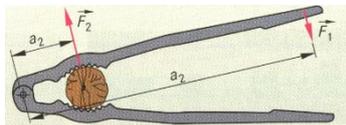


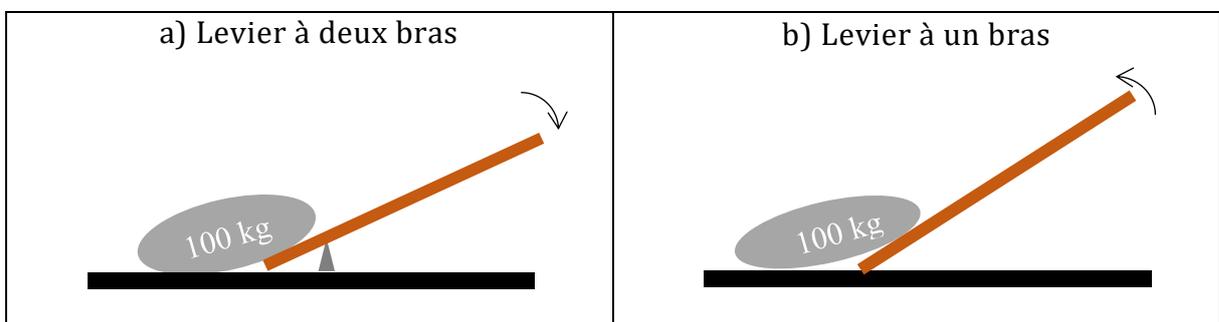
2 Le moment d'une force et équilibre

2.1 Le levier

Le levier fut l'un des premiers outils utilisés par l'homme pour augmenter sa force. De nos jours, on trouve des leviers sous des formes très variées : une tige rigide, une planche, un ouvre-bouteille, un casse-noix, une brouette, des tenailles, une paire de ciseaux, . . .



La figure suivante montre l'utilisation d'une simple tige rigide pour soulever une charge.



Conclusion : Un levier est un corps rigide qui peut tourner autour d'un axe.

Si le **bras moteur** (de l'axe à la force motrice) est long et le **bras résistant** (de l'axe à la force résistante) est court, la force motrice sera amplifiée et le mouvement de la charge aura une faible amplitude. Dans le cas contraire, la force est réduite et le mouvement sera plus grand.

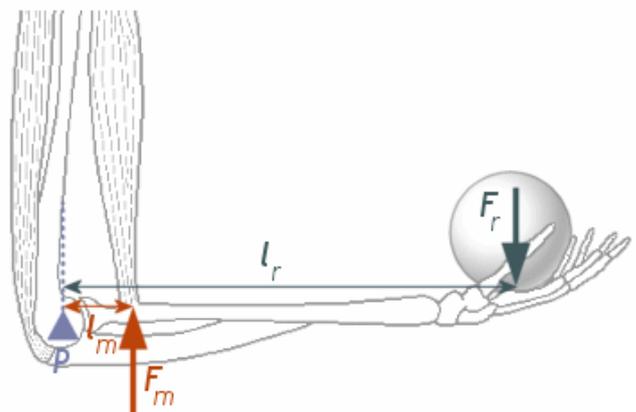
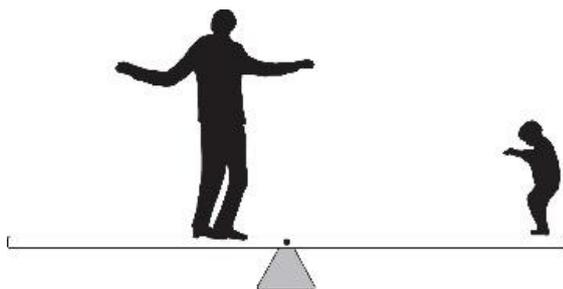
On distingue suivant la position de l'axe :

- les **leviers à deux bras** : les forces s'appliquent des 2 côtés de l'axe de rotation
- les **leviers à un bras** : les forces s'appliquent sur 1 côté de l'axe

Exercice : Dessiner différents exemples de leviers à un ou à 2 bras. Indiquer chaque fois le bras moteur l_m , le bras résistant l_r , la force motrice F_m et la force résistante F_r .

