

PHY-5062-2

DYNAMIQUE ET TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE MÉCANIQUE

A photograph of a roller coaster track with two loops, set against a sunset sky with clouds. The track is dark, and the sky is a mix of orange, yellow, and blue. The roller coaster structure is made of metal.

sofad

Dynamique et transformation de l'énergie mécanique

PHY-5062-2

Guide d'apprentissage

The logo for 'sofad' consists of the word 'sofad' in a white, lowercase, sans-serif font, centered within a solid black square.

sofad

Dynamique et transformation de l'énergie mécanique

Ce guide d'apprentissage a été produit par la Société de formation à distance des commissions scolaires du Québec (SOFAD).

Équipe de production

Chargé de projets :	Alain Pednault (SOFAD)
Rédaction :	Interscience
Illustration et page couverture :	Marc Tellier
Révision de contenu :	Gilles St-Louis
Révision linguistique :	Johanne St-Martin
Maquette graphique, mise en page et infographie :	Daniel Rémy (I. D. Graphique inc.)
Lecture d'épreuves :	Johanne St-Martin
Première parution :	Août 2014

Dans cette production, la rédaction épicène assure l'équilibre de la représentation des hommes et des femmes.

© SOFAD, 2014

Tous droits de traduction et d'adaptation, en totalité ou en partie, réservés pour tous pays.

Toute reproduction, par procédé mécanique ou électronique, y compris la microreproduction, est interdite sans l'autorisation écrite d'un représentant dûment autorisé de la SOFAD.

Nonobstant cet énoncé, la reproduction des activités notées est autorisée uniquement pour les besoins des utilisateurs du guide de la SOFAD correspondant.

Dépôt légal – 2014

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Bibliothèque et Archives Canada

ISBN: 978-2-89493-491-3

Août 2014

Table des matières



Introduction	v
Séquence ① - LES FORCES	2
Exploration	4
Activité 1.1 Qu'est-ce qu'une force?	5
Activité 1.2 L'allongement d'un ressort et d'un élastique	17
Activité 1.3 La loi de Hooke	19
Activité 1.4 La force gravitationnelle, une force à distance	28
Activité 1.5 Un dynamomètre interplanétaire	42
Exercices d'intégration	47
Résumé des nouveaux savoirs	49
Séquence ② - L'ÉQUILIBRE	52
Exploration	54
Activité 2.1 L'addition des forces	55
Activité 2.2 Un anneau en équilibre	63
Activité 2.3 En équilibre, au repos ou en mouvement	65
Activité 2.4 En équilibre sur un plan incliné	78
Activité 2.5 L'installation d'une enseigne	80
Exercices d'intégration	85
Résumé des nouveaux savoirs	88
Activité notée 1	89
Séquence ③ - LA DYNAMIQUE ET LES LOIS DE NEWTON	92
Exploration	94
Activité 3.1 Les lois de Newton	95
Activité 3.2 La deuxième loi de Newton, une vérification	111
Activité 3.3 Les lois de Newton et le mouvement	112
Activité 3.4 Le frottement statique	132
Activité 3.5 Le frottement, une force de contact	134
Activité 3.6 La ceinture de sécurité	145
Exercices d'intégration	150
Résumé des nouveaux savoirs	153
Activité notée 2	154
Séquence ④ - LE TRAVAIL MÉCANIQUE ET LA PUISSANCE	156
Exploration	158
Activité 4.1 Le travail, une force en action	159
Activité 4.2 La puissance, une question de temps	176
Activité 4.3 La puissance d'un moteur, un choix judicieux	184
Exercices d'intégration	189
Résumé des nouveaux savoirs	192

Séquence 5 – L'ÉNERGIE	196
Exploration	198
Activité 5.1 L'énergie mécanique	199
Activité 5.2 L'énergie est partout	208
Activité 5.3 L'énergie aux Jeux olympiques	220
Exercices d'intégration	223
Résumé des nouveaux savoirs	225
Activité notée 3	227
Séquence 6 – LA CONSERVATION DE L'ÉNERGIE	230
Exploration	232
Activité 6.1 L'énergie, son transfert et sa conservation	233
Activité 6.2 La conservation de l'énergie, un outil de prévision	245
Activité 6.3 La simulation, un travail d'expert	255
Exercices d'intégration	261
Résumé des nouveaux savoirs	265
Activité notée 4	266
Conclusion	267
Autoévaluation	269
Section A : Évaluation explicite des connaissances	270
Section B : Évaluation des compétences : Le choix d'une remontée mécanique	283
Grille d'autoévaluation des connaissances	291
Corrigé	295
1 – Les forces	296
2 – L'équilibre	308
3 – La dynamique et les lois de Newton	324
4 – Le travail mécanique et la puissance	341
5 – L'énergie	354
6 – La conservation de l'énergie	362
Autoévaluation	374
Lexique	385
Annexes	391
Annexe A : Grandeurs, unités et symboles	392
Annexe B : Équations et constantes physiques	393
Annexe C : Multiples et sous-multiples	394
Annexe D : Relation de proportionnalité	395
Annexe E : Rapports trigonométriques	398
Annexe F : Notation scientifique	399
Annexe G : Loi des exposants	400
Annexe H : Chiffres significatifs	401
Annexe I : Incertitude d'une mesure	403
Fiche de rétroaction	405

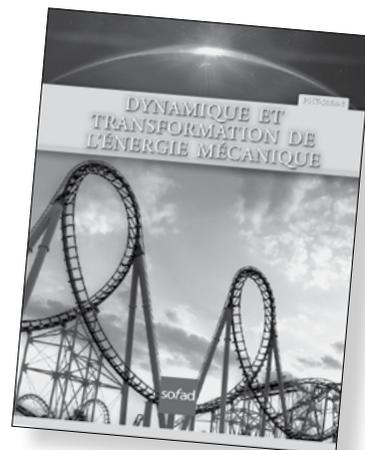
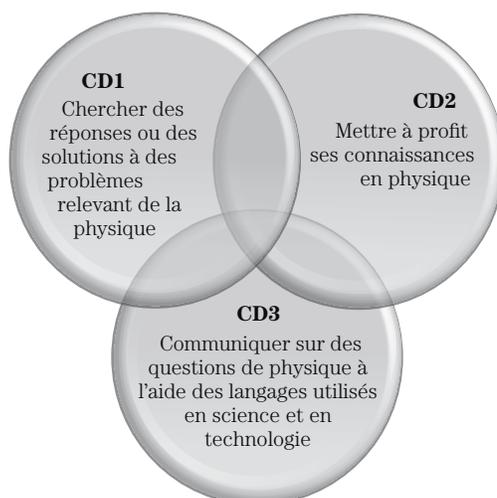
Introduction

Bienvenue dans le cours *Dynamique et transformation de l'énergie mécanique*, qui fait suite à *Cinématique et optique géométrique*.

Alors que la cinématique se consacre à l'étude des mouvements, la dynamique est l'étude des causes de ces mouvements. Et les causes de ces mouvements, ce sont les forces. Il y en a de toutes sortes, comme les forces de contact que vous exercez présentement sur votre chaise. Il y a aussi les forces à distance comme la force d'attraction gravitationnelle, celle que notamment la Terre exerce sur la Lune pour la maintenir en orbite, de même que sur vous et que vous appelez votre poids.

Une force est indispensable à la réalisation d'un travail et pour travailler, ça prend de l'énergie. Dans le cours *Le défi énergétique* (SCT-4061-2), vous avez suivi l'énergie dans ses transformations, notamment lors de son transfert, depuis l'eau en amont du barrage d'une centrale hydroélectrique jusqu'à l'ampoule qui vous éclaire en ce moment. Dans le présent guide, l'accent est mis sur l'énergie mécanique et sur une des lois les plus importantes et les plus appliquées dans l'étude du monde physique, la loi de la conservation de l'énergie.

Mais au-delà de la simple acquisition de connaissances, vous serez appelé à développer ou à renforcer les trois compétences disciplinaires (CD) suivantes :



La CD1 sera sollicitée par la réalisation de tâches dans des activités expérimentales, comme mesurer la force de décrochage d'un bloc en bois sur diverses substances rugueuses. Quant à la CD2, elle sera sollicitée en complétant des tâches dans des situations réalistes et complexes, comme proposer le moteur approprié pour actionner un fauteuil sur rails destiné à monter à l'étage d'une résidence une personne à mobilité réduite. Pour chacune de ces deux compétences, vous mettrez en application la CD3 en expliquant des résultats ou en argumentant des choix. Par exemple, vous aurez à produire un message susceptible d'inciter la population à boucler sa ceinture de sécurité. Ces compétences seront aussi touchées lors des activités d'évaluation présentées au cours de vos apprentissages, soit quatre activités notées et une autoévaluation.

Les savoirs et les techniques

Les nouveaux savoirs que vous devrez acquérir touchent l'univers matériel et sont regroupés en deux grands concepts généraux. Il y a la dynamique, qui s'intéresse aux causes de la variation du mouvement. Puis il y a la transformation de l'énergie, notamment la transformation de l'énergie mécanique. On y abordera plus spécifiquement les transformations d'énergie potentielle en énergie cinétique, et inversement, de même que les concepts de travail, de puissance et de rendement qui sont associés à celui de l'énergie et de sa conservation. Quant aux techniques à acquérir, elles renvoient à des procédés méthodiques qui balisent la mise en application de connaissances théoriques en laboratoire, plus spécifiquement : l'utilisation d'instruments ou la manipulation d'objets de façon sécuritaire, la vérification de la fidélité, de la justesse et de la sensibilité des instruments de mesure, puis l'interprétation des résultats de la mesure.

Le tableau suivant présente la répartition des nouveaux savoirs et des techniques dans les six séquences d'apprentissage de ce guide.

RÉPARTITION DES NOUVEAUX SAVOIRS ET DES TECHNIQUES PRESCRITS

SÉQUENCE D'APPRENTISSAGE	SAVOIRS	TECHNIQUES
<p>1</p> <p>Les forces</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Force efficace • Diagramme de corps libre • Loi de Hooke • Accélération gravitationnelle • Force gravitationnelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation sécuritaire du matériel de laboratoire • Vérification de la fidélité, de la justesse et de la sensibilité des instruments de mesure • Interprétation des résultats de la mesure
<p>2</p> <p>L'équilibre</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Équilibre et résultante de plusieurs forces • Diagramme de corps libre • Force gravitationnelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation sécuritaire du matériel de laboratoire
<p>3</p> <p>La dynamique et les lois de Newton</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lois de Newton • Force de frottement • Force centripète 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation sécuritaire du matériel de laboratoire • Vérification de la fidélité, de la justesse et de la sensibilité des instruments de mesure • Interprétation des résultats de la mesure
<p>4</p> <p>Le travail mécanique et la puissance</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Force de frottement • Relation entre le travail, la force et le déplacement • Relation entre la puissance, le travail et le temps • Loi de Hooke 	
<p>5</p> <p>L'énergie</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Énergie mécanique • Relation entre le travail et l'énergie • Relation entre l'énergie potentielle, la masse, l'accélération gravitationnelle et le déplacement • Relation entre l'énergie cinétique, la masse et la vitesse • Relation entre l'énergie, la constante d'élasticité et la variation de la longueur d'un ressort hélicoïdal 	
<p>6</p> <p>La conservation de l'énergie</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Énergie mécanique 	<ul style="list-style-type: none"> • Interprétation des résultats de la mesure

Structure du guide et consignes d'utilisation

Ce guide d'apprentissage est un instrument qui tend à respecter à la fois les caractéristiques principales de l'apprentissage individualisé et de l'apprentissage en situations concrètes et réalistes. Il peut être utilisé tant dans un contexte de formation à distance qu'en formation en établissement.

Ainsi, par ces modes d'apprentissage, on veut favoriser chez vous :

- la plus grande participation possible;
- la prise en charge de votre cheminement;
- le respect de votre rythme;
- la mise à profit de votre expérience et de vos connaissances.

Vous pourrez, tout au long de votre cheminement, faire la constatation de vos succès ou de vos échecs, déterminer les causes de ceux-ci ainsi que les moyens à prendre pour continuer à progresser dans votre apprentissage. Un formateur ou une formatrice est à votre disposition pour vous soutenir et vous éclairer dans votre cheminement. Si un point vous semble plus difficile, il ne faut pas hésiter à avoir recours à cette aide précieuse qui vous fournira, selon le cas, conseils, animation, critiques et commentaires en adaptant ces divers services à vos besoins.

Les séquences d'apprentissage (SA)

Il y a en tout six séquences d'apprentissage (SA) dans lesquelles vous serez amené à découvrir de nouveaux savoirs et à les appliquer avec compétence. Chaque SA est construite de façon similaire. Elle comporte d'abord une présentation où figure le sujet de la séquence. Suit l'exploration, partie qui vous permettra de tester vos connaissances sur des concepts qui seront utiles dans la séquence d'apprentissage. Suit ensuite une série d'activités de trois types : activité d'acquisition de connaissances, activité expérimentale et activité d'expertise en situation.



activité d'acquisition de connaissances



activité d'expertise en situation



activité expérimentale

L'activité d'acquisition de connaissances est axée sur la découverte active de nouveaux savoirs tandis que les deux autres activités vous amènent à développer vos compétences en réalisant des tâches plus complexes. Ainsi, l'activité expérimentale vous mènera à développer principalement la compétence CD1. Quant à l'activité d'expertise en situation, la tâche à réaliser vous mènera à développer principalement la compétence CD2. Quant à la compétence CD3, elle est nécessairement développée dans toutes les activités proposées.

Au fil des activités, vous serez invité à répondre à des questions qui favoriseront l'acquisition de nouvelles connaissances et le développement de vos compétences. Au premier abord, vous ne serez peut-être pas en mesure de répondre à toutes ces questions. Efforcez-vous tout de même d'y trouver des réponses satisfaisantes, les réponses et des explications complémentaires suivent immédiatement après. Il est essentiel que vous cherchiez à comprendre tous les nouveaux concepts qui sont expliqués.

