

Carnet pédagogique

Le Centre de Gravité : *Et si on jouait avec la gravitation ?*



Qu'est-ce que la gravité ? Dans quelle direction s'applique-t-elle ? Comment peut-on déterminer la position du centre de gravité ? Comment fonctionne une balance de Roberval ? Ces questions et bien d'autres seront abordées dans cette séance, grâce à des manipulations réalisables avec un matériel facilement accessible.

Exemple de fil conducteur

1. Répartir le matériel sur les tables.
2. Introduire le sujet aux élèves.
3. **Manipulation A : la verticale d'un lieu et la force de gravitation.**
Résultat : Un fil à plomb indique la verticale, qui passe par le centre de la Terre.
4. **Manipulation B : équilibre d'un objet soumis à deux forces.**
Résultat : un objet soumis à deux forces est à l'équilibre lorsque les forces et les points d'application sont alignés.
5. **Manipulation C : la position du centre de gravité.**
Résultat : le centre de gravité d'un objet pendu se situe sur la verticale passant par son point d'attache → le centre de gravité peut être déterminé en utilisant deux points d'attache différents.
6. Le balai...
7. **Manipulation D : la balance, le levier et les moments de force.**
Résultat : la balance est à l'équilibre lorsque les moments de force (poids x distance) sont égaux des deux côtés.
8. **Manipulation E : l'équilibriste.**
Objectif : synthèse des acquis.
9. Distribuer la synthèse et la lire avec les élèves.
10. Répondre aux dernières questions.
11. Demander aux élèves de regrouper le matériel.

A. La verticale d'un lieu et la force de gravitation

Matériel

- ◆ Un support de bois muni d'un clou ;
- ◆ 15 cm de fil de ficelle ;
- ◆ 2 rondelles métalliques.

Déroulement de la manipulation

1. Montrer un objet et le lâcher.

Q : *Que s'est-il passé ?*

R : *Il est tombé.*

Q : *Vers où tombe t-il et pourquoi ?*

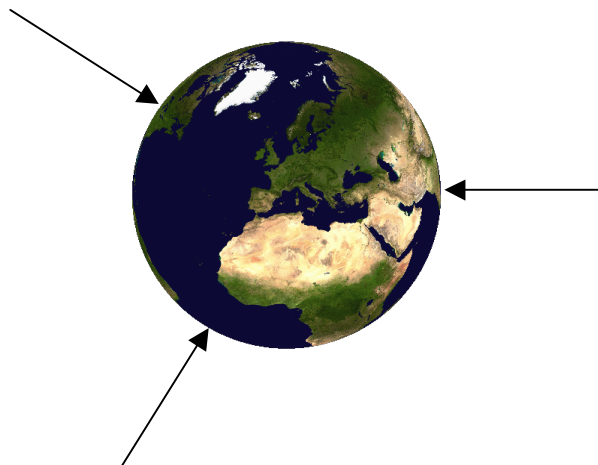
R : *Il est tombé vers le bas parce qu'il est attiré par la Terre.*

2. Attacher les rondelles à l'extrémité d'un fil et faire une boucle à l'autre extrémité.
3. Attacher la boucle au support de bois.

Q : *Quelle est l'orientation indiquée par le fil à plomb et pourquoi ?*

R : *Le fil à plomb indique la verticale, qui passe par le centre de la Terre. La verticale dépend donc de l'endroit où l'on se trouve sur la Terre.*

R : *Le fil à plomb indique la verticale car la rondelle qui est fixée à l'extrémité de la ficelle est attirée par la Terre. On dit que la Terre exerce une force sur la rondelle. Cette force est appelée force de gravitation ou force de pesanteur (deux noms différents désignant la même force). La direction de cette force est la verticale du lieu, son sens est dirigée vers le bas et son intensité est égale à la masse de la rondelle (ou de l'objet) multiplié par la constante g ($=9.81 \text{ m/s}^2$) appelée accélération de la pesanteur.*



B. Equilibre d'un objet soumis à deux forces

Quelles sont les conditions pour qu'un objet soumis à deux forces soit à l'équilibre ?

