1. Présentation de la série

1.1. Motivation et objectifs

Cette série va vous permettre de faire connaissance avec les notions de base de la mécanique que sont les forces et les équilibres. Assimilez bien ces notions. Elles vous seront indispensables pour la bonne compréhension de tout le cours de physique.

Au terme de cette série, vous serez capable d'utiliser quelques notions de base en mécanique (force, poids, masse, équilibre).

1.2. Place de la série dans le module

Présentation du module

I. Mécanique

Série 1: Prérequis du cours de physique
Série 2: Notions de base ← Vous êtes ici
Série 3: Notion de pression

II. Matière

Série 4: Énergie thermique

III. Lumière

Série 5: Optique

IV. Électricité

Série 6: Notions de base
Série 7: Circuits électriques

V. Acoustique

Série 8: Notions de base

VI. Synthèse

Série 9: Synthèse générale

1.3. Plan de la série

Leçon 1: Forces
Leçon 2: Poids - Masse
Leçon 3: Composition et décomposition de forces
Leçon 4: Équilibres

1.4. Prérequis

Il n'y a pas de prérequis particuliers pour l'étude de cette série. Vous devez cependant avoir en mémoire les transformations d'unités, les proportions et la construction de graphiques (voir série 1).

2. Développement des leçons

LEÇON 1: FORCES

1. Introduction

1.1. Motivation et objectifs

La notion de force est fondamentale dans un cours de mécanique. Si cette notion n'est pas claire dans votre esprit, vous ne pourrez pas comprendre la suite du cours, spécialement la partie sur la statique des fluides (série 3). Cette notion fondamentale doit être parfaitement assimilée ; elle intervient d'ailleurs souvent dans la vie quotidienne : forces exercées par vous-même sur le sol lorsque vous marchez, forces exercées par votre voiture lorsque vous vous déplacez...

L'étude des forces vous permettra de comprendre ce qu'est le poids d'un corps, comment calculer une pression (série 3, leçon 1), comment fonctionnent les leviers (cours 221) et toutes les machines simples qui utilisent des forces comme la poulie, le palan, le plan incliné.

Ne vous inquiétez pas : toutes ces notions seront étudiées de manière progressive !

Un petit logo vous rappelle constamment ce qu'il y a lieu de mémoriser (définition, loi, formule...).

Au terme de cette leçon, vous serez capable de :

- caractériser les forces ;
- décrire différentes situations où s'applique la loi des actions réciproques.

1.2. Plan de la leçon

■ Introduction
- ☐ Expériences
- ☐ Définition d'une force
- ☐ Représentation d'une force
- ☐ Dynamomètre

■ Loi des actions réciproques
- ☐ Expériences
- ☐ Énoncé de la loi des actions réciproques

1.3. Prérequis

- Lire, comprendre et mémoriser un texte ou une partie de texte.
- Présenter des explications claires et précises.
- Mesurer et tracer un angle à l'aide d'un rapporteur.
- Tracer des droites parallèles et perpendiculaires.
- Tracer un cercle de rayon donné avec un compas.

1.4. Matériel didactique

Lors de l'étude de cette leçon, vous aurez la possibilité de réaliser vous-même certaines expériences. Pour cela, vous aurez besoin du matériel suivant :

- une bille de fer ou d'acier ;
- un aimant (on en trouve dans les magasins de bricolage).

2. Contenu de la leçon

2.1. Exposé

■ Introduction

□ Expériences

Expérience 1

Lançons une bille sur une surface bien lisse. (Vous pouvez, si vous en avez l'occasion, réaliser cette expérience vous-même ainsi que les autres décrites ci-après). Après quelques instants, la bille finit par s'arrêter.
On explique ce phénomène par le fait que la bille a été soumise à une `force`. Dans cet exemple, la force est une force de frottement.

Expérience 2

Lançons de nouveau la bille sur la surface lisse et faisons-la entrer en collision avec un objet immobile. La direction initiale de la bille est modifiée.
On explique ce phénomène par le fait que la bille a été soumise à une force.

Expérience 3

Dans une usine de construction de voitures, imaginons une tôle qui se présente devant une presse à emboutir. À la sortie de la presse, la tôle a la forme souhaitée par le constructeur (portière, aile,...).
La machine a, grâce à une force, transformé la forme d'un corps.

Expérience 4

Sur une table horizontale, plaçons une bille en acier et veillons à ce qu'elle soit immobile. Approchons un aimant de la bille. Celle-ci est attirée et se déplace sous la contrainte de l'aimant. (Vous pouvez réaliser cette expérience chez vous en utilisant une bille en acier ou en fer). Si vous n'avez pas d'aimant ou de bille d'acier, vous pouvez réaliser le même genre d'expérience en frottant une latte en plastique sur un pull de laine et en approchant la partie frottée d'un petit morceau de papier.

Ce phénomène s'explique aussi par le fait que la bille a été soumise à une force.

Conclusions des expériences

1. À partir de ces quatre expériences, on se rend compte qu'on ne voit jamais une force, mais bien **ses effets** sur le corps sur lequel elle agit [modification de la vitesse (expérience 1), modification de la direction (expériences 2 et 4), modification de la forme d'un corps (expérience 3)].

2. La force résulte toujours d'une interaction qui peut être :

   - *de contact* comme dans les trois premières expériences précédentes,
   - *à distance* comme, par exemple, lors de la quatrième expérience ou pour expliquer l'attraction d'un objet qui tombe sur le sol, attiré par la Terre (série 2, leçon 2).

□ Définition d'une force

Une force est toute cause capable de modifier l'état de repos ou de mouvement d'un corps ou de produire une déformation de ce corps.

□ Représentation d'une force

Une force est caractérisée par :

- un **point d'application** (ou origine) : endroit où la force est exercée ;
- une **droite d'action** (ou support) : droite suivant laquelle la force agit ;
- un **sens** : donne l'orientation de la force sur la droite d'action ;
- une **valeur** : grandeur de la force appliquée au corps.

Une force se représente par un vecteur $(\vec{F})$ [lettre F avec une flèche].

La valeur d'une force* se mesure en **newtons** (N) avec un appareil appelé **dynamomètre**** [voir la définition du newton ci-dessous].

À titre indicatif, le newton est approximativement la force d'attraction exercée par la Terre sur un volume de 102 cm^3 d'eau pure à 4 °C.
C'est aussi la force exercée par la Terre sur un corps dont la masse est d'environ 102 g (série 2, leçon 2).

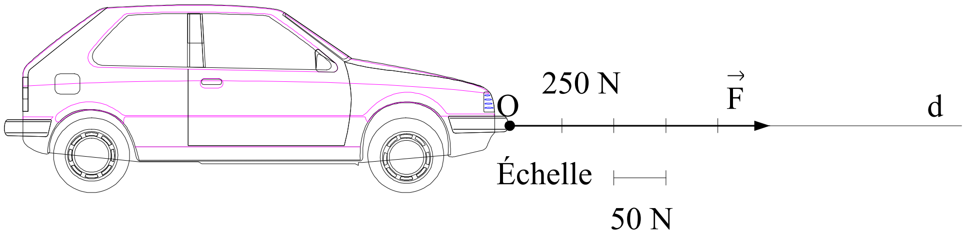
Vous verrez plus tard (cours 221) comment on définira le newton avec plus de précision.

---

* Dans la suite du cours, chaque fois que l'on donne la valeur d'une force, on supposera qu'il s'agit de la force elle-même.
** La dyne était une ancienne unité de mesure de force.

Exemple

Appliquons en un point quelconque O d'une voiture une force de traction $\vec{F}$ horizontale, de gauche à droite afin de la déplacer. La force est de 250 N. Dessinons la force.



Les caractéristiques de la force sont :

- *point d'application* : le point O ;
- *droite d'action* : droite horizontale d ;
- *sens* : de gauche à droite ;
- *valeur* : 250 N.

Voici un multiple et un sous-multiple du newton (comme vous l'avez déjà vu à la série 1) :

1 kN = 10^3 N (1 kilonewton = 1000 N)
1 mN = 10^{-3} N (1 millinewton = 0,001 N)

Remarque 1

La force étant représentée par un `vecteur`, il faut écrire :

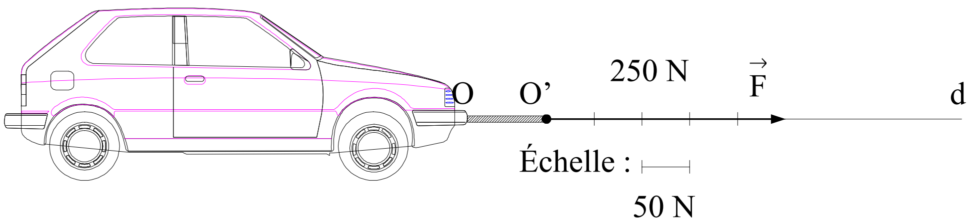
F = 250 N où 250 N représente la grandeur de la force ; on l'appelle aussi la `norme` du vecteur $\vec{F}$.

Attention ! Il **ne** faut surtout **pas** écrire :

$\vec{F} = 250\,N$ car il ne s'agit pas d'une égalité ; en effet, à gauche du signe égal, on a un **vecteur** et à droite, un **nombre** de newtons.

Remarque 2

Reprenons l'exemple de la voiture utilisée précédemment et munissons-la d'une barre horizontale OO' fixée au point O.



Si on tire de la même façon que précédemment sur l'extrémité O' de la barre, le déplacement du véhicule se fait de la même manière, alors que le point d'application de la force s'est déplacé. La force a « glissé » sur sa droite d'action ; c'est pourquoi on dit qu'une force est représentée par un `vecteur glissant`.

Une force appliquée à un solide peut glisser sur sa droite d'action sans modifier l'effet qu'elle produit. On dira que la force est représentée par un vecteur glissant.

☐ Dynamomètre

Le dynamomètre est un appareil qui permet de mesurer des forces, quelle que soit leur droite d'action : horizontale, oblique ou verticale. Dans ce dernier cas, la force est en général, la force de pesanteur (série 2, leçon 2).

Le dynamomètre est constitué d'un tube de section ronde ou carrée dans lequel se trouve un ressort (voir schéma ci-dessous). Toute force exercée sur le ressort entraîne la déformation de ce dernier. Selon le sens de la force à mesurer (tirer ou pousser), on utilisera un dynamomètre à traction (allongement du ressort) ou à compression (compression du ressort).

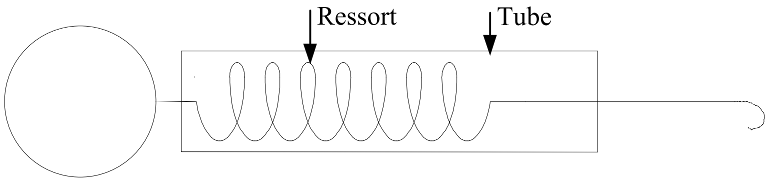


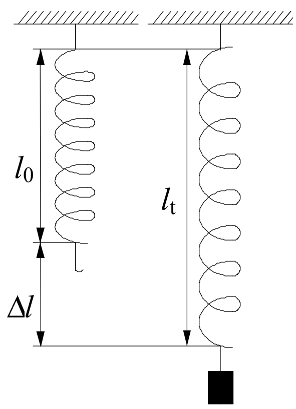
Schéma intérieur d'un dynamomètre à traction

La mesure de l'allongement ou de la compression du ressort permet de déterminer la force exercée à condition d'avoir étalonné l'appareil.

`Étalonner un dynamomètre` consiste à établir une relation entre les forces (causes) et les déformations subies par le ressort du dynamomètre (effets).

Expérience

Exerçons sur le crochet du dynamomètre différentes forces et mesurons l'allongement correspondant.



Appelons F : la grandeur de la force appliquée au ressort ;
l_0 : la longueur initiale du ressort ;
l_t : la longueur finale après allongement.

La variation de longueur Δl subie par le ressort est telle que :

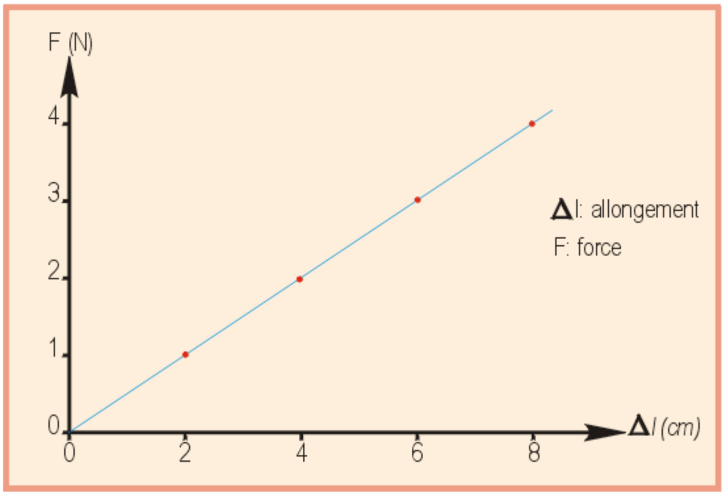
$$\boxed{\Delta l = l_t - l_0}$$

Notons les résultats dans un tableau.

$l_0 = 6$ cm

l_t (cm)	$l_t - l_0 = \Delta l$ (cm)	F (N)
6	$6 - 6 = 0$	0
8	$8 - 6 = 2$	1
10	$10 - 6 = 4$	2
12	$12 - 6 = 6$	3
14	$14 - 6 = 8$	4

Si, dans un graphique, on représente la grandeur F de la force appliquée $\vec{F}$ en fonction de l'allongement Δl du ressort, on a :



On remarque que l'allongement Δl du ressort du dynamomètre est proportionnel à la grandeur de la force exercée. En effet, si la force double, l'allongement fait de même. La constante de proportionnalité est appelée `constante de raideur` k du ressort du dynamomètre. Cette dernière s'exprime en $\frac{N}{m}$.

On peut écrire que : $\frac{F}{\Delta l} = k$

Ou encore :

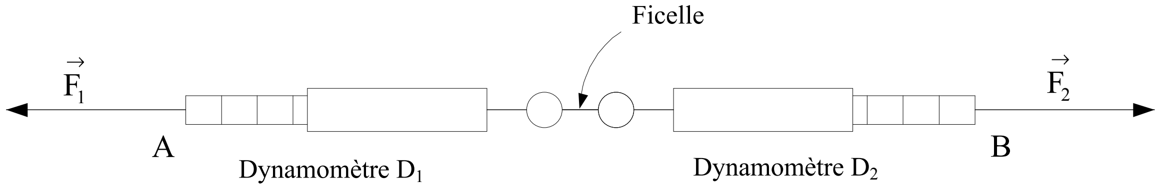
$\boxed{F = k\,\Delta l}$ ou $\boxed{F = k(l_t - l_0)}$

■ Loi des actions réciproques

□ Expériences

Expérience 1

Accrochons deux dynamomètres avec une ficelle comme indiqué sur le dessin ci-après.



Exerçons des forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ opposées sur les extrémités A et B des deux dynamomètres.
$\vec{F_1}$ est la force exercée par l'observateur sur le point A du dynamomètre D_1.
$\vec{F_2}$ est la force exercée par l'observateur sur le point B du dynamomètre D_2.
Les grandeurs des forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ sont égales.

Réduisons la grandeur des forces $\vec{F_1}$ ou $\vec{F_2}$ en diminuant la traction exercée au point A ou au point B ; les forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ ont toujours la même valeur, celle indiquée par chaque dynamomètre. Lâchons une des extrémités A ou B. Les ressorts des dynamomètres reprennent leur position initiale et les grandeurs des forces sont nulles.

On constate que si on supprime une des deux forces, on supprime l'autre et chaque dynamomètre indique la valeur d'une des deux forces.

Ainsi, D_1 indique aussi bien la valeur de $\vec{F_1}$ que celle de $\vec{F_2}$. Il en est de même avec D_2.

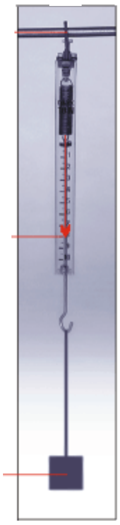
D'autres expériences non décrites ici aboutissent aux mêmes résultats : **une force n'existe jamais seule** et $\vec{F_1}$ n'existe que si $\vec{F_2}$ existe également, même si les effets ne sont pas perceptibles.

Expérience 2

Accrochons un corps solide C_1 (par exemple, un cylindre métallique) à un dynamomètre à traction fixé en un point P (voir schéma 1). Le `poids`, c'est-à-dire la force exercée par la Terre sur le corps C_1 (nous y reviendrons série 2, leçon 2) est indiqué par le dynamomètre. On lit que $G_1 = 8$ N.

Plaçons un récipient C_2 contenant de l'eau au milieu du plateau d'un dynamomètre à compression (voir schéma 2). Cet appareil indique la grandeur des forces qui sont exercées de haut en bas. Observons l'indication de ce dernier. Il indique le poids de l'eau et du récipient, c'est-à-dire : $G_2 = 3$ N.

P



Dynamomètre à traction

$G_1 = 8$ N

C_1

Schéma 1

Dynamomètre à compression

$G_2 = 3$ N

Schéma 2

Immergeons maintenant le corps solide C_1 accroché au dynamomètre à traction en déplaçant le point P et observons les indications des deux dynamomètres (voir schéma 3). Le dynamomètre à traction indique une valeur $G'_1 = 6$ N et le dynamomètre à compression indique une valeur $G'_2 = 5$ N.

Nous constatons que :

$$G'_1 < G_1$$
$$G'_2 > G_2$$

Calculons $\quad F_1 = G_1 - G'_1 = 8\text{ N} - 6\text{ N} = 2\text{ N}$

C'est la `poussée d'Archimède` exercée par l'eau sur le corps C_1.

P

$G'_1 = 6$ N

$G'_2 = 5$ N

Schéma 3

Le corps C_1 a subi une force verticale $\vec{F_1}$ de bas en haut égale à 2 N.

Calculons $F_2 = G'_2 - G_2 = 5\ N - 3\ N = 2\ N$

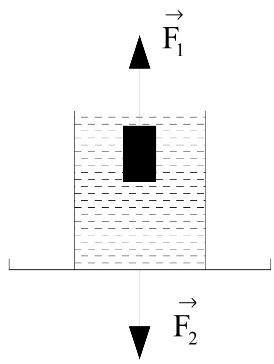
Le corps C_2 a subi une force verticale $\vec{F_2}$ de haut en bas égale à 2 N.

Nous remarquons que $F_1 = F_2$. De plus, puisque les forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ sont de sens opposé, on a :

$$\boxed{\vec{F_1} = -\vec{F_2}}$$

Caractérisons ces forces.

$\vec{F_1}$ est la force exercée **par le fluide sur le corps.**



- *point d'application* : le `centre de gravité` du corps ; (série 2, leçon 4), ici, il s'agit du milieu du cylindre ;
- *droite d'action* : verticale ;
- *sens* : de bas en haut ;
- *valeur* : force d'Archimède, égale à 2 N.

$\vec{F_2}$ est la force exercée **par le corps sur le fluide** (et sur le plateau du dynamomètre à compression).

- *point d'application* : le milieu du plateau du dynamomètre (la force se transmet par l'intermédiaire du fluide) ;
- *droite d'action* : verticale ;
- *sens* : de haut en bas ;
- *valeur* : force d'Archimède, égale à 2 N.

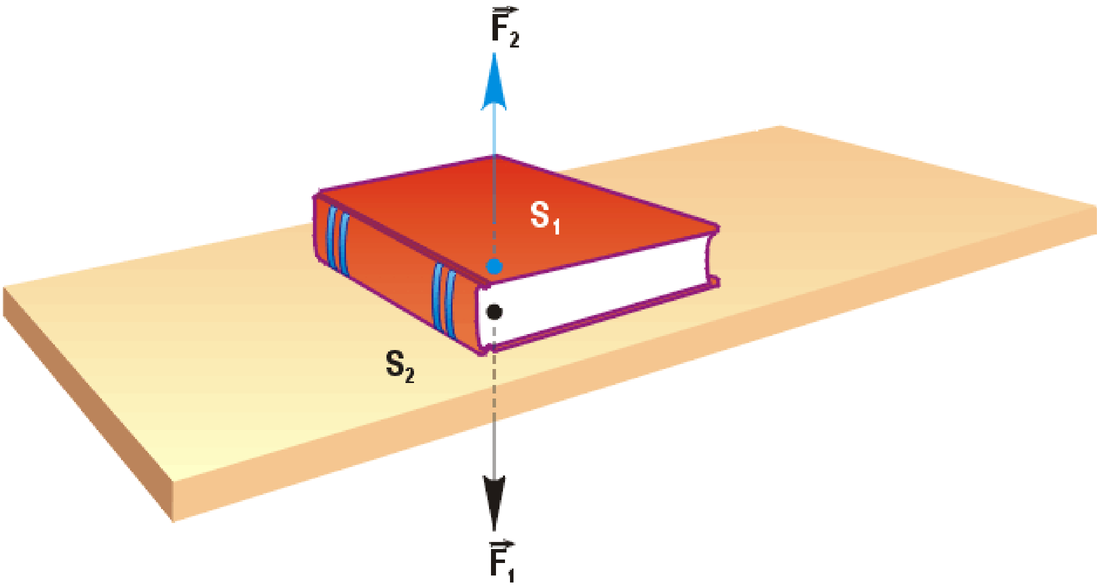
$\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ sont deux forces réciproques*; l'une n'existe pas sans l'autre. Elles peuvent se représenter comme indiqué ci-avant. Elles s'appliquent toujours sur des objets différents ; la force $\vec{F_1}$ est appliquée sur le cylindre et la force $\vec{F_2}$, sur le plateau du dynamomètre.

---

* Précédemment, on appelait la force $\vec{F_1}$ action et la force $\vec{F_2}$, réaction. La loi était connue sous le nom de loi d'action et réaction.

Expérience 3

Observons la planche d'une armoire d'une bibliothèque. Cette planche est, en général, fortement incurvée. En effet, elle est soumise au poids des différents livres qui y sont rangés. Pour simplifier le problème, imaginons que l'on remplace tous les livres de la planche par un seul (aussi lourd que tous les autres ensemble) placé au milieu de celle-ci.



Sur le dessin ci-dessus, S_1 et S_2 représentent respectivement le livre et la planche. Comme nous venons de le voir dans l'expérience précédente, si $\vec{F}_1$ est la force exercée par le livre sur la table, $\vec{F}_2$ est la force exercée par la table sur le livre. Les deux forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ sont de même grandeur, de même droite d'action, de sens contraire et sont appliquées sur des corps différents.

Caractérisons ces forces.

