d) On suppose que la force de frottement et la résistance de l'air peuvent être assimilées à une seule et même force ($\vec{F}_f$) dirigée vers l'arrière et dont la grandeur est de 1000 N.

Par ailleurs, la force exercée par le sol sur la fourgonnette sous l'effet de la rotation des roues (elles-mêmes entraînées par le moteur du véhicule) est appelée « force motrice » et désignée par le symbole $\vec{F}_m$.

Sur l'illustration ci-dessous, on a représenté la force $\vec{F}_f$. Dessinez les autres forces qui agissent sur la fourgonnette de façon à obtenir le diagramme de corps libre du véhicule.



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

e) Quelle est la grandeur de la force motrice ($\vec{F}_m$) ?

f) Quel est le travail effectué sur la fourgonnette par la force gravitationnelle durant l'ensemble de la montée ?

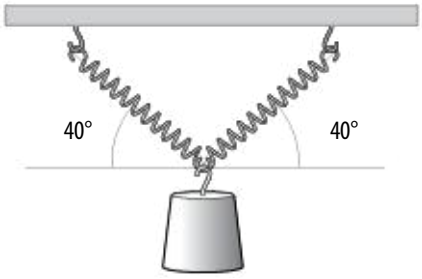
Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

g) Les trois énoncés ci-dessous traitent de l'évolution de l'énergie du système formé de la fourgonnette et de la Terre lorsque la fourgonnette monte la côte. Indiquez si chacun d'entre eux est vrai ou faux et justifiez votre réponse.

	Vrai	Faux
I) Le système gagne de l'énergie potentielle gravitationnelle.	☐	☐
II) Le système gagne de l'énergie cinétique.	☐	☐
III) Le système gagne de l'énergie mécanique.	☐	☐

Justification : _____

4. Une masse de 1,25 kg est soutenue, immobile, par deux ressorts identiques fixés au plafond. La constante de rappel des ressorts est de 70,0 N/m. Puisqu'ils sont identiques et qu'ils soutiennent la masse de façon symétrique, les deux ressorts ont le même allongement. La situation est illustrée ci-contre. **/10**



Quel est l'allongement des ressorts ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

5. Une athlète de 52,0 kg s'entraîne pour le saut à ski. En se poussant à l'aide de ses bras, elle se donne un élan pour dévaler la pente très abrupte d'un tremplin très glissant. **/30**

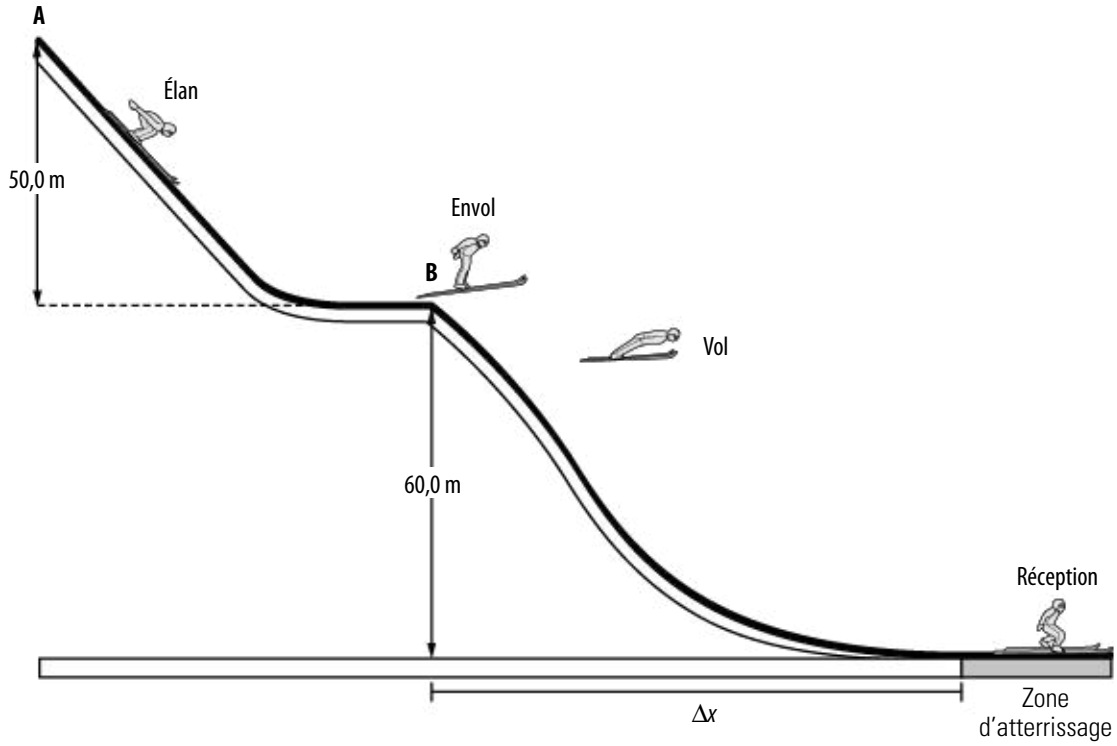
a) Pour se donner l'impulsion initiale, l'athlète exerce vers l'arrière une force de 750 N sur une barre horizontale. Ceci lui permet d'atteindre une vitesse de 4,0 m/s en une fraction de seconde. Quelle force la barre exerce-t-elle sur l'athlète ? Justifiez votre réponse.

_____

_____

_____

b) L'installation utilisée pour le saut à ski est illustrée ci-dessous. Le tremplin s'étend du point A au point B. Il mesure 90,0 m de long, et 50,0 m de haut. L'athlète doit atteindre le bas du tremplin (point B) avec la vitesse la plus grande possible, de façon à pouvoir faire le saut le plus long possible en quittant le tremplin.



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Durant sa descente du tremplin, la skieuse ne se propulse pas à l'aide de ses pieds ; elle fait plutôt en sorte d'adopter la position la plus aérodynamique possible.

Au point A, la skieuse a une vitesse de 4,00 m/s. Elle atteint le bas du tremplin (point B) à une vitesse de 25,0 m/s.

Quel travail la résistance de l'air a-t-elle fait sur elle durant sa descente du tremplin (du point A au point B) ?

c) En l'absence de résistance de l'air, la skieuse aurait-elle une vitesse plus grande ou plus petite en arrivant au point B ? Justifiez votre réponse.

_____

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

d) Après le point B, la skieuse se trouve dans les airs et saute jusqu'à la zone d'atterrissage, 66,0 m plus bas.

L'air joue un rôle important durant le saut de la skieuse. Quand elle adopte une position optimale durant son saut, elle peut minimiser la résistance de l'air tout en augmentant la portée, qui est une force exercée sur elle par l'air et vers le haut. Cette force ralentit sa chute et lui permet en quelque sorte de « voler », un peu comme un avion. Ainsi, avec une vitesse au point B de 25,0 m/s, la skieuse peut toucher la zone d'atterrissage à une distance Δx de plus de 100 m du tremplin.

Quelle serait la valeur de Δx si la résistance de l'air et la portée étaient négligeables et que la skieuse était ainsi en chute libre durant son saut ? (La skieuse quitte le tremplin, au point B, avec une vitesse orientée horizontalement.)

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Sommaire

Mécanique

Annexes

	Fiche
Les mathématiques en mécanique	M-243
L'interprétation des résultats de la mesure	M-247

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Annexes Les mathématiques en mécanique

La résolution des équations du second degré

1. Déterminez les valeurs de x possibles pour les équations du second degré suivantes.

a) $4x^2 = {}^{-}2,4x + 15$

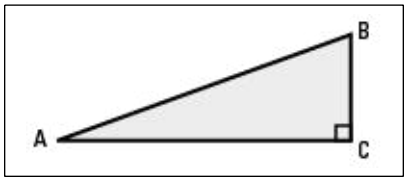
b) $\dfrac{4x \cdot (2x - 5)}{0,8 - x} = 78$

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Quelques rappels trigonométriques

2. Soit le triangle rectangle ABC ci-contre.

Sachant que $\sin A = \frac{1}{3}$, déterminez la valeur de :

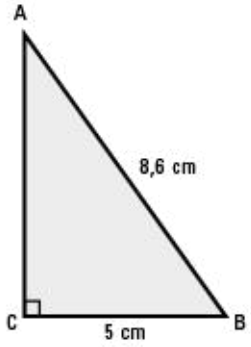
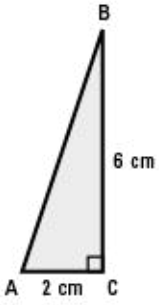
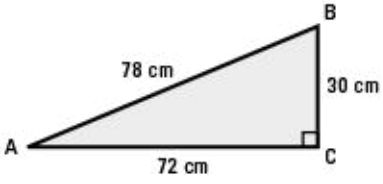


a) cosB

b) cosA

c) tanA

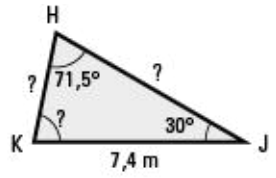
3. Dans chacun des triangles suivants, déterminez le rapport qui correspond à :

	Triangle 1	Triangle 2	Triangle 3
			
a) sinA			
b) cosA			
c) tanA			
d) sinB			
e) cosB			
f) tanB			

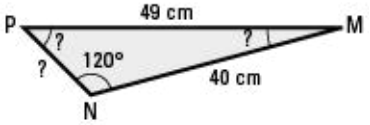
Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4. Pour chacun des triangles suivants, déterminez la mesure des côtés ou des angles manquants.