Matériel

- ◆ 1 feuille de papier cartonné (~20 cm x 15 cm) ;
- ◆ 2 fils de 30cm chacun ;
- ◆ 2 trombones.

Déroulement de la manipulation

1. Percer une feuille de papier à deux endroits près des bords et enfiler les trombones dans ces trous.
2. Attacher un fil à chaque trombone et poser l'ensemble sur la table.
3. Tracer une ligne au crayon entre les deux trombones.
4. Tirer sur les fils dans des directions opposées jusqu'à ce que la feuille s'immobilise.

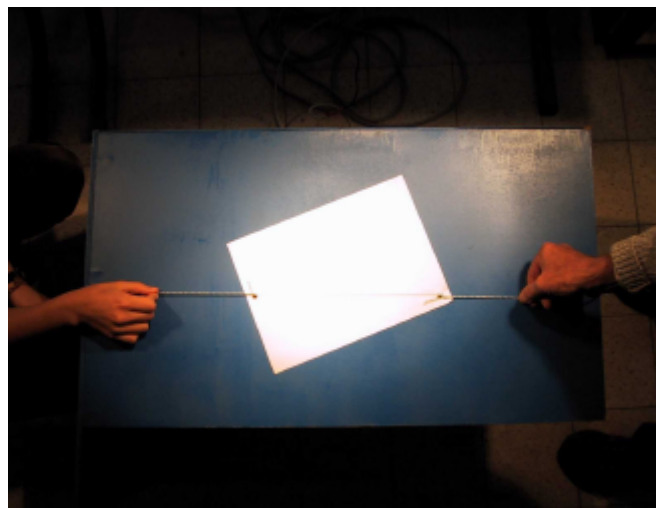
Q : *Que se passe-t-il ? Quelle est la situation finale ?*

R : *La feuille tourne jusqu'à s'immobiliser. Dans la position finale, les fils sont alignés avec le trait de crayon.*

5. Recommencer l'expérience en modifiant la position des trombones.

Q : *Que se passe-t-il ? Que pouvez-vous en conclure ?*

R : *Un objet soumis à deux forces est à l'équilibre lorsque les directions des forces et les points d'application de ces forces sont alignés.*



C. La position du centre de gravité

Le centre de gravité d'un objet est le point d'application de la force de gravitation qui s'exerce sur cet objet. Comment déterminer le centre de gravité d'un objet plat ?

Matériel

- ◆ Une feuille cartonnée de forme quelconque;
- ◆ Une épingle ;
- ◆ Une latte, un crayon ;
- ◆ Un support en bois
- ◆ Le fil à plomb (fil à rondelles).

Déroulement de la manipulation

1. Faire un trou dans la feuille cartonnée à quelques centimètres d'un des bords et l'attacher au support en bois à l'aide d'un trombone.
2. Suspendre le fil à plomb au même endroit.
3. Tracer une ligne le long du fil sur la feuille cartonnée puis retirer le fil.
4. Faire tourner la feuille autour de son attache et la lâcher.

Q : *Que se passe-t-il ? Comment pouvez-vous relier votre observation à l'expérience précédente ?*

R : *La feuille de papier retourne toujours à la même position, sa position d'équilibre. On est dans le cas d'un objet à l'équilibre soumis à deux forces : la force exercée par l'attache (direction : verticale, sens : vers le haut, point d'application : l'attache) et la force de gravitation (direction : verticale, sens : vers le bas, point d'application : centre de gravité). Ces deux forces s'exercent dans des sens opposés. Les points d'application des forces ainsi que leur direction se situent également sur la même ligne.*

Q : *Quelle indication cela donne-t-il sur la position du centre de gravité ? Que pourriez-vous faire pour la déterminer exactement ?*

R : *Le centre de gravité est le point d'application de la force de gravitation. Il se trouve sur la ligne tracée lorsque l'objet est à l'équilibre. Pour trouver la position du centre de gravité sur cette ligne, il suffit de reproduire l'expérience en suspendant le carton par différents points (voir suite de la manipulation).*

5. Répéter l'exercice pour d'autres positions d'attache du carton et tracer les différentes lignes. Déterminer le centre de gravité.