$\vec{F}_1$: force exercée **par le livre sur la table.**

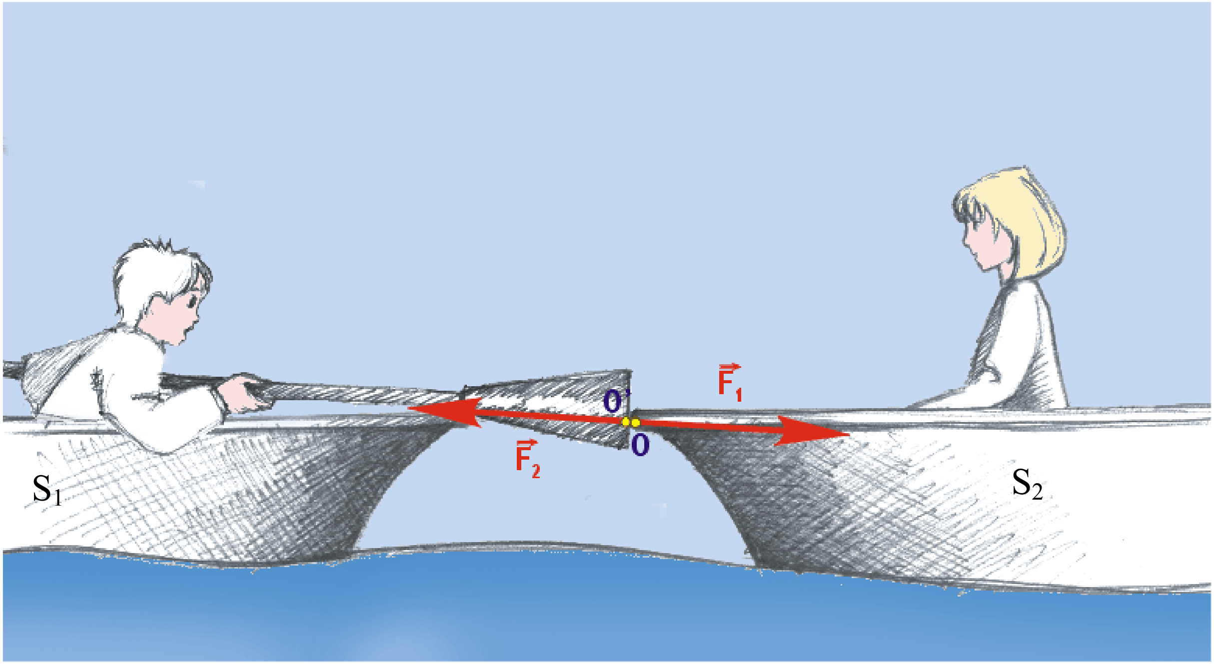
- *point d'application* : la partie supérieure de la planche, au milieu du livre ;
- *droite d'action* : verticale ;
- *sens* : de haut en bas ;
- *valeur* : le poids du livre.

$\vec{F}_2$: force exercée **par la table sur le livre.**

- *point d'application* : le centre de gravité du livre (série 2, leçon 4) ;
- *droite d'action* : verticale ;
- *sens* : de bas en haut ;
- *valeur* : le poids du livre.

Expérience 4

Deux barques S_1 et S_2 flottent sur un lac. L'observateur placé dans la barque S_1 pousse avec une rame sur S_2. $\vec{F_1}$ est la force exercée par S_1 sur S_2. Les deux barques s'écartent. En effet, par la loi des actions réciproques, $\vec{F_2}$ est la force exercée par S_2 sur S_1 par l'intermédiaire de la rame. Ici aussi, les forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ sont égales, de sens contraire, de même droite d'action et appliquées sur des corps différents.



□ Énoncé de la loi des actions réciproques

Si un corps C_1 exerce sur un autre corps C_2 une force $\vec{F_1}$, réciproquement et simultanément, C_2 exerce sur C_1 une force $\vec{F_2}$ d'égale valeur, de même droite d'action mais de sens opposé. Les points d'application des deux forces sont toujours différents ; ils sont sur chacun des deux corps.

2.2. Synthèse

Force

- elle résulte toujours d'une interaction qui peut être de contact ou à distance ;
- elle ne s'observe que par ses effets ;
- elle est toute cause capable de modifier l'état de repos ou de mouvement d'un corps ou de produire une déformation de ce corps.

Définition

Une force est toute cause capable de modifier l'état de repos ou de mouvement d'un corps ou de produire une déformation de ce corps.

Unité : le newton (N)

Le newton est approximativement la force d'attraction exercée par la Terre sur un volume d'environ 102 cm^3 d'eau pure à 4 °C.

C'est aussi la force exercée par la Terre sur un corps dont la masse est d'environ 102 g.

Caractéristiques d'une force

- *point d'application* : endroit où la force est exercée ;
- *droite d'action* : droite suivant laquelle la force agit ;
- *sens* : donne l'orientation de la force sur la droite d'action ;
- *valeur* : grandeur de la force appliquée au corps.

Une force se représente par un vecteur, elle se mesure avec un dynamomètre.

$\boxed{F = k\ \Delta l}$ $\boxed{\Delta l = l_t - l_0}$ avec F : valeur de la force exercée (N)

k : constante de raideur ($\frac{N}{m}$)

Δl : allongement (m)

l_t : longueur finale (m)

l_0 : longueur initiale (m)

Énoncé de la loi des actions réciproques

Si un corps C_1 exerce sur un autre corps C_2 une force $\vec{F_1}$, réciproquement et simultanément, C_2 exerce sur C_1 une force $\vec{F_2}$ d'égale valeur, de même droite d'action, mais de sens opposé. Les points d'application des deux forces sont toujours différents ; ils sont sur chacun des deux corps.

2.3. Exercices résolus

Avant de résoudre un exercice, il est important de :

1) lire le texte de l'énoncé plusieurs fois si nécessaire et s'assurer de sa compréhension littérale : y a-t-il des mots inconnus, des expressions dont le sens est incertain ? Ne pas hésiter à vérifier leur signification dans un dictionnaire, dans le glossaire ou même dans le cours ;

2) déterminer ce que l'on demande ;

3) déterminer les variables que l'on connaît et celles dont on peut calculer la valeur à partir des éléments disponibles dans l'énoncé ;

4) écrire la formulation mathématique du problème ;

5) reconnaître les données inutiles ;

6) calculer la solution.

Cette façon de procéder est valable pour tous les exercices.

En général, dans les problèmes posés, vous devrez calculer une longueur, une force ou une constante de raideur.

- *Si on vous demande de déterminer la longueur initiale ou la longueur finale d'un ressort, il faut connaître :*
  1) l'autre longueur ;
  2) la force exercée ;
  3) la constante de raideur du ressort.
- *Si on vous demande de calculer la force exercée, il faut connaître :*
  1) l'allongement du ressort (qui peut être déterminé si on connaît la longueur initiale et la longueur finale du ressort) ;
  2) la constante de raideur du ressort.

1. Un ressort a une constante de raideur 5 $\frac{\text{N}}{\text{cm}}$; sa longueur initiale est de 12 cm. Calculez sa longueur finale si on exerce une force de 6 N.

On donne

$k = 5\ \frac{\text{N}}{\text{cm}}$
$l_0 = 12$ cm
$F = 6$ N

On demande

$l_t = ?$

Solution

Il faut chercher la longueur totale du ressort. Pour cela, il faut avoir la valeur de la longueur initiale du ressort ainsi que celle de son allongement.

Que connaît-on ?

On connaît la longueur initiale du ressort (l_0 = 12 cm) mais on n'a pas la valeur de son allongement. Ce dernier peut cependant être déterminé en utilisant la formule d'allongement du ressort (F = k Δl). Pour cela, il faut connaître la force exercée (F = 6 N) ainsi que la constante de raideur du ressort (k = 5 $\frac{\text{N}}{\text{cm}}$).

L'allongement vaut :

$$F = k\,\Delta l \qquad \rightarrow \qquad \Delta l = \frac{F}{k} = \frac{6}{5} = 1{,}2 \text{ cm}$$

La longueur totale du ressort est obtenue en ajoutant à la longueur initiale du ressort, son allongement. On a :

La longueur totale: $l_t = l_0 + \Delta l = 12 + 1{,}2 = 13{,}2$ cm.

Analyse de vos erreurs

Si vous avez obtenu 12,83 cm ou 11,17 cm, c'est que vous avez mal résolu l'équation. Lorsqu'on écrit F = kΔl et qu'on veut chercher Δl, il faut « enlever » le « k » qui se trouve à droite du signe « = ». Pour cela, puisque kΔl est une multiplication, il faut prendre l'inverse de la multiplication, c'est-à-dire la division. On divisera alors F par k pour trouver Δl et non l'inverse.

Attention également lorsque vous déterminez la longueur totale du ressort, celle-ci est la **somme** de la longueur initiale et de l'allongement, pas la différence !

2. Un dynamomètre est constitué d'un ressort dont la longueur est de 8 cm. Si on y exerce une force, sa longueur est de 15 cm. Déterminez la force si la constante de raideur est de 8 $\frac{\text{N}}{\text{cm}}$.

On donne

l_0 = 8 cm
l_t = 15 cm
k = 8 $\frac{\text{N}}{\text{cm}}$

On demande

F = ?

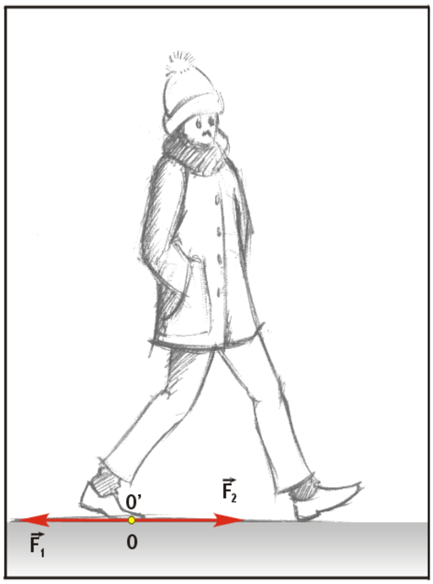
Solution

L'allongement $\Delta l = l_t - l_0 = 15 - 8 = 7$ cm

F = k Δl = 8 . 7 = 56 N

3. Toto se précipite pour aller jouer avec ses copains. Quelles sont les forces qui apparaissent pour justifier son déplacement ?

   Les seules forces qui apparaissent pour justifier son déplacement sont $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$. Caractérisons ces forces.



$\vec{F}_1$: force exercée par le pied de Toto sur le sol.

- *point d'application* : le point O sur le sol ;
- *droite d'action* : horizontale ;
- *sens* : de droite à gauche ;
- *valeur* : indéterminée, soit F_1 cette valeur.

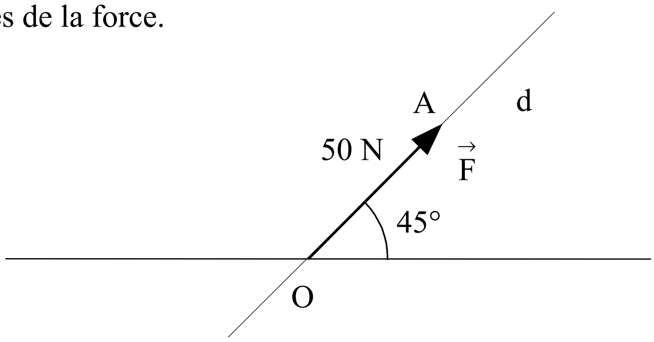
$\vec{F}_2$: force exercée par le sol sur le pied de Toto.

- *point d'application* : le point O' sur le pied de Toto ;
- *droite d'action* : horizontale ;
- *sens* : de gauche à droite ;
- *valeur* : la même que F_1.

La force $\vec{F}_2$ exercée par le sol sur le pied de Toto n'est rien d'autre que la **force de frottement**. C'est elle qui agit dans le déplacement de Toto.

Si cette force de frottement n'existait pas, Toto ne pourrait pas avancer. C'est ce qui se passe lorsqu'il y a du verglas ou de l'huile sur le sol !

4. Dessinez une force de 50 N faisant un angle de 45° avec l'horizontale. La force est orientée de gauche à droite et également de bas en haut. (échelle : 0,5 cm ↔ 10 N) Donnez les caractéristiques de la force.



- *point d'application* : le point O ;
- *droite d'action* : droite d, oblique à 45° par rapport à l'horizontale ;
- *sens* : depuis O vers A ;
- *valeur* : 50 N (car OA mesure 2,5 cm et 0,5 cm correspond à 10 N).

3. Évaluation

3.1. Travaux d'autocontrôle

Voici une série de travaux que vous pouvez réaliser vous-même afin de tester vos connaissances. Nous vous avons réservé la partie de droite de la feuille pour répondre aux questions. Soyez honnête, n'allez pas voir tout de suite les réponses qui se trouvent au paragraphe suivant. Vous trouverez 7 questions. Pour que vous puissiez aborder la deuxième leçon sans crainte, nous vous conseillons de faire au moins un score de 5 bonnes réponses. Si vous n'arrivez pas à ce résultat, il est utile de revoir l'ensemble de la matière.

Bon travail !

Vos réponses

1. Qu'est ce qu'une force ? Donnez un exemple de force qui modifie :
   - l'état de repos d'un corps ;
   - la droite d'action suivie par un corps ;
   - la forme d'un corps.

2. Représentez graphiquement et à l'échelle de votre choix, une force de 6,5 N, la droite d'action est horizontale et le sens de la force est de droite à gauche. Indiquez comment les quatre éléments de la force ont été représentés. Indiquez également l'échelle utilisée.

3. Représentez graphiquement et à l'échelle de votre choix, une force de 2,5 N, la droite d'action fait un angle de 45° avec l'horizontale et le sens de la force est, en même temps, de droite à gauche et de bas en haut. Indiquez comment les quatre éléments de la force ont été représentés. Indiquez également l'échelle utilisée.

4. Donnez les caractéristiques des forces réciproques $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ qui agissent sur les deux barques qui flottent sur un lac.

5. Une voiture démarre sur un sol sec. Quelles sont les forces qui agissent sur le sol et sur les roues motrices afin d'expliquer le déplacement du véhicule ? Donnez les caractéristiques de ces forces (ne considérer qu'une seule roue motrice).

6. Un ressort a une longueur de 15 cm. On y exerce une force de 42 N et sa longueur finale est de 22 cm. Calculez la constante de raideur du ressort (en N/cm et en N/m).

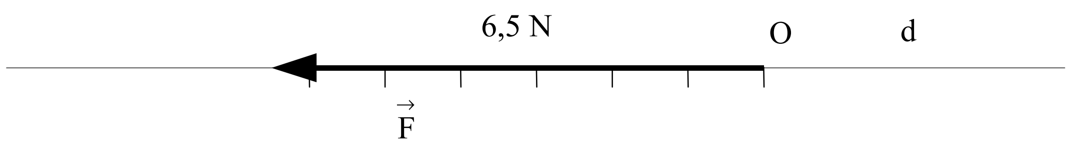
7. Un maçon veut vérifier la solidité d'un mur. Pour cela, il pousse horizontalement avec la paume de la main sur le mur, sans faire écrouler ce dernier. La force est de 200 N. Schématisez la situation et dessinez les forces qui agissent au niveau de la main et du mur. Caractérisez ces forces.

3.2. Corrigé commenté

1. Une force est toute cause capable de modifier l'état de repos ou de mouvement d'un corps ou de produire une déformation de ce corps.

   Donnez un exemple de force qui modifie :
   - l'état de repos d'un corps
     Exemple : le choc donné par une queue de billard qui percute une bille.
   - la droite d'action suivie par un corps
     Exemple : un joueur de tennis qui renvoie la balle avec sa raquette.
   - la forme d'un corps
     Exemple : la force exercée par le marteau d'un ouvrier qui perce un mur de briques.

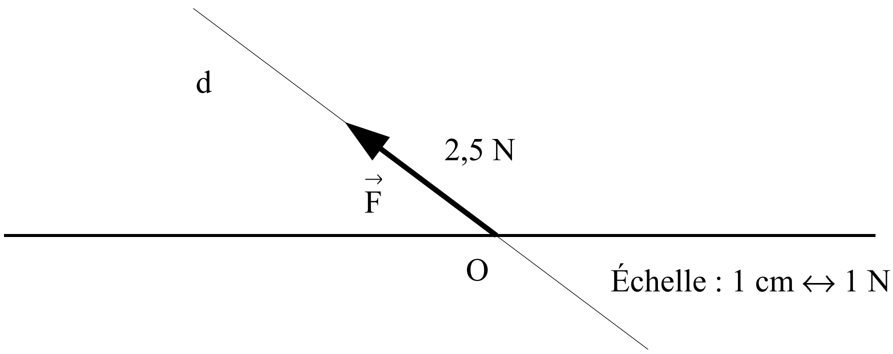
2.



Échelle : 1 cm ↔ 1 N

- *point d'application* : point O, endroit où la force est exercée ;
- *droite d'action* : droite horizontale d ;
- *sens* : de droite à gauche ;
- *valeur* : 6,5 N.

3.



Échelle : 1 cm ↔ 1 N

- *point d'application* : point O, endroit où la force est exercée ;
- *droite d'action* : droite oblique d ;
- *sens* : de droite à gauche et de bas en haut ;
- *valeur* : 2,5 N.

4. Force $\vec{F_1}$: force exercée par S_1 sur S_2.

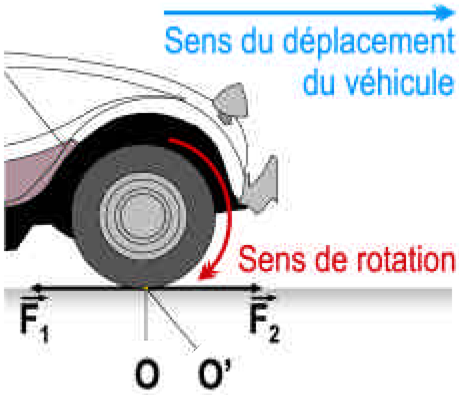
- *point d'application* : point O sur la barque S_2 ;
- *droite d'action* : droite horizontale ;
- *sens* : de gauche à droite ;
- *valeur* : ne peut être définie ici, faute de renseignements.

Force $\vec{F_2}$: force exercée par S_2 sur S_1.

- *point d'application* : point O' sur la barque S_1 ;
- *droite d'action* : droite horizontale ;
- *sens* : de droite à gauche ;
- *valeur* : égale à celle de $\vec{F_1}$.

5.

Force $\vec{F_1}$: force exercée par la roue sur le sol.



- *point d'application* : point O, sur le sol ;
- *droite d'action* : horizontale ;
- *sens* : de droite à gauche ;
- *valeur* : non définie ici, faute de renseignements.

Force $\vec{F_2}$: force exercée par le sol sur la roue (C'est la force de frottement ; si cette dernière disparaît, le véhicule ne peut plus avancer. C'est ce qui se passe lorsque le sol est glissant).

- *point d'application* : point O', sur la roue (partie de la roue qui est en contact avec le sol) ;
- *droite d'action* : horizontale ;
- *sens* : de gauche à droite ;
- *valeur* : égale à celle de $\vec{F_1}$.

6. **On donne**

l_0 = 15 cm
F = 42 N
l_t = 22 cm

On demande

k = ? (N/cm et N/m)

Solution

On sait que F = k Δl

Cherchons l'allongement du ressort :

$\Delta l = l_t - l_0 = 22 - 15 = 7$ cm

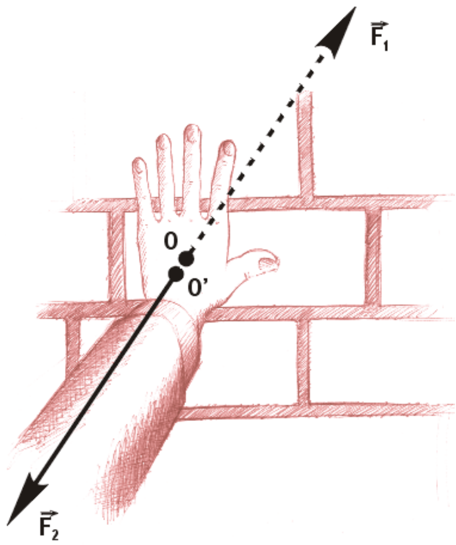
La constante de raideur k vaut :

$$k = \frac{F}{\Delta l} = \frac{42}{7} = 6\ \frac{N}{cm}$$

Si on veut la valeur en N/m, on procède de la même façon, Δl étant alors exprimé en mètres.

$$k = \frac{F}{\Delta l} = \frac{42}{0{,}07} = 600\ \frac{N}{m}$$

7.



Échelle : 2 cm ↔ 100 N

Force $\vec{F}_1$: force exercée par la main du maçon sur le mur.

- *point d'application* : point O, sur le mur ;
- *droite d'action* : horizontale ;
- *sens* : d'avant en arrière ;
- *valeur* : 200 N.

Force $\vec{F}_2$: force exercée par le mur sur la main du maçon.

- *point d'application* : point O', sur la main du maçon ;
- *droite d'action* : horizontale ;
- *sens* : d'arrière en avant ;
- *valeur* : 200 N.

LEÇON 2: POIDS - MASSE

1. Introduction

1.1. Motivation et objectifs

Une notion importante en physique est la distinction entre le « poids » et la « masse » d'un corps. La compréhension de cette différence est fondamentale en mécanique.

Au terme de cette leçon, vous serez capable de calculer le poids et la masse d'un corps.

1.2. Place de la leçon dans la série

Série 2

Leçon 1: Forces

Leçon 2: Poids - Masse ← Vous êtes ici

Leçon 3: Composition et décomposition de forces

Leçon 4: Équilibres

1.3. Plan de la leçon

■ Masse d'un corps
- ☐ Définition
- ☐ Mesure
- ☐ Unité

■ Force de pesanteur
- ☐ Définition
- ☐ Caractéristiques

■ Relation entre le poids et la masse d'un corps
- ☐ Expérience
- ☐ Définition provisoire du Newton
- ☐ Exemples

1.4. Prérequis

Relisez le résumé de la leçon 1 avant de commencer l'étude de ce nouveau chapitre et attardez-vous spécialement sur les caractéristiques d'une force.

1.5. Matériel didactique

Lors de l'étude de cette leçon, vous n'aurez pas besoin de matériel didactique.

2. Contenu de la leçon

2.1. Exposé

■ Masse d'un corps

La `masse` d'un corps est une caractéristique de ce corps, tout comme son volume, sa forme, sa nature.

□ Définition

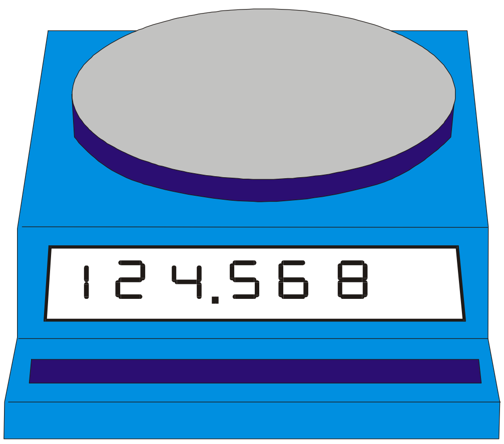
La masse* d'un corps est l'indication donnée par une balance lorsque le corps est placé sur le plateau de celle-ci. La masse d'un corps est indépendante de l'endroit où se trouve le corps.

En effet, la masse est liée au nombre de molécules du corps. Ainsi, un paquet de sel dont la masse est de 1 kg contient un certain nombre de molécules de sel ($NaCl$). Que ce paquet soit sur la Terre ou sur la Lune, le nombre de molécules n'a pas changé et la masse est restée constante.

Attention, comme on l'a déjà vu dans les prérequis (série 1), les notions de `masse` et de `poids` en physique n'ont pas le même sens que dans la vie quotidienne. Ne confondez donc pas la masse d'un corps et son poids. Le poids est une force, il se mesure en newtons et la masse se mesure en kg.

□ Mesure

La masse se mesure en `kilogrammes` (kg) à l'aide d'une **balance**. Celle-ci peut être électrique, électronique ou à plateaux. En ce qui concerne la balance à plateaux, son mode de fonctionnement est basé sur celui des leviers (voir cours 220 - 221). Pour ce qui est des deux premiers cas, en général, la balance ne présente qu'un seul plateau (comme dans de nombreux magasins : boucher, charcutier, boulanger... La masse de l'objet est indiquée directement sur l'appareil, souvent sous forme numérique, comme le montre le dessin ci-contre).