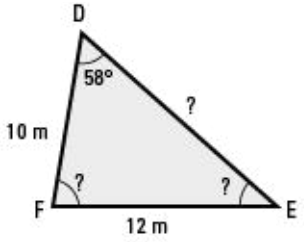
a)



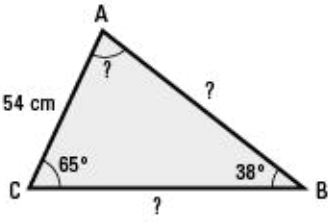
b)



c)



d)



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

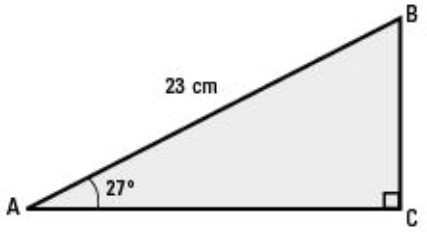
5. Dans les triangles rectangles suivants, trouvez la mesure manquante.

a) Les cathètes du triangle mesurent 8,0 cm et 13 cm.

b) Deux côtés du triangle ont la même mesure, soit 9,0 cm.

c) L'hypoténuse mesure 12 cm et une des cathètes mesure 6,0 cm.

6. Le triangle rectangle ci-dessous possède un angle de 27° et une hypoténuse de 23 cm. Calculez la longueur des deux cathètes.



Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

La notation scientifique

7. Transformez les valeurs suivantes en notation scientifique.

a) 96 482 _____

b) 18 millions _____

c) 0,000 005 60 _____

d) 0,622 _____

e) 7248 _____

8. Convertissez les mesures suivantes, puis écrivez votre résultat en notation scientifique.

a) 64 mm _____ km _____

b) 150,0 µg _____ g _____

c) 0,040 J _____ kJ _____

d) 1,0 L _____ mL _____

9. Effectuez les calculs suivants à l'aide d'une calculatrice, puis écrivez le résultat en notation scientifique.

a) $6{,}023 \times 10^{23} \times 3{,}6 \times 10^{-8}$ _____

b) $0{,}000\ 15\ \text{mol/L} \times 60{,}05\ \text{L}$ _____

c) $0{,}0200\ \text{mol} \div 5{,}00 \times 10^{-2}\ \text{L}$ _____

d) $9280\ \text{J} \div 0{,}025\ \text{mol}$ _____

e) $32{,}01\ \text{g/mol} \times 7{,}5\ \text{mol}$ _____

f) $0{,}002\ 475\ \text{g} \div 16{,}02\ \text{g/mol}$ _____

L'interprétation des résultats de la mesure

Les chiffres significatifs

10. Pour chacune des valeurs suivantes, précisez le nombre de chiffres significatifs.

a) 376,8 _____

b) 0,012 _____

c) 149,0 _____

d) $1{,}99 \times 10^{8}$ _____

e) 0,007 _____

f) 12,1428 _____

11. Un de vos collègues vous remet l'information suivante : 20 100 m.

a) Êtes-vous en mesure de connaître précisément le nombre de chiffres significatifs ? Justifiez votre réponse.

_____

_____

_____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

b) Si on ne connaît pas le nombre de chiffres significatifs, que devient cette valeur convertie en kilomètres ?

_____

c) Donnez trois valeurs qui peuvent devenir 20 100 m une fois arrondies.

_____

d) Expliquez deux moyens de présenter les données permettant de confirmer le nombre de chiffres significatifs. Donnez un exemple pour la valeur mentionnée en *a)*, avec quatre chiffres significatifs.

Premier moyen : _____

_____

Deuxième moyen : _____

_____

e) À combien de kilomètres correspond la valeur trouvée en *d)* ?

_____

12. Arrondissez les mesures suivantes au dixième près.

a) 1,234 kg _____

b) 2,39 m/s _____

c) 3,14159 cm _____

d) 4,45 L _____

e) $5{,}01 \times 10^6$ m _____

f) 9,98 s _____

13. Arrondissez les valeurs suivantes en respectant le nombre de chiffres significatifs demandés. Donnez votre réponse en notation scientifique.

a) Avec trois chiffres significatifs, le nombre 81 990,9 : _____

b) Avec deux chiffres significatifs, le nombre 126 : _____

c) Avec un seul chiffre significatif, le nombre 2820 : _____

d) Avec deux chiffres significatifs, le nombre 0,06287 : _____

e) Avec trois chiffres significatifs, le nombre 12,0804 : _____

14. Pour respecter les chiffres significatifs dans l'addition et la soustraction, la valeur ayant le plus _____ nombre de _____ détermine le nombre de _____ à reporter dans la réponse.

15. Effectuez les calculs suivants en respectant le nombre de chiffres significatifs.

a) 45,8 kg + 2,6 kg = _____

b) 233 m + 4,9 m = _____

c) 23,5 s − 12,21 s = _____

d) 2000 L + 1,125 L = _____

e) 5,12 g + 125,5 g + 3,53 g = _____

f) 2,14 m/s − 0,567 m/s + 1,1 m/s = _____

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

16. Pour respecter les chiffres significatifs dans la multiplication et la division, la valeur ayant le plus _____ nombre de _____ _____ détermine le nombre de _____ _____ à reporter dans la réponse.

17. Effectuez les calculs suivants en respectant le nombre de chiffres significatifs.

a) 122 N × 3,4 m = _____

b) 1,10 m × 1,125 m = _____

c) $\frac{23{,}5\ \text{m}}{6{,}66667\ \text{s}}$ = _____

d) 9,80 N/kg × 55 kg = _____

e) 9,80 N/kg × 55,0 kg = _____

f) 125 kg × 9,80 N/kg × 2,8 m = _____

18. Vous parcourez 15,5 km par jour pendant trois jours. Aurez-vous parcouru 46,5 km, 47 km ou 50 km ?

_____

_____

19. Une voiture se trouve à 125,2 m de son point de départ et roule à une vitesse 18,6 m/s pendant 4,5 s. À quelle distance se trouve-t-elle maintenant ?

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Sommaire

Offre numérique

L'offre numérique de Chenelière Éducation N-3
L'offre numérique de la collection *Delta Physique* N-6
Vue d'ensemble des activités interactives de la collection N-7
Médiagraphie N-9

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

L'offre numérique de Chenelière Éducation

La collection *Delta Physique* est offerte en version numérique sur la plateforme Interactif de Chenelière Éducation.

La présentation qui suit constitue un aperçu des fonctionnalités de cette plateforme et des particularités de la collection *Delta Physique*.

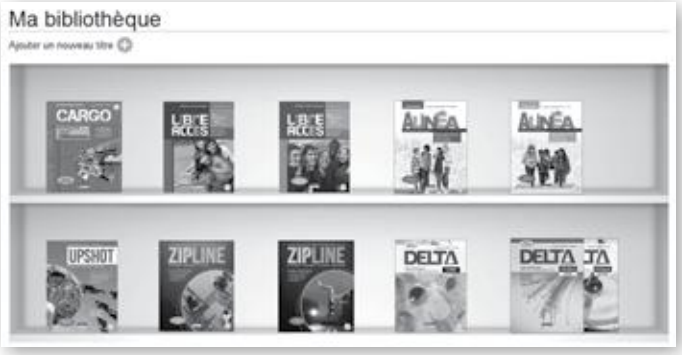
La vidéo du tour guidé général de la plateforme Interactif de Chenelière Éducation, qu'on peut visionner à l'adresse www.cheneliere.ca sous l'onglet Interactif/Secondaire/Tour d'horizon, décrit les principaux atouts de la plateforme et des collections qu'on y trouve.

On peut aussi consulter les tutoriels qui décrivent le fonctionnement des outils de base de la plateforme Interactif à l'adresse www.cheneliere.ca sous l'onglet Interactif/ Secondaire/ Tutoriels.

LA BIBLIOTHÈQUE

Le site Internet de Chenelière Éducation permet aux enseignants d'accéder à une bibliothèque personnelle qui contient les livres numériques dont ils ont fait l'acquisition.

Les enseignants peuvent accéder à leur bibliothèque en se rendant à l'adresse www.cheneliere.ca/ Ma bibliothèque.



LA PLATEFORME Interactif Chenelière Éducation

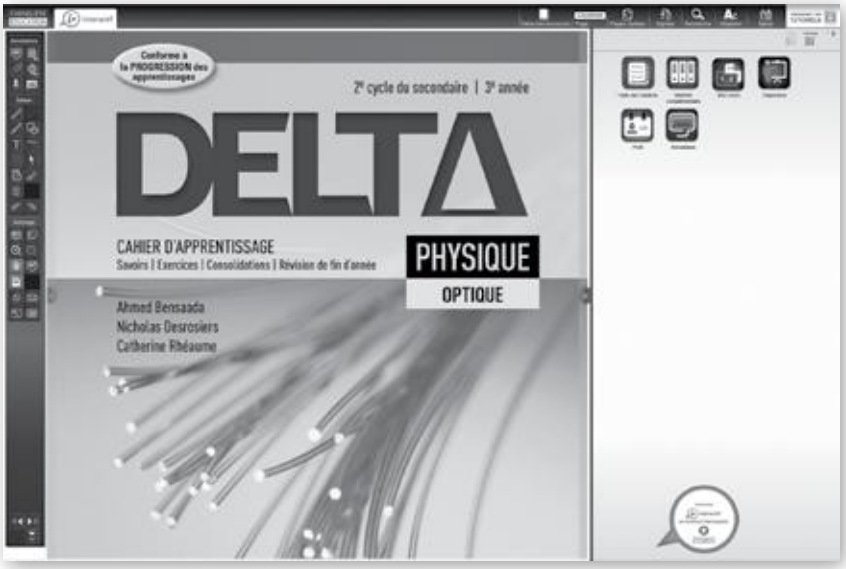
Conviviale et téléchargeable, la plateforme Interactif est un environnement parfaitement adapté à la consultation d'un livre numérique en classe. Elle offre plusieurs avantages. Elle permet, entre autres, d'enrichir un titre de matériel personnel, de consulter différents contenus interactifs (hyperliens, vidéos, etc.) ainsi que les documents reproductibles offerts par l'Éditeur.