Expérience avancée :

- Trouver le centre de gravité d'un balai.
- Modifier la forme de l'objet (bonhomme, boomerang,...). Le centre de gravité peut-il se trouver en dehors de l'objet ?

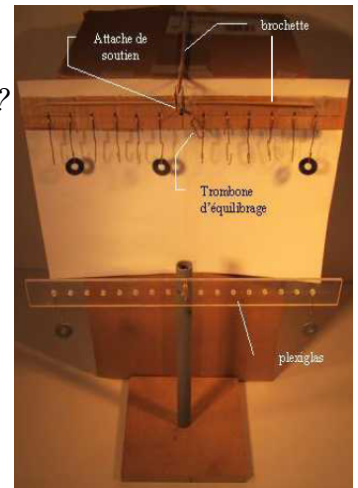
D. La balance, le levier et les moments de force

Qu'est-ce qu'un moment de force ?

Comment ce concept peut-il être utilisé pour réaliser une balance, un levier ?

Matériel

- ◆ Une latte rigide de 30 cm de long sur 5cm de large et percée de trous ;
- ◆ Trombones ;
- ◆ Un support en bois
- ◆ Un clou d'environ 3cm de long et attaché au support en bois ;
- ◆ 20 rondelles métalliques (d'environ 1.5cm, 2cm de diamètre) ;
- ◆ Un tableau pour reporter les observations



Pour réaliser la balance, faites des crochets avec les trombones et attachez-les au niveau de chaque trou. Fixez la latte au clou en la faisant passer par un des trois trous du centre.

Q : Par lequel des trois trous du centre faut-il fixer la latte pour qu'elle puisse rester en équilibre ?

R : La latte doit être fixée par le trou du haut. En effet, pour que la balance puisse rester à l'équilibre, son axe de rotation doit être situé au-dessus du centre de gravité du système latte + trombones. Si ce n'est pas le cas, l'équilibre est instable et la latte tourne d'un demi-tour.

Déroulement de la manipulation

La manipulation se base sur le tableau ci-dessous (à distribuer aux groupes). Dans ce tableau, les distances sont mesurées en nombre de trous par rapport au centre de la latte et le poids en nombre de rondelles.

COTE DROIT			COTE GAUCHE		
Distance (d1)	Poids (P1)	d1 x P1 = ?	Distance (d2)	Poids (P2)	d2 x P2 = ?
6	1				
6	1				
5	2				
4	1				
4	1				
4	2				
3	1				

1. Suspendre du côté gauche le nombre de rondelles indiqué dans la colonne poids, à la position (trou) donnée dans la colonne distance.
2. Rétablir l'équilibre en ajoutant des rondelles du côté droit. Noter le nombre de rondelles ajoutées et leur position dans les colonnes adéquates.
3. Remplir la colonne d x P en multipliant le poids (en rondelles) par la distance (en nombre de trous).

Q : Que constatez-vous ?

R : Les résultats dans les colonnes d x P sont similaires pour le côté gauche et le côté droit. La grandeur d x P est ce que l'on appelle le moment de la force de pesanteur (ici exprimé en nombre de rondelles x distance en nombre de trous) par rapport à l'axe de rotation.

Q : Pourriez-vous établir une loi pour prédire la position des rondelles permettant d'atteindre l'équilibre ?

R : Les moments de force doivent être égaux à l'équilibre. Si on suspend du côté gauche N_1 rondelles à une distance d_1 , l'équilibre sera atteint en suspendant du côté droit N_2 rondelles à une distance d_2 telle que :

$$N_1 \times d_1 = N_2 \times d_2$$

Avancé :

Essayer d'équilibrer la balance en plaçant des rondelles à des positions différentes, calculer les moments de force de chaque côté de la balance.