* Une meilleure définition de la masse sera vue dans le cours 221 (enseignement secondaire supérieur).

☐ Unité

Dans le système international (SI), la masse se mesure en kilogramme (kg).

Le kilogramme[**] (kg) est la masse d'un cylindre[***] en platine iridié déposé au Bureau International des Poids et Mesures à Sèvres (France).

C'est aussi la masse d'un décimètre cube d'eau pure à 4°C.

■ Force de pesanteur

Lors de la première leçon de cette série, nous avons vu qu'il existait plusieurs sortes de forces : les forces de contact et les forces à distance. La `force de pesanteur` est une force à distance à laquelle nous sommes tous habitués car elle agit sur nous 24 h sur 24.

☐ Définition

Expérience

Levons un corps et plaçons-le à une certaine hauteur par rapport au sol. Lâchons-le. Il tombe verticalement. Son mouvement ne peut s'expliquer que si une force agit sur lui. Cette force est appelée **force de pesanteur** ou encore **poids du corps**.

Définition

La force de pesanteur est la force d'attraction exercée par la Terre sur tous les corps.

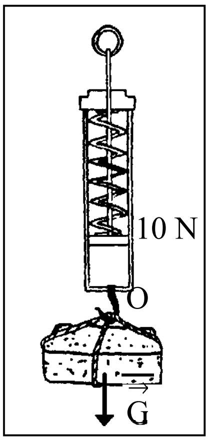
Comme toutes les forces (série 2, leçon 1), la force de pesanteur s'exprime en newtons (N).

De même que l'action attractive d'un aimant diminue lorsque la distance de l'objet à l'aimant augmente, on constate que la force de pesanteur diminue lorsque la distance par rapport au centre de la Terre (altitude) augmente. **Le poids d'un corps est donc une force variable**. Il varie non seulement avec l'altitude, mais aussi avec la latitude.

[**] Comme signalé ci-avant, la définition correcte du kilogramme ne peut pas être vue maintenant.
[***] Son diamètre et sa hauteur valent tous deux 39 mm.

En effet, par suite du renflement équatorial, un objet situé à l'équateur est plus éloigné du centre de la Terre que s'il se trouvait aux pôles. L'action attractive y est moins forte. Le poids d'un même corps est plus petit à l'équateur qu'aux pôles.

☐ Caractéristiques



Accrochons un corps de masse m au crochet d'un dynamomètre (série 2, leçon 1). Le ressort du dynamomètre s'allonge et l'indication de l'appareil permet de déterminer la force exercée par la Terre sur le corps ; c'est-à-dire le poids du corps.

Le **poids** d'un corps se représente par la lettre $\vec{G}$ (avec une flèche puisque c'est un vecteur*).

La force de pesanteur est caractérisée par :

- un *point d'application* : le point O sur le crochet du dynamomètre ;
- une *droite d'action* : verticale ;
- un *sens* : de haut en bas** ;
- une *valeur* : le poids G du corps ; par exemple ici 10 N.

■ Relation entre le poids et la masse d'un corps

Montrons qu'il existe une relation fondamentale entre la valeur G du poids d'un corps*** et la masse m de ce corps.

☐ Expérience

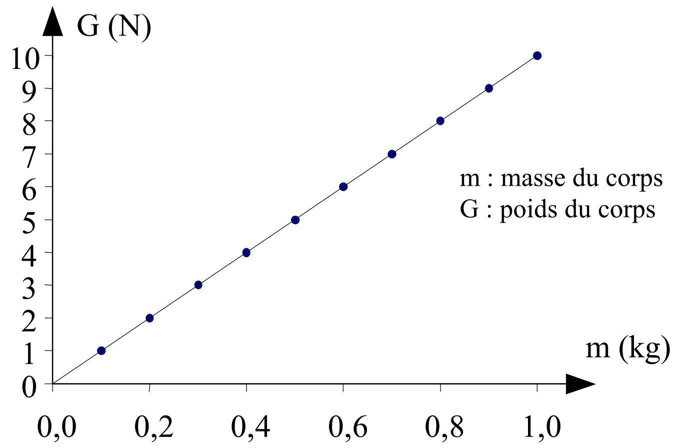
À l'aide d'un dynamomètre, mesurons le poids de différents corps dont les masses sont marquées et notons les résultats dans le tableau.

Masse **m** (kg)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Poids **G** (N)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

* Le choix de cette lettre G vient de l'anglais : « Gravitational weight ».
** Plus précisément, il s'agit d'une force dirigée vers le centre de la Terre.
*** Par facilité, la « valeur du poids d'un corps » sera appelée « poids du corps ».

Traçons le graphique représentant le poids G (axe des ordonnées) en fonction de la masse m (axe des abscisses) des corps. La masse est indiquée en kilogrammes (kg) et le poids en newtons (N).

D'après le graphique, nous constatons que la représentation du poids des corps en fonction de leur masse est **une droite passant par (0,0)**.



Comme nous l'avons vu à la série 1, nous pouvons dire que le **poids** d'un corps et sa **masse** sont des grandeurs **proportionnelles.**

Reprenons le tableau et, pour chaque corps, calculons le rapport $\frac{G}{m}$.

m (kg)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
G (N)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\frac{\mathbf{G}}{\mathbf{m}}$ $\left(\frac{N}{kg}\right)$	*	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Nous constatons que le rapport entre le poids d'un objet et sa masse est constant.

Ce rapport constant se note **g**. Il s'exprime en $\frac{N}{kg}$ et vaut, dans cette expérience 10 $\frac{N}{kg}$.

Des mesures précises montrent que, dans nos régions, ce rapport vaut 9,81 $\frac{N}{kg}$.

Nous pouvons donc écrire la relation suivante :

$$\frac{G}{m} = g$$

Ou encore :

$$\boxed{G = mg}$$

où G : poids du corps (N)
m : masse du corps (kg)
g : coefficient d'attraction** (N/kg)

C'est cette relation qui permet de définir provisoirement le newton.

* Nous ne pouvons pas donner de valeur pour ce calcul (zéro divisé par zéro). Vous verrez, dans le cours de mathématique (secondaire supérieur) que ce résultat peut être déterminé. Nous n'entrerons pas dans ce détail ici.

** Vous approfondirez cette notion dans le cours 221.

☐ Définition provisoire du newton

Puisque $G = mg$ (1)

et que : $g = 9{,}81 \ \frac{N}{kg}$

Si $G = 1\ N$ alors, la relation (1) devient :

$1 = m\ 9{,}81$

On en déduit que : $m = \frac{1}{9{,}81}\ kg$

> **Le newton est la valeur de la force de pesanteur agissant sur un corps de masse $\frac{1}{9{,}81}$ kg dans nos régions** (c.à.d. là où $g = 9{,}81\ \frac{N}{kg}$).

La valeur de g est variable. Ici, en Belgique, la valeur de g est de $9{,}81\ \frac{N}{kg}$.

Le tableau suivant donne les valeurs de g en fonction de l'endroit où on se trouve.

Lieu	**Latitude**	**g** $\left(\frac{N}{kg}\right)$
Paris	49°	9,8094
New York	41°	9,8027
Hawaï	21°	9,7895
Jakarta*	6°	9,7818
Pôle Nord	90°	9,8324
Lune	---	1,66
Mars	---	3,72

Dans les exercices, on se permettra parfois de prendre pour g dans nos régions, la valeur de $10\ \frac{N}{kg}$.

La formule précédente (G = mg) permet de calculer le poids G d'un corps dès que sa masse m est connue, que l'endroit où il se trouve est précisé et que l'on connaît la valeur de g à cet endroit.

* Ou Djakarta (anciennement Batavia). Capitale de l'Indonésie.

☐ Exemples

Le poids d'un paquet de sel de masse 1 kg vaut :

à Bruxelles : 1 . 9,81 = 9,81 N
à l'équateur : 1 . 9,78 = 9,78 N
au Pôle Nord : 1 . 9,83 = 9,83 N
sur la Lune : 1 . 1,66 = 1,66 N

Attention ! Comme vous l'avez déjà vu lors de l'étude de la série 1 (Prérequis du cours de physique), vous vous rendez compte ici de l'existence d'une différence fondamentale entre vos habitudes quotidiennes et les définitions scientifiques. Lorsque vous pesez des légumes ou des fruits dans un magasin, du point de vue de la physique, vous déterminez la **masse** des corps (en kg) et non leur **poids** (en N).

Cet exemple nous montre que le **poids** d'un même corps **varie** suivant l'endroit où il se trouve. (Ici, entre 1,66 N et 9,83 N pour le même paquet de sel) ! Le nombre de grains de sel n'a pas changé, c'est la force d'attraction qui a changé, donc le poids du corps.

En résumé

- **La masse m d'un corps s'exprime en kg ; elle ne change pas.**
- **Le poids G d'un corps s'exprime en N ; il change suivant l'endroit où le corps se trouve.**

La formule **G = mg** permet de donner une autre définition de la masse d'un corps car on peut aussi écrire que :

$$m = \frac{G}{g}$$

Autre définition de la masse d'un corps

[Voir aussi la définition précédente].

La masse d'un corps est le rapport entre le poids de ce corps et le coefficient d'attraction de l'endroit où le corps se trouve.

2.2. Synthèse

La **masse** d'un corps est l'indication donnée par une balance lorsque le corps est placé sur le plateau de celle-ci. La masse d'un corps est indépendante de l'endroit où se trouve le corps.

La masse d'un corps est le rapport entre le poids de ce corps et le coefficient d'attraction de l'endroit où le corps se trouve.

Le **kilogramme** (kg) est la masse d'un cylindre en platine iridié déposé au Bureau International des Poids et Mesures à Sèvres (France).

C'est aussi la masse d'un décimètre cube d'eau pure à 4°C.

La **force de pesanteur** est la force d'attraction exercée par la Terre sur tous les corps.

On a :

$$\boxed{G = mg}$$

où G : poids du corps (N)
m : masse du corps (kg)
g : coefficient d'attraction (N/kg)

Le **newton** est la valeur de la force de pesanteur agissant sur un corps de masse $\frac{1}{9{,}81}$ kg dans nos régions (c.à.d. là où $g = 9{,}81\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$).

La **masse** m d'un corps s'exprime en kg ; elle ne change pas.

Le **poids** G d'un corps s'exprime en N ; il peut changer suivant l'endroit où le corps se trouve.

2.3. Exercices résolus

Avant de résoudre un exercice, il est important de :

1) lire le texte de l'énoncé plusieurs fois si nécessaire et s'assurer de la compréhension littérale : y a-t-il des mots inconnus, des expressions dont le sens est incertain ? Ne pas hésiter à vérifier leur signification dans un dictionnaire, dans le glossaire ou même dans le cours ;

2) déterminer ce que l'on demande ;

3) déterminer les variables que l'on connaît et celles dont on peut calculer la valeur en fonction des éléments disponibles ;

4) écrire la formulation mathématique du problème ;

5) reconnaître les données inutiles ;

6) calculer la solution.

Cette façon de procéder est valable pour tous les exercices.

En général, dans les problèmes posés vous devrez calculer une masse ou un poids.
- Si on vous demande de déterminer le poids d'un corps, il faut connaître :
1) la masse du corps ;
2) le coefficient g de l'endroit où se trouve le corps.
- Si on vous demande de calculer la masse d'un corps, il faut connaître :
1) le poids de ce corps ;
2) le coefficient g de l'endroit où se trouve le corps.

1. Déterminez le poids d'un homme ayant une masse de 80 kg lorsqu'il est : a) à Bruxelles ; b) à l'équateur ; c) sur la Lune.

On donne	**On demande**
m = 80 kg	G à Bruxelles ? G à l'équateur ? G sur la Lune ?

Solution

Il faut chercher le poids d'un corps en plusieurs endroits. Pour cela, il faut connaître la masse du corps ainsi que la valeur de g en ces différents endroits. Il suffit alors de remplacer dans la formule.

Puisque $G = mg$
On a :

à Bruxelles : $G = 80 \cdot 9{,}81 = 784{,}8$ N (car g à Bruxelles = $9{,}81 \frac{N}{kg}$)

à l'équateur : $G = 80 \;.\; 9{,}78 = 782{,}4$ N (car g à l'équateur = $9{,}78\ \frac{N}{kg}$)

sur la Lune : $G = 80 \;.\; 1{,}66 = 132{,}8$ N (car g sur la Lune = $1{,}66\ \frac{N}{kg}$)

Si vous avez obtenu d'autres réponses, c'est que vous n'avez pas appliqué la formule correctement ou que vous n'avez pas utilisé la bonne valeur du g local.

2. Quelle est la masse, sur la Lune, d'un corps dont la masse sur la Terre est de 30 kg ?

On donne

m = 30 kg sur la Terre

On demande

m sur la Lune ?

Solution

La masse d'un corps ne change pas, quel que soit l'endroit où il se trouve.
Masse sur la Lune : m = 30 kg.

3. Quel est le poids sur la Lune d'un corps dont le poids est de 981 N à Bruxelles ?

On donne

G = 981 N à Bruxelles

On demande

G sur la Lune ?

Solution

Cherchons d'abord la masse du corps (puisqu'elle ne change pas). A Bruxelles, comme partout ailleurs, elle vaut :

$$m = \frac{G}{g} = \frac{981}{9{,}81} = 100\ \text{kg}$$

G sur la Lune = mg = 100 . 1,66 = 166 N

4. Le poids d'un sac à dos a été mesuré en différents lieux situés à la même latitude. Les résultats sont notés dans le tableau ci-dessous.

Lieu	**La Rochelle**	**Chamonix**	**Mont Blanc**
Altitude (m)	0	1 008	4 807
Poids (N)	196,2	196,1	195,9
Masse (kg)	20		
g $\left(\frac{N}{kg}\right)$			

a) Compléter le tableau.
b) Comment varie le coefficient d'attraction g avec l'altitude ?

On donne

G = 196,2 N (La Rochelle)
G = 196,1 N (Chamonix)
G = 195,9 N (Mont Blanc)
h = 0 (La Rochelle)
h = 1008 m (Chamonix)
h = 4807 m (Mont Blanc)
m = 20 kg

On demande

g (La Rochelle) ?
g (Chamonix) ?
g (Mont Blanc) ?
m (Chamonix) ?
m (Mont Blanc) ?

Solution

a) La masse m du sac ne change pas quel que soit l'endroit où il est ; m vaut donc toujours 20 kg.

m (Chamonix) = 20 kg

m (Mont Blanc) = 20 kg

Puisque G = mg

On peut écrire que :

$$g = \frac{G}{m}$$

On effectue le calcul pour chaque endroit.

On a :

$$g\ (\text{La Rochelle}) = \frac{196{,}2}{20} = 9{,}81\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$$g\ (\text{Chamonix}) = \frac{196{,}1}{20} = 9{,}805\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$$g\ (\text{Mont Blanc}) = \frac{195{,}9}{20} = 9{,}795\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

b) Si l'altitude augmente, g diminue.

3. Évaluation

3.1. Travaux d’autocontrôle

Voici une série de travaux que vous pouvez réaliser vous-même afin de tester vos connaissances. Vous avez 8 questions et 12 réponses à fournir. Nous vous conseillons de faire au moins un score de 10 bonnes réponses. Si vous obtenez de 7 à 9 bonnes réponses, il serait opportun de revoir la matière se rapportant aux questions non réussies. Si vous en avez moins de 7, vous devez revoir l’ensemble de la matière. Réfléchissez avant de vous lancer dans des calculs !

Bon travail !

1. Calculez le poids d’un homme sur la Lune s’il a une masse de 75 kg sur la Terre (g_{Lune} = 1,66 N/kg).

2. Calculez la masse d’un objet sachant que son poids sur Terre est de $3{,}2.10^3$ N (g = 10 N/kg).

3. Calculez le poids sur Mars d’un objet dont le poids sur la Lune est 16.10^5 N (g_{Lune} = 1,66 N/kg ; g_{Mars} = 3,7 N/kg).

4. Un porteur d’une équipe d’alpinistes porte un sac de 40 kg à 1000 m d’altitude, en montagne. A 5000 m, porte-t-il un colis de même masse, de même poids ?
   [g (1000 m) = 9,807 N/kg ; g (5000 m) = 9,795 N/kg]

5. Un avion pèse 3.10^6 N sur l’aéroport de Zaventem.
   a) Calculez la masse de cet avion.
   b) Calculez le poids de cet avion à 10 000 m d’altitude.
   [g (Zaventem) = 9,81 N/kg ; g (10 000 m d’altitude) = 9,779 N/kg]

6. Déterminez le coefficient d’attraction en un lieu où un homme de 80 kg pèse 782,48 N.

7. Un astronaute a une masse de 90 kg. Calculez son poids à New York, à 10 000 km d’altitude et sur la Lune.
   [g (New York) = 9,803 N/kg ; g (10 000 km d’altitude) = 1,38 N/kg ; g (Lune) = 1,66 N/kg]

8. Un parachutiste pesant 637,455 N saute d’un avion à 1000 m d’altitude. Calculez son poids au sol. [g (1000 m d’altitude) = 9,807 N/kg ; g (sol) = 9,81 N/kg]

3.2. Corrigé commenté

1. **On donne**

$m_{Terre} = 75$ kg
$g_{Lune} = 1,66$ N/kg

On demande

$G_{Lune} = ?$

Solution

On peut calculer le poids directement en appliquant la formule : G = mg. On a :

$G_{Lune} = 75.1,66 = 124,5$ N

2. **On donne**

$G_{Terre} = 3,2.10^3$ N
g = 10 N/kg

On demande

m = ?

Solution

On obtient la valeur de la masse d'un corps en divisant son poids par g. On a :

$$m = \frac{G}{g} = \frac{3,2.10^3}{10} = 3,2.10^2 = 320 \text{ kg}$$

3. **On donne**

$G_{Lune} = 16.10^5$ N
$g_{Lune} = 1,66$ N/kg
$g_{Mars} = 3,7$ N/kg

On demande

$G_{Mars} = ?$

Solution

Pour déterminer le poids sur Mars, il faut connaître la masse de cet objet. Puisqu'on connaît son poids sur la Lune ainsi que g_{Lune}, on peut calculer sa masse directement. On a :

$$m = \frac{G}{g} = \frac{16.10^5}{1,6} = 10^6 = 1\,000\,000 \text{ kg}$$

$G_{Mars} = mg_{Mars} = 10^6.3,7 = 3,7.10^6$ N

4. **On donne**

m (1000 m d'altitude) = 40 kg
g (1000 m) = 9,807 N/kg
g (5000 m) = 9,795 N/kg

On demande

m (5000 m d'altitude) = ?
G (1000 m d'altitude) = ?
G (5000 m d'altitude) = ?

Solution

La masse du colis ne change pas. À 5000 m, la masse = 40 kg. Le poids du colis, lui, change avec l'altitude car g a changé en passant de 1000 m à 5000 m.

$G_{1000\,m} = mg_{1000\,m} = 40 \,.\, 9{,}807 = 392{,}28$ N
$G_{5000\,m} = mg_{5000\,m} = 40 \,.\, 9{,}795 = 391{,}8$ N

5. **On donne**

G (Zaventem) = 3.10^6 N
g (Zaventem) = 9,81 N/kg
g (10 000 m d'altitude) = 9,779 N/kg

On demande

m = ?
G (10 000 m d'altitude) = ?

Solution

Puisqu'on impose de prendre g = 9,81 $\frac{N}{kg}$ la masse m de l'avion vaut :

$$m = \frac{G}{g} = \frac{3.10^6}{9{,}81} = 305\,810 \text{ kg}$$

Son poids, à 10 000 m d'altitude vaut :

G = mg = 305 810 . 9,779 = 2 990 516 N

6. **On donne**

m = 80 kg
G = 782,48 N

On demande

g = ?

Solution

Le coefficient d'attraction g d'un lieu vaut : $g = \frac{G}{m} = \frac{782{,}48}{80} = 9{,}78\ \frac{N}{kg}$

7. **On donne**

$m = 90$ kg
g (New York) = 9,803 N/kg
g (10 000 km d'altitude) = 1,38 N/kg
g (Lune) = 1,66 N/kg

On demande

G (New York) = ?
G (10 000 m d'altitude) = ?
G (Lune) = ?

Solution

Il suffit d'appliquer la formule : $G = mg$ pour chaque endroit.

On a :

À New York : $G = mg = 90 \,.\, 9{,}803 = 882{,}27$ N

À 10 000 km : $G = mg = 90 \,.\, 1{,}38 = 124{,}2$ N

Sur la Lune : $G = mg = 90 \,.\, 1{,}66 = 149{,}4$ N

8. **On donne**

G (1000 m d'altitude) = 637,455 N
g (1000 m d'altitude) = 9,807 N/kg
g (sol) = 9,81 N/kg

On demande

G (sol) = ?

Solution

Pour déterminer le poids au sol, il faut d'abord connaître la masse du parachutiste. Elle vaut :

$$m = \frac{G}{g} = \frac{637{,}455}{9{,}807} = 65 \text{ kg}$$

Son poids G_{sol} vaut :

$$G_{sol} = mg = 65 \,.\, 9{,}81 = 637{,}65 \text{ N}$$

3.3. Activités complémentaires

Si vos résultats ne sont pas satisfaisants, vous pouvez vous exercer en résolvant les quelques exercices supplémentaires ci-dessous.

1. Si g = 10 N/kg, calculez le poids des différents objets suivants :
   a) une balle de tennis : m = 58 g
   b) un ballon de football : m = 430 g
   c) une boule du lanceur de poids : m = 7,257 kg
   d) un haltère : m = 185 kg

2. Entourez la bonne valeur du poids (en Belgique) des objets cités dans le tableau ci-dessous :

Objets	**Poids**	
a) un kg de sucre	1 N	10 N
b) une balle de golf	0,47 N	47 N
c) un sac de ciment	5 N	500 N
d) une automobile	8 500 N	850 000 N

3. Au cours d'un voyage, on a mesuré le poids d'une même valise dans différents aéroports de même altitude.

Lieu	**Guayaquil**[*]	**Québec**[**]	**Anchorage**[***]
Latitude	0°	49°	85°
Masse (kg)	30		
Poids (N)			294,9
g (N/kg)	9,78	9,81	

   a) Complétez le tableau.
   b) Comment varie le coefficient d'attraction g avec la latitude ?

[*] Ville de l'Ouest de l'Équateur, sur la côte du Pacifique.
[**] Ville du Canada, capitale de la province de Québec, située sur le fleuve Saint-Laurent.
[***] Ville des Etats-Unis, port maritime au sud de l'Alaska.

Solutions

1. a) G = 0,58 N
   b) G = 4,3 N
   c) G = 72,57 N
   d) G = 1850 N

2. a) G = 10 N
   b) G = 0,47 N
   c) G = 500 N
   d) G = 8500 N

3. a)

Lieu	**Guayaquil**	**Québec**	**Anchorage**
Latitude	0°	49°	85°
Masse (kg)	30	**30**	**30**
Poids (N)	**293,4**	**294,3**	294,9
g (N/kg)	9,78	9,81	**9,83**

b) Le coefficient d’attraction g augmente si la latitude augmente.

LEÇON 3: COMPOSITION ET DÉCOMPOSITION DE FORCES

1. Introduction

1.1. Motivation et objectifs

Toute personne qui veut comprendre la mécanique ne peut pas contourner le problème de la composition et de la décomposition des forces. Ces notions sont fondamentales lors de l'étude de la résistance des matériaux, des équilibres statiques et dynamiques, des tensions dans les câbles électriques suspendus aux pylônes et dans bien d'autres applications encore.

Au terme de cette leçon, vous serez capable de composer et décomposer des forces.