LE MENU PRINCIPAL

Dans la plateforme Interactif, les enseignants peuvent consulter la version numérique de toutes les composantes imprimées et numériques d'une collection.

Les boutons suivants figurent dans le menu principal.

1. Table des matières
2. Matériel complémentaire
3. Activités interactives
4. Mon cours
5. Diaporama
6. Profil
7. Annotations



Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Le bouton « Table des matières » donne accès à la table des matières du livre numérique et permet de naviguer dans le livre. On peut aussi y consulter le matériel complémentaire d'un seul clic.

Le bouton « Matériel complémentaire » donne accès au matériel complémentaire, aux documents reproductibles et aux différents contenus interactifs offerts par l'Éditeur ainsi qu'aux fichiers personnels que l'enseignant y aura déposés. On peut y faire une recherche par chapitre ou par type de matériel (documents reproductibles, hyperliens, etc.).

Le bouton « Activités interactives » permet de consulter la liste des activités interactives liées à un titre, de créer des groupes, d'assigner des activités en mode apprentissage ou évaluation aux élèves et d'accéder à leurs résultats.

L'outil « Mon cours » permet de regrouper au même endroit toutes les ressources nécessaires à l'enseignement d'un cours. Il est ainsi possible d'organiser le contenu d'un cours dans l'ordre qui convient à chacun et de le partager avec les élèves ou des collègues.

L'outil « Diaporama » offre l'occasion de créer des présentations animées. On peut y intégrer des captures d'écran, du texte, des images, des hyperliens, des renvois de pages, des fichiers audio et vidéo, et plus encore !

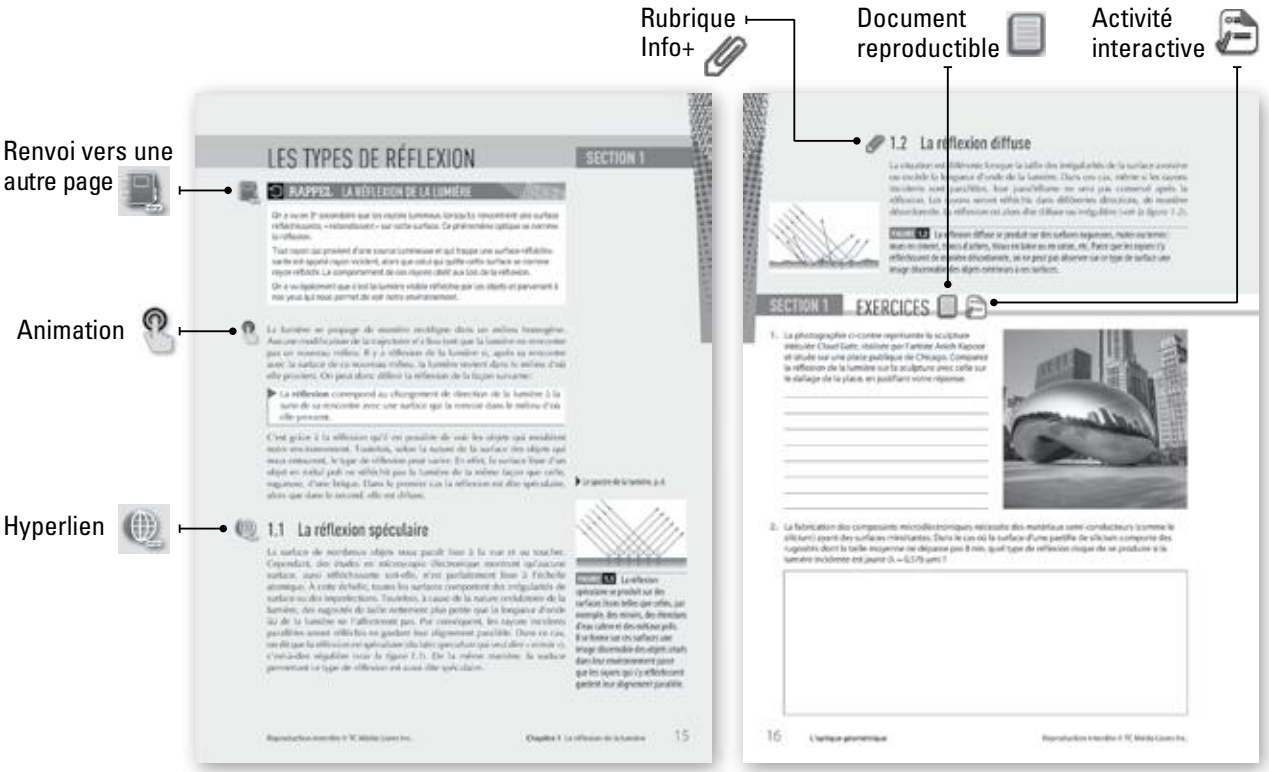
Le bouton « Profil » permet de modifier les renseignements personnels des enseignants. Il offre aussi la possibilité de créer des groupes d'élèves et des groupes de collègues avec qui on peut ensuite partager des annotations et des documents.

Le bouton « Annotations » rassemble les annotations personnelles ainsi que les annotations publiques dans un seul répertoire. De plus, des filtres permettent de raffiner la recherche d'annotations.

1. La version numérique de la collection

La version numérique de la collection *Delta Physique* offre aux enseignants la possibilité de projeter les pages à l'aide d'un tableau numérique interactif (TNI) ou d'un projecteur. Dans cette version numérique, les enseignants peuvent, à leur gré, faire apparaître les réponses une à une, afficher toutes les réponses ou consulter les notes pédagogiques de chacune des pages en un seul clic.

Dans les pages du cahier d'apprentissage, on trouve également des accès directs aux contenus numériques et interactifs. Ainsi, au fil des pages, sont épinglés les pictogrammes cliquables suivants.



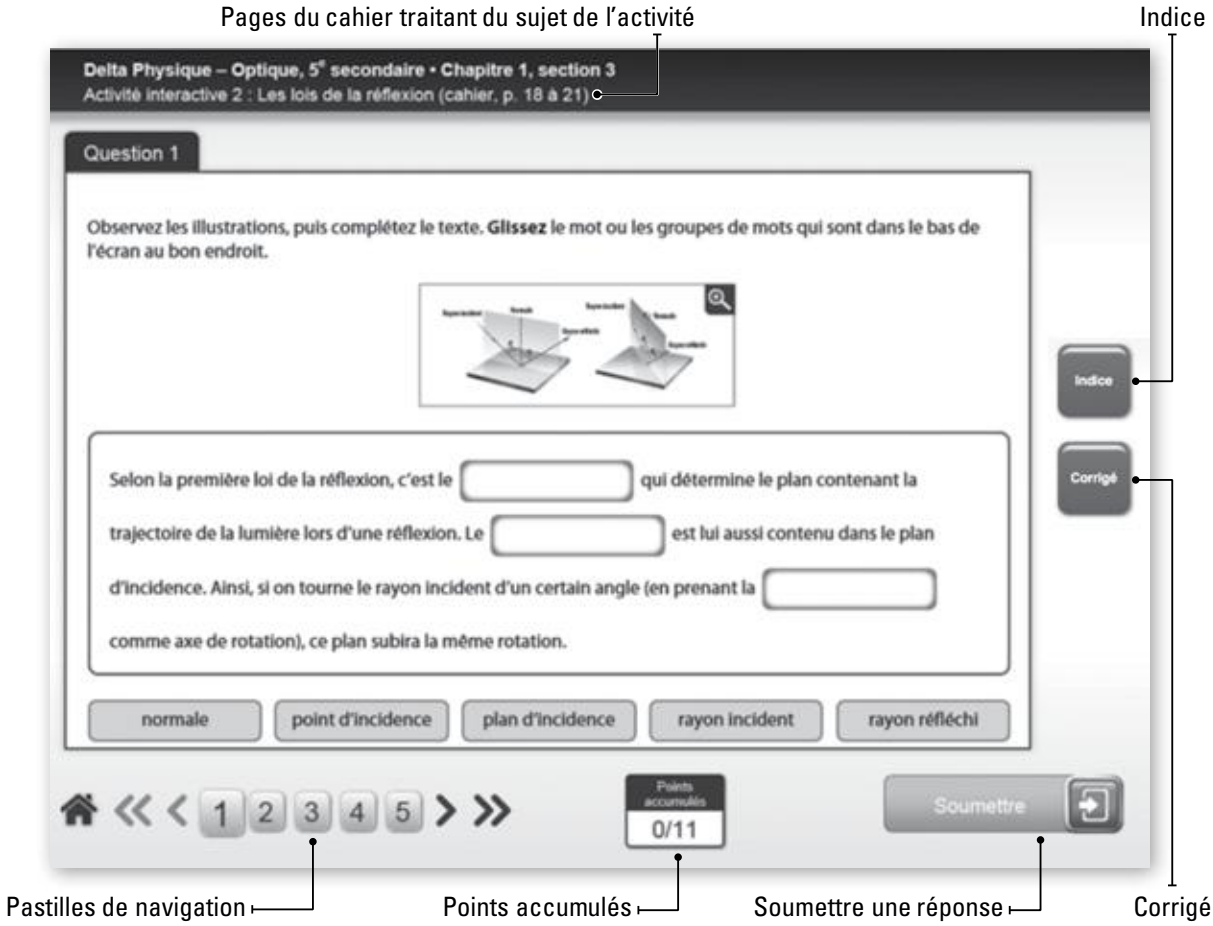
Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Comme pour les cahiers, la version numérique du matériel complémentaire qui réunit tous les éléments du guide-corrigé de la collection *Delta Physique* permet aux enseignants de projeter les documents reproductibles à l'aide d'un TNI ou d'un projecteur. Les enseignants peuvent également y afficher toutes les réponses en un seul clic. Dans cette version numérique, on trouve tous les documents reproductibles en format PDF, afin de faciliter leur impression, mais aussi en format Word modifiable, ce qui permet aux enseignants d'adapter ces documents selon leurs besoins.