À la fin de chaque SA, vous trouverez une série d'exercices d'intégration portant sur l'ensemble des concepts abordés dans la séquence ainsi qu'un résumé des nouveaux savoirs. Ceux-ci vous permettront d'en vérifier votre compréhension.

L'autoévaluation

L'autoévaluation est construite en deux sections comme l'épreuve d'évaluation aux fins de sanction, c.-à-d. l'épreuve finale du cours, afin de mieux vous y préparer. Avant de vous y attaquer, prenez le temps de relire le résumé des nouveaux savoirs présenté à la fin de chaque séquence d'apprentissage, puis regardez le tableau de la répartition des savoirs présenté précédemment. Complétez ensuite l'épreuve d'autoévaluation sans consulter le texte du guide ni le corrigé. Puis, comparez vos réponses avec celles du corrigé de l'autoévaluation et complétez votre étude au besoin.

Une grille d'autoévaluation accompagne cette épreuve, Elle vous servira à déterminer les notions que vous maîtrisez et celles pour lesquelles une révision s'impose avant de vous présenter à l'épreuve finale. Des indications sur les notions à réviser sont fournies à même cette grille.

Le corrigé

Après l'épreuve d'autoévaluation, vous trouverez la section « Corrigé » du guide. Référez-vous à ce corrigé pour trouver les réponses à chacune des questions numérotées afin de vous assurer que vous avez bien compris tous les concepts, et ce, avant de poursuivre l'activité ou la séquence d'apprentissage suivante. À la fin de cette section se trouve également le corrigé de l'épreuve d'autoévaluation.

Le lexique

Le lexique constitue la dernière partie du guide. Vous y trouverez, classées en ordre alphabétique, les définitions des mots soulignés en pointillé dans les séquences d'apprentissage. N'hésitez pas à le consulter au fil de vos lectures afin de bien comprendre les termes et expressions qui s'y trouvent.

Les annexes

Les annexes regroupent des renseignements utiles ainsi que quelques rappels de notions préalables.

Activités notées

Le guide est accompagné de quatre activités notées qui sont présentées dans des cahiers séparés, l'une d'elle portant sur une activité expérimentale. Vous aurez à réaliser une activité notée à la suite des SA 2, 3, 5 et 6. Vous trouverez un rappel à cet effet à la fin de chacune de ces SA. Les activités notées ont une fonction d'aide à l'apprentissage. Outre l'évaluation explicite des connaissances, elles comportent chacune une situation complexe et signifiante pour évaluer votre compétence à traiter les tâches de ces situations.

Les activités notées font partie intégrante des séquences d'apprentissage proposées et ne constituent pas un ajout facultatif à votre cheminement; vous devez les faire. À cet effet, ces activités sont prévues pour tous les élèves et doivent être évaluées par le tuteur ou la tutrice si vous êtes en formation à distance ou par l'enseignant ou l'enseignante si vous êtes en formation en établissement. Vous devrez donc les lui soumettre.

Il est possible d'acheter les activités notées en version imprimée à faible coût, ou encore de les télécharger gratuitement à cette adresse, sous la rubrique « Formation de base diversifiée » : <http://cours1.sofad.qc.ca/ressources>.

Évaluation pour fin de sanction

Si vous désirez acquérir les 2 unités rattachées à ce cours, vous devez obtenir une note d'au moins 60 % à l'épreuve finale qui a lieu dans un centre d'éducation des adultes. Pour vous présenter à cette épreuve, il est souhaitable que vous ayez également obtenu une moyenne d'au moins 60 % aux activités notées accompagnant le présent guide. D'ailleurs, certains centres exigent ce résultat pour vous admettre à l'épreuve finale.

L'épreuve finale pour le cours *Dynamique et transformation de l'énergie mécanique* est composée de deux parties, l'une pratique et l'autre théorique. Ces parties sont administrées lors de deux séances distinctes. La partie pratique comporte des tâches que vous devrez réaliser en laboratoire, à partir d'une situation d'application réaliste. La partie théorique est constituée de deux sections, soit l'évaluation explicite des connaissances et l'évaluation des compétences.

Matériel complémentaire

Ayez sous la main tout le matériel dont vous aurez besoin.

- Une calculatrice, un crayon à mine pour inscrire vos réponses et vos notes personnelles dans votre guide, un stylo-bille de couleur pour corriger vos réponses, un surligneur pour souligner les idées importantes, une gomme à effacer, etc.
- La trousse d'expérimentation contenant le matériel nécessaire à la réalisation des activités expérimentales. Vous devrez compléter cette trousse en vous procurant certains items.

Informations complémentaires concernant la formation à distance

Voici quelques suggestions qui vous aideront à organiser votre temps d'étude. La durée de la formation est évaluée à 50 heures de travail approximativement.

- Établissez un horaire d'étude en tenant compte de vos dispositions et de vos besoins, ainsi que de vos obligations familiales, professionnelles et autres.
- Essayez de consacrer quelques heures par semaine à l'étude, de préférence en blocs de deux heures chaque fois.
- Respectez autant que possible l'horaire que vous avez choisi.

La tutrice ou le tuteur est la personne qui vous guide tout au long de votre apprentissage et vous fournit les conseils, les critiques et les commentaires susceptibles d'assurer le succès de votre projet de formation. N'hésitez pas à communiquer avec cette personne si vous éprouvez des difficultés avec la théorie ou les exercices, ou si vous avez besoin d'encouragement pour poursuivre votre étude. Notez vos questions par écrit et communiquez avec elle pendant ses heures de disponibilité et, au besoin, écrivez-lui. Si ses heures de disponibilité et ses coordonnées ne vous ont pas été transmises, demandez-les au centre où vous êtes inscrit.

Bon apprentissage!

Aperçu des éléments constituant une séquence d'apprentissage

Le guide comprend
6 séquences d'apprentissage.
Ici, le numéro de la SA.

Le thème de la SA.

1 Les forces

1.1 Qu'est-ce qu'une force?
But • Définir le concept de force et reconnaître sa nature vectorielle.

1.2 L'allongement d'un ressort et d'un élastique
Buts • Établir expérimentalement la relation qui existe entre la force appliquée sur un ressort hélicoïdal homogène et la variation de sa longueur.
 • Vérifier si le même type de relation s'applique à un élastique.
Votre tâche • Pour l'allongement d'un ressort, vous devez procéder au montage proposé dans le protocole de l'expérience, prendre des mesures de forces et d'allongements puis établir une relation entre ces données.
 • Vous devez discuter de la fiabilité, de la justesse et de la sensibilité du dynamomètre.
 • Pour l'allongement d'un élastique, vous devez élaborer et appliquer votre propre protocole.
 • Vous devez ensuite comparer les résultats obtenus dans les deux cas.

1.3 La loi de Hooke
But • Formuler la relation entre la force appliquée sur un ressort hélicoïdal homogène et la variation de sa longueur.

1.4 La force gravitationnelle, une force à distance
Buts • Déterminer les facteurs qui influent sur la force d'attraction gravitationnelle entre deux corps.
 • Considérer le poids comme un cas particulier de cette attraction.

1.5 Un dynamomètre interplanétaire
But • Établir la relation entre la masse d'un corps et la force gravitationnelle qu'il subit sur différentes planètes.
Votre tâche Dans le cadre de cette activité, vous devez :
 • prendre connaissance de l'intensité du champ gravitationnel à la surface de la Terre, de la Lune et de Mars;
 • déterminer les graduations d'un dynamomètre qui, lorsqu'il est utilisé sur la Terre, indique la masse et le poids sur la Terre, sur la Lune et sur Mars, d'objets d'un maximum de 2,50 kg;
 • faire un schéma de ce dynamomètre.

Vous êtes présentement soumis à l'action de plusieurs forces. La Terre vous attire, la chaise sur laquelle vous êtes assis vous soutient. Vous aussi exercez des forces : vous avez soulevé ce guide pour le placer devant vous, vous avez sûrement ouvert une ou plusieurs portes aujourd'hui, vous produisez même un effet d'attraction sur la Lune! Dans tous ces cas, des forces sont exercées. Dans cette séquence, vous réaliserez des activités d'apprentissage qui vous permettront de comprendre ce qu'est une force et d'en évaluer les effets. Dans la dernière activité, vous ferez appel aux connaissances que vous aurez acquises et aux compétences que vous aurez développées pour déterminer les graduations d'un dynamomètre interplanétaire.

La liste des activités avec le ou les buts particuliers de chacune ainsi que la tâche associée aux activités expérimentales et aux activités d'expertise en situation.

La mise en situation de la SA.

L'exploration permet
de tester certains
concepts utiles pour
réaliser la SA.

Les réponses aux
questions numérotées
sont dans le corrigé à la
fin du guide.

Exploration

Les questions suivantes vous permettront de tester vos connaissances sur des concepts qui vous seront utiles au cours de cette séquence d'apprentissage.

1.1 Qu'entend-on par l'expression suivante : « La force est une quantité vectorielle » ?

1.2 Vous étirez de 20 cm un ressort hélicoïdal homogène en appliquant une force de 5 N. De quelle longueur le ressort s'allongera-t-il si vous lui appliquez une force de 10 N ?

Le type d'activité est identifié par la puce foncée.

Le ou les buts à atteindre dans l'activité.

La tâche à réaliser dans l'activité est précisée, s'il y a lieu.

Les mots soulignés en pointillés sont définis dans le lexique à la fin du guide.



Activité 1.2

L'allongement d'un ressort et d'un élastique

Buts

- Établir expérimentalement la relation qui existe entre la force appliquée sur un ressort hélicoïdal homogène et la variation de sa longueur.
- Vérifier si le même type de relation s'applique à un élastique.

Dans tout objet technologique comprenant un ressort, il importe de choisir le bon ressort. Pour ce faire, il faut connaître de quelle longueur le ressort s'allongera ou se comprimera sous l'action d'une force donnée.

Cette activité vous fournira l'occasion de déterminer la variation de longueur d'un ressort hélicoïdal homogène sous l'effet d'une force.

Un ressort hélicoïdal est formé de spires enroulées autour d'un axe. Le ressort est dit homogène si toutes les spires ont le même diamètre et si le nombre de spires par unité de longueur est le même sur toute sa longueur.

Votre tâche

- Pour l'allongement d'un ressort, vous devrez procéder au montage proposé dans le protocole de l'expérience, prendre des mesures de forces et d'allongements puis établir une relation entre ces données.
- Vous devez discuter de la fidélité, de la justesse et de la sensibilité du dynamomètre.
- Pour l'allongement d'un élastique, vous devrez élaborer et appliquer votre propre protocole.
- Dans la conclusion générale, vous devrez ensuite comparer les résultats obtenus dans les deux cas.

Pour réaliser cette activité, référez-vous au cahier d'activités expérimentales qui accompagne le guide d'apprentissage. Lorsque votre activité sera complétée, venez répondre aux questions suivantes.

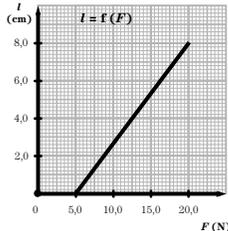
Des exercices d'intégration sont présentés après la dernière activité de la SA et portent sur l'ensemble des concepts et des savoirs abordés au cours de la séquence.

Exercices d'intégration

(1.53) Le graphique ci-contre représente l'allongement d'un ressort homogène en fonction de la force appliquée.

a) Comment expliquez-vous que la droite ne passe pas par l'origine (0,0) ?

b) Quelle est la constante d'élasticité du ressort ?



(1.54) Vous suspendez une masse de 250 g à un ressort dont la constante d'élasticité est de 50 N/m. De quelle longueur le ressort s'allongera-t-il ?

Un résumé des nouveaux savoirs termine la SA et présente les savoirs essentiels abordés au cours de la séquence.

Résumé des nouveaux savoirs

Activité 1.1 – Qu'est-ce qu'une force?

Une **force** est toute cause capable de déformer un corps ou d'en modifier l'état de repos ou de mouvement. On la symbolise par la lettre \vec{F} et on l'exprime en newtons (N).

Une force est une **quantité vectorielle**. Elle est déterminée par sa grandeur et son orientation. On représente une force par un vecteur, un segment de droite orienté tracé à l'échelle.

Lorsqu'une force motrice n'est pas orientée dans la direction du mouvement qu'elle provoque, on en évalue l'efficacité en déterminant la projection du vecteur force sur l'axe du déplacement. C'est la **force efficace** (F_e). Plus l'angle (θ) entre la direction de la force et l'axe du déplacement est petit, plus la force est efficace : $F_e = F \cos \theta$.

Les forces sur un plan incliné

La grandeur de la composante F_{plan} du poids d'un objet qui attire celui-ci vers le bas d'un plan incliné est directement proportionnelle au sinus de l'angle θ que fait le plan avec l'horizontale : $F_{\text{plan}} = F_g \sin \theta$ où F_g , le poids de l'objet, est obtenu en multipliant sa **masse** (m) par l'intensité du **champ gravitationnel** (g) à la surface de la Terre : $F_g = mg$.

On analyse les vecteurs de forces appliqués à un corps en ayant recours au **diagramme de corps libre** dans lequel le corps est représenté par un point situé à son centre de masse.

Les rubriques et autres caractéristiques

Les figures numérotées sont importantes; il faut y porter une attention particulière.

Un texte présenté dans cet encadré indique que ce texte cible des savoirs importants. Ce sont généralement des équations.

L'attraction entre les sphères provoque une très faible rotation du fil métallique qui les supporte. La déviation du faisceau lumineux incident au miroir assujéti au fil permet de calculer la force d'attraction gravitationnelle entre les sphères. En connaissant les valeurs de F_g , m_1 , m_2 et d , Cavendish put calculer la valeur de la constante de proportionnalité dans la relation de Newton. On nomme cette constante la constante gravitationnelle et on la symbolise par la lettre G .

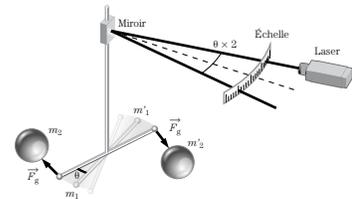


Figure 1.14 Une balance à torsion.