1.2. Place de la leçon dans la série

Série 2

Leçon 1: Forces

Leçon 2: Poids - Masse

Leçon 3: Composition et décomposition de forces ← Vous êtes ici

Leçon 4: Équilibres

1.3. Plan de la leçon

- ■ Composition de forces
  - ☐ Définitions
  - ☐ Expériences

- ■ Décomposition d'une force
  - ☐ Introduction
  - ☐ Définition
  - ☐ Exemples

1.4. Prérequis

Relisez le résumé de la leçon 1 avant de commencer l'étude de ce nouveau chapitre et attardez-vous spécialement sur les caractéristiques d'une force.

1.5. Matériel didactique

Lors de l'étude de cette leçon, vous aurez la possibilité de réaliser vous-même certaines expériences ; pour cela, vous aurez besoin du matériel suivant :

- une corde ;
- un corps assez lourd (seau, caisse, bloc métallique...).

2. Contenu de la leçon

2.1. Exposé

■ Composition de forces

L'homme seul est bien souvent incapable d'effectuer certains travaux. Ainsi, s'il veut déplacer un objet très lourd, sa seule force n'est pas toujours suffisante, il doit alors faire appel à quelqu'un pour l'aider. Chacun peut alors appliquer sa propre force à un même corps.

☐ Définitions

Des forces `coplanaires concourantes` sont des forces qui sont appliquées dans un même plan, leur droite d'action ayant un point commun.

`Composer` des forces coplanaires concourantes, c'est trouver la résultante des forces en présence.

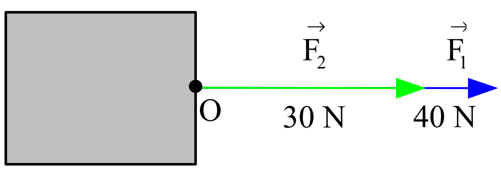
On appelle `résultante` de forces coplanaires concourantes appliquées à un corps, la force unique qui, agissant seule, aurait le même effet que l'ensemble des autres forces appliquées à ce corps.

☐ Expériences

Plaçons sur une table (ou sur le sol) un corps assez lourd (caisse, seau, vase...) et accrochons y deux cordes, en un même point O.

Expérience 1

Au point O, exerçons, par exemple, sur une des cordes, une force $\vec{F_1}$ de 40 N (en bleu sur le schéma ci-dessous) et sur l'autre corde, une force $\vec{F_2}$ de 30 N (en vert sur le schéma). Ces forces ont la même droite d'action (horizontale) et le même sens* (de gauche à droite).
Prenons comme échelle : 1 cm ↔ 10 N

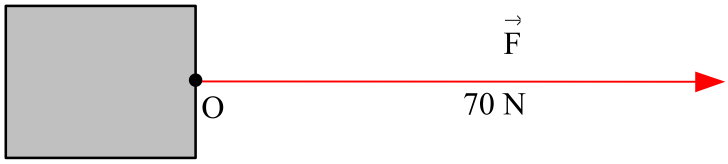


---

* C'est le cas lorsque quelqu'un vous donne un coup de main (force $\vec{F_2}$) pour vous aider (force $\vec{F_1}$) à déplacer une armoire. Il tire sur la corde, dans le même sens que vous et le long de la même droite d'action.

Tout se passe comme si une force $\vec{F}$ de 40 N + 30 N = 70 N était appliquée sur le corps au même point O.

On dit que la **résultante** $\vec{F}$ des forces est de 70 N. Cette force a la même droite d'action que les deux autres et a le même sens. C'est ce que montre le schéma ci-dessous.

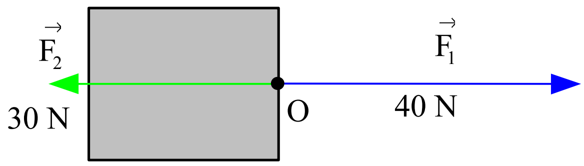


Caractéristiques de la résultante $\vec{F}$:

- *point d'application* : le point O ;
- *droite d'action* : la même que celle des deux forces (horizontale) ;
- *sens* : le même que celui des deux forces (de gauche à droite) ;
- *valeur* : la somme des valeurs des deux forces (70 N).

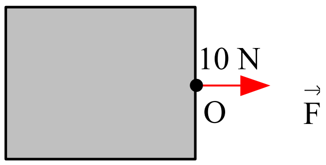
Expérience 2

Toujours sur le corps, au même point O, exerçons maintenant une force $\vec{F_1}$ horizontale de 40 N orientée vers la droite (en bleu sur le schéma) et une force $\vec{F_2}$ horizontale également, valant 30 N, orientée vers la gauche (en vert sur le schéma). Ces deux forces ont la même droite d'action, mais des sens différents* .



Tout se passe comme si une force $\vec{F}$ de 40 N – 30 N = 10 N était appliquée sur le corps au même point O.

On dit que la résultante $\vec{F}$ des forces est de 10 N. Cette force a la même droite d'action que les deux autres et a le sens de la plus grande des deux forces. C'est ce que montre le schéma ci-dessous.



---

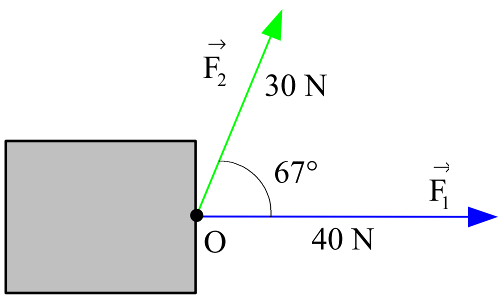
* C'est le cas lorsque vous tirez seul (force $\vec{F_1}$) sur une corde pour déplacer une armoire qui glisse très mal sur un tapis plain. La force de frottement $\vec{F_2}$ empêche le déplacement de l'armoire ; elle ne vous facilite pas la tâche, bien au contraire !

Caractéristiques de la résultante $\vec{F}$:

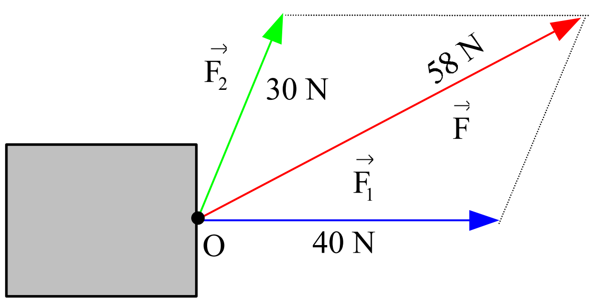
- *point d'application* : le point O ;
- *droite d'action* : la même que celle des deux forces (horizontale) ;
- *sens* : celui de la plus grande des deux forces (ici, de gauche à droite) ;
- *valeur* : la différence des valeurs des deux forces (10 N).

Expérience 3

Toujours sur le corps, au même point O, exerçons une force $\vec{F_1}$ horizontale de 40 N orientée vers la droite (en bleu sur le schéma) et une force $\vec{F_2}$ oblique, de 30 N, faisant un angle de 67° avec la première force* (en vert).



Tout se passe comme si une force $\vec{F}$ était appliquée sur le corps au même point O. Sa droite d'action est celle de la diagonale du parallélogramme dont les côtés sont les représentations des deux forces. Son sens est celui de O vers l'extrémité de la diagonale. La grandeur de $\vec{F}$ sera obtenue en mesurant la longueur de la diagonale du parallélogramme. Sachant que 1 cm ↔ 10 N, on peut alors écrire que la résultante vaut 58 N. C'est ce que montre le schéma ci-dessous.



* C'est le cas lorsque quelqu'un essaye de vous donner un coup de main (force $\vec{F_2}$) pour vous aider (force $\vec{F_1}$) à déplacer une armoire. Malheureusement, il tire sur la corde suivant une autre droite d'action que vous.

Caractéristiques de la résultante $\vec{F}$:

- *point d'application* : le point O ;
- *droite d'action* : la diagonale du parallélogramme construit sur les deux vecteurs forces ;
- *sens* : du point O vers l'autre extrémité de la diagonale du parallélogramme ;
- *valeur* : à déterminer en mesurant la grandeur de la diagonale (ici, 58 N).

Résumé

Si deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ sont coplanaires concourantes en un point O, on peut écrire que la résultante $\vec{F}$ des forces est telle que :

$$\boxed{\vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2}}$$

Caractéristiques de la résultante $\vec{F}$:

- *point d'application* : le point O ;
- *droite d'action* : la diagonale du parallélogramme construit sur les deux vecteurs forces ;
- *sens* : du point O vers l'autre extrémité de la diagonale du parallélogramme ;
- *valeur* : à déterminer en mesurant la grandeur de la diagonale.

Attention !

Il ne faut pas confondre $\vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2}$ (1)

avec $F = F_1 + F_2$ (2)

ou $F = F_1 - F_2$ (3)

La relation (1) est une relation vectorielle (car il y a des « flèches » sur les lettres) ; elle est toujours vraie et ne s'applique qu'à des vecteurs. Telle qu'elle est, cette relation ne permet pas de déterminer la valeur F de la force $\vec{F}$.

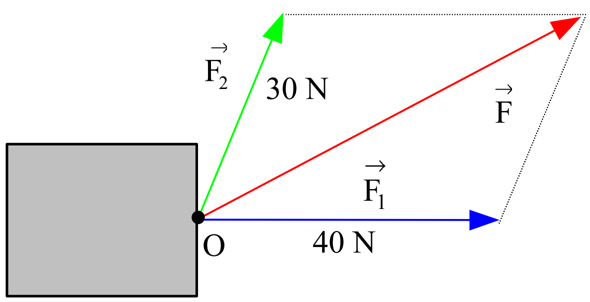
Les relations (2) et (3) sont des relations algébriques (c'est-à-dire des nombres), elles ne sont vraies que si les forces coplanaires concourantes sont de même sens [relation (2)] ou de sens contraire [relation (3)].

■ Décomposition d'une force

☐ Introduction

Nous avons vu que si deux forces agissent sur un corps, on peut les remplacer par une autre force (appelée résultante) qui a le même effet que les deux forces initiales.
Réciproquement, si un corps est soumis à une force (résultante), on peut remplacer cette force par les deux autres forces qui ont donné cette résultante.

Ainsi, si nous reprenons l'exemple précédent (voir schéma ci-dessous), on peut supprimer la force $\vec{F}$ et la remplacer par les forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$.



On dit que l'on a `décomposé` la force $\vec{F}$ en deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$.

☐ Définition

Décomposer une force, c'est trouver un système* de forces qui produirait exactement le même effet que cette force.

Dans le cadre de ce cours, nous nous bornerons à décomposer une force en DEUX autres forces, pas plus !

Voyons cela à l'aide d'exemples.

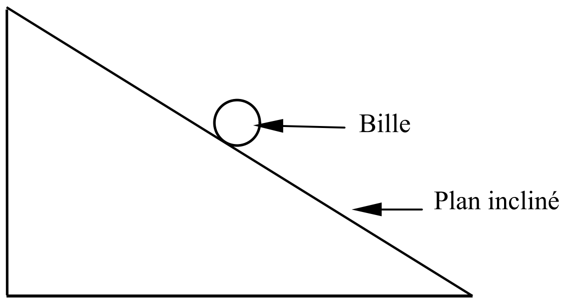
* Ensemble de forces dans un même repère.

☐ Exemples

Exemple 1

Abandonnons une voiture sans frein sur une chaussée en pente. L'expérience nous apprend que cette voiture va dévaler la pente et peut provoquer des accidents. Demandons-nous quelle(s) force(s) agit (agissent) sur la voiture ?

Pour cela, simplifions le problème et remplaçons la voiture par une bille que l'on déposera sur une planche inclinée. En physique, on appelle cela un plan incliné.

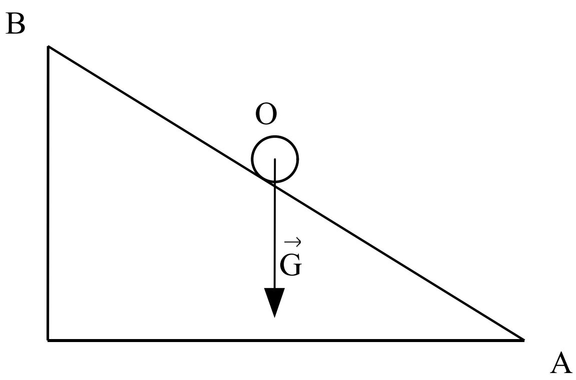


Soit $\vec{G}$ le poids de la bille placée sur le plan incliné.
Puisque la bille descend le long du plan, on peut dire qu'une force appelée $\vec{F_1}$ agit sur elle. Cette force est parallèle au plan incliné et elle est dirigée vers le bas. C'est cette force qui est responsable du mouvement de la bille. Une des composantes du poids sera donc parallèle au plan incliné et dirigée vers le bas de la pente.

Si nous observons maintenant une chaussée asphaltée où les ornières laissées par les camions sont bien visibles, on peut se demander quelle est la force qui déforme cette chaussée ?
Cette force est perpendiculaire à la route ; c'est l'autre composante $\vec{F_2}$ du poids du véhicule.
Essayons de mettre toutes ces forces sur un seul schéma afin d'y voir plus clair.

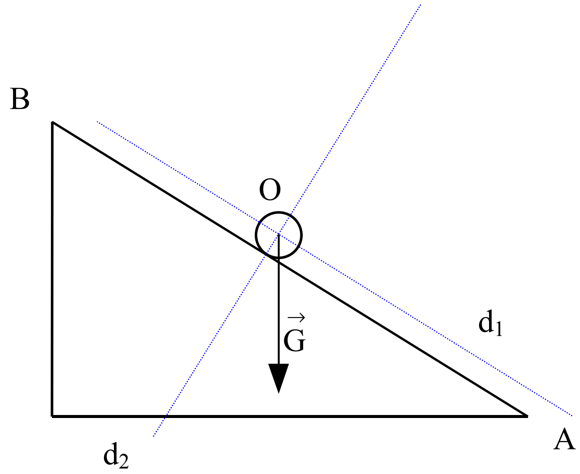
Soit un plan incliné AB et une bille de centre O placée sur ce plan. La seule force qui, au départ, semble apparaître sur la bille, c'est son poids $\vec{G}$.

La situation est la suivante :



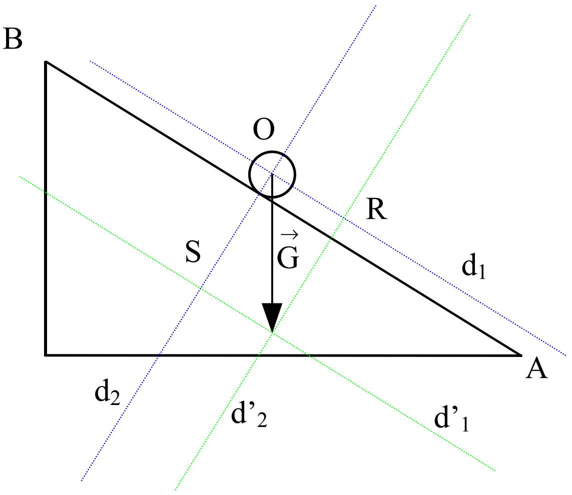
Puisqu'une force $\vec{F_1}$ agit parallèlement au plan incliné, sa droite d'action est celle de la droite d_1, parallèle à AB passant par le centre O de la bille.

De même, une force $\vec{F_2}$ agit perpendiculairement au plan incliné ; sa droite d'action est la droite d_2, perpendiculaire à AB. C'est ce que montre le schéma ci-contre.



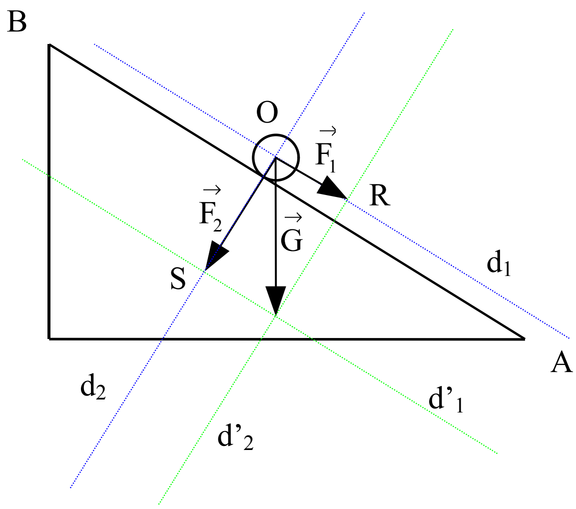
Il faut maintenant construire un parallélogramme, dont la direction des côtés d_1 et d_2 est connue et dont la diagonale partant du point O est connue : c'est le poids $\vec{G}$.

Par l'extrémité de $\vec{G}$, on va tracer une droite d'_1 parallèle à d_1 et une droite d'_2 parallèle à d_2.

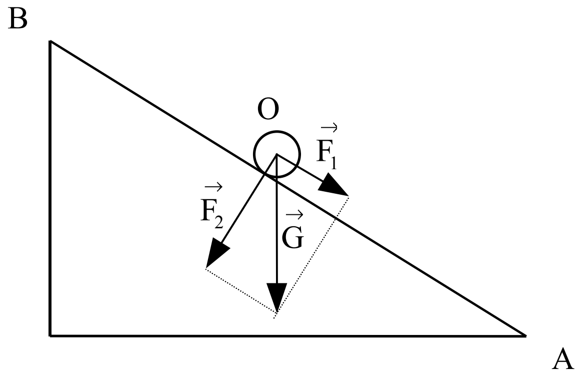


La droite d'_1 coupe d_2 au point S ; la droite d'_2 coupe d_1 au point R.

Le vecteur $\overrightarrow{OR}$ représente la force $\vec{F_1}$ qui produit le mouvement de la bille et le vecteur $\overrightarrow{OS}$, la force $\vec{F_2}$ qui produit la déformation de la chaussée (plan incliné).



On peut alors effacer les lignes de construction pour ne garder que les forces utiles.



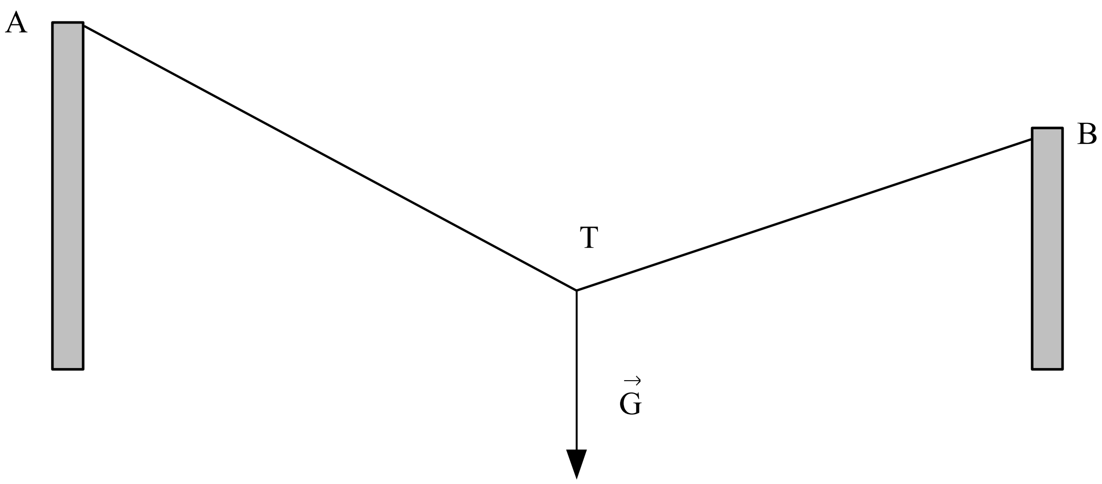
On constate que $\vec{G}$ est bien la résultante des forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ ou encore que $\vec{G}$ se décompose en deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$.

Exemple 2

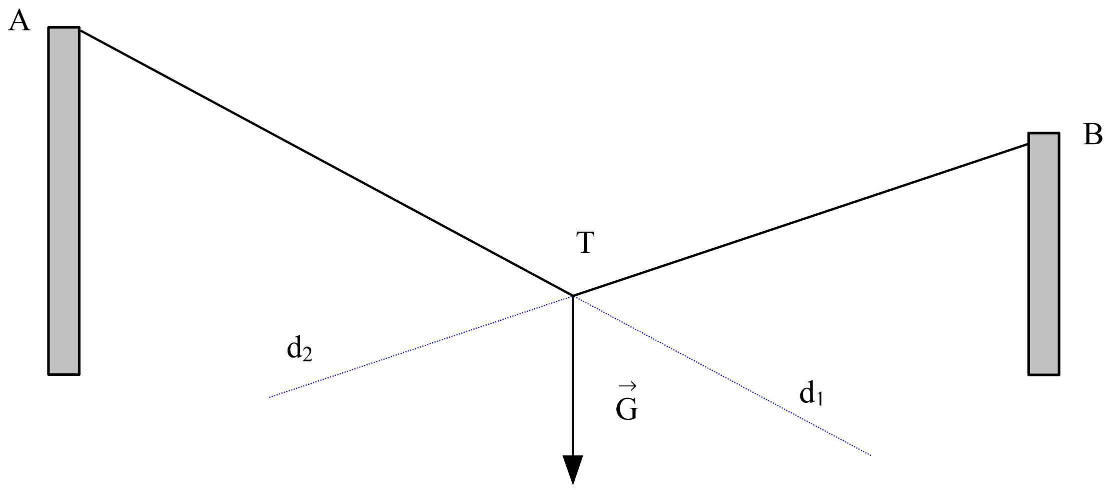
Un `téléphérique` traversant une vallée est suspendu par un câble non tendu dont les extrémités sont encastrées dans des blocs de béton fixés sur les deux collines entourant la vallée. Déterminez les forces qui apparaissent dans les câbles.

Le problème est identique lorsque du linge humide est placé sur un fil tendu horizontalement ou encore lorsque les fils électriques des lignes à haute tension se rompent avec le poids de la neige.

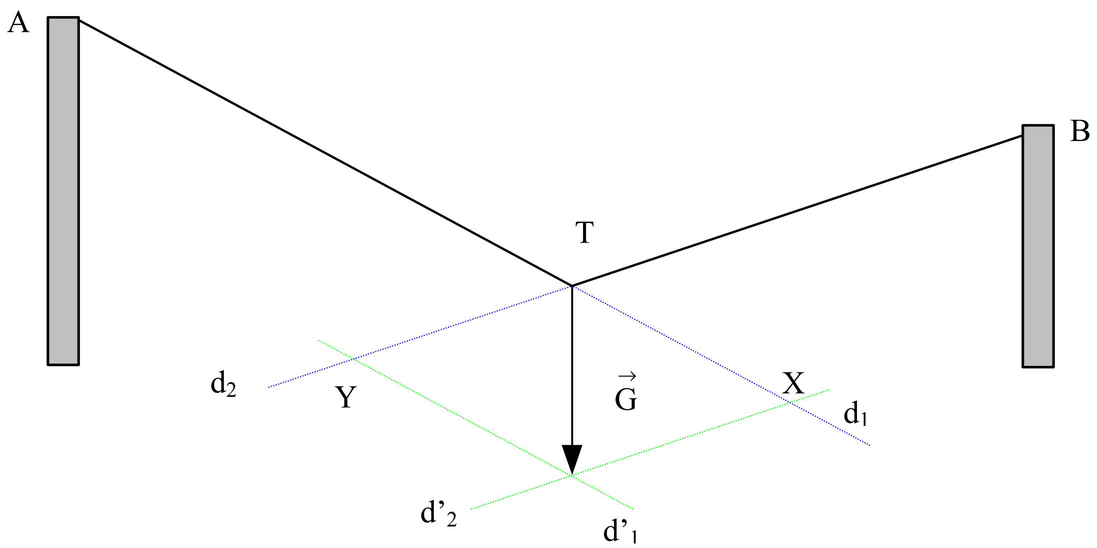
Considérons 2 points A et B à des hauteurs différentes et reliés par un fil non tendu sur lequel se trouve, en un point T, un corps dont le poids est $\vec{G}$.
Dessinons la situation en n'indiquant que le poids du corps.