2. Les activités interactives

Dans la version numérique de la collection *Delta Physique*, on trouve une quarantaine d'activités interactives liées aux contenus du cahier et classées par chapitre. Ces activités sont accessibles au fil des pages du cahier numérique ainsi que dans la table des matières des activités interactives. Elles sont réalisables en classe à l'aide du TNI ou encore individuellement en mode apprentissage ou évaluation. Les élèves peuvent ainsi les faire de façon autonome en classe, au laboratoire informatique ou à la maison, à l'aide d'un ordinateur ou d'une tablette.

Chacune des activités compte de 10 à 15 questions variées (vrai ou faux, choix multiples, réponse libre, associations, menus déroulants, etc.). En mode apprentissage, les élèves disposent d'un indice pour les aider à répondre aux questions, puis du corrigé et d'une rétroaction après avoir soumis leur réponse. En mode évaluation, ils n'ont ni indice ni corrigé. Toutefois, dans les deux modes, les points accumulés s'affichent au fur et à mesure que les élèves répondent aux questions.



Des outils de gestion de groupe conviviaux sont également offerts aux enseignants dans le module des activités interactives. Ces outils permettent entre autres de créer des groupes d'élèves, de leur assigner des activités en mode apprentissage ou évaluation et de consulter leurs résultats.

Pour plus de détails au sujet des activités interactives, visionnez les tutoriels qui les décrivent à l'adresse www.cheneliere.ca sous l'onglet Interactif/Tutoriels ou le Guide de l'utilisateur qu'on trouve à www.cheneliere.ca sous l'onglet Interactif/Guides de l'utilisateur.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

3. Le téléchargement de la plateforme

La version téléchargeable de la plateforme Interactif de Chenelière Éducation permet de profiter de la plupart de ses fonctionnalités sans être connecté à Internet. Il suffit ensuite de se connecter à Internet pour synchroniser les opérations effectuées hors connexion. Par contre, certaines fonctionnalités comme l'accès à un site Internet ou l'assignation d'activités interactives aux élèves nécessitent une connexion Internet.

Pour plus de détails au sujet du téléchargement de la plateforme, visionnez le tutoriel intitulé Téléchargement de la plateforme ou le Guide de l'utilisateur qu'on trouve à www.cheneliere.ca sous l'onglet Interactif/Guides de l'utilisateur.

4. La version des activités interactives et du cahier de l'élève sur tablette

En plus d'offrir ses activités interactives sur ordinateur pour les enseignants et les élèves, Chenelière Éducation les rend accessibles sur tablettes iPad et Android. Ainsi, les élèves peuvent réaliser les activités que leur enseignant leur a assignées sur leur tablette.

Pour plus de détails au sujet de l'application Chenelière Éducation pour iPad, consultez le Guide de l'utilisateur et les tutoriels qui décrivent le fonctionnement de l'application Chenelière Éducation pour iPad à l'adresse www.cheneliere.ca sous l'onglet Interactif/ Guides de l'utilisateur ou Tutoriels.

L'OFFRE NUMÉRIQUE DE LA COLLECTION *DELTA PHYSIQUE*

La collection *Delta Physique* est présentée sur la plateforme Interactif, offerte en ligne et téléchargeable. Ainsi, les éléments suivants sont disponibles.

Pour les élèves

- Le cahier en version numérique ;
- L'accès à une quarantaine d'activités et exercices interactifs avec rétroaction, à faire en classe, au laboratoire ou à la maison. Ces activités sont associées à chacun des chapitres du cahier ou aux consolidations de fin de module, permettant ainsi une véritable révision des modules ;
- Des documents complémentaires et tout autre contenu numérique que l'enseignant mettra à leur disposition.

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Pour les enseignants

- Toutes les composantes imprimées en version numérique ;
- Une quarantaine d'activités et d'exercices interactifs avec rétroaction conçus spécialement selon la structure de la collection, à faire en grand groupe ou individuellement ;
- Des outils de gestion pour suivre la progression des élèves ;
- Tous les documents reproductibles en format PDF et Word modifiable ;
- Les réponses qui apparaissent une à une ;
- Une centaine d'hyperliens (complément d'information, animations scientifiques, vidéos explicatives, etc.) ;
- Plus de 30 rubriques Info+ qui proposent de l'information complémentaire sur les notions présentées dans le cahier ;
- Une douzaine d'animations.

VUE D'ENSEMBLE DES ACTIVITÉS INTERACTIVES DE LA COLLECTION

1. Durée des activités interactives

La réalisation d'une activité interactive dure de 30 à 60 minutes. Une activité interactive peut donc être complétée lors d'une période de cours.

2. Lien avec les notions des cahiers d'apprentissage et répartition des activités interactives

Les activités interactives proposent des questions sur les notions présentées dans les cahiers d'apprentissage *Delta Physique Optique* et *Mécanique*. Certaines questions sont axées sur la maîtrise de la théorie, tandis que d'autres permettent aux élèves de mettre des concepts en application. Le niveau de difficulté progresse d'une question à l'autre dans chaque activité interactive.

Chaque section ou groupe de sections du cahier d'apprentissage fait l'objet d'une activité interactive. Ces activités permettent de réviser la ou les sections ciblées. Nous suggérons de les faire réaliser par les élèves à la fin de chaque section ou groupe de sections en guise de retour sur les apprentissages récents.

Cinq activités interactives de consolidation sont offertes :

- une pour réviser tout le cahier d'optique, à faire réaliser par les élèves à la fin du cahier pour faire un retour sur l'ensemble des apprentissages ;
- une pour chacun des trois modules du cahier de mécanique, à faire réaliser par les élèves à la fin de chaque module ciblé pour faire un retour sur les apprentissages récents ;
- une pour consolider tout le cahier de mécanique, à faire réaliser par les élèves à la fin du cahier de mécanique pour faire un retour sur l'ensemble des apprentissages.

Il est toutefois possible de choisir l'ordre dans lequel on souhaite que les élèves réalisent ces activités.

3. Accessibilité des activités interactives

Toutes les activités interactives sont accessibles sur la plateforme Interactif Secondaire par le biais du bouton « Activités interactives » ou encore au fil des pages des cahiers numériques *Delta Physique*.

4. Planification

Pour intégrer les activités interactives à toutes les autres activités de la pratique d'enseignement, consulter le tableau de planification dans la présentation du guide, à la page P-1.

Afin de permettre un repérage simple des activités interactives, leur numérotation suit la progression des chapitres du cahier d'apprentissage (voir le tableau à la page suivante).

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Le tableau suivant dresse la liste des activités interactives offertes avec la collection *Delta Physique*.