Q : Pourriez-vous établir une loi plus générale pour un nombre quelconque de rondelles placées à différentes distances ?

R : L'équilibre des moments de force s'exprime par :

$$N_1 \times d_1 + N_2 \times d_2 + N_3 \times d_3 + \dots = M_1 \times l_1 + M_2 \times l_2 + M_3 \times d_3 + \dots$$

où N_1, N_2, N_3 , etc. est le nombre de rondelles placées à la distance d_1, d_2, d_3 , etc. d'un côté de la balance (p. ex côté gauche) et M_1, M_2, M_3 , etc. est le nombre de rondelles placée à la distance l_1, l_2, l_3 , etc. de l'autre côté.

Application : le levier

Un levier est une barre rigide (non déformable) libre de pivoter autour d'un point d'appui (le pivot).

Matériel

- ◆ Un barre rigide ;
- ◆ Un pivot ;
- ◆ Un poids « lourd » ;
- ◆ Un poids « léger » ;

Déroulement de la manipulation

Utiliser le poids « léger » pour soulever le poids lourd à l'aide de la barre rigide et du pivot ?

Q : Comment peut-on utiliser un levier pour soulever un poids ?

R : En appliquant une force de l'autre côté de la barre. Si la force appliquée est suffisamment grande, le moment de cette force par rapport au point d'appui sur le pivot est plus grand que le moment de la force de pesanteur du poids et celui-ci se soulève. La force à appliquer est d'autant plus faible que le bras de levier (distance au point d'appui) est grand.

Q : Pouvez-vous prédéterminer la position du point d'appui pour soulever le poids lourd (de masse M) à l'aide du poids léger (de masse m) ?

R : Cette distance d doit être telle que $dM < (L-d)m$ où L est la longueur de la barre rigide (distance entre les poids). Autrement dit, le centre de gravité du système constitué des deux poids et de la barre doit se situer du côté du poids léger par rapport au pivot.

E. Réalisation d'un équilibriste

Comment utiliser les notions vues précédemment sur le centre de gravité pour réaliser un équilibriste ?

Matériel

- ◆ 4 pics à brochettes en bois de 30 cm ;
- ◆ 2 rondelles de métal ;
- ◆ 1 rectangle de frigolite de dimension 3.5 cm x 5.5 cm ;
- ◆ 1 carré de frigolite de dimension 15 cm x 15 cm ;
- ◆ du papier collant.

Déroulement de la manipulation

1. Disposer deux pics en forme de V à plat sur la table.

Q : Où est le centre de gravité de ce système ?

R : Le centre de gravité est à l'intersection de la bissectrice de l'angle formé et de la droite joignant les milieux des pics.

2. Fixer les pics dans cette position en les enfonçant dans le carré de frigolite.
3. Enfoncer un troisième pic par le haut, de manière à ce que sa pointe se situe au niveau du centre de gravité déterminé précédemment.

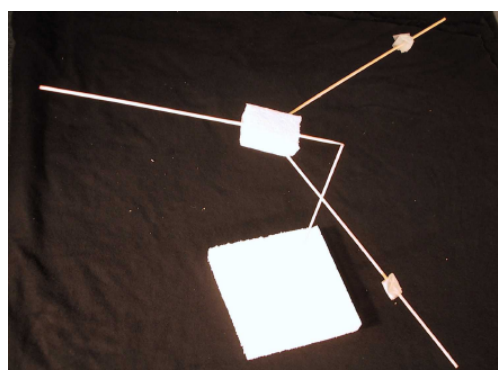
Q : Le centre de gravité se trouve-t-il toujours au même endroit ? Si non, où a-t-il été déplacé (approximativement) ?

R : Le troisième pic a une masse et modifie donc la position du centre de gravité du système. Le centre de gravité s'est déplacé en direction du centre de ce pic.