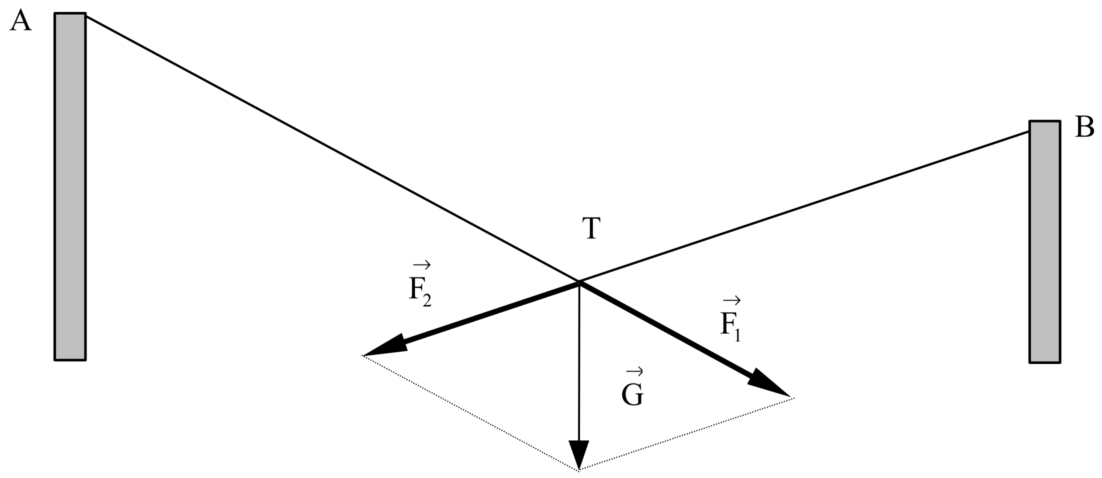
L'expérience nous apprend que si le poids $\vec{G}$ est trop lourd, le fil casse. Cela signifie que des forces apparaissent dans les morceaux TA et TB du fil. Les droites d'action de ces forces sont confondues avec TA et TB.
Ces droites d'action sont obtenues en prolongeant AT et BT. Ce sont les droites d_1 et d_2.



Le poids $\vec{G}$ du corps doit être la résultante de deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ situées sur ces deux droites d'action. Cela signifie qu'il faut trouver deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ respectivement sur d_1 et d_2 dont les droites d'action sont confondues avec les côtés d'un parallélogramme dont la diagonale est $\vec{G}$.
Par l'extrémité de $\vec{G}$, on trace une droite d'_1 parallèle à d_1 et une autre d'_2 parallèle à d_2.



Ces droites coupent d_1 et d_2 respectivement en X et Y. Pour déterminer les forces, il suffit de tracer les vecteurs $\overrightarrow{TX}$ et $\overrightarrow{TY}$ qui représentent $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$.



On constate que la résultante des forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ est $\vec{G}$.

2.2. Synthèse

Des forces coplanaires concourantes sont des forces qui sont appliquées dans un même plan, leur droite d'action ayant un point commun.

Composer des forces coplanaires concourantes, c'est trouver la résultante des forces en présence.

On appelle résultante de forces coplanaires concourantes appliquées à un corps, la force unique qui, agissant seule, aurait le même effet que l'ensemble des autres forces appliquées à ce corps.

Composition de forces coplanaires concourantes

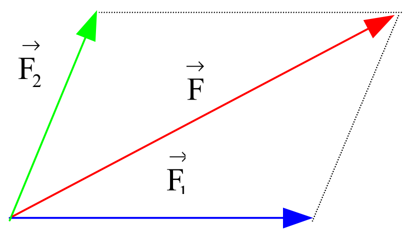
1. Même sens, même droite d'action : $\vec{F}$ a comme valeur la somme des 2 forces.

2. Sens opposés, même droite d'action : $\vec{F}$ a comme valeur la différence des 2 forces.

3. Sens et droites d'action quelconques :

$$\boxed{\vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2}}$$

Cette force $\vec{F}$ est représentée par la diagonale d'un parallélogramme dont les côtés sont les deux forces.



Pour décomposer une force suivant 2 droites d'action données, il faut :

1. prolonger ces deux droites d'action (lorsque c'est nécessaire) ;
2. tracer des parallèles à ces deux droites d'action par l'extrémité de la force qu'il faut décomposer ;
3. tracer les forces cherchées (entre l'origine de la force à décomposer et l'intersection des parallèles avec les droites d'action données).

2.3. Exercices résolus

Dans de nombreux exercices, on vous demande de déterminer la grandeur d'une force. Bien souvent, la valeur est obtenue après avoir mesuré la grandeur du vecteur représentant la force et après avoir tenu compte de l'échelle utilisée. Les résultats ne peuvent être qu'approximatifs, ils dépendent de la précision de la mesure, de l'agrandissement de la feuille photocopiée que vous avez reçue...

1. Deux forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ valent respectivement 5 N et 2 N. Après avoir déterminé l'échelle, recherchez graphiquement la résultante de ces forces et calculez sa grandeur dans les cas suivants :

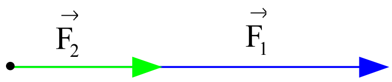


Schéma **a)**

Schéma **b)**

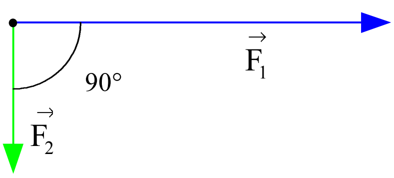


Schéma **c)**

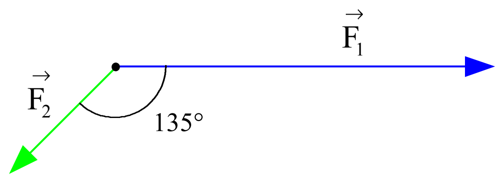


Schéma **d)**

Schéma **a)** : échelle : 1 N ↔ 1 cm

La résultante $\vec{F}$ vaut la somme des 2 forces puisqu'elles sont concourantes, de même droite d'action et de même sens, soit 5 + 2 = 7 N. Son sens est celui des 2 forces et sa droite d'action est identique à celle des deux autres.

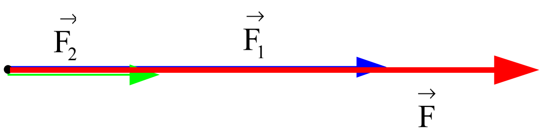


Schéma **b)** : échelle : 1 N ↔ 1 cm

La résultante $\vec{F}$ vaut la différence des 2 forces puisqu'elles sont concourantes, de même droite d'action et de sens opposé, soit 5 – 2 = 3 N. Son sens est celui de la plus grande des deux forces ($\vec{F}_1$) et sa droite d'action est identique à celle des deux autres.

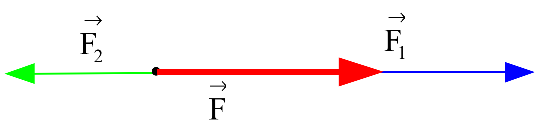


Schéma **c)** : échelle : 1 N ↔ 1 cm

Il est difficile* de calculer la grandeur de la résultante $\vec{F}$. On détermine d'abord sa position en construisant un parallélogramme dont les côtés sont les deux vecteurs forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ (ici, ce parallélogramme est un rectangle). La résultante est la diagonale de ce parallélogramme. Il suffit alors de mesurer la grandeur de la diagonale et, en fonction de l'échelle utilisée, retrouver la valeur de cette résultante.

Puisque ici, 1 N ↔ 1 cm et que la grandeur de la diagonale est d'environ 5,4 cm, on peut écrire que la résultante F = 5,4 N.

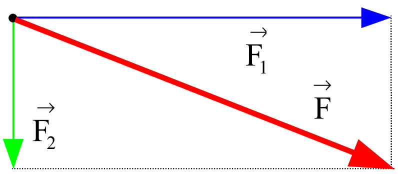
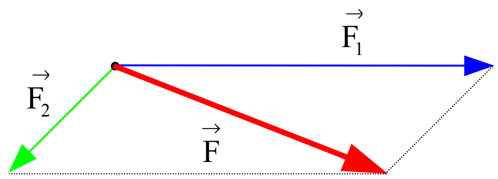


Schéma **d)** : échelle : 1 N ↔ 1 cm

Il est encore plus difficile** de calculer la grandeur de la résultante $\vec{F}$. On détermine d'abord sa position en construisant un parallélogramme dont les côtés sont les deux vecteurs forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$. La résultante est la diagonale de ce parallélogramme. Il suffit alors de mesurer la grandeur de la diagonale et, en fonction de l'échelle utilisée, retrouver la valeur de cette résultante.

Puisque ici, 1 N ↔ 1 cm et que la grandeur de la diagonale est d'environ 3,85 cm, on peut écrire que la résultante F = 3,85 N.



2. Quelle est la grandeur de la résultante de deux forces ayant la même droite d'action, des sens opposés et dont les grandeurs sont égales.

   Si les forces ont la même droite d'action et des sens opposés, il faut soustraire les grandeurs des forces pour obtenir la grandeur de la résultante. Les deux grandeurs sont égales. En les soustrayant, il reste zéro. La résultante est telle que : F = 0 N.

---

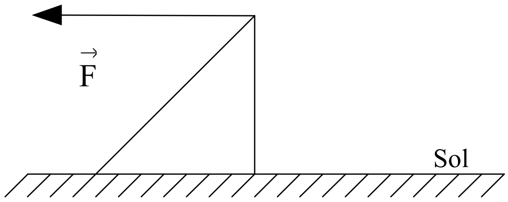
* On peut calculer cette valeur directement en appliquant le théorème de Pythagore :

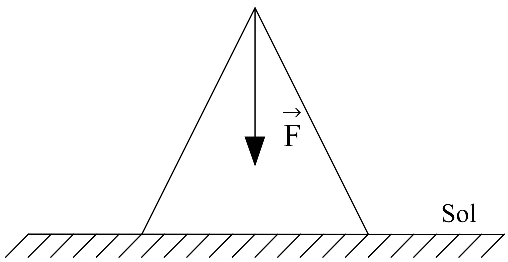
$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{25 + 4} = 5{,}385 \text{ N}$$

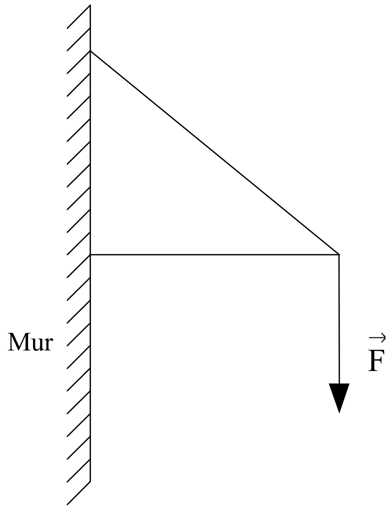
** On y arrive en appliquant la formule d'addition des forces (cours 221). Si θ est l'angle entre les deux forces :

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos\theta} = \sqrt{25 + 4 + 2.5.2 \cos 135°} = 3{,}85 \text{ N}$$

3. Dans chaque dessin ci-dessous, décomposez la force $\vec{F}$ suivant les deux droites d'action données et déterminez la grandeur de la résultante (méthode graphique).



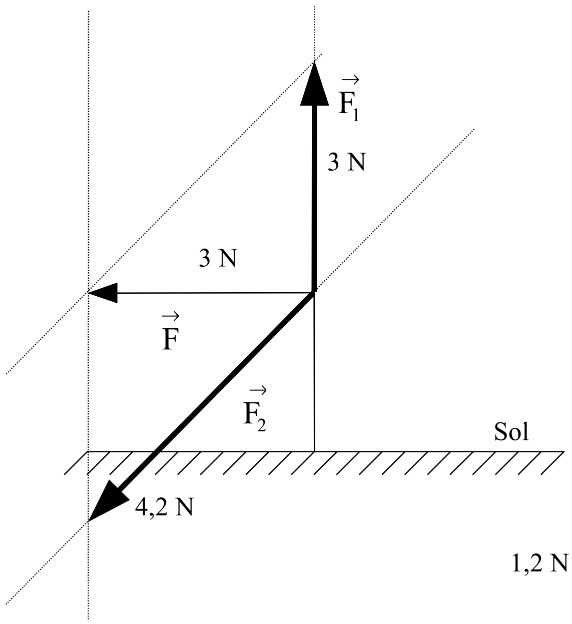


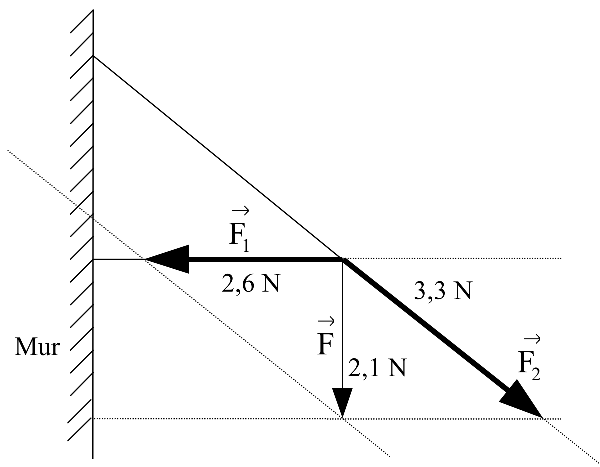


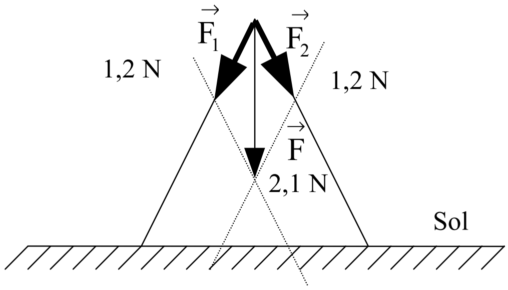
Pour chaque schéma, il faut :

- prolonger les deux droites d'action données (lorsque c'est nécessaire) ;
- tracer des parallèles à ces deux droites d'action par l'extrémité de la force qu'il faut décomposer ;
- tracer les forces cherchées (entre l'origine de la force à décomposer et l'intersection des parallèles avec les droites d'action données).

On vérifiera toujours après la construction que la résultante des deux forces trouvées est bien la force donnée. Les forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ peuvent être inversées, l'ordre n'a pas d'importance. Les grandeurs des forces sont indiquées sur les schémas (car, d'après l'échelle : 1 N ↔ 1 cm).







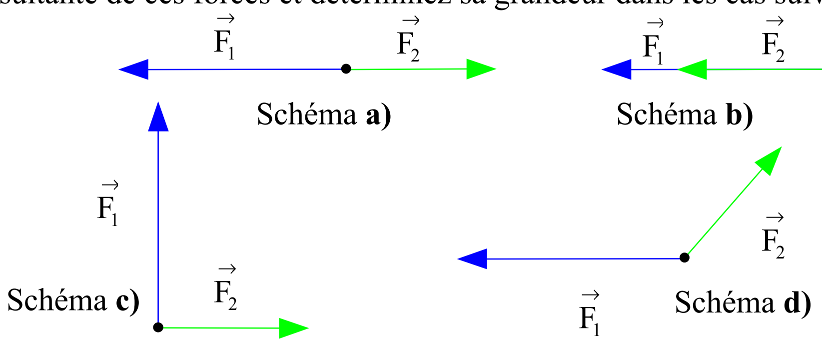
3. Évaluation

3.1. Travaux d’autocontrôle

Voici une série de travaux que vous pouvez réaliser vous-même afin de tester vos connaissances. Vous avez 3 questions et 8 réponses à fournir. Nous vous conseillons de faire au moins un score de 6 bonnes réponses. Si vous obtenez 4 ou 5 bonnes réponses, il serait opportun de revoir la matière se rapportant aux questions non réussies. Si vous avez moins de 4 bonnes réponses, vous devez revoir l’ensemble de la matière et refaire les exercices.
(Les valeurs des forces ne sont qu’approximatives, cela dépend de la précision de la mesure !)

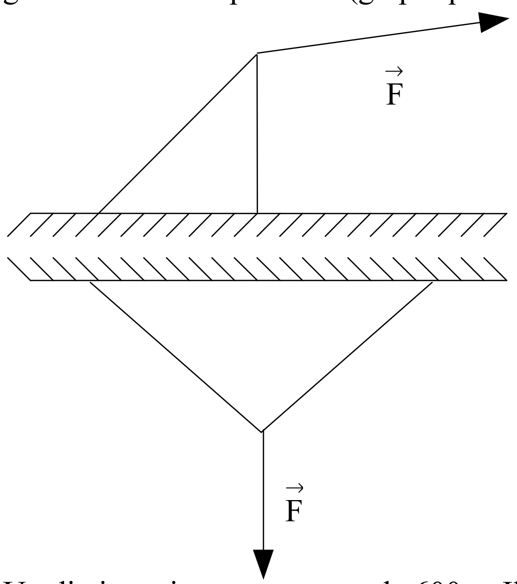
Bon travail !

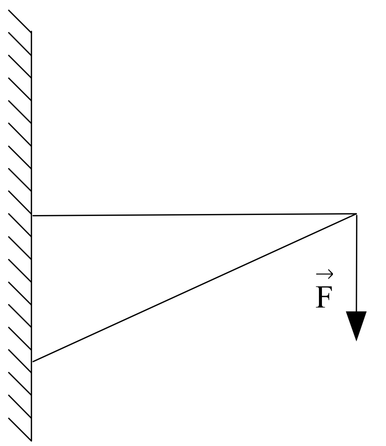
1. Deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ valent respectivement 75 N et 50 N. Recherchez graphiquement la résultante de ces forces et déterminez sa grandeur dans les cas suivants :



Échelle : 1 cm ↔ 25 N

2. Décomposez les forces $\vec{F}$ suivant chacune des droites d’action données et déterminez la grandeur des composantes (graphiquement) sachant que 1 cm ↔ 30 N.





3. Un dictionnaire a une masse de 600 g. Il est posé sur une table faisant un angle de 30° avec l’horizontale. Calculez le poids du dictionnaire. Décomposez le poids suivant deux droites d’action (planche et droite perpendiculaire à la planche). Représentez les forces à l’échelle 1 cm ↔ 3 N.

3.2. Corrigé commenté

1.

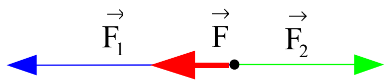


Schéma **a)**

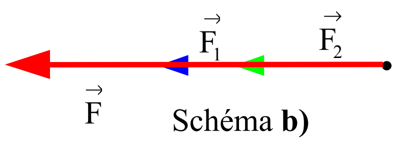


Schéma **b)**

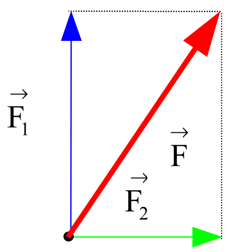


Schéma **c)**

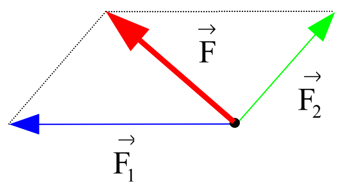


Schéma **d)**

Schéma **a)** : La résultante $\vec{F}$ vaut la différence des grandeurs des forces soit 75 – 50 = 25 N. À l'échelle utilisée, cela représente 1 cm.

Schéma **b)** : La résultante $\vec{F}$ vaut la somme des grandeurs des forces soit 75 + 50 = 125 N. À l'échelle utilisée, cela représente 5 cm.

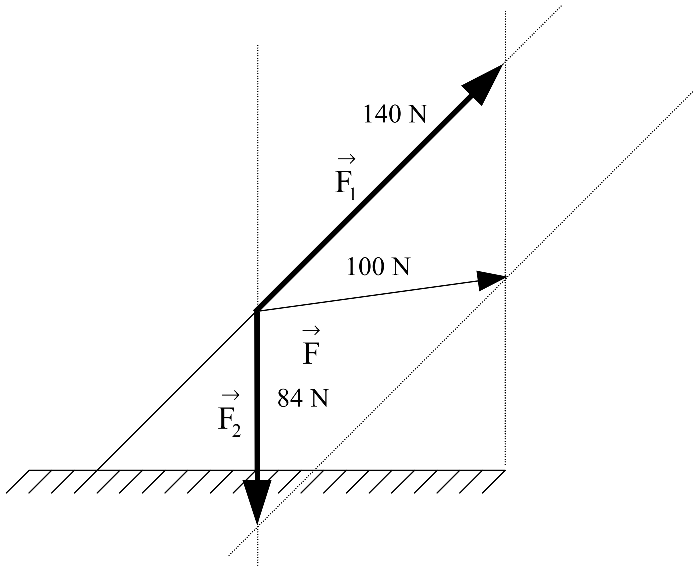
Schéma **c)** : La résultante $\vec{F}$ se détermine à partir de la grandeur de la diagonale du parallélogramme dont les côtés sont les vecteurs forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ (ici, il s'agit d'un rectangle). À l'échelle utilisée, cela représente 3,6 cm, soit une force de 90 N.

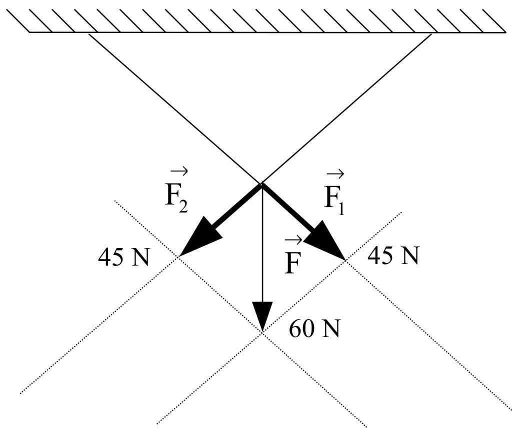
Schéma **d)** : La résultante $\vec{F}$ se détermine à partir de la grandeur de la diagonale du parallélogramme dont les côtés sont les vecteurs forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$. À l'échelle utilisée, cela représente 2,2 cm, soit une force de 55 N.