Activités interactives	Parties du cahier d'apprentissage ciblées
OPTIQUE	
1	Chapitre 1, Section 1 Les types de réflexion et Section 2 La géométrie de la réflexion
2	Chapitre 1, Section 3 Les lois de la réflexion
3	Chapitre 2, Section 1 La réflexion sur les miroirs sphériques
4	Chapitre 2, Section 2 Les images obtenues par la réflexion de la lumière
5	Chapitre 3, Section 1 Le phénomène de la réfraction et Section 2 La géométrie de la réfraction
6	Chapitre 3, Section 3 Les lois de la réfraction
7	Chapitre 3, Section 4 La réflexion totale interne
8	Chapitre 4, Section 1 Les différents types de lentilles et Section 2 La réfraction dans les lentilles
9	Chapitre 4, Section 3 La vergence des lentilles
10	Chapitre 4, Section 4 Les images obtenues par la réfraction de la lumière
11	Consolidation du cahier d'optique (chapitres 1 à 4)
MÉCANIQUE	
Module 1 La cinématique	
1	Chapitre 1, Section 1 La position, le déplacement et la distance parcourue et Section 2 Le graphique de la position en fonction du temps
2	Chapitre 1, Section 3 La vitesse et Section 4 Le graphique de la vitesse en fonction du temps
3	Chapitre 2, Section 1 La notion d'accélération et Section 2 Le graphique de la vitesse en fonction du temps
4	Chapitre 2, Section 3 Le graphique de la position en fonction du temps et Section 4 La vitesse moyenne et la vitesse instantanée
5	Chapitre 2, Section 5 Le graphique de l'accélération en fonction du temps et Section 6 Le formalisme mathématique du mouvement rectiligne uniformément accéléré
6	Chapitre 2, Section 7 La chute libre
7	Chapitre 2, Section 8 Le plan incliné
8	Chapitre 3, Section 1 L'indépendance des mouvements horizontal et vertical, Section 2 Les équations du mouvement des projectiles et Section 3 Le mouvement des projectiles lancés horizontalement
9	Chapitre 3, Section 4 La portée
10	Consolidation du module 1 La cinématique (chapitres 1 à 3)
Module 2 La dynamique	
11	Chapitre 4, Section 1 La notion de force et Section 2 La force gravitationnelle
12	Chapitre 4, Section 3 La force normale et Section 4 La force de frottement
13	Chapitre 4, Section 5 La tension
14	Chapitre 4, Section 6 La force centripète
15	Chapitre 5, Section 1 Le diagramme de corps libre et Section 2 La résultante de plusieurs forces
16	Chapitre 5, Section 3 La notion d'équilibre
17	Chapitre 6, Section 1 La première loi de Newton
18	Chapitre 6, Section 2 La deuxième loi de Newton
19	Chapitre 6, Section 3 La troisième loi de Newton
20	Consolidation du module 2 La dynamique (chapitres 4 à 6)
Module 3 L'énergie et ses transformations	
21	Chapitre 7, Section 1 Le travail d'une force
22	Chapitre 7, Section 2 La puissance mécanique
23	Chapitre 8, Section 1 L'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle
24	Chapitre 8, Section 2 La conservation de l'énergie mécanique
25	Chapitre 9, Section 1 Le comportement des ressorts hélicoïdaux et Section 2 L'énergie potentielle élastique
26	Consolidation du module 3 L'énergie et ses transformations (chapitres 7 à 9)
27	Consolidation du cahier de mécanique (modules 1 à 3)

Reproduction interdite © TC Média Livres Inc.

Médiagraphie

Voici une liste de liens Internet permettant d'accéder à des documents ou à des sites touchant les thèmes abordés dans les cahiers *Delta Physique*. Ces liens s'adressent, de façon générale, autant aux enseignants qu'aux élèves. Cependant, les textes qu'on y trouve ne présentent pas tous le même degré de difficulté : certains utilisent un vocabulaire spécialisé et sont plus complexes que ceux du cahier. Nous proposons également plusieurs liens vers des documents vidéo qu'il peut être intéressant de visionner en classe, avec les élèves. D'autres liens proposent des animations interactives, qui permettent à l'élève d'interagir avec le contenu proposé. Il est à noter que quelques sites sont en anglais : une précision est alors ajoutée à la description du site.

OPTIQUE

Notions de base

Section 1 Les caractéristiques des ondes

Synchrotron SOLEIL – *Histoire de la lumière : Ondes et photons* – Site proposant des vidéos et des documentaires courts sur la lumière, sa nature électromagnétique, sa propagation, ses comportements, l'histoire des grandes découvertes qui ont marqué le développement de l'optique. Cette vidéo présente une brève histoire de la lumière, depuis les technologies préhistoriques jusqu'aux concepts d'onde et de photon.
https://www.youtube.com/watch?v=L5B3frVR8LM

Université Laval – Outils utiles pour les sciences (OPUS) – *La lumière : onde et particule* – Site présentant de nombreuses informations sur des phénomènes physiques. Cet article explique la dualité onde-particule de la lumière.
http://www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/resumes/13c.shtml

Université du Colorado – *Phet Interactive Simulations* – Site proposant de nombreuses simulations de phénomènes physiques. Cette animation interactive avec paramètres variables, en français, permet de visualiser une onde mécanique se propageant sur une corde.
http://phet.colorado.edu/sims/wave-on-a-string/wave-on-a-string_fr.html

Section 2 Le spectre de la lumière

Musée virtuel Canada – *Le spectre électromagnétique* – Site dédié à l'apprentissage de plusieurs disciplines, entre autres la physique et l'astronomie. Cette page présente d'une façon complète et détaillée le spectre électromagnétique de la lumière.
http://astro-canada.ca/_fr/a3480.php

Université du Colorado – *Phet Interactive Simulations* – Site proposant de nombreuses simulations de phénomènes physiques. Cette animation interactive avec paramètres variables, en anglais, permet d'illustrer la façon dont le cerveau perçoit les couleurs.
http://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision_en.html

Synchrotron SOLEIL – *Histoire de la lumière : le spectre lumineux* – Site proposant des vidéos et des documentaires courts sur la lumière, sa nature électromagnétique, sa propagation, ses comportements, l'histoire des grandes découvertes qui ont marqué le développement de l'optique. Cette vidéo présente les grandes étapes de la découverte du spectre lumineux.
https://www.youtube.com/watch?v=S0ni5gNA_-I

Planète + – *Merveilles des mondes invisibles : Les ondes* – Volet 2 de 3 – Émission scientifique traitant des divers types d'ondes, de leur présence dans notre environnement et de leurs applications.
https://www.youtube.com/watch?v=dS72EC0g178

Musée virtuel Canada – *Le spectre de la lumière blanche* – Site dédié à l'apprentissage de plusieurs disciplines, entre autres la physique et l'astronomie. Cette page présente une brève histoire de la décomposition de la lumière blanche.
http://astro-canada.ca/_fr/a3200.php

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Académie d'Aix-Marseille – Site présentant de nombreuses expériences et démonstrations de phénomènes physiques et chimiques. Cette activité permet de fabriquer un disque de Newton afin d'illustrer que la lumière blanche est une combinaison des couleurs qui composent le spectre électromagnétique de la lumière visible.
http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/labospc/spip.php?article378

Section 3 La propagation de la lumière

Physique, chimie au collège et au lycée – Animations PCCL – Site présentant de nombreuses animations de phénomènes physiques. Cette animation permet de visualiser la propagation rectiligne d'un faisceau lumineux.
http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/cinquieme/optique/propagation_lumiere.htm

Université de Lille 1 – Physique à main levée – *La chambre noire* – Site présentant de nombreuses expériences et démonstrations de phénomènes physiques et chimiques. Cette vidéo présente le phénomène de propagation rectiligne de la lumière à l'aide d'un sténoscope. La vidéo est accompagnée d'explications supplémentaires écrites.
http://phymain.unisciel.fr/la-chambre-noire/

Chapitre 1 La réflexion de la lumière

1.1 La réflexion spéculaire

Wikipedia – Site – *Miroir* – Article présentant l'histoire des miroirs.
http://fr.wikipedia.org/wiki/Miroir

3.1 La première loi de la réflexion

Wikipedia – Site – *Alhazen* – Article présentant la biographie et l'œuvre scientifique de Alhazen.
http://fr.wikipedia.org/wiki/Alhazen

3.2 La seconde loi de la réflexion

Harmony Science Academy High School – Disappearing Rabbit – Site présentant, en anglais, des projets de sciences réalisés par des élèves. Le projet présenté consiste à fabriquer une boîte magique qui fait disparaître les objets qu'on y met grâce à un miroir plan. Une vidéo accompagne les informations écrites.
https://sites.google.com/site/hsa2012jesse3/disappearing-rabbit

Université Laval – Outils utiles pour les sciences (OPUS) – *Aller-retour pour la lumière* – Article expliquant l'application des lois de la réflexion dans la conception des panneaux de signalisation routière.
http://www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/compléments/panneau.shtml

Chapitre 2 Les miroirs

1.1 Les miroirs concaves

Université de Lille 1 – Physique à main levée – *Le foyer* – Site présentant de nombreuses expériences et démonstrations de phénomènes physiques et chimiques. Cette vidéo présente une méthode simple pour trouver le foyer d'un miroir concave en mettant le feu à un morceau de papier.
http://phymain.unisciel.fr/le-foyer/

Massachusetts Institute of Technology (*MIT*) – *Archimedes Death Ray : Idea Feasibility Testing* – Site offrant un accès gratuit, en anglais, à une information scientifique et technologique abondante. Cet article présente, à partir de nombreuses photos, la reconstitution d'un exploit supposé du savant grec Archimède : la mise à feu de vaisseaux de guerre romains à l'aide de miroirs paraboliques, lors du siège de Syracuse en 212 av. J.-C.
http://web.mit.edu/2.009/www/experiments/deathray/10_ArchimedesResult.html

Accromaths – Revue publiée par l'Institut des sciences mathématiques de l'Université du Québec à Montréal – *Les miroirs ardents* – Article présentant avec simplicité les aspects mathématiques de diverses applications des miroirs paraboliques : les antennes paraboliques, les radars, les phares d'auto, les télescopes et les fours solaires.
http://socrate.math.uqam.ca/accro/wp-content/uploads/2013/04/Vol.2.pdf

2.2 Les images formées par les miroirs plans

Université de Lille 1 – Physique à main levée – *Le miroir fidèle* – Site présentant de nombreuses expériences et démonstrations de phénomènes physiques et chimiques. Cette vidéo présente une démonstration illustrant le phénomène de l'inversion latérale lors de la réflexion dans un miroir plan ainsi qu'un système réfléchissant simple sans inversion latérale. La vidéo est accompagnée d'explications supplémentaires écrites.
http://phymain.unisciel.fr/le-miroir-fidele/