La relation de Newton $F_g \propto \frac{m_1 m_2}{d^2}$ devient

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

Cette équation signifie que deux corps de 1,00 kg distants de 1,00 m s'attirent avec une force de $6,67 \times 10^{-11}$ N. En mettant G en évidence dans la relation de Newton, on obtient

$$G = \frac{F d^2}{m_1 m_2}$$

$$G = \frac{6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \times (1,00 \text{ m})^2}{1,00 \text{ kg} \times 1,00 \text{ kg}}$$

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

Cette constante est universelle. Elle sert à calculer la force d'attraction aussi bien entre deux atomes qu'entre deux planètes ou deux personnes.

Connaissant maintenant la valeur de G , on peut appliquer la loi de l'attraction universelle à n'importe quelle situation à l'aide de l'équation suivante.

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

où F_g est la force d'attraction gravitationnelle en newtons (N), m_1 et m_2 les masses des corps en présence en kilogrammes (kg), d , la distance entre les centres des corps en mètres (m) et G , la constante gravitationnelle dont la valeur est $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$.

Par exemple, la force d'attraction gravitationnelle entre deux personnes respectivement de 50 kg et de 60 kg distantes de 2,0 m est :

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

$$F_g = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \times \frac{50 \text{ kg} \times 60 \text{ kg}}{(2,0 \text{ m})^2}$$

$$F_g = 5,0 \times 10^{-8} \text{ N}$$

La rubrique *Le saviez-vous?* ajoute un complément d'information : il ne fait pas directement partie de l'apprentissage et aucune question de l'épreuve d'évaluation pour fin de sanction ne portera sur son contenu.



Le saviez-vous?

Les alliages à mémoire de forme

Les alliages à mémoire de forme ont la propriété de modifier leur structure cristalline par simple changement de température sans changement d'état. Par exemple, une tige faite d'un alliage cuivre-zinc-aluminium ayant une forme courbée à froid reprendra sa forme rectiligne sous l'effet de la chaleur, démontrant ainsi un effet de mémoire, un peu à la manière d'un ressort qui reprend sa forme initiale lorsque cesse la force appliquée.

On trouve de nombreuses applications d'alliages à mémoire de forme, notamment dans les satellites dont les antennes se déploient au moment voulu par simple réchauffement. Cette caractéristique permet d'avoir un satellite plus léger et plus compact, réduisant ainsi les coûts de fabrication et de lancement dans l'espace.



© ESA - P. Carril

Le pictogramme *Remarque* accompagne les paragraphes auxquels vous devez porter une attention particulière.



Remarque

La force de rappel

Lorsque vous allongez un ressort, vous sentez une résistance de la part de celui-ci. Le ressort exerce sur vous une **force de rappel**. Lorsque l'on fait référence à cette force, on doit la considérer comme négative puisqu'elle agit en sens contraire de l'allongement. Dans ce cas, la relation de Hooke s'écrit :

$$F = -kl, \text{ où } F \text{ est la force exercée par le ressort, la force de rappel.}$$

La rubrique *À retenir* présente des informations à retenir.



À retenir

On confond souvent les unités kilowatt (kW) et kilowattheure (kWh). Le kilowatt est une unité de puissance valant 1 000 W. Le kilowattheure est une unité de travail liée à la relation $W = P\Delta t$.

Le kWh est le travail effectué en une heure par un appareil ayant une puissance de 1 000 W. Ou encore, c'est l'énergie que consomme cet appareil pour effectuer son travail. C'est l'unité commerciale d'énergie électrique.

Exprimé en joules, $1 \text{ kWh} = 1\,000 \text{ W} \times 3\,600 \text{ s} = 3,6 \text{ MJ}$.

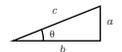
La rubrique *Rappel* contient des notions ou des concepts préalables.



Rappel

Les rapports trigonométriques

Les fonctions trigonométriques sinus, cosinus et tangente peuvent se traduire par des rapports de longueurs de côtés dans un triangle rectangle.



$$\sin \theta = \frac{\text{côté opposé}}{\text{hypoténuse}}$$

$$\cos \theta = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{hypoténuse}}$$

$$\text{tangente } \theta = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}}$$

ou encore

$$\sin \theta = \frac{a}{c}$$

$$\cos \theta = \frac{b}{c}$$

$$\tan \theta = \frac{a}{b}$$

Ce pictogramme vous indique que vous devez réaliser une activité notée et la soumettre pour fin d'évaluation.



Vous devez maintenant réaliser l'activité notée 1

Remettez-la ensuite à votre formateur ou votre formatrice, ou faites-la parvenir à votre tuteur ou votre tutrice selon les modalités prévues lors de votre inscription.

Note : Si les activités notées ne vous ont pas été fournies, vous pouvez les télécharger de : <http://cours1.sofad.qc.ca/ressources> sous la rubrique « Formation de base diversifiée ».

1

Les forces

2

L'équilibre

3

La dynamique et les lois de Newton

4

Le travail mécanique et la puissance

5

L'énergie

6

La conservation de l'énergie

1

Les forces



1.1 Qu'est-ce qu'une force ?

But • Définir le concept de force et reconnaître sa nature vectorielle.



1.2 L'allongement d'un ressort et d'un élastique

Buts • Établir expérimentalement la relation qui existe entre la force appliquée sur un ressort hélicoïdal homogène et la variation de sa longueur.
• Vérifier si le même type de relation s'applique à un élastique.

Votre tâche • Pour l'allongement d'un ressort, vous devrez procéder au montage proposé dans le protocole de l'expérience, prendre des mesures de forces et d'allongements puis établir une relation entre ces données.
• Vous devrez discuter de la fidélité, de la justesse et de la sensibilité du dynamomètre.
• Pour l'allongement d'un élastique, vous devrez élaborer et appliquer votre propre protocole.
• Vous devrez ensuite comparer les résultats obtenus dans les deux cas.



1.3 La loi de Hooke

But • Formuler la relation entre la force appliquée sur un ressort hélicoïdal homogène et la variation de sa longueur.



1.4 La force gravitationnelle, une force à distance

Buts • Déterminer les facteurs qui influent sur la force d'attraction gravitationnelle entre deux corps.
• Considérer le poids comme un cas particulier de cette attraction.



1.5 Un dynamomètre interplanétaire

But • Établir la relation entre la masse d'un corps et la force gravitationnelle qu'il subit sur différentes planètes.

Votre tâche Dans le cadre de cette activité, vous devrez :

- prendre connaissance de l'intensité du champ gravitationnel à la surface de la Terre, de la Lune et de Mars;
- déterminer les graduations d'un dynamomètre qui, lorsqu'il est utilisé sur la Terre, indique la masse et le poids sur la Terre, sur la Lune et sur Mars, d'objets d'un maximum de 2,50 kg;
- faire un schéma de ce dynamomètre.



© Eric Isselee/Shutterstock.com

Vous êtes présentement soumis à l'action de plusieurs forces. La Terre vous attire, la chaise sur laquelle vous êtes assis vous soutient. Vous aussi exercez des forces : vous avez soulevé ce guide pour le placer devant vous, vous avez sûrement ouvert une ou plusieurs portes aujourd'hui, vous produisez même un effet d'attraction sur la Lune ! Dans tous ces cas, des forces sont exercées. Dans cette séquence, vous réaliserez des activités d'apprentissage qui vous permettront de comprendre ce qu'est une force et d'en évaluer les effets. Dans la dernière activité, vous ferez appel aux connaissances que vous aurez acquises et aux compétences que vous aurez développées pour déterminer les graduations d'un dynamomètre interplanétaire.

Exploration

Les questions suivantes vous permettront de tester vos connaissances sur des concepts qui vous seront utiles au cours de cette séquence d'apprentissage.

1.1 Qu'entend-on par l'expression suivante : « La force est une quantité vectorielle » ?

1.2 Vous étirez de 20 cm un ressort hélicoïdal homogène en appliquant une force de 5 N. De quelle longueur le ressort s'allongera-t-il si vous lui appliquez une force de 10 N ?

1.3 Quelle distinction faites-vous entre la masse d'un objet et son poids ?

1.4 Est-ce la masse ou le poids d'un véhicule spatial qui varie selon la planète où il serait situé ?

1.5 Quel est le poids, sur la Terre, d'une personne de 50 kg ?



Activité 1.1 Qu'est-ce qu'une force?



But

- Définir le concept de force et reconnaître sa nature vectorielle.

Les forces sont partout!

Vous roulez à vélo sur une piste cyclable droite et horizontale.

Déterminez deux forces que vous appliquez et deux forces qui sont appliquées sur vous.



Parmi les forces que vous appliquez, il y a celles que vous exercez sur les pédales, sur la selle et sur le guidon, de même que la pression que vous exercez sur l'air en vous déplaçant.

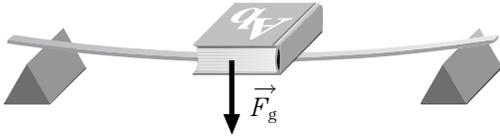
Parmi les forces qui sont appliquées sur vous, il y a les forces de soutien de la selle et du guidon, les forces de résistance des pédales ainsi que la résistance de l'air. Il y a aussi une force omniprésente et que nous avons tendance à oublier, votre poids, c'est-à-dire la force gravitationnelle terrestre.

Énumérez d'autres forces que vous observez régulièrement dans votre environnement.

Les effets d'une force

Vous assistez à un spectacle d'illusionniste et soudain, vous voyez un meuble se mettre en mouvement. Que pouvez-vous conclure sans l'ombre d'un doute, à propos de la cause de ce mouvement?

En l'absence de tout autre renseignement, la seule conclusion que vous puissiez tirer de votre observation est qu'une force est appliquée sur le meuble pour le mettre en mouvement. La nature de la force est ici d'intérêt secondaire. Les objets ne se mettent pas en mouvement et ne s'arrêtent pas tout seuls. Ils ne changent pas de direction tout seuls non plus. Une force doit être appliquée, quelle que soit cette force, connue ou non, expliquée ou non.



Le même raisonnement pourrait s'appliquer à une règle d'un mètre supportée à ses extrémités. Si vous déposez un dictionnaire au centre de la règle, celle-ci se courbera vers le bas.

Quelle est la cause de la déformation de la règle? C'est l'action de la gravité, c'est-à-dire la force de gravitation exercée sur le dictionnaire. La Terre exerce une force d'attraction sur le dictionnaire. Celui-ci fait plier la règle.

Mais supposons que vous voyez la règle se déformer toute seule.



Que pourriez-vous conclure?

Ici encore, la seule conclusion possible est qu'une force a été appliquée sur la règle. Les objets ne se déforment pas tout seuls. Ces deux exemples constituent, en quelque sorte, la base de la définition d'une force.

La définition d'une force

Une force n'est pas définie pour elle-même mais pour ses effets. Les effets dont nous venons de parler peuvent se résumer à deux grandes catégories : la déformation et la variation de mouvement. La force se définit comme suit :

Une **force** est toute cause capable de déformer un corps ou d'en modifier l'état de repos ou de mouvement.

Elle est représentée par la lettre F et s'exprime en newtons (N) en l'honneur du physicien anglais Sir Isaac Newton.

Le vecteur force

Dans le cadre du cours *Cinématique et optique géométrique* (PHY-5061-2), vous avez appris qu'un déplacement, une vitesse et une accélération sont des quantités vectorielles.

1.6 Qu'est-ce qui distingue une quantité vectorielle d'une quantité scalaire ?

Dans la section suivante, vous appliquerez les connaissances acquises sur la nature vectorielle d'un déplacement à la nature vectorielle d'une force. Mais auparavant, revoyons ce qui distingue une quantité vectorielle d'une quantité scalaire.

Une quantité scalaire et une quantité vectorielle

Une quantité est dite scalaire lorsqu'elle n'a pas d'orientation mais seulement une grandeur. La masse est une quantité scalaire. La température est une quantité scalaire. Une quantité scalaire est représentée par un nombre et une unité de mesure.

Une quantité vectorielle est une quantité orientée. Vous vous souviendrez que le déplacement est une quantité vectorielle. L'orientation, dans ce cas, est aussi importante que la grandeur. Un déplacement vers la droite pourrait ne pas avoir la même conséquence qu'un déplacement vers la gauche !

Une force est aussi une quantité vectorielle. L'orientation d'une force est aussi importante que sa grandeur. Par exemple, la direction de la force exercée par le vent a une importance déterminante si vous pratiquez le parachutisme, le golf ou si vous faites de la voile.



© devy/Shutterstock.com

Figure 1.1 Le vent fournit la force motrice d'un voilier. La direction du vent est une donnée essentielle dans le réglage des voiles.

Le vecteur

Nous représentons une quantité vectorielle par un vecteur, un segment de droite orienté tracé à l'échelle.

Par exemple, un déplacement de 4 km vers le nord sera représenté par le vecteur ci-contre :

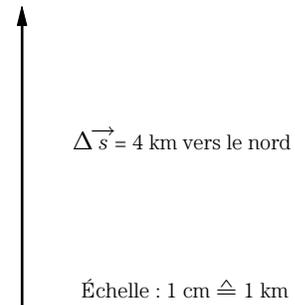


Figure 1.2 Un déplacement de 4 km vers le nord.



$\Delta \vec{s} = 5 \text{ km vers l'est}$
Échelle : 1 cm $\hat{=}$ 1 km

La flèche sur le symbole s indique que $\Delta \vec{s}$ est une quantité vectorielle qui comporte à la fois une grandeur et une orientation. Le vecteur ci-contre représente un déplacement de 5 km vers l'est.

Figure 1.3 Un déplacement de 5 km vers l'est.

Une force horizontale de 600 N vers la droite sera représentée par le vecteur ci-contre :



$\vec{F} = 600 \text{ N vers la droite}$
Échelle : 1 cm $\hat{=}$ 100 N

Figure 1.4 Une force de 600 N vers la droite.