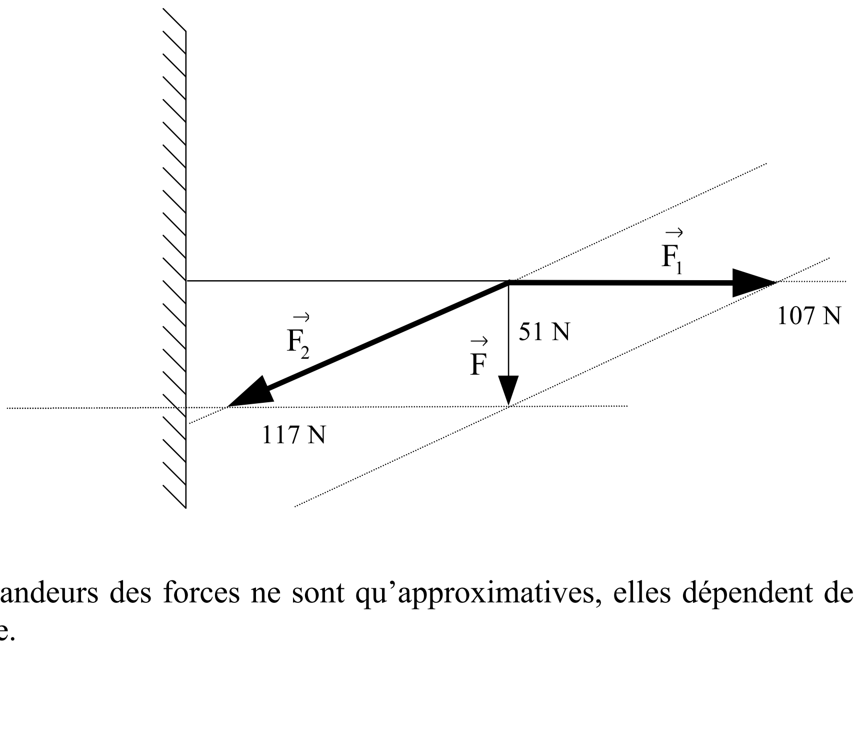
2. Comme précédemment, pour chaque schéma, il faut :

- prolonger les deux droites d'action données (lorsque c'est nécessaire) ;
- tracer des parallèles à ces deux droites d'action par l'extrémité de la force qu'il faut décomposer ;
- tracer les forces cherchées (entre l'origine de la force à décomposer et l'intersection des parallèles avec les droites d'action données).

On vérifiera toujours après la construction que la résultante des deux forces trouvées est bien la force donnée. Les forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ peuvent être inversées, l'ordre n'a pas d'importance.
Les grandeurs des forces sont indiquées sur les schémas ci-après (car 30 N ↔ 1 cm).

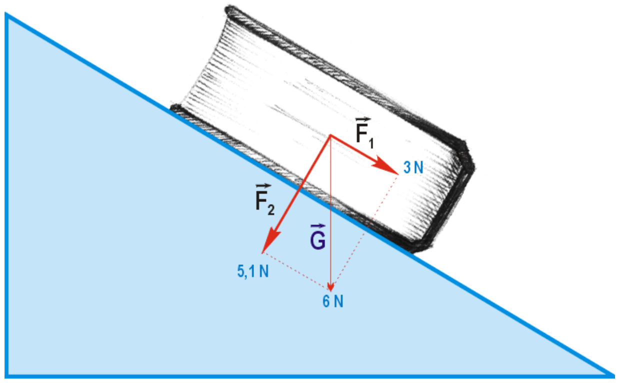






Les grandeurs des forces ne sont qu'approximatives, elles dépendent de la précision de la mesure.

3. Calculons le poids du dictionnaire :
   $G = mg = 0{,}6 \cdot 10 = 6$ N.
   En effet, la masse doit être transformée en kilogrammes et $g = 10\ \dfrac{N}{kg}$. En tenant compte de l'échelle, le poids du dictionnaire se représente alors par un vecteur dont la longueur est de 2 cm. Il se décompose comme nous l'avons vu précédemment.



Échelle : 1 cm ↔ 3 N

En mesurant les grandeurs de $\vec{F}_1$ et de $\vec{F}_2$, nous obtenons respectivement 1 cm et 1,7 cm, ce qui donne :

$F_1 = 3$ N

$F_2 = 5{,}1$ N

LEÇON 4: ÉQUILIBRES

1. Introduction

1.1. Motivation et objectifs

Vous avez déjà vu précédemment ce qu'était la force de pesanteur. Cette étude et celle de la détermination du centre de gravité des corps sont fondamentales pour comprendre les états d'équilibre. La stabilité d'un corps découle de cette étude.

Au terme de cette leçon, vous serez capable de reconnaître les différents états d'équilibre d'un corps.

1.2. Place de la leçon dans la série

Série 2

Leçon 1: Forces

Leçon 2: Poids - Masse

Leçon 3: Composition et décomposition de forces

Leçon 4: Équilibres

← Vous êtes ici

1.3. Plan de la leçon

- ■ Détermination du centre de gravité
  - ☐ Corps homogènes plats de forme quelconque
  - ☐ Corps homogènes de forme régulière
  - ☐ Déplacement du centre de gravité
- ■ Équilibre des corps soutenus et suspendus
  - ☐ Par un point
  - ☐ Par deux points
  - ☐ Équilibre d'un solide soutenu par une surface
  - ☐ Stabilité d'un corps reposant sur une surface

1.4. Prérequis

Relisez le résumé de la leçon 1 de cette série avant de commencer l'étude de ce nouveau chapitre et attardez-vous spécialement sur la partie relative aux forces.

Quelques conseils

Cette leçon n'est pas facile. Nous vous conseillons de prendre quelques notes (points de repère) au fur et à mesure de la lecture. Si vous éprouvez quelques difficultés pour la compréhension de la force de pesanteur, revoyez les notions de force (série 2, leçon 1).

1.5. Matériel didactique

Lors de l'étude de cette leçon, vous aurez la possibilité de réaliser vous-même certaines expériences ; pour cela, vous aurez besoin du matériel suivant :

- un fil à plomb ;
- une équerre métallique ;
- une bobine de fil à coudre (par exemple n° 10) ;
- une feuille de carton ;
- une aiguille à tricoter ;
- une paire de ciseaux ;
- une latte graduée (en bois, en plastique ou en métal) ;
- une feuille de papier ;
- du papier collant ;
- un clou ;
- une boîte de forme parallélépipédique (biscuits, jus de fruits ou de lait,…) ;
- une chaise ;
- un bloc de bois de forme parallélépipédique ;
- un bloc de plomb ;
- un crayon ;
- une tasse spéciale pour bébés.

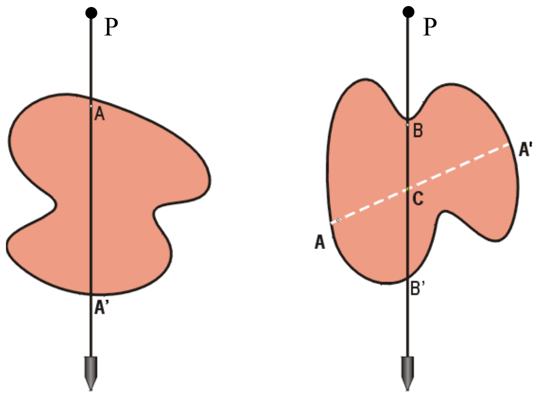
2. Contenu de la leçon

2.1. Exposé

■ Détermination du centre de gravité

□ Corps homogènes plats de forme quelconque

Un corps homogène est un corps constitué de la même matière ; par exemple : une plaque d’acier ou de cuivre. Un corps non homogène est constitué de matières différentes ; par exemple : un marteau (assemblage d’acier et de bois).



Cherchons à déterminer le centre de gravité d’une surface plane homogène quelconque. Nous vous conseillons de réaliser cette expérience vous-même en découpant une surface cartonnée de forme quelconque. Choisissons un point quelconque de la surface (par exemple, le point A) et suspendons cette dernière à l’aide d’un fil à coudre en un point P (voir ci-contre). Le corps se met en équilibre. À l’aide d’un crayon et d’un fil à plomb, traçons la verticale passant par A et A’ ; c’est une des droites d’action du poids du corps. Suspendons ensuite le corps par un autre point, par exemple, le point B. Le corps adopte une nouvelle position d’équilibre. De la même manière, matérialisons également avec un crayon la verticale BB’ ; c’est une autre droite d’action du poids du corps.

On définit le centre de gravité du corps suspendu comme étant un point C à l’intersection des droites AA’ et BB’[*] .

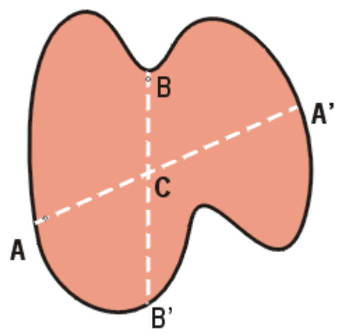
Définition du centre de gravité

Le centre de gravité d’un corps est un point de ce corps par où passe la droite d’action du poids du corps, quels que soient son orientation et l’endroit où il se trouve.

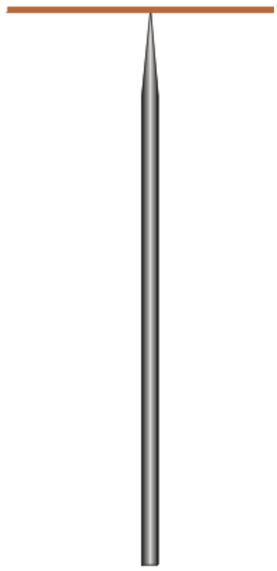
[*] Il faut choisir le point B pour que les droites AA’ et BB’ ne soient pas parallèles.

Vérification de la position du centre de gravité

Reprenons le corps dont on vient de déterminer le centre de gravité C (vue du dessus, ci-contre) et plaçons-le sur la pointe d'une aiguille à tricoter que l'on tient verticalement. Le corps, en principe, doit rester immobile quelle que soit sa position sur l'aiguille. Si ce n'est pas le cas, c'est que le centre de gravité n'est pas déterminé correctement. Il faut recommencer l'expérience avec plus de précision. C'est ce que montre la vue de face ci-contre.



Vue du dessus



Vue de face

La mise en place d'un corps sur un pivot (par exemple, une aiguille à tricoter) permet de vérifier si on a exactement trouvé le centre de gravité du corps.

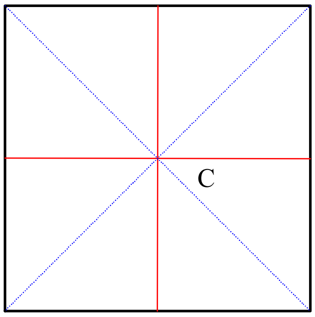
☐ Corps homogènes de forme régulière

Corps plats

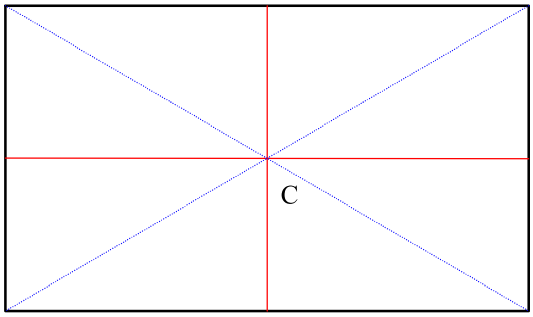
Vous pouvez déterminer vous-même le centre de gravité de plaques homogènes en carton. Découpez dans du carton des formes régulières (carré, rectangle, triangle et disque) et suspendez-les par l'intermédiaire de fils à coudre, en deux endroits différents comme vous venez de le voir. Le centre de gravité est à l'intersection des deux verticales prolongeant les fils à coudre.

Vous verrez que, pour le carré et le rectangle, le **centre de gravité se trouve à l'intersection des médianes** (qui est aussi l'intersection des diagonales).
Pour le triangle, le centre de gravité est à l'intersection des médianes ; pour le disque, il est au centre géométrique de ce dernier.

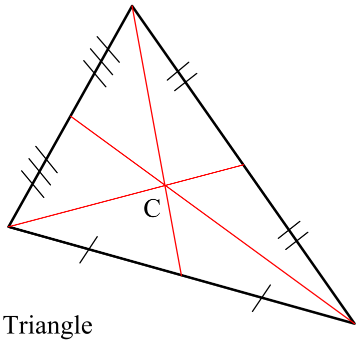
On peut donc, par une construction géométrique, retrouver le centre de gravité C de certains corps homogènes.



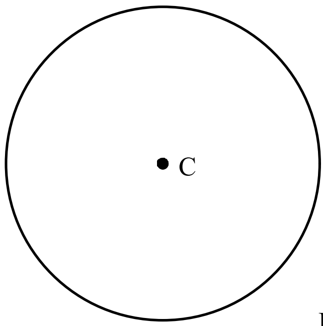
Carré



Rectangle



Triangle



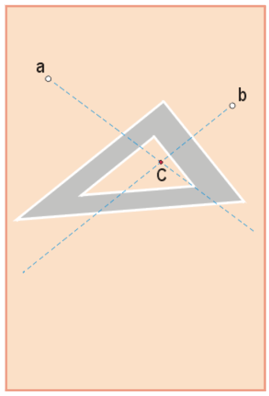
Disque

Pour déterminer géométriquement le centre de gravité d'autres surfaces, le problème est beaucoup plus compliqué et vous ne le verrez pas dans ce cours.

Remarque

Le centre de gravité d'un corps n'est pas toujours à l'intérieur de la matière.

Collons une équerre métallique sur une feuille de papier mince de poids négligeable par rapport à celui de l'équerre (voir ci-contre).
Déterminons le centre de gravité C de l'ensemble en utilisant deux points de suspension. L'intersection des deux droites a et b permet de déterminer la position de C. Ce point se trouve à l'extérieur de l'équerre.

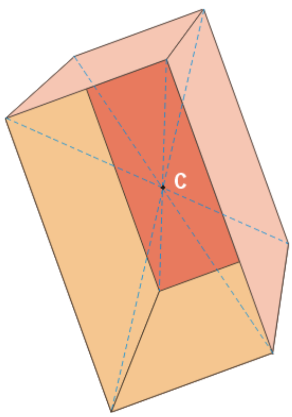


Feuille de papier

Solides

La détermination du centre de gravité des solides homogènes ne peut se faire de la manière précédente que dans le cas de solides dont l'intérieur est facilement accessible. Dans le cas contraire, elle se fait par calcul.

- **Pour certains volumes homogènes de formes régulières, le centre de gravité correspond au centre géométrique.** C'est le cas dans le parallélépipède ci-contre.



- **Pour les corps non homogènes** (table, chaise, marteau, vélo...), le centre de gravité n'est pas au milieu du corps, **il est situé du côté où le corps est le plus lourd.** Ainsi, le centre de gravité d'une table se trouve un peu en dessous de la surface utile, au milieu de celle-ci, celui d'un marteau avec un manche en bois est situé dans le manche, à proximité de la partie métallique.

☐ Déplacement du centre de gravité

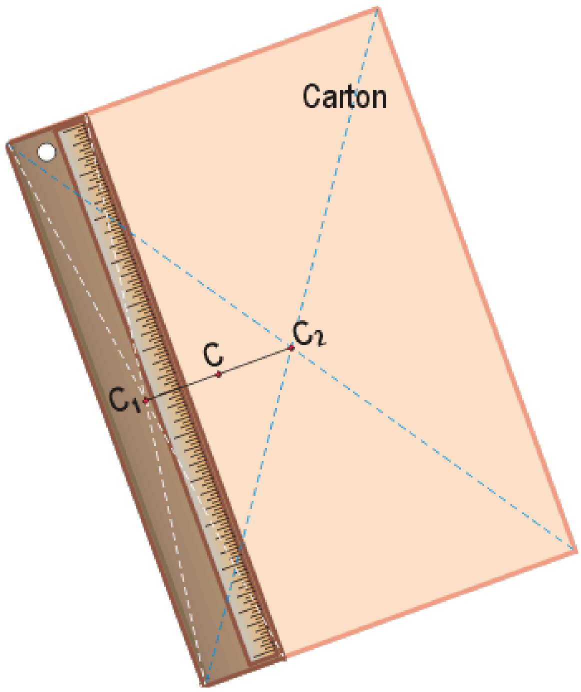
Les résultats obtenus par construction géométrique pour la détermination des centres de gravité de corps de formes régulières n'est valable que pour des corps homogènes. Que se passe-t-il si le corps n'est pas homogène et si son épaisseur n'est pas la même partout ?

Expérience

Vous pouvez réaliser vous-même l'expérience suivante. Pour cela, il vous faut :

- un morceau de carton ;
- une latte en bois, en plastique ou en métal ;
- du fil à coudre ;
- une paire de ciseaux ;
- du papier collant.

Découpez un rectangle dans un morceau de carton dont une des dimensions est égale à la longueur de la latte (si votre carton est trop petit, prenez une petite latte).



Déterminez séparément le centre de gravité C_1 de la latte et le centre de gravité C_2 du rectangle en carton (par construction géométrique, ou en les suspendant par des bouts de fil à coudre).
Avec du papier collant, fixez ensuite la latte sur le carton comme le montre le dessin ci-contre et déterminez le centre de gravité C du système obtenu en le suspendant par deux points de telle façon que les deux verticales ne soient pas parallèles.

Vous constatez que C se trouve entre C_1 et C_2 et est situé du côté du corps le plus lourd. On dit que le carton a été `lesté` avec la latte.

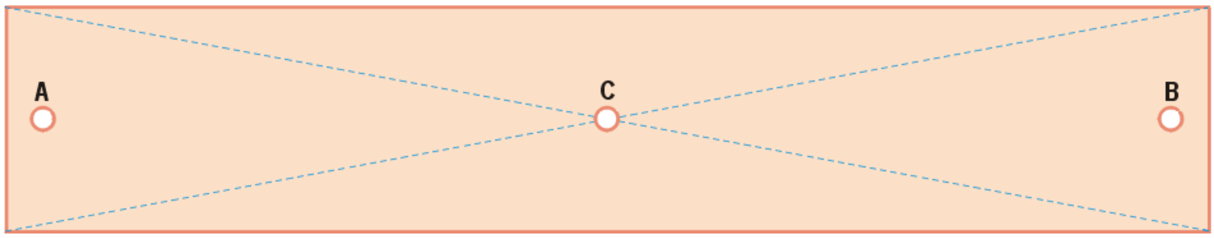
Conclusion

Lester un corps modifie la position du centre de gravité de ce corps ; il se rapproche de la partie la plus lourde.

■ Équilibre des corps soutenus et suspendus

☐ Par un point

Réalisez l'expérience suivante en découpant une latte en carton d'environ 30 cm de long et 5 cm de large. Faites-y trois petits trous (appelés A, B et C, alignés au milieu de la longueur du carton). A et B sont à 2 cm du bord et C est au centre (voir dessin ci-dessous). Remarquez que le centre de gravité de la latte se trouve au centre du trou C.



Suspendez-la par un axe horizontal (par exemple, un clou) passant dans le trou A. Après quelques instants, elle s'immobilise (figure 1 ci-dessous). Écartez la latte de cette position en tirant sur le point D vers la droite. Lâchez la latte (figure 2) ; elle revient dans sa situation initiale. On dit que `l'équilibre est stable`. Dans cette expérience, le centre de gravité de la latte est toujours en dessous du point A.

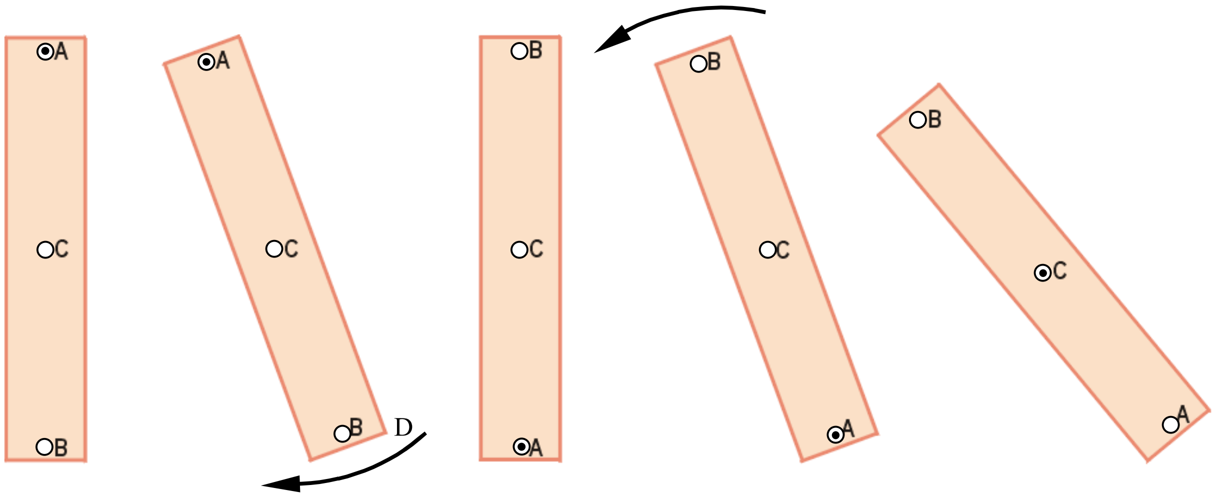


Figure 1 Figure 2 Figure 3 Figure 4 Figure 5

Lorsque C est en dessous de A, le corps, écarté de sa position d'équilibre, tend à y revenir ; **l'équilibre est stable.**

Placez maintenant la latte au-dessus du point A (figure 3) et modifiez légèrement sa position. Elle ne revient plus dans sa situation initiale ; elle tombe (figure 4). Son `équilibre est instable`. Le centre de gravité C se trouve au-dessus de A.

Lorsque C est au-dessus de A, le corps, écarté de sa position d'équilibre, s'en éloigne jusqu'à atteindre une position stable ; **l'équilibre est instable.**
On constate que tout déplacement spontané d'un corps en équilibre instable tend à ramener le centre de gravité le plus bas possible.

Suspendez-la par un axe horizontal passant par le trou C. Déplacez légèrement la latte, elle reste dans la situation dans laquelle on la place (figure 5). Son `équilibre est indifférent.`

Toutes les positions occupées par le corps sont des positions d'équilibre ; **l'équilibre est indifférent.**

Remarque

Un corps de forme régulière placé sur une surface horizontale, comme une bille ou un cylindre couché sur sa longueur (on dit, pour un cylindre ou un cône, une `génératrice`), est aussi en équilibre indifférent car s'il est écarté de sa position initiale, il reste en équilibre.

Résumé

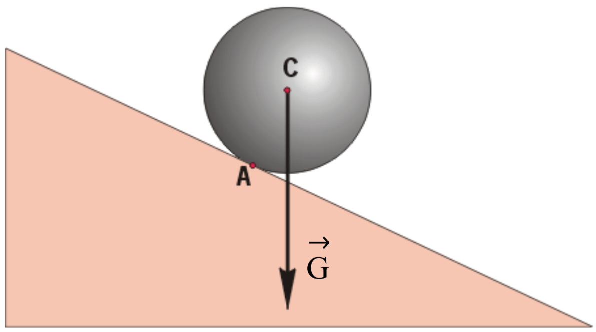
Un corps mobile autour d'un axe (d'un point) est en équilibre si la verticale passant par son centre de gravité passe également par l'axe (le point) d'appui ou de suspension.

L'équilibre est stable lorsque le corps, après avoir été écarté de sa position d'équilibre, y revient naturellement.

L'équilibre est instable lorsque le corps, après avoir été écarté légèrement de sa position d'équilibre, s'en écarte davantage.

L'équilibre est indifférent lorsque le corps, après avoir été écarté légèrement de sa position d'équilibre, conserve la nouvelle position qu'on lui a donnée.

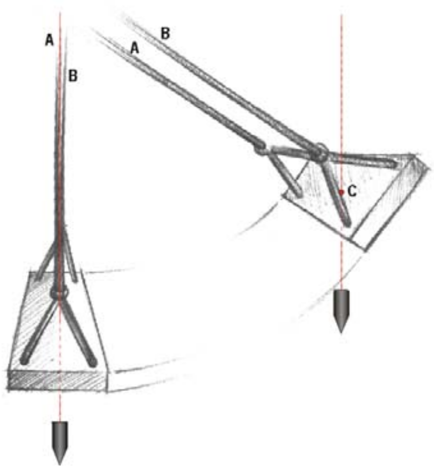
Attention ! Si la verticale passant par le centre de gravité C du corps ne passe pas par l'axe d'appui A, le corps **n'est pas en équilibre**, il se déplace continuellement, comme, par exemple, une bille placée le long d'un plan incliné (voir ci-contre). Il ne s'agit pas d'un problème de statique, mais un problème de dynamique (voir cours 221).