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

2.3 Le miroir plan et le champ de vision

Portail de cours en ligne de la Société de formation à distance des commissions scolaires du Québec – Activités interactives – eduSOFAD – *Vol à l'étalage* – Activité (type SAÉ) sur les miroirs plans : positionner des miroirs plans dans un petit commerce afin de permettre à la caissière de surveiller les rayons du magasin. Explications écrites et animées avec exercices interactifs.

http://edusofad.com/www/demo/wphy-5041/demo/o1s4ss0p01.php

2.5 Les images formées par les miroirs convexes

Encyclopédie Larousse en ligne – *Isaac Newton* – Article présentant la biographie et l'œuvre scientifique de Newton.

http://www.larousse.fr/encyclopedie/personnage/sir_Isaac_Newton/135134

Portail de cours en ligne de la Société de formation à distance des commissions scolaires du Québec – Activités interactives – eduSOFAD – *Les notions de physique : les miroirs courbes* – Explications écrites et animées avec exercices interactifs de synthèse sur les concepts inhérents aux miroirs concaves et convexes.

http://edusofad.com/www/demo/wphy-5041/demo/o2s3ss0p01.php

Chapitre 3 La réfraction de la lumière

1.2 La réfraction et son indice

Les Éditions Nathan – *Dispersion et réfraction de la lumière : L'expérience historique d'Archimède* – Site présentant de nombreuses expériences et démonstrations de phénomènes physiques et chimiques. Cette vidéo présente une démonstration illustrant le phénomène de la réfraction.

https://www.youtube.com/watch?v=-mmAeHLt5YQ

Physique, chimie au collège et au lycée – Animations PCCL – Site présentant de nombreuses animations de phénomènes physiques. Cette animation interactive permet d'appliquer la loi de Snell-Descartes en étudiant la réfraction à différents dioptres (air, eau, plexiglas, diamant).

http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/lycee/seconde/refraction_loi_descartes_optique_seconde_lycee.htm

3.2 La seconde loi de la réfraction

Intra-science.com – *Comment se forme un mirage ?* – Site de vulgarisation scientifique proposant des explications, des observations et des expériences richement illustrées. Cet article bien illustré explique la formation des mirages à partir de la loi de Snell-Descartes.

http://intra-science.anaisequey.com/physique/99-optique/236-mirage

Université de Lille 1 – Physique à main levée – *Ombres mystérieuses* – Site présentant de nombreuses expériences et démonstrations de phénomènes physiques et chimiques. Cette vidéo présente une expérience produisant un mirage en direct et illustrant l'effet d'une modification de l'indice de réfraction de l'air par la chaleur.

http://phymain.unisciel.fr/ombres-mysterieuses/

Encyclopédie Larousse en ligne – *Willebrord Snell* – Article présentant la biographie et l'œuvre scientifique de Snell.

http://www.larousse.fr/encyclopedie/personnage/Willebrord_Snell_Van_Royen/180962

Encyclopédie Larousse en ligne – *René Descartes* – Article présentant la biographie et l'œuvre scientifique de Descartes.

http://www.larousse.fr/encyclopedie/personnage/René_Descartes/116208

Encyclopédie Larousse en ligne – *Johannes Kepler* – Article présentant la biographie et l'œuvre scientifique de Kepler.

http://www.larousse.fr/encyclopedie/personnage/Johannes_Kepler/127297

4.1 La géométrie de la réflexion totale interne

Université de Lille 1 – Physique à main levée – *La fontaine lumineuse* – Site présentant de nombreuses expériences et démonstrations de phénomènes physiques et chimiques. Cette vidéo présente une expérience permettant de reproduire le comportement de la lumière dans la fibre optique à l'aide d'une fontaine d'eau.

http://phymain.unisciel.fr/la-fontaine-lumineuse/

Site du Programme des chaires d'excellence en recherche du Canada (CERC) – *La fibre optique au cœur de notre vie* – Texte et vidéo présentant une incursion dans le monde de la recherche scientifique de pointe. Dans un laboratoire de l'Université Laval, on met au point une fibre optique du futur, capable de transporter une énorme quantité d'informations.

http://www.cerc.gc.ca/chairholders-titulaires/messaddeq-fra.aspx

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

4.2 L'angle critique

Unisciel (Université des Sciences en Ligne) – Émission kezako : *Pourquoi les arc-en-ciel sont-ils incurvés ?* – Épisode dans lequel on explique la formation des arcs-en-ciel et leurs principales caractéristiques.

https://www.youtube.com/watch?v=pzWjlAs63Js&list=PL2EB473ED87C5561D&index=53

Chapitre 4 Les lentilles

Rappel Le cristallin, une lentille biconvexe

Encyclopédie Larousse en ligne – *Fonctionnement de l'œil* – Animation audiovisuelle présentant le fonctionnement de l'œil depuis l'entrée de la lumière jusqu'à la formation de l'image en passant par l'accommodation.

http://www.larousse.fr/encyclopedie/animations/Fonctionnement_de_l%C5%93il/1100450

3.4 La formule des lunetiers

Wikipedia – Site – *Lunettes* – Article présentant l'histoire des lunettes depuis l'Antiquité jusqu'à aujourd'hui.

http://fr.wikipedia.org/wiki/Lunettes

4.1 Les images formées par les lentilles convergentes

Physique, chimie au collège et au lycée – Animations PCCL – Site présentant de nombreuses animations de phénomènes physiques. Cette animation interactive aux paramètres variables permet d'étudier le comportement des rayons lumineux passant dans les lentilles convergentes.

http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/lycee/premiere_1S/lentille_convergente.htm

Encyclopédie Larousse en ligne – *Troubles de la vision, myopie et hypermétropie* – Animation audiovisuelle présentant deux troubles de la vue et les verres qui les corrigent.

http://www.larousse.fr/encyclopedie/animations/Myopie_et_hyperm%C3%A9tropie/1100415

4.2 Les images formées par les lentilles divergentes

Chaîne You Tube Philip Tenigami – Vidéo – *L'étude de la Voie lactée : Galilée dit Galileo Galilei* – Épisode d'une série intitulée « Les grandes dates de la science et de la technique ». Cette vidéo présente une reconstitution historique de la fabrication d'un télescope réfracteur par Galilée et de ses découvertes astronomiques. Des commentaires, en français, permettent à l'élève de comprendre l'importance des travaux de Galilée dans l'histoire de la physique et de la pensée.

https://www.youtube.com/watch?v=Bl27hhKN7_Y

Encyclopédie Larousse en ligne – *Troubles de la vision, myopie et hypermétropie* – Animation audiovisuelle présentant deux troubles de la vue et les verres qui les corrigent.

http://www.larousse.fr/encyclopedie/animations/Myopie_et_hyperm%C3%A9tropie/1100415

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

MÉCANIQUE

Notions de base

1.2 Le système international d'unités

Bureau international des poids et mesures (BIPM) – Site officiel du BIPM – Informations sur le SI, son évolution, les unités SI et leurs étalons.
http://www.bipm.org/fr/measurement-units/

Conseil national de recherche du Canada (CNRC) – Site officiel du BIPM – Informations sur l'horloge atomique et l'heure officielle du CNRC.
http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/services/heure/index.html

Section 2 Les systèmes de référence

Physique, chimie au collège et au lycée – Animations PCCL – Site présentant de nombreuses animations portant sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation démontre les différences dans la trajectoire d'une balle selon deux référentiels différents.
http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/lycee/seconde/referentiel_relativite_mouvement_train.htm

3.3 L'addition des vecteurs

Université du Colorado – *Phet Interactive Simulations* – Nombreuses animations portant sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation interactive avec paramètres variables permet d'additionner des vecteurs et de visualiser le vecteur résultant.
https://phet.colorado.edu/sims/vector-addition/vector-addition_fr.html

3.4 La soustraction des vecteurs et la notion de vecteur opposé

Animations Flash pour la physique – Site proposant de nombreuses animations portant sur des concepts de la physique. Cette animation interactive avec paramètres variables permet d'additionner et de soustraire des vecteurs ainsi que de visualiser le vecteur résultant.
http://tfleisch.profweb.ca/somme-et-diffeacuterence-de-2-vecteurs.html

Chapitre 1 Le mouvement rectiligne uniforme

Section 2 Le graphique de la position en fonction du temps

Physique, chimie au collège et au lycée – Animation PCCL – *Mouvement : diagramme distance/temps* – Site présentant de nombreuses animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation permet de conduire une moto en visualisant le graphique de sa position en fonction du temps.
http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/lycee/seconde/graphe_distance_duree.htm

Université Laval – Outils utiles pour les sciences (OPUS) – *Le mouvement rectiligne uniforme* – Site présentant de nombreuses informations et animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation permet de visualiser le MRU d'un autobus et les graphiques de sa position, de sa vitesse et de son accélération en fonction du temps.
http://www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/video/mru.avi

Section 3 La vitesse

Unisciel (Université des Sciences en Ligne) – Émission kezako : *Comment fonctionnent les radars de contrôle de vitesse ?* – Épisode dans lequel on explique le fonctionnement des radars de contrôle de vitesse utilisés par les policiers.
https://www.youtube.com/watch?v=l0xYTwpH1kg&list=PL2EB473ED87C5561D&index=12