$\vec{F} = 300 \text{ N vers le haut}$
Échelle : 1 cm $\hat{=}$ 100 N

Le vecteur ci-contre représente une force de 300 N dirigée vers le haut.

Figure 1.5 Une force de 300 N vers le haut.

1.7 Dans l'encadré ci-dessous, tracez un vecteur représentant une force de 450 N vers la gauche.

Dire qu'une force est dirigée vers la droite ou vers le haut n'implique que des orientations horizontales ou verticales. Pour toute autre orientation, on a recours au cercle trigonométrique.

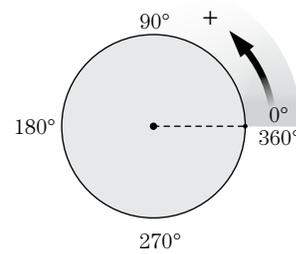


Figure 1.6 Le cercle trigonométrique. Les angles sont mesurés à partir de 0° dans le sens antihoraire, le sens positif. Lorsqu'ils sont mesurés dans le sens horaire, ils prennent un signe négatif.

Par exemple, le vecteur suivant représente un déplacement de 600 km à 225° (ou à -135°).

Attention! Le système de référence en navigation n'est pas le même qu'en trigonométrie. Sur une rose des vents, le navigateur place le 0° au nord, alors que le mathématicien le place à l'est. De plus, les angles autres que 0° sont mesurés dans le sens horaire tandis qu'en mathématiques ils sont mesurés dans le sens antihoraire.

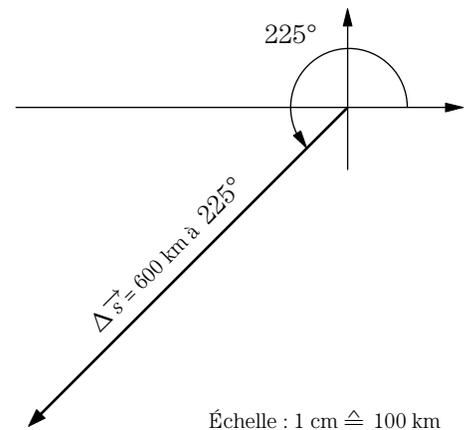


Figure 1.7 Un déplacement de 600 km à 225° .

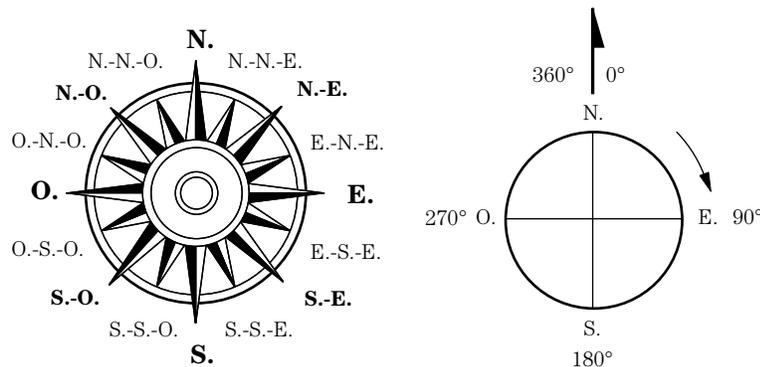


Figure 1.8 Le système de référence en navigation. Le 0° correspond au nord géographique. La mesure des angles se fait exclusivement dans le sens horaire.

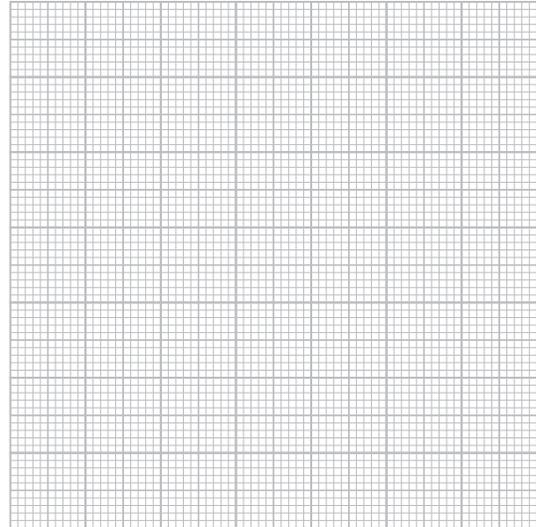
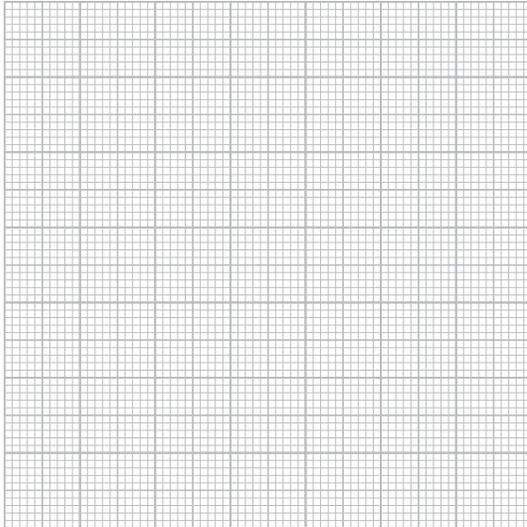
1.8 Tracez les vecteurs suivants. Choisissez l'échelle qui convient le mieux.

a) Un déplacement de 450 km vers l'ouest.

b) Un déplacement de 500 km vers le nord-est.

Échelle : _____ \triangleq _____

Échelle : _____ \triangleq _____

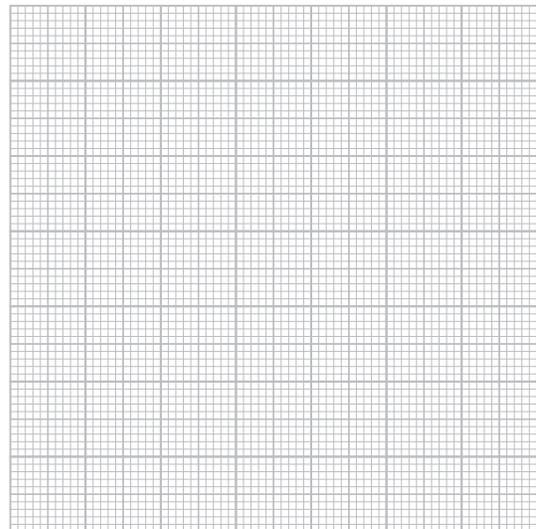
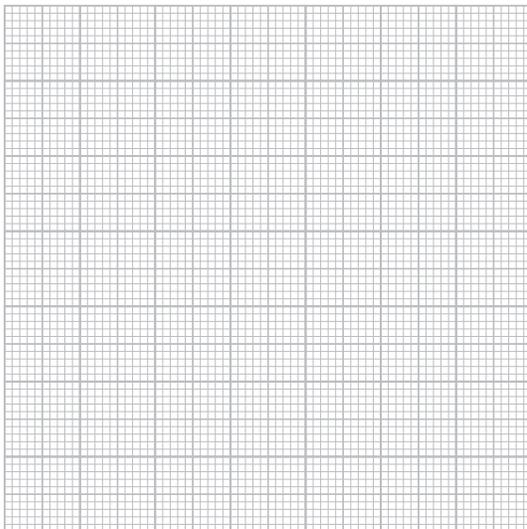


c) Une force de 70 N à 30°.

d) Une force de 40 N à 210°.

Échelle : _____ \triangleq _____

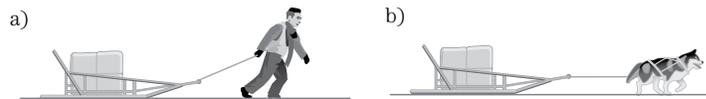
Échelle : _____ \triangleq _____



La force efficace

Un des effets possibles d'une force est de provoquer un mouvement. Observez l'illustration suivante.

- 1.9 Un traîneau est tiré a) par une personne et b) par un chien, avec une force de la même grandeur dans les deux cas.



Dans quel cas la force appliquée est-elle la plus efficace pour faire avancer le traîneau? Justifiez votre réponse.

La force appliquée par le chien est plus efficace parce qu'elle agit dans la direction du déplacement. En revanche, celle appliquée par la personne a deux effets complémentaires : celui de déplacer le traîneau, l'effet efficace et celui de le soulever.

Ces deux effets peuvent être illustrés en décomposant la force motrice \vec{F}_m selon l'axe du déplacement x et l'axe y perpendiculaire à ce déplacement. L'illustration suivante montre les projections respectives F_x et F_y de la force \vec{F}_m sur l'abscisse et l'ordonnée d'un système de coordonnées cartésiennes.

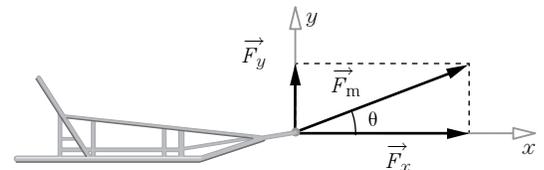


Figure 1.9 La force motrice \vec{F}_m peut être décomposée en F_x et F_y . Seule la composante F_x est efficace pour faire avancer le traîneau.

Calcul de la force efficace

Pour calculer la force efficace F_x , à partir de la force motrice \vec{F}_m et de l'angle θ qu'elle fait avec l'axe du déplacement, vous devez faire appel à vos connaissances en trigonométrie.



Rappel

Les rapports trigonométriques

Les fonctions trigonométriques sinus, cosinus et tangente peuvent se traduire par des rapports de longueurs de côtés dans un triangle rectangle.

$$\sinus \theta = \frac{\text{côté opposé}}{\text{hypoténuse}}$$

ou encore

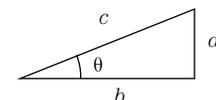
$$\sin \theta = \frac{a}{c}$$

$$\cosinus \theta = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{hypoténuse}}$$

$$\cos \theta = \frac{b}{c}$$

$$\text{tangente } \theta = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}}$$

$$\tan \theta = \frac{a}{b}$$



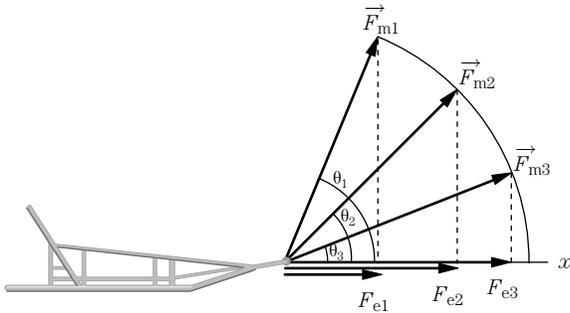
En appliquant la relation cosinus au calcul de la force efficace, on obtient :

$$\frac{F_x}{F_m} = \cos \theta$$

$$F_x = F_m \cos \theta$$

où F_x est la grandeur de la composante de la force motrice \vec{F}_m dans la direction du déplacement. C'est la force efficace F_e où θ est l'angle que fait la force motrice avec la direction du déplacement.

$$F_e = F_m \cos \theta$$



L'illustration ci-contre montre que plus la direction de la force motrice se rapproche de la direction du déplacement, plus elle est efficace.

Figure 1.10 L'efficacité de la force augmente lorsque l'angle θ diminue.

- (1.10) Vous tirez une voiturette d'enfant avec une force de 60 N faisant un angle de 40° avec la direction du déplacement. Quelle est, en pourcentage, l'efficacité de votre action ?

Sur un plan incliné

Vous êtes au sommet d'une pente de ski et, si vous ne freinez pas, vous êtes entraîné vers le bas.

Quelle est la force qui vous entraîne vers le bas de la pente ?

Si vous répondez que c'est votre poids, vous avez partiellement raison.



Rappel

La masse et le poids

D'abord, rappelez-vous que la masse (m) d'un corps correspond à la quantité de matière qui le compose. On la mesure en kilogrammes (kg) à l'aide d'une balance. Le poids (F_g) d'un corps est la force d'attraction gravitationnelle qu'une planète exerce sur ce corps. On le mesure en newtons (N) à l'aide d'un dynamomètre ou on le calcule à partir de la masse en appliquant la relation :

$$F_g = mg$$

où F_g est le poids en newtons (N),
 m , la masse en kilogrammes (kg)
 et g , l'intensité du champ gravitationnel à la surface de la planète en newtons par kilogramme (N/kg).

À la surface de la Terre, g vaut 9,8 N/kg, c'est-à-dire qu'un corps d'un kilogramme y pèse 9,8 N. Nous reviendrons sur le concept de champ gravitationnel à l'activité 1.4.

En fait, cette force qui vous entraîne vers le bas de la pente pourrait être qualifiée de force efficace du poids dans la direction du déplacement, c'est-à-dire dans la direction du plan incliné que constitue la pente de ski.

L'illustration ci-contre montre une skieuse dont le vecteur poids (\vec{F}_g) est décomposé selon deux axes, l'un parallèle au plan incliné et l'autre perpendiculaire au plan incliné.

En observant le triangle grisé, on voit que, comme c'était le cas pour un mouvement sur une surface horizontale, le rapport F_x/F_g correspond au cosinus de l'angle α . L'angle β de ce même triangle étant égal à l'angle θ que fait le plan incliné avec l'horizontale, on peut établir une relation entre la grandeur de la composante du poids dans la direction du plan incliné (F_{plan}) et l'inclinaison (θ) du plan incliné.

$$\frac{F_x}{F_g} = \cos \alpha$$

$$\frac{F_x}{F_g} = \sin \beta \quad \text{où} \quad \beta = \theta$$

$$\frac{F_x}{F_g} = \sin \theta$$

$$F_x = F_g \sin \theta \quad \text{ou} \quad F_{\text{plan}} = F_g \sin \theta$$

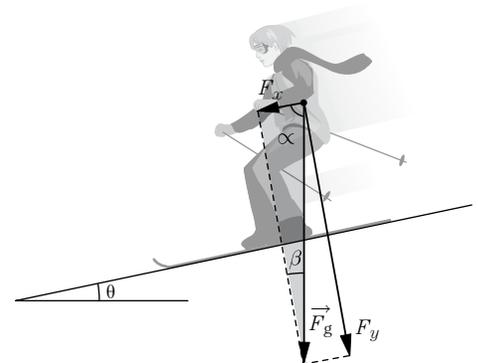


Figure 1.11 La composante F_x du poids \vec{F}_g peut être considérée comme la force efficace du poids dans la direction du plan incliné.