4. Afin de placer à nouveau le centre de gravité au niveau de la pointe du troisième pic, lester les deux autres pics au moyen de rondelles fixées à leur extrémité.
5. Fixer finalement le dernier pic à la verticale en le plantant dans l'autre bloc de frigolite et poser le mobile sur la pointe.

Q : Que se passe-t-il si vous ajoutez ou enlevez des rondelles sur les extrémités des pics ? Pourquoi ?

R : Les rondelles abaissent le centre de gravité. Si le centre de gravité se situe au-dessus du point d'application de la force exercée par le support, le mobile est instable. Au contraire, plus le centre de gravité est situé en dessous du point de support, plus le mobile est stable.



Centre de gravité : Synthèse

Tous les objets massifs s'attirent, avec une force F proportionnelle à leur masse. Pour des objets à l'échelle humaine, par exemple des pommes, cette force est tellement faible qu'elle est non perceptible.

Cependant, la masse de la Terre est considérable (environ 6×10^{24} kg) et les objets sont attirés par celle-ci : il s'agit de l'effet de gravité. La force attirant les objets vers la Terre est donc proportionnelle à leur masse. Elle est simplement donnée par la loi suivante :

$$P = m g$$

Ce facteur g est l'accélération de la pesanteur, qui vaut environ 9.81 m/s^2 à notre latitude !

La gravité s'exerce au niveau du centre de masse de chaque objet. Pour un objet simple et uniforme, comme une bille de verre, le centre de masse se trouve au centre de l'objet.

Pour des objets plus complexes, il est plus facile de déterminer la position du centre de masse expérimentalement. Ceci peut être fait en suspendant l'objet par l'une de ses extrémités. Dans ce cas, on sait que le centre de masse se trouve le long de la verticale passant par le point d'attache. En répétant la mesure, il est possible de déterminer sa position avec précision.

Dans le cas du champ de gravitation de la Terre, le centre de masse est équivalent au centre de gravité.

Centre de gravité : synthèse avancée

Tous les objets massifs s'attirent, avec une force F donnée par la formule suivante :

$$F = \frac{Gm_1m_2}{R_{12}^2}$$

Où G est la constante gravitationnelle, m_1 est la masse de l'objet 1, m_2 la masse de l'objet 2 et R_{12} la distance les séparant.

La constante gravitationnelle a une valeur tellement faible ($6.7 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$) que l'attraction entre deux objets à l'échelle humaine n'est pas perceptible. Par exemple, la force s'exerçant entre deux pommes de 100 g séparées par 1 m vaut à peine $6.7 \times 10^{-13} \text{ N}$!

La masse de la Terre est quant à elle d'environ $6 \times 10^{24} \text{ kg}$ et son rayon de 6400 km. Tout objet de masse m est donc attiré vers la Terre avec une force valant

$$F = \frac{Gm_{\text{Terre}}}{R_{\text{Terre}}^2} m = gm \approx 10m, \quad \text{lorsque la masse } m \text{ est exprimée en kg}$$

Ce facteur g est l'accélération de la pesanteur, qui vaut environ 9.81 m/s^2 à notre latitude !

La gravité s'exerce au niveau du centre de masse de chaque objet. Pour un objet simple et uniforme, comme une bille de verre, le centre de masse se trouve au centre de l'objet.

Si l'objet est composé de plusieurs objets i de masses m_i et situés à une position d_i , la position du centre de masse peut être calculée grâce à la formule suivante :

$$\vec{d} = \frac{\sum_i m_i \vec{d}_i}{\sum_i m_i}$$

Cependant, pour des objets non uniformes ou de forme particulière, il peut être plus facile de déterminer la position du centre de masse expérimentalement. Ceci peut être fait en suspendant l'objet par l'une de ses extrémités. Dans ce cas, on sait que le centre de masse se trouve le long de la verticale passant par le point d'attache. En répétant la mesure, il est possible de déterminer sa position avec précision.

Dans le cas du champ de gravitation de la Terre, le centre de masse est équivalent au centre de gravité.