Section 4 Le graphique de la vitesse en fonction du temps

Physique, chimie au collège et au lycée – Animation PCCL – *Mouvement : diagramme vitesse/temps* – Site présentant de nombreuses animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation permet de conduire une moto en visualisant le graphique de sa vitesse en fonction du temps.
http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/lycee/seconde/diagramme_vitesse_duree.htm

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Portail de cours en ligne de la Société de formation à distance des commissions scolaires du Québec – Activités interactives – eduSOFAD – *Les aiguilleurs du ciel* – Activité interactive (type SAÉ) sur le MRU et les vecteurs : placé dans le rôle d'un contrôleur aérien, l'élève doit évaluer le déplacement résultant et la distance totale parcourue par un avion, tracer le graphique de la position en fonction du temps de plusieurs avions et déterminer leur vitesse respective, puis trouver une série de vecteurs déplacement permettant de faire atterrir ces avions de façon sécuritaire en respectant toutes les contraintes. Explications écrites et animées avec exercices interactifs.

http://edusofad.com/www/demo/wphy-5042/demo/c1s3ss0p01.php

Portail de cours en ligne de la Société de formation à distance des commissions scolaires du Québec – Activités interactives – eduSOFAD – *Vitesse et mouvement rectiligne uniforme* – Explications écrites et animées avec exercices interactifs de synthèse sur les concepts inhérents au MRU d'un cycliste.

http://edusofad.com/www/demo/wphy-5042/demo/c2s3ss0p01.php

Chapitre 2 Le mouvement rectiligne uniformément accéléré

2.1 Le graphique de la vitesse en fonction du temps pour un MRUA

Physique, chimie au collège et au lycée – Animation PCCL – *Mouvement : diagramme accélération/temps* – Site présentant de nombreuses animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation permet de conduire une moto en visualisant le graphique de sa vitesse et de son accélération en fonction du temps.

http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/troisieme/mecanique/graphe_acceleration_duree.htm

Université Laval – Outils utiles pour les sciences (OPUS) – *Analyse graphique du mouvement rectiligne* – Site présentant de nombreuses informations et animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette page présente une analyse graphique du MRU et du MRUA. Exposé systématique et complet.

http://www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/resumes/33a.shtml

Université Laval – Outils utiles pour les sciences (OPUS) – *Animations sur le mouvement rectiligne* – Site présentant de nombreuses informations et animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Trois animations présentent trois mouvements avec évolution de plusieurs graphiques en temps réel : le MRU, le MRUA avec vitesse et accélération dans le même sens, et le MRUA avec vitesse et accélération de sens opposés.

http://www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/complements/animMouv.shtml

Section 4 La vitesse moyenne et la vitesse instantanée

Allô Prof – *La relation entre la vitesse et le temps* – Site d'aide aux devoirs proposant une bibliothèque virtuelle richement documentée. Cet article présente un exposé complet sur la vitesse instantanée, la vitesse moyenne, ainsi que des graphiques de la vitesse en fonction du temps.

http://www.alloprof.qc.ca/BV/pages/p1008.aspx

Section 6 Le formalisme mathématique du mouvement rectiligne uniformément accéléré

Université Laval – Outils utiles pour les sciences (OPUS) – *Le mouvement rectiligne uniformément accéléré* – Site présentant de nombreuses informations et animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette page présente le formalisme mathématique du MRUA. Exposé systématique et complet.

http://www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/resumes/33c.shtml

Unisciel (Université des Sciences en Ligne) – Émission kezako : *Pourquoi faut-il diminuer la vitesse pour limiter les embouteillages ?* – Épisode dans lequel on montre comment les concepts de cinématique peuvent servir à résoudre un problème d'intérêt public bien concret : la circulation automobile dans les régions urbaines.

https://www.youtube.com/watch?v=ZawKtB41ct8

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Section 7 La chute libre

Daily Motion – Site d'intérêt général – Document d'archives : en 1971, dans le cadre de la mission *Apollo 15*, l'astronaute David Scott reproduit la célèbre expérience de Galilée, lâchant simultanément un marteau et une plume à la surface de la Lune.
http://www.dailymotion.com/video/x15x72_chute-vide-4_school

Euronews science – *Felix Baumgartner devient le Premier homme à franchir le mur du son en chute libre* – Reportage présentant les aspects techniques, scientifiques, etc., du saut supersonique de 39 000 m exécuté par Felix Baumgartner, en 2012. La vidéo présente les moments importants du saut.
https://www.youtube.com/watch?v=mZzwNiGV1Qs

Physique, chimie au collège et au lycée – Animation PCCL – *Chute libre* – Site présentant de nombreuses animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation présente le comportement d'une balle en chute libre, avec graphiques de la position et de la vitesse en fonction du temps.
http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/lycee/terminale_TS/chuteLibre.htm

FranceTVéducation – *Galilée : La chute des corps* – Cette vidéo présente une reconstitution historique des expériences de Galilée sur la chute des corps. Des commentaires permettent à l'élève de comprendre l'importance des travaux de Galilée sur la chute des corps.
http://education.francetv.fr/physique-chimie/cinquieme/video/galilee-la-chute-des-corps

Physique, chimie au collège et au lycée – Animation PCCL – *Chute verticale avec frottements* – Site présentant de nombreuses animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation présente la chute d'un corps soumis à la résistance de l'air, avec graphiques de la position et de la vitesse en fonction du temps.
http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/lycee/terminale_TS/chuteFrottementCone.htm

Section 8 Le plan incliné

CoPains – Site de communauté de pratique sur l'apprentissage interactif par simulations en physique et mathématique – Animation – *La descente* – Cette animation simule une petite voiture descendant le long d'un plan incliné. Hauteur et angle ajustables. Temps de descente chronométré.
http://www.patrickmoisan.net/copains/fichiers/simulations/descente.html

FranceTVéducation – *Galilée : L'expérience des plans inclinés* – Cette vidéo présente une reconstitution historique des expériences de Galilée sur le plan incliné. Des commentaires permettent à l'élève de comprendre l'importance des travaux de Galilée sur le plan incliné.
http://education.francetv.fr/physique-chimie/terminale/video/galilee-l-experience-des-plans-inclines

Chapitre 3 Le mouvement des projectiles

4.1 La portée

Université du Colorado – *Phet Interactive Simulations – Mouvement d'un projectile* – Nombreuses animations portant sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation interactive avec paramètres variables permet de simuler le mouvement de projectiles.
http://phet.colorado.edu/sims/projectile-motion/projectile-motion_fr.html

4.2 La portée maximale

Le Figaro • TV – Site du journal français *Le Figaro* – Vidéo – *L'e-prouvette #15 : jusqu'où peut-on frapper un ballon de foot ?* – Cette vidéo répond aux questions suivantes : Quelle est la portée maximale d'un ballon de soccer botté par un joueur professionnel ? Quel est l'effet de la résistance de l'air sur la portée du ballon ?
http://video.lefigaro.fr/figaro/video/l-e-prouvette-15-jusqu-ou-peut-on-frapper-un-ballon-de-foot/3656898851001/

Chapitre 4 Les différents types de forces

2.1 La loi de la gravitation universelle

Chaîne You Tube Santana Bever – Vidéo – *La gravitation : Isaac Newton – Histoire de la théorie de la gravitation universelle* – Épisode d'une série intitulée « Les grandes dates de la science et de la technique ». Cette vidéo présente une reconstitution historique des travaux de Newton sur la gravitation universelle. Des commentaires, en français, permettent à l'élève de comprendre l'importance des travaux de Newton dans l'histoire de la physique et de la pensée.
https://www.youtube.com/watch?v=WuQF6-9smoM

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Chaîne You Tube Santana Bever – Vidéo – *Les trajectoires des planètes : Tycho Brahe, Johannes Kepler* – Épisode d'une série intitulée « Les grandes dates de la science et de la technique ». Cette vidéo présente une reconstitution historique des travaux de Kepler sur le mouvement des planètes. Des commentaires, en français, permettent à l'élève de comprendre l'importance des travaux de Kepler dans l'histoire de la physique.
https://www.youtube.com/watch?v=93g6QqAlUTc

Université du Colorado – *Phet Interactive Simulations* – *Gravity Force Lab* – Nombreuses animations portant sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation interactive avec paramètres variables, en anglais, permet de visualiser la force gravitationnelle que deux objets exercent l'un sur l'autre.
https://phet.colorado.edu/sims/html/gravity-force-lab/latest/gravity-force-lab_en.html

Allô Prof – *Les marées : explication du phénomène des marées* – Site d'aide aux devoirs proposant une bibliothèque virtuelle richement documentée. Cet article présente un exposé complet sur l'effet de la force gravitationnelle sur les océans.
http://www.alloprof.qc.ca/BV/Pages/s1076.aspx

2.2 L'accélération gravitationnelle et le poids

Physique, chimie au collège et au lycée – Animation PCCL – *Relation entre la masse et le poids* – Site présentant de nombreuses animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation avec paramètres variables permet de comprendre par une expérimentation virtuelle la différence entre la masse et le poids.
http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/troisieme/mecanique/masse_poids_dynamometre.htm

Universsciences.tv – Site de la webTV scientifique de la Cité des sciences et du Palais de la découverte de France – *La masse ou le poids ?* – Dans cette vidéo, le physicien Étienne Klein clarifie avec brio les rapports entre masse et poids.
https://www.youtube.com/watch?v=W5CC04uhIs0