1.11) Quelle est la grandeur de la force qui entraîne une skieuse de 55 kg (avec les skis) vers le bas de la pente

a) si la pente est inclinée à 15° ?

b) si la pente est inclinée à 30° ?

Comme le montre la figure suivante, la force qui attire un corps vers le bas d'un plan incliné est fonction de l'inclinaison du plan. Nous aurons recours ici au concept de diagramme de corps libre, dans lequel on représente le corps par un point situé à son centre de masse.

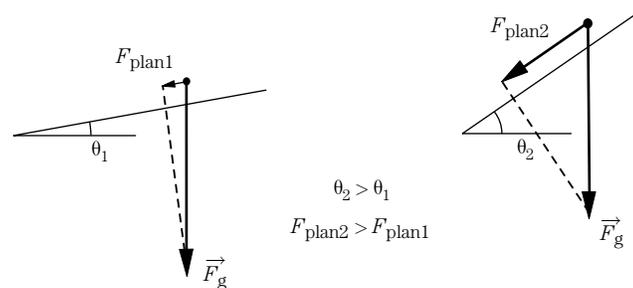
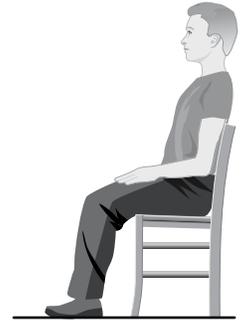


Figure 1.12 La force qui attire un corps vers le bas d'un plan incliné est fonction de l'inclinaison du plan.

Vous aurez l'occasion de revenir sur ce concept dans l'activité 2.4.

Exercices de l'activité 1.1

1.12) Nommez au moins trois forces exercées sur la personne de l'illustration ci-contre.



1.13) Nommez deux effets possibles d'une force.

1.14) Pourquoi dit-on qu'une force est une quantité vectorielle ?

1.15) Nommez deux actions de la force exercée sur le traîneau illustré ci-contre.



1.16) Qu'entend-on par l'expression « force efficace » ?

1.17) Quelle est la force efficace appliquée par une personne qui déplace horizontalement une caisse en la tirant avec une force de 200 N à l'aide d'une corde faisant un angle de 40° avec l'horizontale ?

1.18) Quelle distinction faites-vous entre la masse d'un objet et son poids ?

1.19) Quel est le poids d'une masse marquée de 500 g?

1.20) Pourquoi est-il plus difficile de freiner sur une pente de ski plus abrupte que sur une pente plus douce?

1.21) Un objet de 10 kg glisse vers le bas d'un plan incliné. Quelle est la grandeur de la force responsable de son mouvement?

Retour sur l'activité

Après vous être familiarisé avec le concept de force, vous avez réalisé l'importance de prendre en compte sa nature vectorielle. Tout comme vous l'aviez fait pour un déplacement, vous avez représenté une force à l'aide d'un vecteur.

Un rappel sur des notions de trigonométrie vous a permis de calculer des forces efficaces, aussi bien sur un plan incliné que sur un plan horizontal.

Parmi toutes les technologies qui font appel à l'application d'une force, celles qui ont recours à des ressorts sont particulièrement intéressantes en ce que souvent, on peut en observer le résultat : l'allongement ou la compression du ressort. L'activité expérimentale suivante vous fournira l'occasion d'établir la relation entre la force appliquée sur un ressort et la variation de sa longueur.



Activité 1.2 L'allongement d'un ressort et d'un élastique



Buts

- Établir expérimentalement la relation qui existe entre la force appliquée sur un ressort hélicoïdal homogène et la variation de sa longueur.
- Vérifier si le même type de relation s'applique à un élastique.

Dans tout objet technologique comprenant un ressort, il importe de choisir le bon ressort. Pour ce faire, il faut connaître de quelle longueur le ressort s'allongera ou se comprimera sous l'action d'une force donnée.

Cette activité vous fournira l'occasion de déterminer la variation de longueur d'un ressort hélicoïdal homogène sous l'effet d'une force.

Un ressort hélicoïdal est formé de spires enroulées autour d'un axe. Le ressort est dit homogène si toutes les spires ont le même diamètre et si le nombre de spires par unité de longueur est le même sur toute sa longueur.



Votre tâche

- Pour l'allongement d'un ressort, vous devrez procéder au montage proposé dans le protocole de l'expérience, prendre des mesures de forces et d'allongements puis établir une relation entre ces données.
- Vous devrez discuter de la fidélité, de la justesse et de la sensibilité du dynamomètre.
- Pour l'allongement d'un élastique, vous devrez élaborer et appliquer votre propre protocole.
- Vous devrez ensuite comparer les résultats obtenus dans les deux cas.

Pour réaliser cette activité, référez-vous au cahier d'activités expérimentales qui accompagne le guide d'apprentissage. Lorsque votre activité sera complétée, venez répondre aux questions suivantes.

Au cours de cette expérience, vous avez établi la relation qui existe entre la force appliquée à un ressort hélicoïdal homogène et la variation de sa longueur.

1.22) Quelle est cette relation?

Vous avez aussi vérifié si cette relation s'appliquait à un élastique.

1.23) a) Est-ce le cas? _____

b) Qu'est-ce qui a motivé votre réponse? _____

L'activité suivante portera sur les résultats des travaux du physicien britannique Robert Hooke qui fut le premier à publier ses conclusions sur l'allongement d'un ressort.



Activité 1.3 La loi de Hooke



But

- Formuler la relation entre la force appliquée sur un ressort hélicoïdal homogène et la variation de sa longueur.

Les déformations élastiques et inélastiques

Pliez légèrement une règle en plastique puis relâchez-la. Maintenant faites de même avec un morceau de pâte à modeler. La règle reprend sa forme initiale alors que la déformation de la pâte à modeler est permanente.

La règle a subi une déformation élastique et la pâte à modeler a subi une déformation inélastique. Quand un objet subit une déformation élastique, il reprend sa forme initiale lorsque cesse la force causant la déformation.

Donnez deux exemples d'une déformation élastique et dites pourquoi il est préférable que ces déformations soient élastiques.

Faites de même pour une déformation inélastique.

Un ressort de bonne qualité est conçu pour subir une déformation élastique lorsqu'une force lui est appliquée. Par exemple, nous nous attendons à ce qu'un ressort de suspension d'automobile reprenne exactement sa forme initiale après avoir été déformé par une imperfection de la route. Cependant, si le véhicule entre en collision avec un autre, il est préférable que la tôle de la carrosserie subisse une déformation inélastique afin de dissiper une partie de l'énergie transférée lors du choc.

L'astronome et mathématicien anglais Robert Hooke fut le premier scientifique à mener une étude systématique sur les déformations élastiques. C'était l'époque des premières horloges et la qualité des ressorts prenait une importance déterminante.



Le saviez-vous?

Robert Hooke, un savant méconnu

Robert Hooke (1635-1703) est né à Freshwater dans l'île de Wight, en Angleterre. Il était mathématicien, physicien, astronome et architecte. Son nom est le plus souvent associé aux déformations élastiques (loi de Hooke). Il a cependant contribué de façon significative à l'essor des sciences au XVII^e siècle.

Compatriote et contemporain de Newton, il eut des différends avec ce dernier au sujet de la paternité de certaines découvertes, notamment la relation de l'inverse du carré de la distance. En effet, Hooke aurait pressenti avant Newton que l'attraction planétaire devait être inversement proportionnelle au carré de la distance, mais il n'avait pu le démontrer. Lorsque Newton publia sa loi de la gravitation universelle, il « omit » de mentionner que l'idée venait de Hooke. Le nom de ce dernier est donc rarement mentionné lorsque nous parlons de gravitation.

Dans un autre domaine, c'est à Hooke que nous devons le mot cellule. En regardant au microscope la coupe d'un morceau de liège, il remarqua sa structure. Celle-ci, loin d'être homogène, était composée de petites unités qu'il nomma cellules, car elles lui rappelaient les cellules des moines dans un monastère.

C'est aussi à Hooke que nous devons l'invention du ressort de montre (1658), ainsi que la première observation de la rotation de Jupiter et de la tache rouge qui caractérise cette planète (1664).



©igutur/Wikimedia Commons

Hooke aurait utilisé ce microscope pour ses observations, notamment celles du liège.

La constante d'élasticité

À l'issue de l'activité expérimentale 1.2, vous avez réalisé que, dans le cas d'un ressort homogène, l'allongement du ressort est directement proportionnel à la force appliquée. Vous avez tracé un graphique de l'allongement du ressort en fonction de la force.

Quel type de courbe avez-vous obtenu? _____

Dire que l'allongement est directement proportionnel à la force appliquée, c'est aussi dire que la force appliquée est directement proportionnelle à l'allongement qu'elle provoque. Lorsqu'on considère la proportionnalité sous cet angle, on décrit la relation à l'aide d'un graphique de la force appliquée en fonction de l'allongement. Les allongements sont alors placés sur l'abscisse et les forces correspondantes, sur l'ordonnée.

Le graphique suivant présente la force appliquée sur deux ressorts homogènes en fonction de l'allongement qu'elle provoque.

Quelle est la pente de la droite du ressort n° 1 ?

La pente est-elle la même pour toute valeur de l ?

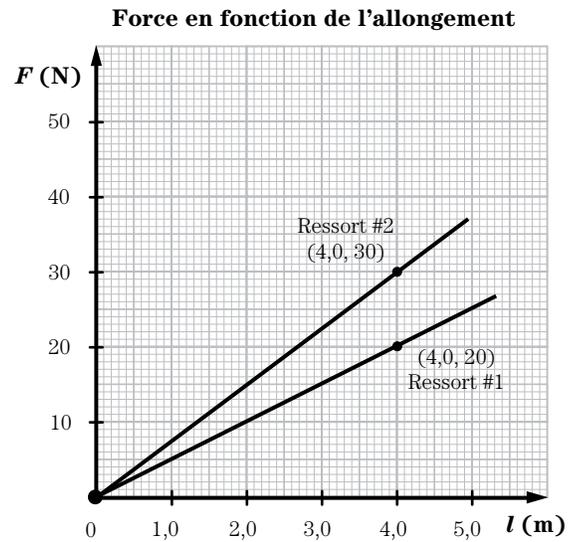
Cette valeur est une caractéristique d'un ressort homogène. Elle renseigne sur le degré de rigidité du ressort. C'est sa constante d'élasticité. On la symbolise par la lettre k et on l'exprime en newtons par mètre (N/m). La constante d'élasticité du ressort décrit par le graphique précédent est :

$$k = \frac{F}{l}$$

Pour le couple (4,0 m, 20 N), $k = \frac{20 \text{ N}}{4,0 \text{ m}} = 5,0 \text{ N/m}$.

La valeur de k est la même quel que soit le couple retenu pour le calcul de la pente. Vous pouvez le vérifier en prenant deux autres couples de la droite du ressort n° 1 et en répétant le calcul de la constante d'élasticité. On peut aussi connaître les coordonnées de n'importe quel couple sur la droite par interpolation.

On sait aussi que plus un ressort est rigide, plus la force à appliquer pour l'allonger d'une longueur donnée est grande, donc plus sa constante d'élasticité est grande. Par exemple, si vous calculez la constante d'élasticité du ressort n° 2 pour le couple (4,0 m, 30 N), vous obtenez une valeur $k = 7,5 \text{ N/m}$. Ainsi, pour allonger le ressort n° 2 à la même longueur que le ressort n° 1, vous devrez appliquer plus de force.



Graphique 1.1 La force est directement proportionnelle à l'allongement.

La relation de Hooke

On représente habituellement la relation de Hooke par l'équation suivante.

$$F = kl$$

où F est la force appliquée au ressort en newtons (N),
 l , l'allongement ou la compression du ressort en mètres (m)
 et k , la constante d'élasticité du ressort en newtons par mètre (N/m).

- 1.24 En vous référant au graphique 1.1 à la page précédente, quel sera l'allongement du ressort n° 1 si on applique une force de 15 N?



Remarque

La force de rappel

Lorsque vous allongez un ressort, vous sentez une résistance de la part de celui-ci. Le ressort exerce sur vous une force de rappel. Lorsque l'on fait référence à cette force, on doit la considérer comme négative puisqu'elle agit en sens contraire de l'allongement. Dans ce cas, la relation de Hooke s'écrit :

$$F = -kl, \text{ où } F \text{ est la force exercée par le ressort, la force de rappel.}$$



Des ressorts de tous genres

La constante de rappel est une valeur qui varie d'un ressort à l'autre. Nous trouvons des ressorts dans tous les secteurs d'activité, des ressorts de suspension d'automobile ($k = 30\,000$ N/m) aux ressorts de stylo-bille ($k = 600$ N/m) en passant par les dynamomètres dont la constante de rappel est choisie en fonction de l'échelle d'utilisation de l'appareil. Par exemple, un dynamomètre conçu pour mesurer des forces de zéro à 20 N aura une constante de rappel d'environ 200 N/m.

© Winai Tepsuttinun/Shutterstock.com

Des ressorts de diverses grosseurs.

Nommez trois autres objets techniques qui font appel à un ressort.



Le saviez-vous ?

Les alliages à mémoire de forme

Les alliages à mémoire de forme ont la propriété de modifier leur structure cristalline par simple changement de température sans changement d'état. Par exemple, une tige faite d'un alliage cuivre-zinc-aluminium ayant une forme courbée à froid reprendra sa forme rectiligne sous l'effet de la chaleur, démontrant ainsi un effet de mémoire, un peu à la manière d'un ressort qui reprend sa forme initiale lorsque cesse la force appliquée.