☐ Par deux points

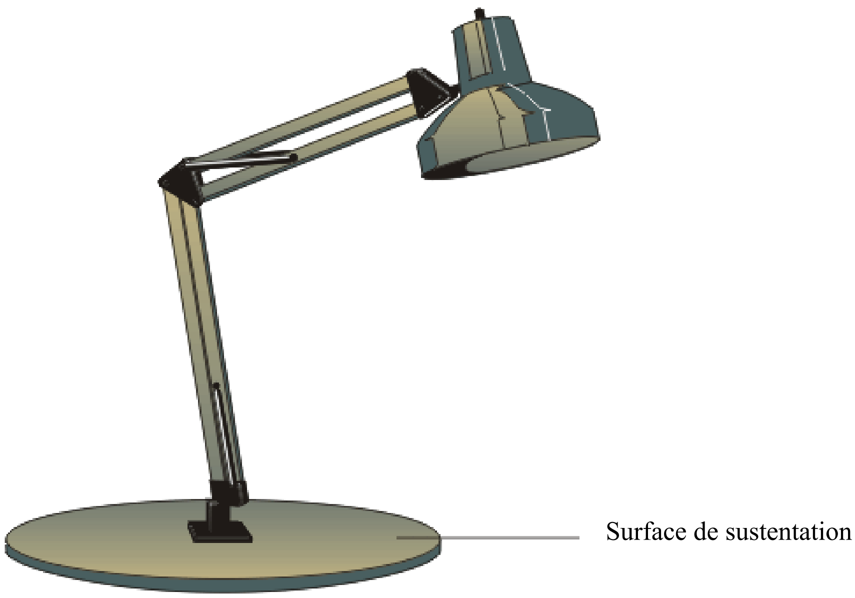
Observez une balançoire lorsque vous vous promenez dans une plaine de jeux. En général, il y a un axe de suspension et deux points d'attache. On dit que le solide est suspendu par deux points. Les conclusions vues pour l'équilibre d'un solide suspendu par un point sont aussi d'application lorsqu'il est suspendu par deux points. Ainsi, si le centre de gravité de la balançoire est en dessous de l'axe de suspension, l'équilibre est stable car, lorsqu'elle est écartée de sa position d'équilibre, elle y revient.

La figure ci-après représente une balançoire suspendue par deux points A et B. Le point C est le centre de gravité de l'ensemble (si les cordes sont légères par rapport au poids de la planche).



☐ Équilibre d'un solide soutenu par une surface

Lorsqu'un solide repose sur une surface, sa base, qu'elle soit pleine ou non, détermine un `polygone d'appui` ou de soutien, parfois appelé surface (ou base) de `sustentation` (voir ci-dessous). Ainsi, le pied de la lampe ci-dessous est son polygone d'appui (cercle).



Comment évolue l'équilibre d'un solide reposant sur une surface ?

Pour comprendre ce problème, vous pouvez réalisez vous-même l'expérience suivante.

Placez une boîte de jus de fruits, une boîte de lait (emballage tétrabrik) fermée (de préférence) ou encore une boîte de biscuits de forme parallélépipédique que vous placez sur la table, la plus grande dimension étant mise en hauteur (figure 1). La boîte peut être vide ou remplie, cela n'a pas d'importance.
Inclinez légèrement la boîte vers la gauche (figure 2), en gardant l'arête AB fixe (il suffit de tirer vers la gauche sur l'arête A'B'). Lâchez la boîte. Que se passe-t-il ?
Recommencez l'expérience en inclinant chaque fois la boîte de plus en plus fort. Que se passe-t-il ?

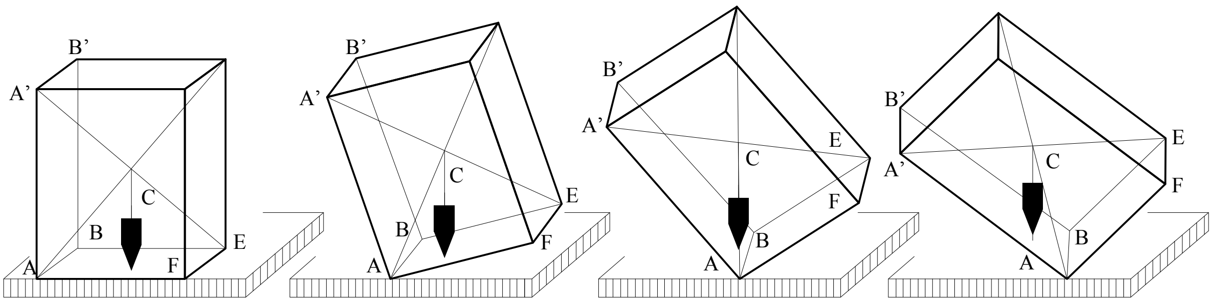


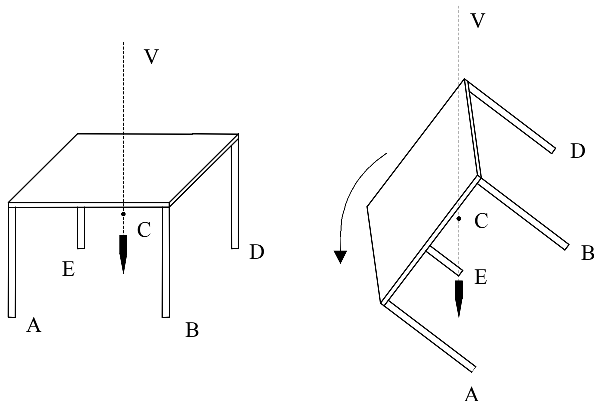
Figure 1 Figure 2 Figure 3 Figure 4

Vous avez sûrement constaté que, pour une légère inclinaison de la boîte, celle-ci reprend sa position initiale. En effet, la verticale passant par le centre de gravité de la boîte (qui est à peu près au milieu de celle-ci) traverse le polygone d'appui ABEF (figure 2) encore appelé surface de sustentation. De plus, on remarque que le centre de gravité de la figure 2 est plus haut que celui de la figure 1. La boîte, telle qu'elle est représentée à la figure 2 est dite en « position voisine » de celle représentée à la figure 1.

Si on recommence l'expérience en inclinant chaque fois la boîte de plus en plus fort, à un moment donné, la boîte peut soit revenir à sa position initiale, soit se renverser complètement. Essayez de repérer cette situation (figure 3) si vous ne l'avez pas remarquée. À ce moment, la verticale passant par le centre de gravité de la boîte coupe exactement l'arête AB (c'est la dernière fois que cette verticale coupe le polygone d'appui).

Si vous continuez l'expérience en inclinant la boîte de plus en plus fort, elle ne reprendra plus jamais sa position initiale car la verticale passant par le centre de gravité ne coupe plus le polygone d'appui (figure 4). La boîte tombe.

Le problème est exactement le même avec une table ou une chaise. La situation est illustrée par les deux dessins ci-contre. Lorsque la verticale (matérialisée par la droite v) passant par le centre de gravité C de la table ne coupe plus le polygone d'appui AEDB, la table se renverse.



Vous pouvez d'ailleurs essayer chez vous. Si vous utilisez une chaise, ne vous asseyez pas dessus ! Ne la cassez pas !

Résumé

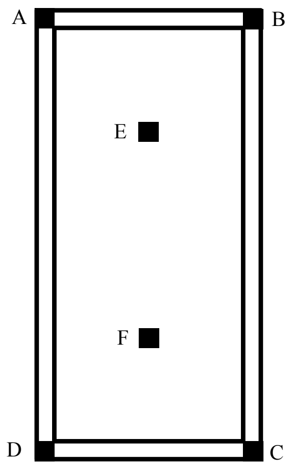
> **Un corps reposant sur une surface est en équilibre tant que la verticale passant par le centre de gravité tombe à l'intérieur du polygone d'appui (surface de sustentation).**

Délimitation du polygone d'appui

Si un corps est soutenu (ou suspendu) par plus de deux points, le polygone à considérer est toujours celui qui a la plus grande étendue. Il sera obtenu en joignant les points d'appui (ou de suspension) les plus externes et ne doit donc pas passer obligatoirement par tous les points d'appui.

Exemple

Une table possède six pieds (notés A, B, C, D, E et F sur le dessin ci-contre ; la vue est du dessus) dont deux internes (les pieds E et F). Le polygone à considérer sera le rectangle ABCD obtenu en joignant les quatre pieds extérieurs seulement (et non AEFBCD) par exemple. Les pieds internes permettent de supporter un poids plus important mais n'influencent pas l'équilibre de la table.



☐ Stabilité d’un corps reposant sur une surface

Comme on vient de le voir, une des façons d’augmenter la stabilité d’un corps, c’est de s’arranger pour qu’en cours de déplacement, la verticale passant par le centre de gravité reste à l’intérieur de la base d’appui. On a donc intérêt à **augmenter l’étendue du polygone d’appui.**

Exemples quotidiens

- Vous écartez les pieds dans un tram ou dans un bateau en mouvement pour vous empêcher de tomber.
- Vous couchez une valise dans un coffre de voiture pour qu’elle ne tombe pas.

Une autre façon d’augmenter la stabilité d’un corps est de le **lester**. Précédemment, vous avez lesté le carton avec une latte et vous avez constaté que le centre de gravité se rapprochait de la latte.

Réalisons l’expérience suivante. Sur un bloc de bois ayant la forme d’un parallélépipède rectangle, fixons un bloc de plomb sur sa plus petite surface. Le centre de gravité C du corps obtenu se trouve à proximité de la partie la plus lourde (voir ci-dessous).

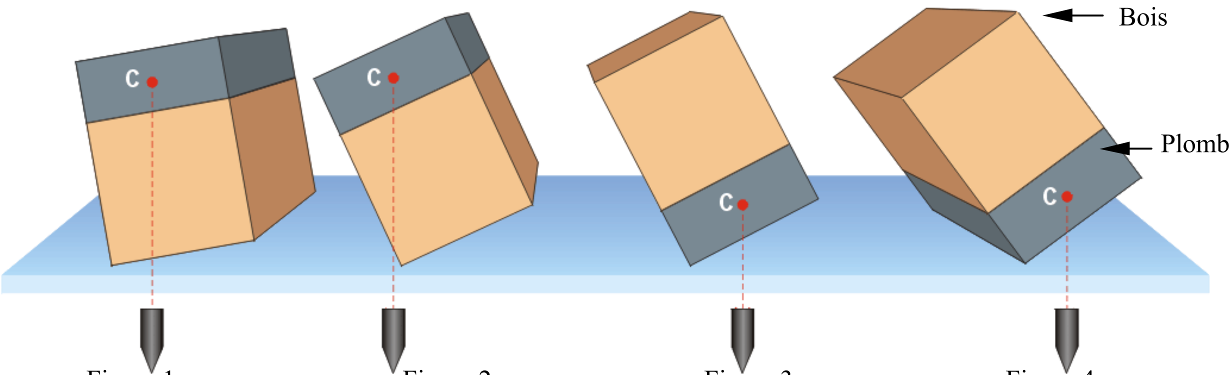


Figure 1 Figure 2 Figure 3 Figure 4

Refaisons l’expérience réalisée précédemment avec la boîte de jus de fruits, le bloc de plomb étant situé comme indiqué à la figure 1.

Si on incline très légèrement le corps, il reprend sa position initiale (figure 1) ; si on l’incline un peu plus, il tombe car la verticale passant par le centre de gravité quitte rapidement le polygone d’appui (figure 2).

Retournons le corps et plaçons maintenant le bloc de plomb du côté de la table. Inclinons de nouveau le corps comme nous l’avons fait précédemment (figure 3). Lâchons-le. Il reprend sa position initiale. Inclinons-le encore plus fort (figure 4). Il reprend sa position initiale car la verticale passant par le centre de gravité passe toujours par le polygone d’appui.

Résumé

Pour obtenir un équilibre très stable, on veille à réaliser une base d’appui très grande et à abaisser le centre de gravité.

Évaluation de l'angle de renversement

La figure ci-dessous représente des coupes parallèles à une face verticale dans un cube (figure 1) et dans deux parallélépipèdes rectangles (figures 2 et 3) placés sur une surface horizontale. Ces coupes passent par le centre de gravité C.

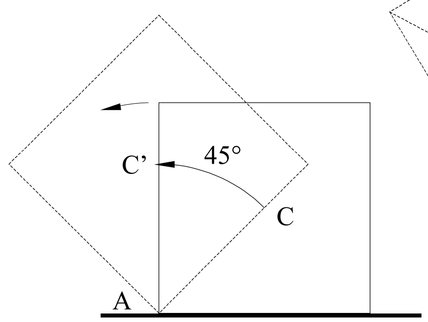


Figure 1

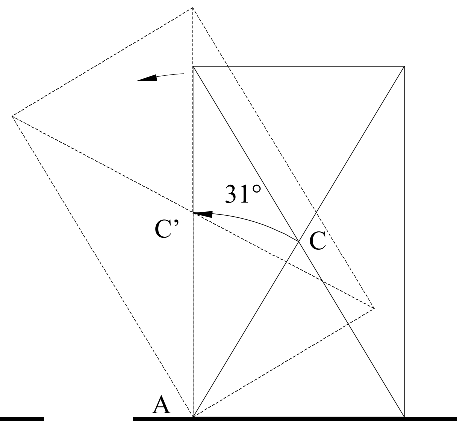


Figure 2

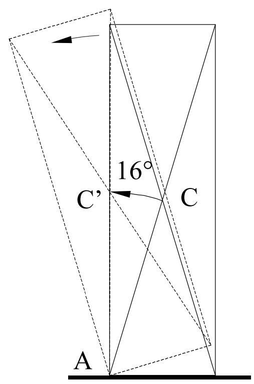


Figure 3

En appuyant sur le haut d'une face latérale du cube (arête supérieure gauche, figure 1), on peut incliner celui-ci. Dans ce mouvement, le cube bascule autour de l'arête passant par A. Pendant ce temps, le centre de gravité C, en s'élevant, décrit un arc de cercle dont le centre est A. En C' il atteint la position la plus élevée. C' est la position limite au-delà de laquelle le cube ne revient pas à sa position initiale (la verticale passant par C' coupe alors l'arête en A).

L'angle $\widehat{CAC'}$ est l'`angle de renversement`. Il est de 45° pour le cube.

La démarche est identique pour les deux autres parallélépipèdes. L'angle de renversement vaut 31° pour le parallélépipède de la figure 2 et 16° pour celui de la figure 3.

Définition

L'angle de renversement est l'angle maximum dont on peut incliner un corps avant qu'il ne tombe.

Constatations

En réalisant l'expérience avec le cube et les deux parallélépipèdes, et en mesurant leur angle de renversement respectif, on constate qu'il faut incliner le cube très fort pour arriver à le renverser (centre de gravité le plus bas). Son angle de renversement est donc très grand. Par contre, une faible inclinaison suffit à renverser le parallélépipède rectangle à base étroite (polygone d'appui le plus petit). Son angle de renversement est plus petit que celui du parallélépipède à base large et son centre de gravité est le plus élevé des trois solides envisagés.

Conclusion

La grandeur de l'angle de renversement détermine la stabilité du corps: plus il est grand, plus la stabilité du corps est grande.

Limite entre les équilibres stable et instable

Si on place un crayon verticalement, l'extrémité non taillée étant placée sur une table horizontale, on obtient encore un équilibre stable. En effet, il est possible d'écarter quelque peu ce crayon de sa position d'équilibre de telle manière qu'il y revienne. Cependant, il faut reconnaître que cet écartement ne peut être que très petit, sinon on provoque sa chute.

On a ici un équilibre stable, mais peu stable, et cela pour deux raisons :

- la base d'appui est trop petite ;
- le centre de gravité est situé trop haut.

On est donc ici à la limite entre les équilibres stable et instable.

2.2. Synthèse

Centre de gravité

Le centre de gravité d'un corps est un point de ce corps par où passe la droite d'action du poids du corps, quels que soient son orientation et l'endroit où il se trouve.

Équilibre des corps

Un corps mobile autour d'un axe (d'un point) est en équilibre si la verticale passant par son centre de gravité passe également par l'axe (le point) d'appui ou de suspension.
Un corps reposant sur une surface est en équilibre tant que la verticale passant par le centre de gravité tombe à l'intérieur du polygone d'appui.

Stabilité d'un corps

Pour obtenir un équilibre très stable, on veille à réaliser une base d'appui très grande et à abaisser le centre de gravité.

Angle de renversement

L'angle de renversement est l'angle maximum dont on peut incliner un corps avant qu'il ne tombe.

Equilibres	*Définitions*	*Conditions*
	Quand on écarte le corps de sa position d'équilibre	*Le centre de gravité est situé :*
Stable	il y revient de lui-même (sauf si on dépasse l'angle de renversement)	plus bas que dans les positions voisines (sauf si on dépasse l'angle de renversement).
Instable	il continue à s'en écarter.	plus haut que dans les positions voisines.
Indifférent	il garde sa nouvelle position.	à la même hauteur que dans les positions voisines.

Attention

Lorsqu'un objet est continuellement en mouvement, il n'est pas en équilibre !

2.3. Exercices résolus

Avant de caractériser un état d'équilibre, il est important de :

1) lire le texte de l'énoncé plusieurs fois si nécessaire et s'assurer de la compréhension littérale : y a-t-il des mots inconnus, des expressions dont le sens est incertain, etc... Ne pas hésiter à vérifier leur signification dans un dictionnaire, dans le glossaire ou même dans le cours ;

2) déterminer ce que l'on demande ;

3) voir si le corps est en mouvement ou au repos ;

4) imaginer ce qui se passe si on l'écarte de sa position.

Cette façon de procéder est valable pour tous les exercices.

1. Caractériser les états « d'équilibre » dans les situations ci-dessous :
   a) Un cadre est suspendu à un clou placé dans un mur.

      L'équilibre est stable. En effet, lorsque le cadre est écarté à gauche ou à droite de sa position d'équilibre, il y revient spontanément.

   b) Avant un sprint, un champion cycliste fait parfois du « sur place ».

      L'équilibre est instable. En effet, lorsque le cycliste s'écarte de sa position d'équilibre, il n'y revient pas spontanément, il tombe par terre !

   c) Une voiture sans freins dévale une pente.

      Il n'y a pas d'équilibre ! La voiture continue à dévaler la pente (problème de dynamique, voir cours 221).

   d) Une bille placée sur une table horizontale dans un salon parfaitement horizontal.

      L'équilibre est indifférent. En effet, lorsqu'on bouge la bille, elle reste à l'endroit où elle a été abandonnée, elle ne revient pas à sa position initiale.

2. Pourquoi, dans un bulldozer, à côté du conducteur, y a-t-il un fil à plomb suspendu devant une plaque verticale où on peut lire les graduations suivantes : 10°, 20°, 30°, 40° et 50° ?

   Le fil à plomb sert à déterminer constamment l'angle de renversement. Sur un terrain en pente, au-delà d'un certain angle, le bulldozer se renverse.

3. Pourquoi une voiture de course est-elle très basse ?

   Les voitures de course sont généralement très basses pour abaisser au maximum leur centre de gravité. Au plus le centre de gravité est bas, au plus la voiture est stable.

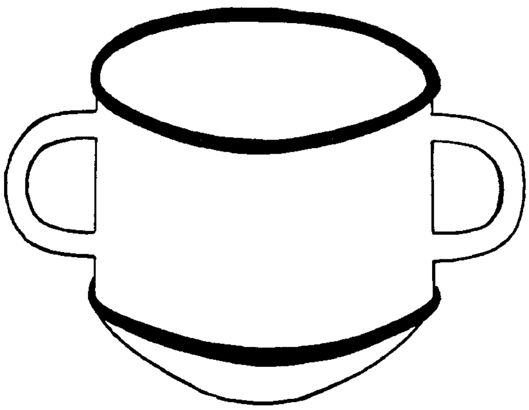
3. Évaluation

3.1. Travaux d'autocontrôle

Voici une série de travaux que vous pouvez réaliser vous-même afin de tester vos connaissances. Vous avez 8 questions. Nous vous conseillons de faire au moins un score de 6 bonnes réponses. Si vous obtenez 4 ou 5 bonnes réponses, il serait opportun de revoir la matière se rapportant aux questions non réussies. Si vous avez moins de 4 bonnes réponses, vous devez revoir l'ensemble de la matière.

Bon travail !

1. Comment détermine-t-on le centre de gravité d'un corps ?
2. Donnez un exemple de corps soutenu et un exemple de corps suspendu ayant un point fixe. Quelle condition doit réaliser un tel corps pour être en équilibre ?
3. Qu'appelle-t-on équilibre stable, instable, indifférent ?
4. Caractérisez la position du centre de gravité dans chacune des trois espèces d'équilibre.
5. De quoi dépend la stabilité d'un corps soutenu ?
6. Comment peut-on augmenter la stabilité d'un corps soutenu ?
7. Certains jongleurs arrivent à placer une bouteille vide sur leur nez et à la garder en « équilibre ». L'expression est-elle correcte ? De quel « équilibre » s'agit-il ?
8. Voici le dessin d'une tasse spéciale pour les bébés. Vous savez probablement que si celle-ci n'est pas déposée correctement, elle ne se renverse pas. Pourquoi ?



3.2. Corrigé commenté

1. Pour déterminer le centre de gravité d'un corps, il faut le suspendre par un point. Matérialiser ensuite sur le corps la direction verticale du fil à plomb passant par le point de suspension. Procéder ensuite de la même façon en suspendant le corps par un autre point de telle sorte que les deux verticales tracées ne soient pas parallèles. Le centre de gravité du corps se trouve à l'intersection des deux droites.

2. *Exemple de corps soutenu*

   Une sphère posée sur un plan horizontal.

   Exemple de corps suspendu

   Une araignée à son fil.
   Condition que doivent réaliser ces corps pour être en équilibre : la verticale passant par le centre de gravité doit passer par le point fixe.

3. *Équilibre stable*

   Lorsqu'on écarte le corps de sa position d'équilibre, il y revient (sauf si on dépasse l'angle de renversement). Exemple : un cadre suspendu à un clou dans un mur.

   Équilibre instable

   Lorsqu'on écarte, si peu que ce soit, le corps de sa position d'équilibre, il s'en écarte de plus en plus. Exemple : un crayon sur sa pointe.

   Équilibre indifférent

   Lorsqu'on écarte le corps de sa position d'équilibre, il garde sa nouvelle position. Exemple : une roue de voiture parfaitement équilibrée tournant autour de son axe.

4. *Équilibre stable*

   Le centre de gravité est plus bas que dans les positions voisines.

   Équilibre instable

   Le centre de gravité est plus haut que dans les positions voisines.

   Équilibre indifférent

   Le centre de gravité est à la même hauteur que dans les positions voisines.

5. La stabilité d'un corps soutenu dépend :
   a) de la position de son centre de gravité,
   b) de l'étendue du polygone d'appui.

6. Pour augmenter la stabilité d'un corps soutenu, on peut :
   a) abaisser son centre de gravité,
   b) agrandir le polygone d'appui.

7. L'expression est bien correcte. Il s'agit bien d'un état d'équilibre. Ce dernier est instable. En effet, légèrement écartée de sa position, elle tombe et ne revient pas en place !

8. Le fabricant a placé dans la partie inférieure de la tasse, une matière relativement lourde comme du plomb ou du cuivre afin d'abaisser au maximum le centre de gravité de la tasse. Grâce à sa forme et à sa structure, celle-ci ne se renverse pas.