4.1 La nature du frottement

Université Laval – Outils utiles pour les sciences (OPUS) – *Course automobile et frottement* – Site présentant de nombreuses informations et animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cet article permet de comprendre l'exploitation du frottement pour améliorer les performances des voitures de course.
http://www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/complements/course.shtml

6.2 L'expression mathématique de la force centripète

Encyclopédie Larousse en ligne – *Force centripète* – Cette animation audiovisuelle permet de visualiser la relation entre la vitesse et la force centripète dans trois situations.
http://www.larousse.fr/encyclopedie/animations/Force_centrip%C3%A8te/1100268

Chapitre 5 Les corps soumis à différentes forces

Section 1 Le diagramme de corps libre

Animations Flash pour la physique – *Relevez et placez correctement les forces* – Site proposant de nombreuses animations portant sur des concepts de la physique. Cette animation interactive avec paramètres variables permet à l'élève de s'exercer à tracer des diagrammes de corps libre. De nombreux cas de figure sont proposés.
http://tfleisch.profweb.ca/exercice--relevez-et-placez-correctement-les-forces.html

Chapitre 6 Les lois de Newton

2.3 L'expression mathématique de la deuxième loi de Newton

Université du Colorado – *Phet Interactive Simulations* – *Net Force* – Nombreuses animations portant sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation interactive avec paramètres variables, en anglais, permet de simuler le mouvement d'un corps et de comprendre la relation entre la masse, la force résultante et l'accélération.
https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_en.html

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Section 3 La troisième loi de Newton

Secouchermoinsbête.fr – Vidéo – Site de vulgarisation scientifique général – Reportage avec l'astronaute canadien Chris Hadfield montrant l'utilisation des centrifugeuses lors de l'entraînement des astronautes pour simuler la force exercée lors de l'entrée dans l'atmosphère au retour d'une mission spatiale.

http://secouchermoinsbete.fr/32012-tourner-a-30-g-dans-une-centrifugeuse

Chaîne You Tube Alain Bernard – Vidéo – *Pourquoi les pommes tombent et pas la Lune ?* – À l'aide d'une vidéo, on explique le mouvement de la Lune autour de la Terre.

https://www.youtube.com/watch?v=XzYk-V8j_Nk

Chapitre 7 Le travail et la puissance mécanique

Section 2 La puissance mécanique

Chaîne You Tube Philip Tenigami – Vidéo – *James Watt met au point la machine à vapeur* – Épisode d'une série intitulée « Les grandes dates de la science et de la technique ». Cette vidéo présente une reconstitution historique des travaux de Watt sur la machine à vapeur. Des commentaires, en français, permettent à l'élève de comprendre l'importance des travaux de Watt dans l'histoire de la physique.

https://www.youtube.com/watch?v=yAKtYAFHg2w

Chapitre 8 L'énergie mécanique

1.1 L'énergie cinétique

Physique, chimie au collège et au lycée – Animation PCCL – *L'énergie cinétique 1* – Site présentant de nombreuses animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation interactive avec paramètres variables permet de conduire une moto en voyant un diagramme de son énergie cinétique en fonction de sa masse et de sa vitesse.

http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/troisieme/energie/energie_cinetique_scooter.htm

Physique, chimie au collège et au lycée – Animation PCCL – *L'énergie cinétique 2* – Site présentant de nombreuses animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation interactive avec paramètres variables permet de mener une expérience virtuelle simple sur l'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle et d'en tirer des conclusions à partir d'un quiz.

http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/troisieme/energie/energie_cinetique_qcm.htm

2.2 La conservation de l'énergie mécanique dans un système isolé

Chaîne You Tube Santana Bever – Vidéo – *La découverte de l'énergie : James Prescott Joule et William Thomson* – Épisode d'une série intitulée « Les grandes dates de la science et de la technique ». Cette vidéo présente une reconstitution historique des travaux de Joule et Thomson sur l'énergie. Des commentaires, en français, permettent à l'élève de comprendre l'importance de leurs découvertes dans l'histoire de la physique.

https://www.youtube.com/watch?v=1aj1tDhSsIo

Physique, chimie au collège et au lycée – Animation PCCL – *Montagnes russes* – Site présentant de nombreuses animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation permet de visualiser la variation de l'énergie potentielle gravitationnelle et de l'énergie cinétique, ainsi que la conservation de l'énergie mécanique (cas d'un système isolé).

http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/troisieme/energie/energie_potentielle_cinetique_mecanique.htm

Université Laval – Outils utiles pour les sciences (OPUS) – *Montagnes russes* – Site présentant de nombreuses informations et animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cet article documenté applique les concepts d'énergie potentielle gravitationnelle et d'énergie cinétique pour analyser les montagnes russes.

http://www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/complements/montagn.shtml

Physique, chimie au collège et au lycée – Animation PCCL – *Barrage* – Site présentant de nombreuses animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation et le quiz qui l'accompagne permettent d'appliquer les concepts d'énergie potentielle gravitationnelle et d'énergie cinétique pour comprendre le fonctionnement d'une centrale hydroélectrique.

http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/troisieme/energie/barrage_hydroelectrique.htm

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

Physique, chimie au collège et au lycée – Animation PCCL – *Conservation de l'énergie mécanique* – Site présentant de nombreuses animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation permet de visualiser le mouvement d'un corps et la variation de son énergie cinétique et de son énergie potentielle gravitationnelle ainsi que la conservation de son énergie mécanique. Trois cas de figure sont comparés (cas d'un système isolé).

http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/lycee/terminale_TS/conservation_energie_mecanique.htm

2.3 L'énergie dans les systèmes non isolés

Physique, chimie au collège et au lycée – Animation PCCL – *Conservation de l'énergie mécanique* – Site présentant de nombreuses animations sur des concepts et des phénomènes physiques. Cette animation permet de visualiser le mouvement d'un corps et la variation de son énergie cinétique et de son énergie potentielle gravitationnelle ainsi que la conservation de son énergie mécanique. Deux cas de figure sont comparés (cas d'un système isolé et cas d'un système non isolé).

http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/lycee/terminale_TS/nonConservation.htm

Chapitre 9 L'énergie emmagasinée dans les ressorts

Section 1 Le comportement des ressorts hélicoïdaux

Encyclopédie Larousse en ligne – *Robert Hooke* – Article présentant la biographie et l'œuvre scientifique de Hooke.

http://www.larousse.fr/encyclopedie/personnage/Robert_Hooke/111544

Section 2 L'énergie potentielle élastique

Animations pour l'enseignement de la physique, par Yves Pelletier – *Conservation of energy with a spring* – Cette animation permet de visualiser la variation de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle élastique et la conservation de l'énergie mécanique d'un ressort en mouvement.

https://www.youtube.com/watch?v=PL5g_IwrC5U

Reproduction autorisée © TC Média Livres Inc.

DELTA PHYSIQUE MÉCANIQUE

Tout ce qu'il faut pour enseigner la physique !

Le cahier d'apprentissage

- Une première section qui présente des notions de base accompagnées d'exercices
- Des contenus notionnels concis et rigoureux
- Un très grand nombre d'illustrations, de graphiques, de schémas et de photos
- Des exercices de fin de section, des exercices de fin de chapitre et des exercices de consolidation à la fin du cahier, tous de niveau de difficulté graduée
- Une section d'exercices de révision de fin d'année
- Toutes les réponses aux exercices exigeant des calculs à la fin du cahier
- Des documents présentant les chiffres significatifs, des démarches, des tableaux de référence, etc.

Le corrigé

- Le corrigé du cahier en couleur
- Des notes pédagogiques

Le guide-corrigé

- Le corrigé du cahier
- Plus de 600 pages de documents reproductibles
- Des évaluations pour tous les chapitres
- Des laboratoires validés et mis en contexte pour les élèves
- Des notes spécifiques à l'intention du TTP
- Des exercices supplémentaires liés à certaines annexes du cahier
- Une évaluation de fin d'année
- Les réponses aux exercices du cahier incluant les démarches

Les contenus numériques i+ Interactif

Avec la plateforme *i+ Interactif* de Chenelière Éducation, offerte en ligne et téléchargeable, présentez, créez, personnalisez et partagez des contenus pédagogiques et plus encore !

Pour les élèves

- Le cahier en version numérique avec l'application Chenelière Éducation pour iPad
- Un accès à un grand nombre d'activités et d'exercices interactifs avec rétroaction, à faire en classe, au laboratoire ou à la maison
- Des documents complémentaires et tout autre contenu numérique que l'enseignant mettra à leur disposition

Pour les enseignants

- Toutes les composantes imprimées en version numérique
- Un grand nombre d'activités et d'exercices interactifs avec rétroaction conçus conformément à la structure de la collection, à faire en grand groupe ou individuellement
- Des outils de gestion pour suivre la progression des élèves
- Tous les documents reproductibles en format PDF et Word modifiable
- Les réponses qui apparaissent une à une et plus de 100 hyperliens

Les composantes de DELTA PHYSIQUE pour le 2e cycle du secondaire

Composantes imprimées	Composantes numériques
• Cahier d'apprentissage – Optique • Corrigé – Optique • Cahier d'apprentissage – Mécanique • Corrigé – Mécanique • Guide-corrigé	• Cahier d'apprentissage – Optique (application Chenelière Éducation pour iPad) • Cahier d'apprentissage – Mécanique (application Chenelière Éducation pour iPad) • Guide-corrigé • Plateforme i+ Interactif

CHENELIÈRE ÉDUCATION