On trouve de nombreuses applications d'alliages à mémoire de forme, notamment dans les satellites dont les antennes se déploient au moment voulu par simple réchauffement. Cette caractéristique permet d'avoir un satellite plus léger et plus compact, réduisant ainsi les coûts de fabrication et de lancement dans l'espace.

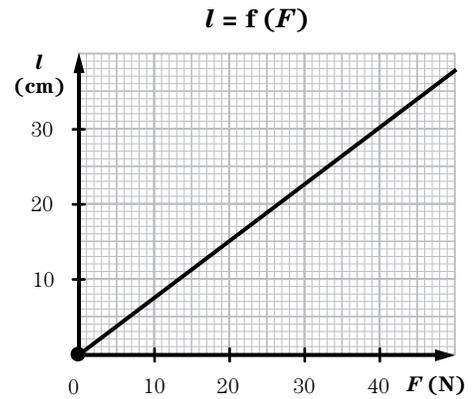


© ESA - P. Carril

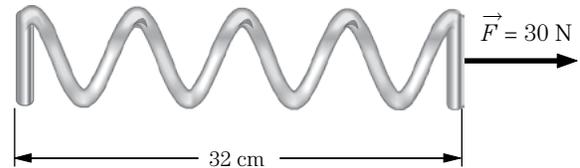
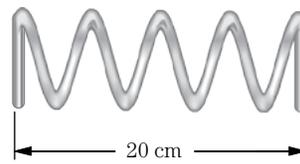
Exercices de l'activité 1.3

1.25) Le graphique ci-contre décrit l'allongement d'un ressort homogène sous l'action d'une force variable.

Quelle est la constante d'élasticité du ressort ?



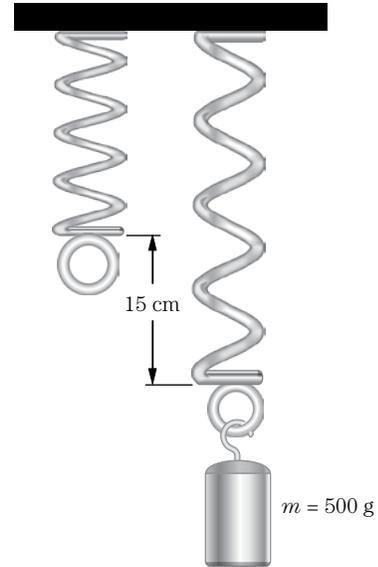
1.26) Quelle est la constante d'élasticité du ressort suivant ?



1.27) Le ressort d'un stylo-bille a une constante d'élasticité de 500 N/m. Quelle force devrez-vous exercer avec votre pouce pour le comprimer de 9,0 mm ?

- 1.28) L'illustration ci-contre montre un ressort homogène qui subit un allongement de 15 cm sous l'effet du poids d'une masse marquée de 500 g qui y est suspendue.

Quelle est la constante d'élasticité de ce ressort ?



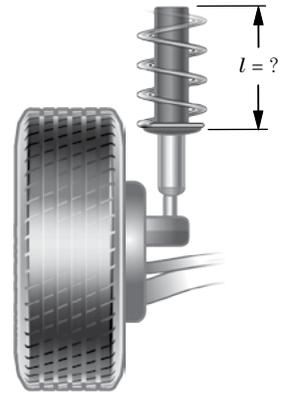
- 1.29) Un bloc de 4,0 kg est suspendu à un ressort dont la constante d'élasticité est de 390 N/m. De quelle longueur le ressort s'allonge-t-il ?

- 1.30) Vous étirez de 10,0 cm un ressort dont la constante d'élasticité est de 400 N/m. Quelle force le ressort exerce-t-il alors sur votre main ?

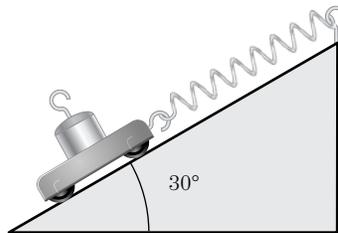
- 1.31) Vous déposez sur un ressort un bloc de 10 kg, ce qui a pour effet de comprimer le ressort de 8,0 cm. Quelle est la constante d'élasticité de ce ressort ?

1.32 Le schéma ci-contre illustre la suspension d'une roue d'automobile.

En supposant que le poids de l'automobile est réparti également aux quatre roues, de quelle longueur un ressort de 20 000 N/m se comprimera-t-il sous le poids de l'automobile si la masse de celle-ci est de 1 200 kg?



Les exercices 1.33 et 1.34 se rapportent au schéma suivant illustrant un chariot de laboratoire de 100 g, contenant une masse marquée de 500 g, maintenu au repos sur un plan incliné à 30° à l'aide d'un ressort dont la constante d'élasticité est de 100 N/m.



1.33 De quelle longueur le ressort s'allonge-t-il?

- 1.34 Quelle masse devrez-vous ajouter au chariot pour obtenir le même allongement du ressort si vous réduisez l'inclinaison du plan à 20° ?

Retour sur l'activité

L'activité que vous venez de terminer vous a permis de vous familiariser avec la variation de longueur d'un ressort soumis à l'application d'une force. De nombreuses technologies font appel aux ressorts, notamment celle des matelas à ressorts. Bien sûr, comme vous le savez, les ressorts d'un matelas sont comprimés par le poids de la personne. Vous savez aussi que le poids d'une personne est la force d'attraction gravitationnelle terrestre sur cette personne. Mais cette force est-elle propre à la surface de la Terre ? Serait-elle la même sur d'autres planètes ? L'activité 1.5 vous donnera l'occasion d'en discuter en établissant les graduations d'un dynamomètre interplanétaire.

Le poids d'un corps sur une planète ne serait-il pas un cas particulier d'une force beaucoup plus généralisée ? Une force qui agit à l'échelle de l'Univers ? C'est ce que vous découvrirez à l'activité suivante.



Activité 1.4 La force gravitationnelle, une force à distance



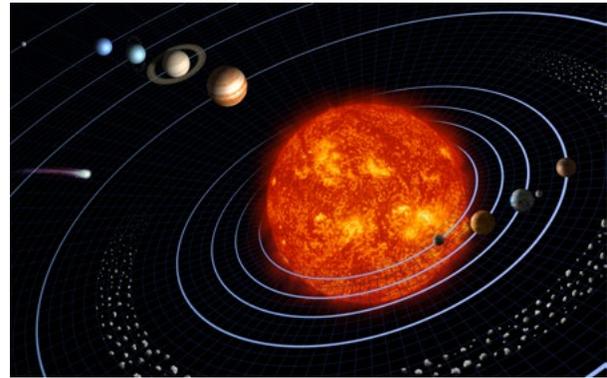
Buts

- Déterminer les facteurs qui influent sur la force d'attraction gravitationnelle entre deux corps.
- Considérer le poids comme un cas particulier de cette attraction.

Une action à distance

Qu'est-ce qu'une force ?

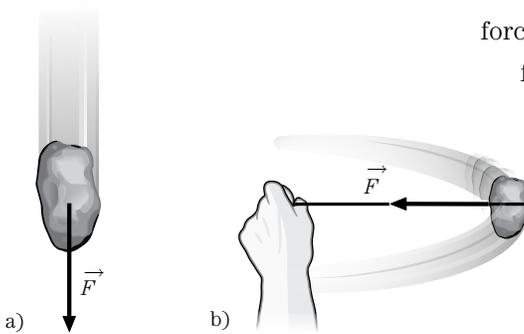
Vous avez vu à l'activité 1.1 qu'une force est « toute cause capable de déformer un corps ou d'en modifier l'état de repos ou de mouvement ».



© Nasa.gov

Une représentation de notre système solaire.

Laissez tomber une pierre. Celle-ci est accélérée vers le bas sous l'action de la force gravitationnelle terrestre. Attachez cette pierre au bout d'une ficelle et faites-la tourner au-dessus de votre tête dans un plan horizontal. La pierre se déplace sur une trajectoire circulaire sous l'action de la ficelle qui la retient.



a) Une pierre qui tombe. b) La même pierre qui tourne au bout d'une ficelle.

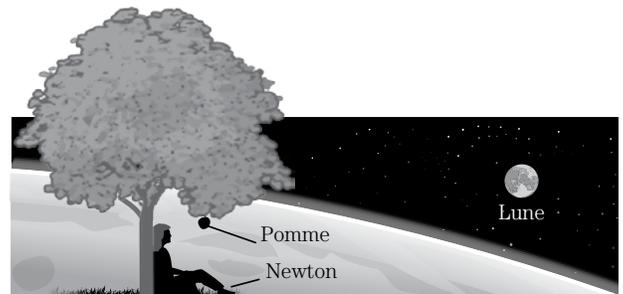
Dans le premier cas, la force provoque une accélération verticale. Dans le second cas, la force maintient la pierre sur une trajectoire circulaire. Un corps ne peut donc, ni tomber, ni tourner sans être soumis à une force. C'est ce constat qui amena l'illustre physicien Isaac Newton à proposer sa loi de la gravitation universelle.

Reportons-nous en Angleterre au XVII^e siècle. Les actions à distance entre deux corps ont déjà fait l'objet d'études. On sait alors que deux aimants s'attirent ou se repoussent. On sait aussi que deux corps chargés électriquement s'attirent ou se repoussent. Mais admettre que deux objets peuvent avoir une action à distance l'un sur l'autre du seul fait de leur présence était loin d'être évident.

La pomme de Newton

Newton raconte qu'en observant la chute d'une pomme, il eut l'idée d'étendre le principe d'attraction gravitationnelle jusqu'au sommet du pommier et encore plus haut...

pourquoi pas jusqu'à la Lune ! La force qui attire la pomme serait-elle de même nature que celle qui maintient la Lune en orbite autour de la Terre ?



Le schéma suivant montre le rapprochement que fit Newton entre le mouvement vertical de la pomme et le mouvement circulaire de la Lune.

Si l'on considère que la Lune « tombe » vers la Terre par rapport à une trajectoire rectiligne, on peut établir un rapprochement entre la composante verticale de la trajectoire de la Lune et celle de la pomme. La Lune et la pomme subissent toutes deux une force due à la présence de la Terre, c'est la force d'attraction gravitationnelle. Cette force s'exerce entre tous les corps matériels. Dans son œuvre majeure sur la mécanique, *Principia mathematica*, publiée en 1687 et qui contient toutes ses lois sur le mouvement, on trouve sa loi de la gravitation universelle :

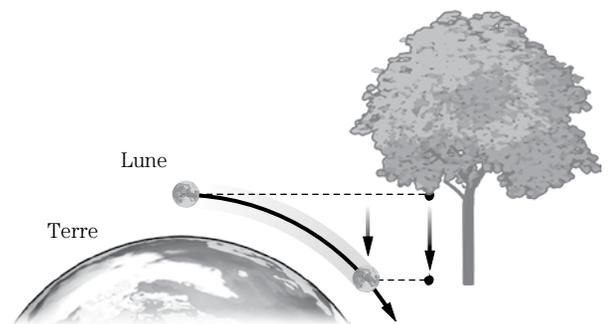


Figure 1.13 La Lune et la pomme tombent sous l'effet de la gravitation.

« Tous les corps attirent tous les autres corps avec une force qui est directement proportionnelle au produit de leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. »

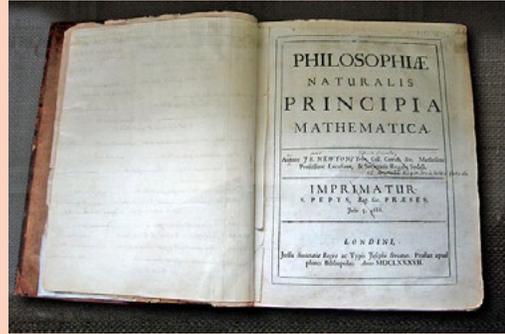
Cela signifie que plus la distance entre deux corps est petite, plus la force d'attraction gravitationnelle est importante; à l'inverse, plus la distance est grande, plus la force est faible. Cette relation sera davantage expliquée dans les pages suivantes.



Le saviez-vous?

Isaac Newton

Isaac Newton (1642-1727) est né à Woolsthorpe, un village du Lincolnshire en Angleterre. Étant peu doué pour le travail manuel, il a fait des études. Il a été étudiant, puis professeur à l'Université de Cambridge. À 29 ans, il publia sa théorie de la lumière et des couleurs. Il y donna la preuve que la lumière blanche est la synthèse des couleurs du spectre, du rouge au violet.



© Andrew Dunn/Wikimedia Commons

À 45 ans, il a publié, sous le titre de *Principia mathematica*, un traité de mécanique qui allait s'avérer un des ouvrages les plus importants dans l'histoire de l'humanité. Cette publication renferme, entre autres, ses trois lois du mouvement et sa loi de la gravitation universelle.

Isaac Newton racontera plus tard que c'est en observant la chute d'une pomme que lui est venue l'idée d'associer le mouvement de la Lune et la chute des corps.

La loi de la gravitation universelle

Mathématiquement, la relation proposée par Newton peut s'écrire comme suit :

$$F_g \propto \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

où \propto est le symbole d'une proportionnalité directe, m_1 et m_2 sont les masses des corps et d est la distance entre le centre de chacun des corps. Il faut préciser que pour un objet situé à la surface de la Terre, la distance correspond approximativement au rayon de la Terre.

Mais cette relation n'est pas une équation. Pour établir une équation, il faut établir un facteur de proportionnalité, une constante qui précisera la relation. Tant que la constante n'est pas connue, nous ne pouvons rien calculer. Ce n'est qu'en 1798 que le physicien anglais Henry Cavendish, un successeur de Newton à la chaire de physique de l'Université de Cambridge, parvint à déterminer expérimentalement cette constante en mesurant en laboratoire la force d'attraction entre deux sphères. L'illustration suivante montre la version moderne de la balance à torsion dont il se servit pour réaliser son expérience.