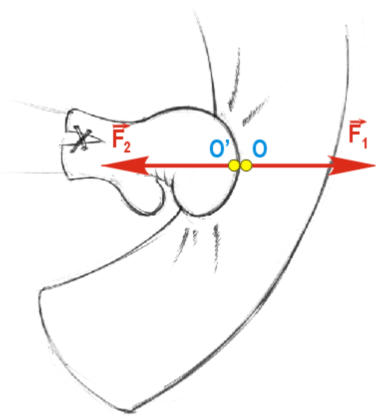
4. Synthèse des leçons de la série

Forces - Actions réciproques

$\vec{F_1}$: force exercée par le poing sur le sac.

Caractéristiques :

- *point d'application* : O (sur le sac)
- *droite d'action* : horizontale
- *sens* : de gauche à droite
- *valeur* : grandeur de la force (N)



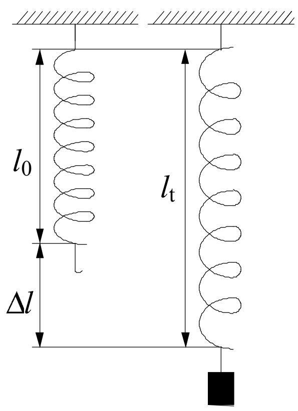
$\vec{F_2}$: force exercée par le sac sur le poing.

Caractéristiques :

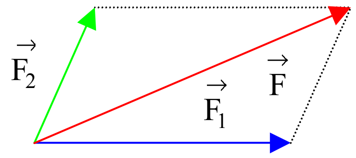
- *point d'application* : O' (sur le poing)
- *droite d'action* : horizontale
- *sens* : de droite à gauche
- *valeur* : grandeur de la force (N)

Mesure d'une force

$F = k\,\Delta l$
$F = k(l_t - l_0)$



Composition – Décomposition de forces



$$\vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2}$$

Poids – Masse

Le même astronaute et son équipement

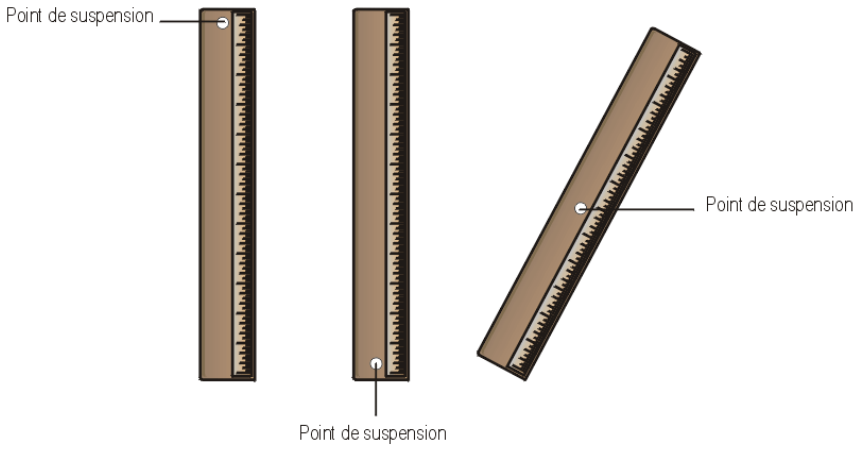
Sur la Terre | *Sur la Lune*

m = 100 kg
G_{Terre} = 981 N

m = 100 kg
G_{Lune} = 166 N

$$\boxed{G = mg}$$

Équilibre



Équilibre stable   Équilibre instable   Équilibre indifférent

Stabilité

Véhicule très stable
(centre de gravité très bas)

Véhicule peu stable
(centre de gravité très haut)

Équilibre stable

Équilibre instable

3. Évaluation de la série

3.1. Travaux d'autocontrôle

Voici une série de problèmes que nous vous proposons de résoudre vous-même afin de tester vos connaissances sur cette deuxième série. Vous avez 12 questions. Nous vous conseillons de faire au moins un score de 10 sur 12. Si vous obtenez 8 ou 9 bonnes réponses, il serait opportun de revoir la matière se rapportant aux questions non réussies. Si vous avez moins de 8 bonnes réponses, vous devez revoir l'ensemble de la matière.

Bon travail !

1. Un ressort a une constante de raideur 10 N/cm ; sa longueur initiale est de 10 cm. Quelle est sa longueur finale si on exerce une force de 60 N ?

2. Un ressort a une longueur de 15 cm. On y exerce une force horizontale de gauche à droite valant 10 N. Sa longueur finale est de 20 cm. Calculez la constante de raideur du ressort et donnez les caractéristiques de la force.

3. Une sphère métallique est immobile et est placée sur une table horizontale. Déterminez son état d'équilibre ainsi que les caractéristiques des forces qui agissent sur la bille et sur la table. Dessinez-les.

4. Un satellite artificiel a été placé dans la soute d'une navette spatiale. Son poids sur la Terre est de 1226,25 N en un endroit où g = 9,81 N/kg. Quelle est la masse de ce satellite lorsqu'il sera en orbite autour de la Terre ?

5. Une araignée descend d'un plafond. Elle est suspendue à son fil. Elle s'arrête à mi-hauteur de la pièce. Dans quel état d'équilibre se trouve-t-elle ?

6. Une fillette abandonne, sans faire le frein, la poussette de sa poupée dans une rue fortement en pente. Dans quel état d'équilibre se trouve cette poussette ?

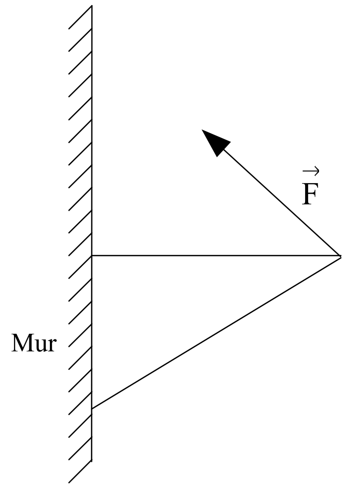
7. Un appareil scientifique a une masse de 25 kg sur la Terre. Quelle est la masse de cet appareil dans l'espace ?

8. Comment feriez-vous pour déterminer expérimentalement le centre de gravité d'une surface plane rigide quelconque ?

9. Un acrobate utilise une longue barre métallique qu'il maintient verticalement sur sa tête. Un de ses partenaires grimpe sur la barre et s'installe à la partie supérieure. Dans quel état d'équilibre se trouve ce partenaire ?

10. Dessinez 2 forces coplanaires concourantes valant respectivement 30 N et 50 N. Elles font entre elles un angle de 150°. Dessinez leur résultante. Quelle est la valeur de cette dernière ?

11. En se référant au schéma ci-contre, décomposez la force $\vec{F}$ de 100 N suivant les deux directions données. Quelle est la grandeur des deux composantes ?
Quelle est l'échelle utilisée ?



12. Un lustre de masse 5 kg est suspendu par un câble de 1,20 m de long en deux points A et B d'un plafond. La distance entre A et B est de 1 m, le câble n'étant pas tendu. La distance le long du câble qui sépare le lustre du point A est de 80 cm. Représentez la situation à l'échelle et déterminez la grandeur des forces qui apparaissent dans le câble de chaque côté du lustre (g = 10 N/kg).

3.2. Corrigé commenté

1. **On donne**

$k = 10$ N/cm
$l_0 = 10$ cm
$F = 60$ N

On demande

$l_t = ?$

Solution

Il faut chercher la longueur totale du ressort. Pour cela, il faut avoir la valeur de la longueur initiale du ressort ainsi que celle de son allongement.

L'allongement Δl peut se calculer à partir de :

$$F = k\,\Delta l \quad \rightarrow \quad \Delta l = \frac{F}{k} = \frac{60}{10} = 6 \text{ cm}$$

La longueur totale du ressort est obtenue en ajoutant à la longueur initiale du ressort, son allongement.

On a, pour la longueur totale : $l_t = l_0 + \Delta l = 10 + 6 = 16$ cm

2. **On donne**

$l_0 = 15$ cm
$F = 10$ N
$l_t = 20$ cm

On demande

$k = ?$
Caractéristiques de la force ?

Solution

Il faut chercher la constante de raideur du ressort. Pour cela, il faut avoir la valeur de l'allongement et celle de la force.

L'allongement vaut: $\Delta l = l_t - l_0 = 20 - 15 = 5$ cm

On peut alors appliquer la formule :

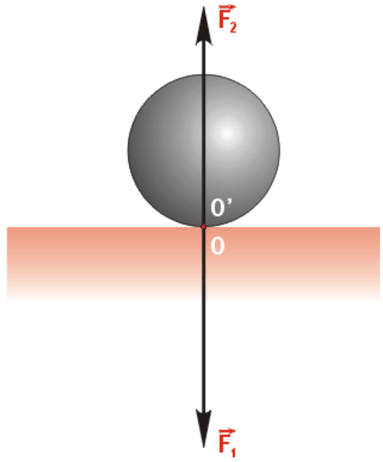
$$k = \frac{F}{\Delta l} = \frac{10}{5} = 2 \ \frac{\text{N}}{\text{cm}}$$

La constante de raideur est de 2 N/cm.

Les caractéristiques de la force sont :

- *point d'application* : extrémité du ressort ;
- *droite d'action* : horizontale ;
- *sens* : de gauche à droite ;
- *valeur* : 10 N.

3. La sphère est en équilibre indifférent. Si on la déplace un peu, elle garde son état d'équilibre.



Caractéristiques :

$\vec{F_1}$: force exercée par la bille sur la table.

- *point d'application* : point O sur la table ;
- *droite d'action* : verticale ;
- *sens* : de haut en bas ;
- *valeur* : le poids de la bille.

$\vec{F_2}$: force exercée par la table sur la bille.

- *point d'application* : point O' sur la bille ;
- *droite d'action* : verticale ;
- *sens* : de bas en haut ;
- *valeur* : le poids de la bille.

4. **On donne**

$G_{Terre} = 1226{,}25$ N
$g = 9{,}81$ N/kg

On demande

$m_{orbite} = ?$

Solution

Pour déterminer la masse d'un corps en connaissant son poids, il faut appliquer la formule :

$G = mg$

On en déduit que :

$$m = \frac{G}{g} = \frac{1226{,}25}{9{,}81} = 125 \text{ kg}$$

La masse est donc de 125 kg quel que soit l'endroit où ce corps se trouve.

5. Puisque le centre de gravité de l'araignée est plus bas que son point d'attache, l'équilibre est stable. D'ailleurs, légèrement écartée de cette position, elle y revient.

6. Il n'y a pas d'équilibre. Il s'agit d'un problème de dynamique (série 2, leçon 4).

7. **On donne** — **On demande**

   m = 25 kg — m dans l'espace = ?

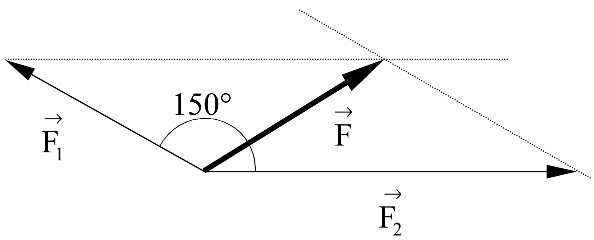
   Solution

   La masse d'un corps est indépendante de l'endroit où le corps se trouve. La masse est donc de 25 kg dans l'espace.

8. Il faut suspendre la surface en deux endroits différents. Les verticales passant par chaque point de suspension vont se couper* en un point qui sera le centre de gravité de la surface.

9. Il s'agit d'un état d'équilibre instable. Dès que la verticale passant par le centre de gravité de l'acrobate placé en haut de la barre ne passera plus dans la surface de base, il tombera et ne reprendra plus sa place initiale.

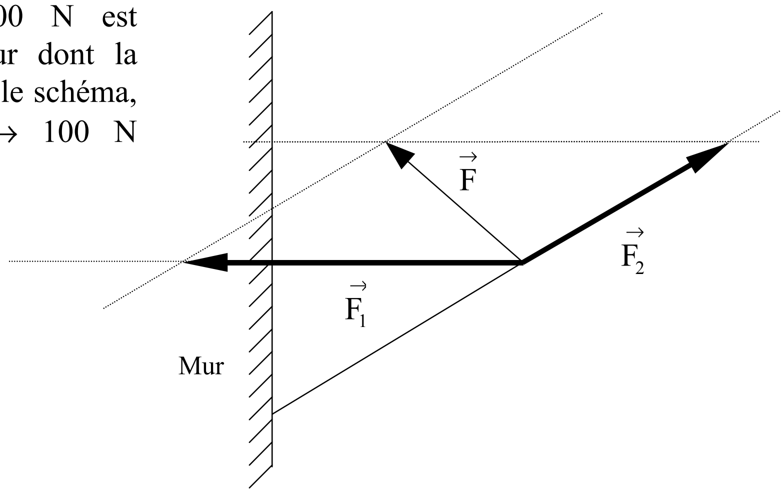
10. Si on choisit comme échelle : 10 N ↔ 1 cm, on a :



Échelle : 10 N ↔ 1 cm

En traçant le parallélogramme des forces, on obtient directement la résultante. Elle mesure 2,8 cm. La grandeur de la résultante est de 28 N.

11. Puisque la force de 100 N est représentée par un vecteur dont la longueur est de 2,5 cm sur le schéma, l'échelle est : 2,5 cm ↔ 100 N ou encore 1 cm ↔ 40 N.



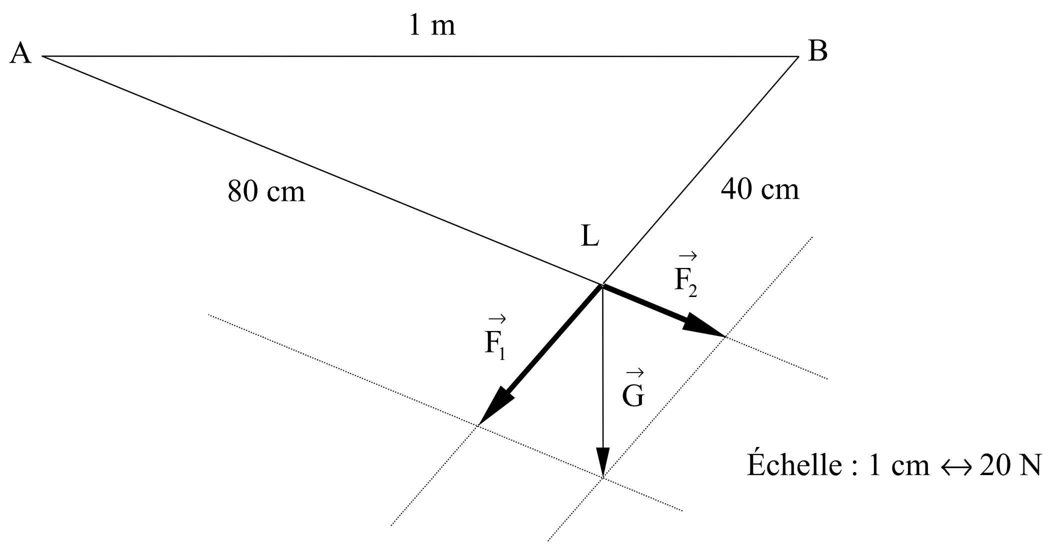
---
* Si les verticales ne se coupent pas, il faut choisir d'autres points de suspension.

Par l'extrémité de la force $\vec{F}$ on trace des parallèles aux deux directions données (droites en pointillés). Chacune de ces droites coupe les prolongements des directions données en un point. En joignant l'origine de $\vec{F}$ à chacun de ces points, on détermine les composantes $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$. Le vecteur $\vec{F_1}$ a une grandeur de 4,6 cm ; il représente donc une force de 184 N ; le vecteur $\vec{F_2}$ a une grandeur de 3,25 cm ; il représente une force de 130 N.

12. Dessinons la situation : 1 m entre A et B placés horizontalement (échelle : 1 m ↔ 10 cm) ; 80 cm entre A et L (lustre). Il reste entre B et L : 1,20 m – 0,8 m = 0,4 m = 40 cm.

La construction peut se faire en utilisant un compas. Il faut tracer un cercle dont le centre est le point A et le rayon 8 cm (non dessiné ici). On trace ensuite un cercle de rayon 4 cm dont le centre est le point B (non dessiné ici). À l'intersection des deux cercles, on a le point L.

Calculons le poids $\vec{G}$ du lustre. G = mg = 5 . 10 = 50 N
La longueur du vecteur $\vec{G}$ vaut ici 2,5 cm (échelle : 20 N ↔ 1 cm)



Par l'extrémité de $\vec{G}$, on trace une parallèle à AL et à BL. Ces droites coupent la prolongation de AL et de BL en deux points. En joignant L à ces deux points, on obtient les vecteurs $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$.

En mesurant leur grandeur, on a : F_1 : 2,5 cm et on en déduit que : F_1 = 50 N
F_2 : 1,8 cm et on en déduit que : F_2 = 36 N

3.3. Devoir - Série 2

Consignes générales

Votre deuxième série est terminée. Vous avez effectué les travaux d'autocontrôle et vous avez obtenu 80 % de bonnes réponses. Nous vous proposons donc le devoir qui suit.
Les questions auxquelles il vous faudra répondre sont du même type que celles des travaux d'autocontrôle. Comme pour le premier devoir, il s'agit encore ici de questions à choix multiple. Pour chaque question, vous trouverez 4 propositions notées A, B, C et D. Une seule est correcte. C'est à vous de choisir et de noircir la case correspondant à la bonne réponse. Essayez autant que possible de résoudre les exercices qui vous seront proposés sans consulter vos notes, mais en cas de doute, relisez la partie du cours qui vous semble utile.
Faites un brouillon et gardez-le jusqu'à la réception de votre devoir corrigé, vous pourrez ainsi mieux comprendre vos fautes. Recopiez les réponses sur la feuille de couleur du devoir en face du numéro des questions.
Ce devoir vous reviendra dûment corrigé par votre professeur. Il sera éventuellement accompagné d'un « corrigé - type ». Vérifiez alors vos réponses.
Lorsque votre devoir vous sera renvoyé corrigé par votre professeur, tenez compte des remarques indiquées, elles vous seront utiles.

Attendez le retour du devoir précédent avant de renvoyer le devoir en cours. Travaillez avec méthode et avec soin, réfléchissez bien avant de répondre aux questions.

Ce devoir comprend 10 questions. Il vous faut obtenir au moins 8 bonnes réponses. Faites attention !

N'oubliez pas de joindre à ce devoir la feuille avec votre code à barres. Merci.

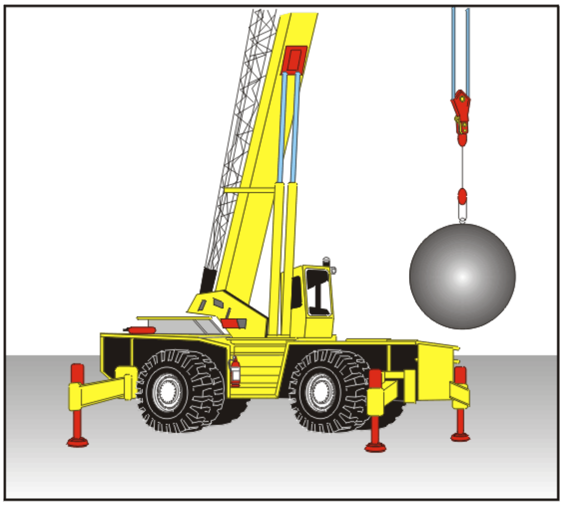
Attention ! Il vous faut au moins 8 bonnes réponses à ce devoir.

Bon travail et à bientôt !

1. Un dynamomètre a une constante de raideur de 8 N/cm. Sa longueur initiale est de 11 cm. Si on exerce sur le crochet une force de 48 N, quelle est sa longueur finale ?

A	B	C	D
5 cm	6 cm	14 cm	17 cm

2. À l'extrémité d'un câble d'une grue, on suspend une sphère d'acier (voir schéma ci-contre). De nombreuses forces apparaissent dans tout le système. Parmi les forces proposées, quelles sont les forces réciproques ?



A
- Force exercée par la sphère sur le câble.
- Force exercée par la grue sur le sol.

B
- Force exercée par la Terre sur le câble.
- Force exercée par la sphère sur le câble.

C
- Force exercée par la sphère sur le câble.
- Force exercée par le câble sur la sphère.

D
- Force exercée par la grue sur le sol.
- Force exercée par la Terre sur le câble.

3. Que pèse un sac de 50 kg de ciment : a) en Belgique ? b) sur la Lune ?
($g_{Belgique}$ = 9,81 N/kg ; g_{Lune} = 1,66 N/kg)

A	B	C	D
a) 50 kg	50 N	500 N	490,5 N
b) 50 kg	50 N	50 N	83 N

4. Un corps a une masse de 150 kg sur la Terre en un endroit où g = 9,81 N/kg. Quelle est la masse de ce corps sur la Lune ?

A	B	C	D
249 kg	150 kg	90,4 kg	15,3 kg

5. Un astronaute pèse sur la Terre 686,7 N en un endroit où g = 9,81 N/kg. Quelle est sa masse lorsqu'il se trouve dans sa cabine spatiale ?

A	B	C	D
0 kg	70 N	70 kg	68,67 kg

6. Un appareil scientifique a un poids de 98,1 N à Bruxelles. Quel est son poids sur la Lune ?

A	B	C	D
16,6 N	16,6 kg	98,1 kg	98,1 N

7. Déterminez par construction géométrique la résultante de 2 forces coplanaires concourantes de 65 N et 100 N faisant un angle de 60° entre elles (réponse approximative, l'échelle est au choix). Quelle est votre réponse ?

A	B	C	D
35 N	88 N	144 N	165 N

8. Une cabine de téléphérique ayant une masse de 10 000 kg est soutenue par un seul câble dont les extrémités sont fixées sur une même ligne horizontale. Déterminez par construction géométrique les tensions dans le câble lorsque la cabine est au milieu du câble. Les angles entre les deux parties du câble et l'horizontale valent tous deux 20° (réponse approximative, l'échelle est au choix, g = 10 N/kg). Quelle est votre réponse ?

A	B	C	D
50 kN	100 kN	146 kN	246 kN

9. Dans quel état « d'équilibre » se trouve une bille sur une table lisse et horizontale ?

A	B	C	D
Stable	Instable	Indifférent	Pas d'équilibre

10. Dans quel état « d'équilibre » se trouve une bille dans le fond d'une louche ?

A	B	C	D
Stable	Instable	Indifférent	Pas d'équilibre

Cours 219 - Physique C2D - Devoir - Série 2

Complétez ce formulaire.

NOM : .... Prénom : ....

Adresse : .... N° .... B^te ....

Code postal : .... Localité : ....

Numéro d'inscription EAD :.. Numéro du professeur :..........

1. Le précédent devoir corrigé m'est parvenu le : ....
2. Ce devoir est envoyé le : ....

N'oubliez pas d'agrafer ici la feuille éditée par le service reprenant vos adresse et code à barres !

Avez-vous tenu compte des remarques indiquées sur le devoir précédent ?

Ce devoir est arrivé chez votre professeur le : ....

Réponses aux questions

1)	A	B	C	D
2)	A	B	C	D
3)	A	B	C	D
4)	A	B	C	D
5)	A	B	C	D
6)	A	B	C	D
7)	A	B	C	D
8)	A	B	C	D
9)	A	B	C	D
10)	A	B	C	D

Cette page vous est réservée

Vous pouvez y inscrire vos remarques, suggestions, questions, critiques, etc.

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....