L'attraction entre les sphères provoque une très faible rotation du fil métallique qui les supporte. La déviation du faisceau lumineux incident au miroir assujéti au fil permet de calculer la force d'attraction gravitationnelle entre les sphères. En connaissant les valeurs de F_g , m_1 , m_2 et d , Cavendish put calculer la valeur de la constante de proportionnalité dans la relation de Newton. On nomme cette constante la constante gravitationnelle et on la symbolise par la lettre G .

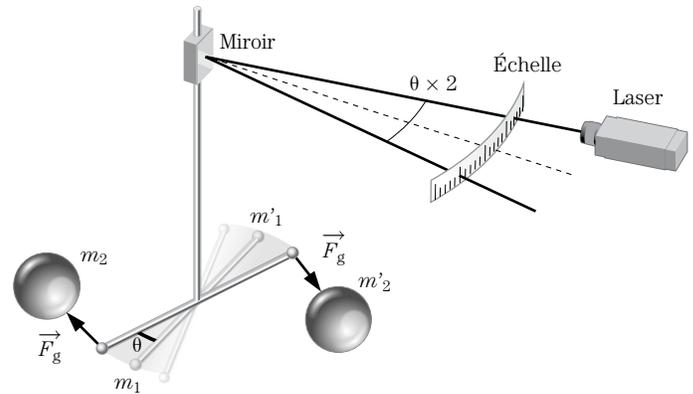


Figure 1.14 Une balance à torsion.

La relation de Newton $F_g \propto \frac{m_1 m_2}{d^2}$ devient

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

Cette équation signifie que deux corps de 1,00 kg distants de 1,00 m s'attirent avec une force de $6,67 \times 10^{-11}$ N. En mettant G en évidence dans la relation de Newton, on obtient

$$G = \frac{F d^2}{m_1 m_2}$$

$$G = \frac{6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \times (1,00 \text{ m})^2}{1,00 \text{ kg} \times 1,00 \text{ kg}}$$

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

Cette constante est universelle. Elle sert à calculer la force d'attraction aussi bien entre deux atomes qu'entre deux planètes ou deux personnes.

Connaissant maintenant la valeur de G , on peut appliquer la loi de l'attraction universelle à n'importe quelle situation à l'aide de l'équation suivante.

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

où F_g est la force d'attraction gravitationnelle en newtons (N),
 m_1 et m_2 , les masses des corps en présence en kilogrammes (kg),
 d , la distance entre les centres des corps en mètres (m)
 et G , la constante gravitationnelle dont la valeur est
 $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$.

Par exemple, la force d'attraction gravitationnelle entre deux personnes respectivement de 50 kg et de 60 kg distantes de 2,0 m est :

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

$$F_g = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \times \frac{50 \text{ kg} \times 60 \text{ kg}}{(2,0 \text{ m})^2}$$

$$F_g = 5,0 \times 10^{-8} \text{ N}$$

- 1.35) Avec quelle force la Terre attire-t-elle la Lune sachant que leurs masses respectives sont de $5,98 \times 10^{24}$ kg et de $7,35 \times 10^{22}$ kg, et que la distance qui les sépare est de $3,8 \times 10^5$ km?
-
-
-



Le saviez-vous ?

L'inverse du carré de la distance, Newton n'était pas le premier

Au début du XVII^e siècle, le physicien italien Galilée, le premier à observer les planètes à l'aide d'une lunette astronomique, avait démontré qu'un corps en mouvement autre que rectiligne uniforme, doit nécessairement subir une force. En appliquant ce raisonnement aux planètes, il en conclut que celles-ci devaient nécessairement subir une force puisqu'elles étaient animées d'un mouvement elliptique autour du Soleil. Mais qu'était la nature de cette force et comment variait-elle ?

En 1645, l'astronome français Ismaël Boulliau émit l'hypothèse que le Soleil exerçait sur les planètes une force qui était inversement proportionnelle au carré de la distance orbitale, mais sans pouvoir le démontrer. En 1674, dans son ouvrage intitulé *An Attempt to Prove the Motion of the Earth by Observations*, Robert Hooke écrit : « J'exposerai un système du monde conforme aux lois de la mécanique ». Les passages suivants sont particulièrement intéressants :

« Tous les corps célestes sans exception exercent un pouvoir d'attraction ou de pesanteur dirigé vers leur centre. »

« Les pouvoirs attractifs s'exercent avec plus de force à mesure que les corps sur lesquels ils agissent se rapprochent. »

« Maintenant, quels sont les degrés successifs de cet accroissement pour les diverses distances ? C'est ce que je n'ai pas encore déterminé par expérience. »

Plus tard, en 1679, Hooke proposa, à titre d'hypothèse, qu'une planète soumise à une force inversement proportionnelle au carré de la distance qui la sépare du Soleil se déplacerait sur une orbite elliptique. L'idée d'une force inversement proportionnelle au carré de la distance était dans l'air. Ce n'est qu'en 1687 que Newton, alliant le formalisme mathématique à la méthode scientifique, parvint à en démontrer l'existence.

Le poids, un cas particulier

La loi de la gravitation universelle stipule que tous les corps attirent tous les autres corps avec une force qui est directement proportionnelle au produit de leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare, celle-ci étant mesurée à partir de leurs centres respectifs. La Terre vous attire et vous attirez la Terre.

De quelles données aurez-vous besoin pour calculer la force d'attraction entre la Terre et vous ?

Pour calculer la force d'attraction entre la Terre et vous, vous avez besoin de la masse de la Terre, de son rayon ainsi que de votre masse. La masse de la Terre (m_T) est de $5,98 \times 10^{24}$ kg. Votre masse (m) est de _____ kg. La distance qui vous sépare du centre de la Terre équivaut au rayon terrestre (r_T), soit $6,38 \times 10^6$ m. La constante gravitationnelle (G) est $6,67 \times 10^{-11}$ Nm²/kg².

La force d'attraction entre la Terre et vous est :

$$F_g = G \frac{m_T m}{r_T^2} \text{ où } m \text{ est votre masse.}$$

$$F_g = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \times \frac{5,98 \times 10^{24} \text{ kg} \times m}{(6,38 \times 10^6 \text{ m})^2}$$

Dans cette équation, seule la masse m est une variable. Les autres valeurs sont des constantes.

- (1.36) L'expression $G \frac{m_T}{r_T^2}$ est une constante propre à la surface de la planète Terre. Calculez la valeur de cette constante. N'oubliez pas d'inclure les unités appropriées.

- (1.37) a) Avez-vous déjà utilisé cette constante ? _____
- b) Que représente-t-elle ? _____
- _____
- c) Par quel symbole le représente-t-on ? _____
- d) Quel nom donne-t-on à la valeur obtenue en multipliant la masse d'un corps par cette constante ? _____
- _____
- e) Quel est le symbole de cette valeur ? _____
- f) Quelle en est l'unité de mesure ? _____
- g) Écrivez l'équation qui permet de calculer le poids d'un corps à partir de sa masse : _____

1.38) Votre poids serait-il le même sur la Lune que sur la Terre ? Expliquez pourquoi.

La relation $g = G \frac{m_{\text{planète}}}{r^2}$ permet de connaître la valeur de l'intensité du champ gravitationnel à la surface de n'importe quelle planète ou satellite naturel, sans être obligé d'y aller. La masse et le rayon de ces astres sont déterminés à partir de relevés astronomiques. La valeur de g est calculée en appliquant la relation ci-dessus. Par exemple, avant d'envoyer des astronautes sur la Lune et de les ramener, les scientifiques de la NASA devaient absolument connaître la valeur de g sur la surface lunaire.

1.39) Sachant que la masse de la Lune est de $7,35 \times 10^{22}$ kg et que son rayon est de 1 738 km, quelle est la valeur du g lunaire ?



Remarque

Votre balance n'en est pas une

Une balance, notamment une balance à plateaux, permet de mesurer la masse d'objets par comparaison avec des masses étalons. La « balance » sur laquelle vous vous pesez à la maison est en réalité un dynamomètre. C'est un pèse-personne. Ce sont des ressorts qui sont à la base du fonctionnement de l'appareil. Graduée en kilogrammes en conformité avec le Système international d'unités, il indique votre masse, mais il mesure en fait votre poids.

Sur une autre planète, cet instrument de mesure vous donnerait donc une fausse indication. Ainsi, un pèse-personne conçu pour un usage à la grandeur du système solaire devrait comporter plusieurs échelles, chacune élaborée à partir de la valeur du g de la planète sur laquelle il serait utilisé.



© Anetlanda/Shutterstock.com

La valeur du g terrestre, une constante pas si constante

On pourrait penser que l'intensité du champ gravitationnel est la même partout sur la Terre; or, il n'en est pas ainsi. En fait, elle varie en latitude et en altitude.

En latitude

Dans la relation $g = G \frac{m_T}{r_T^2}$, nous avons utilisé comme valeur de r_T : $6,38 \times 10^6$ m.

Or, comme nous le savons, la Terre est légèrement aplatie aux pôles à cause de l'effet centrifuge dû à sa rotation autour de l'axe polaire. Le rayon de la Terre est donc un peu plus court aux pôles qu'à l'équateur.

Si vous êtes au pôle, vous êtes donc légèrement plus près du centre de la Terre que si vous étiez à l'équateur car $r_{T \text{ Pôle}} < r_{T \text{ Équateur}}$. Ainsi, dans l'équation $g = G \frac{m_T}{r_T^2}$, lorsque la valeur de r_T diminue, la valeur de g augmente. La valeur de g étant légèrement plus grande aux pôles qu'à l'équateur, vous pèserez davantage aux pôles qu'à l'équateur. Le tableau suivant donne la valeur de g à quelques latitudes.

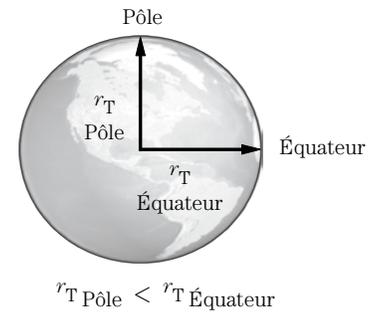


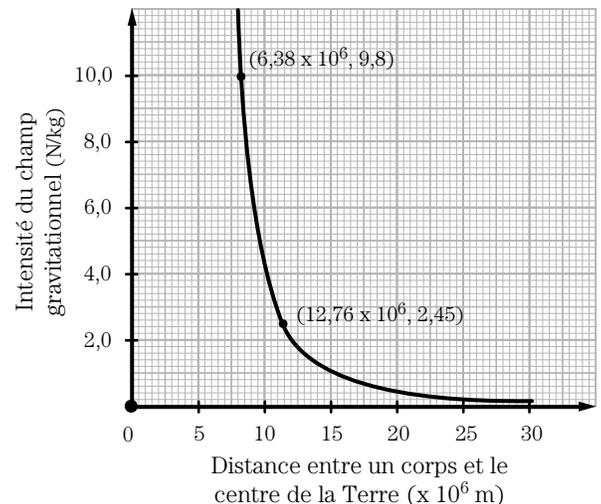
Figure 1.15 Le rayon terrestre est légèrement plus petit aux pôles qu'à l'équateur.

TABLEAU 1.1 – VARIATION DE LA VALEUR DE g EN LATITUDE.

VILLE	LATITUDE	g (N/kg)
Inuvik (dans les Territoires du Nord-Ouest, près du cercle Arctique)	68°N	9,82
Montréal	45°N	9,81
Panama (en Amérique centrale, à l'équateur)	9°N	9,78

En altitude

Plus nous nous éloignons de la surface de la Terre, plus la valeur de r , qui en fait représente la distance entre un objet et le centre de la Terre, augmente. La grandeur de g étant inversement proportionnelle au carré de r ($g \propto 1/r^2$), plus nous nous éloignons de la Terre, plus g diminue.

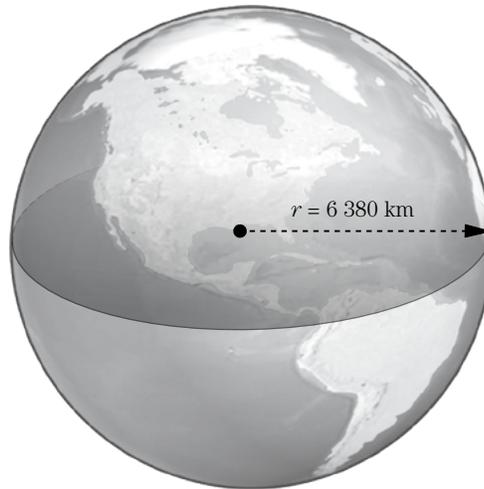


Graphique 1.2 La valeur de g diminue avec l'altitude.

1.40) Quelle est la valeur de g à une altitude de 3,0 rayons terrestres ?

1.41) Quel serait le poids d'un astronaute de 70 kg à une altitude de $1,28 \times 10^7$ m ?

1.42) La figure suivante représente notre planète dessinée à l'échelle $1 \text{ cm} \triangleq 2\,000 \text{ km}$.



a) Tracez, dans le plan de la page, l'orbite de la Station spatiale internationale en respectant l'échelle indiquée, sachant que cette orbite est circulaire et que la station se trouve à une altitude de 400 km.

b) D'après le graphique 1.2 à la page précédente, quelle est la valeur approximative de g à cette altitude ?

c) Quel est le poids d'une astronaute de 55 kg à cette altitude ?

L'état d'apesanteur

L'orbite de la Station spatiale est beaucoup plus rapprochée de la surface terrestre que plusieurs l'imaginent. À cette altitude, la valeur de g représente environ 80 % de sa valeur au sol. Pourquoi alors les occupants de la station sont-ils en état d'apesanteur? Référez-vous à l'illustration de la figure 1.13. Par rapport à la trajectoire rectiligne qu'elle aurait sans la présence d'une force d'attraction gravitationnelle, la Lune « tombe » continuellement sur sa trajectoire circulaire. Il en va de même pour la Station spatiale et pour ses occupants qui « tombent » avec elle à la manière des passagers d'un ascenseur qui tomberait en chute libre. Par rapport à l'ascenseur, ces passagers seraient en état d'apesanteur tout comme les astronautes dans leur station orbitale.



Tous les objets présents dans la station tombent en même temps que les personnes. C'est pourquoi, pour ces personnes, les objets semblent flotter dans l'habitacle. C'est aussi pourquoi une goutte d'eau prend sa forme naturelle, une sphère, sous l'action de la tension superficielle.



Le saviez-vous?

Mars, si près mais si loin

À l'échelle de notre système solaire, Mars est de l'autre côté de la rue. Notre voisine présente des caractéristiques qui ne sont pas tellement éloignées de celles de la Terre. Son diamètre est d'environ la moitié de celui de la Terre, sa masse est le dixième et sa densité est de 4,0 contre 5,5 pour la Terre. Le jour martien est de 24,5 h et son atmosphère, fort différent du nôtre, comporte 95 % de CO_2 (gaz carbonique). Toutefois, un voyage vers Mars est une aventure que nous ne sommes pas encore prêts à tenter. Un aller-retour prendrait environ trois ans, avec toutes les complications découlant d'un séjour prolongé en apesanteur. Le départ devrait obligatoirement s'effectuer à partir de la Station spatiale internationale car la quantité de vivres et de matériel qu'il faudrait apporter rendrait impossible un départ propulsé à partir de la surface de la Terre.



© Nasa.org



Le saviez-vous ?

La recherche en microgravité

L'absence des effets de la pesanteur en orbite ouvre un nouveau champ de recherche sur les matériaux. En effet, la cristallisation ne s'effectue pas de la même façon que sur la Terre lorsque la gravité n'agit pas. On peut obtenir, à partir d'une même substance, des cristaux ayant des propriétés différentes. De nouvelles molécules pourront ainsi être produites, notamment dans le domaine pharmaceutique.

Bien qu'il soit agréable de « flotter » en état d'apesanteur, un séjour prolongé dans l'espace entraîne de sérieuses complications pour le corps humain. La gravité joue un rôle important dans la distribution du sang dans l'organisme et dans le processus de la circulation sanguine. En apesanteur, le sang a tendance à s'accumuler dans la région thoracique et une diminution du nombre de globules rouges a été remarquée.



© Nasa.org

L'astronaute Chris Hadfield réalisant un test physique à bord de la Station spatiale internationale.

L'absence d'effort pour soulever les objets provoque une atrophie musculaire. Après un long séjour dans l'espace, l'astronaute peine à marcher à son retour sur terre. Nous avons aussi constaté que les os perdaient une partie de leur calcium et devenaient plus friables. La colonne vertébrale, n'étant plus comprimée par le poids du corps, peut s'allonger de quelque 5 cm, causant ainsi des maux de dos. Cela explique pourquoi les astronautes doivent réaliser quotidiennement un programme de conditionnement physique adapté lors d'un séjour prolongé dans l'espace.

Depuis les expériences en orbite du premier astronaute canadien Marc Garneau en 1984, la recherche sur les effets physiologiques des séjours dans l'espace est devenue une des spécialités canadiennes. En 2013, le commandant Chris Hadfield a séjourné environ cinq mois dans l'espace dont trois aux commandes de la Station spatiale internationale.

Exercices de l'activité 1.4

- 1.43 Calculez la force d'attraction gravitationnelle qui vous attire vers une autre personne située à 2,0 m de vous en supposant que vos masses respectives sont de 60 kg et 70 kg.

- 1.44 Qu'advient-il de la force d'attraction gravitationnelle entre deux corps si l'on double la valeur de chacune des masses tout en réduisant la distance qui les sépare au tiers de sa valeur initiale ?

- 1.45 Newton a-t-il déjà calculé la grandeur de la force d'attraction gravitationnelle entre la Terre et la Lune ? Précisez votre réponse.

Les exercices 1.46 à 1.49 se rapportent à une éventuelle mission vers Mars.

- 1.46 La masse du vaisseau spatial sera-t-elle la même sur Mars que sur la Terre ? Précisez votre réponse.

- 1.47 Le poids du vaisseau sera-t-il le même sur Mars ?

- 1.48 Sachant que la masse de la planète Mars est de $6,42 \times 10^{23}$ kg et que son rayon est de $3,38 \times 10^6$ m, quelle est la valeur de la constante gravitationnelle à la surface de Mars?

- 1.49 Quel sera le poids sur Mars d'un astronaute dont la masse est de 65 kg?

Les exercices 1.50 et 1.51 se rapportent à l'énoncé suivant. Vous débarquez sur une planète dont la masse est six fois celle de la Terre et dont le rayon est le double du rayon terrestre.

- 1.50 Quelle est la valeur de g sur cette planète?

- 1.51 Quel y serait votre poids en supposant que votre masse est de 60 kg?

- 1.52 Expliquez brièvement l'état d'apesanteur ressenti par les passagers de la Station spatiale internationale en orbite autour de la Terre.

Retour sur l'activité

L'activité 1.4 vous a permis de saisir l'importance de la force d'attraction gravitationnelle qui régit le mouvement de la Lune autour de la Terre et des planètes autour du Soleil. Notre Soleil étant lui-même une étoile de grosseur moyenne en orbite autour du centre de notre galaxie, la Voie lactée, on peut affirmer que la loi de la gravitation universelle régit aussi les mouvements à l'intérieur des galaxies. Vous avez vu que votre propre poids est un cas particulier de cette loi universelle. Lorsque vous trébuchez, vous éprouvez une force qui, à des degrés divers, régit les mouvements de l'Univers.

Votre poids étant le résultat de l'attraction terrestre, vous avez calculé la valeur de g , l'intensité du champ gravitationnel à la surface de la Terre et ce à partir des caractéristiques de la planète, notamment sa masse et son rayon. Dans l'activité suivante, vous utiliserez la valeur de g sur différentes planètes afin de déterminer les graduations d'un dynamomètre interplanétaire.



Activité 1.5 Un dynamomètre interplanétaire



But

- Établir la relation entre la masse d'un corps et la force gravitationnelle qu'il subit sur différentes planètes.

Vous faites partie d'une équipe qui étudie la possibilité d'entreprendre des voyages vers la Lune et ultimement vers Mars. Vous êtes chargé de concevoir un dynamomètre qui, lorsqu'il est utilisé sur la Terre, indique non seulement la masse des objets mais leur poids sur la Terre et celui qu'ils auraient sur la Lune et sur Mars.



Votre tâche

Dans le cadre de cette activité, vous devrez :

- prendre connaissance de l'intensité du champ gravitationnel à la surface de la Terre, de la Lune et de Mars;
- déterminer les graduations d'un dynamomètre qui, lorsqu'il est utilisé sur la Terre, indique la masse et le poids sur la Terre, sur la Lune et sur Mars, d'objets d'un maximum de 2,50 kg;
- faire un schéma de ce dynamomètre.



La masse d'un objet est associée à la quantité de matière qu'il contient. Idéalement, on mesure une masse à l'aide d'une balance par comparaison avec une masse connue, une masse étalon. On l'exprime en kilogrammes ou en grammes.

© zcw/Shutterstock.com

Une balance à plateaux.

On mesure un poids à l'aide d'un dynamomètre, un appareil servant à mesurer des forces par allongement d'un ressort. On exprime cette mesure en newtons. On peut aussi mesurer la masse d'un corps en le suspendant à un dynamomètre que l'on a gradué en kilogrammes ou en grammes. Cette graduation dépend de la planète où l'on se trouve.



© Source : Ohaus.ca

Un dynamomètre.

Les intensités du champ gravitationnel (g)

Écrivez la valeur de l'intensité du champ gravitationnel à la surface des astres suivants :

À la surface de la Terre : _____

À la surface de la Lune : _____

À la surface de Mars : _____

Les graduations du dynamomètre interplanétaire :

Complétez le tableau ci-dessous en y inscrivant les poids correspondant aux masses inscrites. N'oubliez pas d'ajouter un titre au tableau.

TITRE : _____

MASSE (kg)	POIDS (N)		
	Sur la Terre	Sur la Lune	Sur Mars
0			
0,50			
1,00			
1,50			
2,00			
2,50			

Un dynamomètre interplanétaire

Dessinez votre conception du dynamomètre en mettant l'accent sur les graduations.

SCHÉMA DE L'APPAREIL



L'utilisation du dynamomètre

1. Un dynamomètre mesure-t-il des masses ou des poids?

2. Cet appareil, utilisé tel quel, donnerait-il les résultats attendus à la surface

a) de la Terre? Oui Non

b) de la Lune? Oui Non

c) de Mars? Oui Non

Expliquez pourquoi.

3. Quelle modification faudrait-il apporter à cet appareil pour que les valeurs indiquées sur le cadran soient conformes à la réalité?

4. Quelle modification faudrait-il apporter à cet appareil pour être en mesure de l'utiliser sur la Lune et sur Mars tout en conservant son ressort initial?

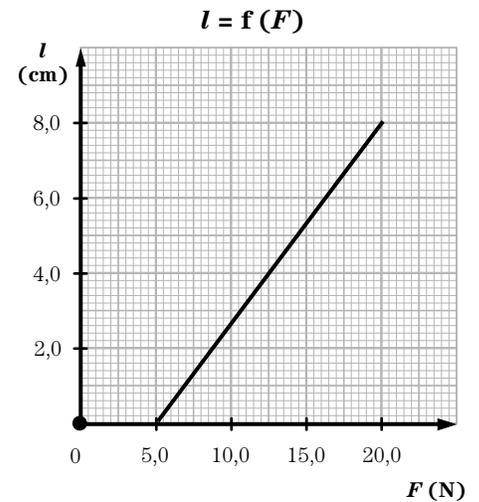
5. Dessinez les schémas des cadrans correspondants.

Sur la Lune	Sur Mars

Exercices d'intégration

1.53 Le graphique ci-contre représente l'allongement d'un ressort homogène en fonction de la force appliquée.

a) Comment expliquez-vous que la droite ne passe pas par l'origine (0, 0) ?



b) Quelle est la constante d'élasticité du ressort ?

1.54 Vous suspendez une masse de 250 g à un ressort dont la constante d'élasticité est de 50 N/m. De quelle longueur le ressort s'allongera-t-il ?

1.55 Quelle devrait être la constante d'élasticité du ressort d'un dynamomètre qui vous permettrait de mesurer des masses d'une valeur maximale de 2,0 kg pour un allongement maximal du ressort de 10 cm ?

- 1.56) Calculez la grandeur de la force d'attraction gravitationnelle qui permet à un satellite de 5 000 kg de se maintenir en orbite à une altitude de $6,38 \times 10^6$ m au-dessus de la surface de la Terre.

La masse de la Terre est de $5,98 \times 10^{24}$ kg et le rayon terrestre est de $6,38 \times 10^6$ m.

- 1.57) Vous débarquez sur la Lune et vous remarquez que votre poids n'est plus que de 96 N. Pourtant, sur la Terre, vous savez que vous pesiez 588 N.

Vous suspendez une roche lunaire à un dynamomètre qui indique alors 34 N. Quelle est la masse de cette roche ?



Résumé des nouveaux savoirs

Activité 1.1 – Qu'est-ce qu'une force ?

Une **force** est toute cause capable de déformer un corps ou d'en modifier l'état de repos ou de mouvement. On la symbolise par la lettre \vec{F} et on l'exprime en newtons (N).

Une force est une **quantité vectorielle**. Elle est déterminée par sa grandeur et son orientation. On représente une force par un vecteur, un segment de droite orienté tracé à l'échelle.

Lorsqu'une force motrice n'est pas orientée dans la direction du mouvement qu'elle provoque, on en évalue l'efficacité en déterminant la projection du vecteur force sur l'axe du déplacement. C'est la **force efficace** (F_e). Plus l'angle (θ) entre la direction de la force et l'axe du déplacement est petit, plus la force est efficace : $F_e = F \cos \theta$.

Les forces sur un plan incliné

La grandeur de la composante F_{plan} du poids d'un objet qui attire celui-ci vers le bas d'un plan incliné est directement proportionnelle au sinus de l'angle θ que fait le plan avec l'horizontale : $F_{\text{plan}} = F_g \sin \theta$ où F_g , le poids de l'objet, est obtenu en multipliant sa **masse** (m) par l'intensité du **champ gravitationnel** (g) à la surface de la Terre : $F_g = mg$.

On analyse les vecteurs de forces appliqués à un corps en ayant recours au **diagramme de corps libre** dans lequel le corps est représenté par un point situé à son centre de masse.

Activité 1.3 – La loi de Hooke

Un des effets possibles d'une force est la déformation d'un objet. Au terme d'une **déformation inélastique**, l'objet demeure déformé. Lors d'une **déformation élastique**, celle d'un ressort par exemple, l'objet reprend sa forme initiale lorsque cesse la force appliquée.

La **loi de Hooke** stipule que l'allongement ou la compression (l) d'un ressort homogène hélicoïdal est directement proportionnelle à la force appliquée (F) : $F = kl$, où k est la **constante d'élasticité** du ressort qui renseigne sur sa rigidité.

La **force de rappel** est celle que le ressort exerce sur le point d'application de la force. Elle est dirigée en sens contraire de la force appliquée : $F = -kl$.



Activité 1.4 – La force gravitationnelle, une force à distance

Telle que formulée par Isaac Newton : « Tous les corps attirent tous les autres corps avec une force qui est directement proportionnelle au produit de leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare », la loi de la **gravitation universelle** s'applique à tous les corps, des atomes aux galaxies.

Dans l'équation : $F_g = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$, G est une constante universelle, la constante de gravitation :

$$6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2.$$

Le poids d'un corps est un cas particulier de la gravitation universelle. C'est le produit de la **masse** par l'**intensité du champ gravitationnel** (g) à la surface de la Terre : $F_g = mg$ où $g = 9,8 \text{ N/kg}$.

La valeur de g diminue avec l'altitude et elle est légèrement supérieure aux pôles.

Les astronautes en orbite autour de la Terre sont en état d'**apesanteur** car ils « tombent » en même temps que leur station orbitale.