On dessine les forces qui agissent sur le levier, tout en sachant que le levier exerce une réaction opposée sur le corps.

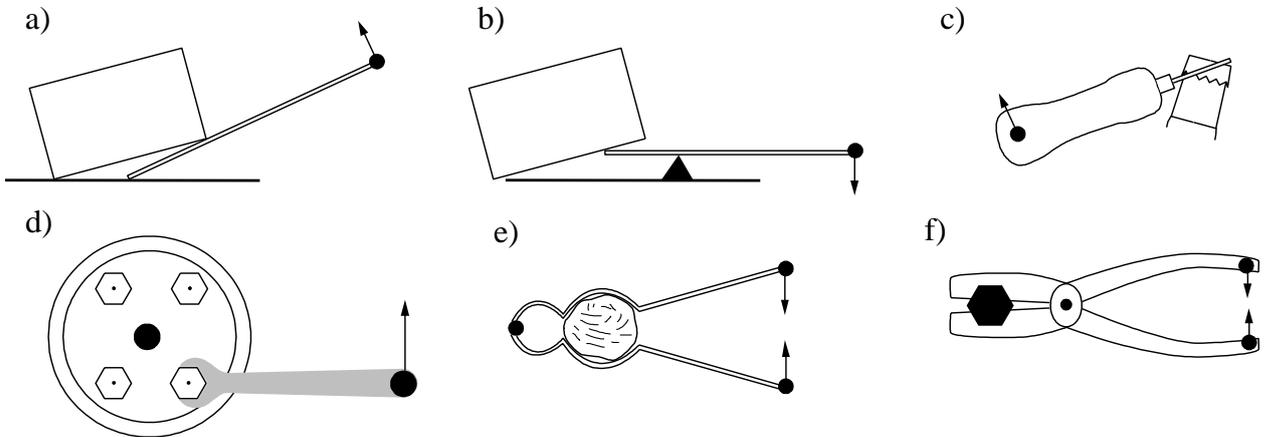
Pour être complet on peut aussi représenter la réaction $\vec{R} = -(\vec{F}_m + \vec{F}_r)$ exercée par l'axe sur le levier. Indiquer les vecteurs avec une longueur approx. correcte.



Exercice :

Indique dans les figures les vecteurs forces qui agissent SUR le levier. Prends soin que les longueurs des vecteurs correspondent à peu près à l'intensité des forces. Précise s'il s'agit d'un levier à un bras ou à deux bras.

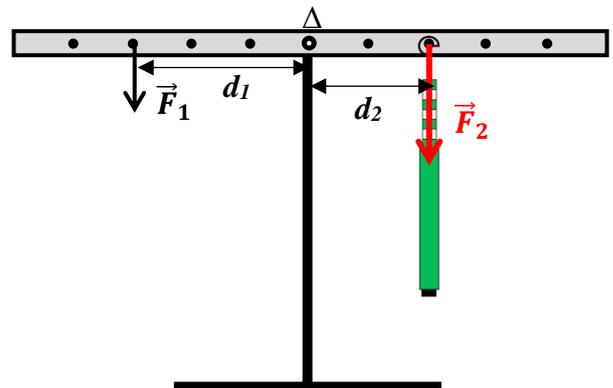
Exercice :



2.2 Equilibre du levier droit

Expérience :

Pour différentes valeurs de d_1 , d_2 et F_1 nous mesurons l'intensité F_2 de la force \vec{F}_2 nécessaire pour que le levier soit en équilibre. Les distances d_1 , d_2 sont appelées bras de levier.



Remarque : Dans cette expérience on suppose que le poids propre du levier ne joue pas de rôle et que les forces sont perpendiculaires aux bras de levier.

m_1 (kg)	F_1 (N)	d_1 (m)	F_2 (N)	d_2 (m)	$F_1 \cdot d_1$ (Nm)	$F_2 \cdot d_2$ (Nm)

Loi du levier :

Un levier soumis à deux forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 distantes de d_1 et de d_2 de l'axe de rotation est à l'équilibre si :

Remarque : Cette loi vaut pour le levier à un ou deux bras sauf que l'orientation des vecteurs change. <https://www.youtube.com/watch?v=-halnFPU5ls> (simple physics)

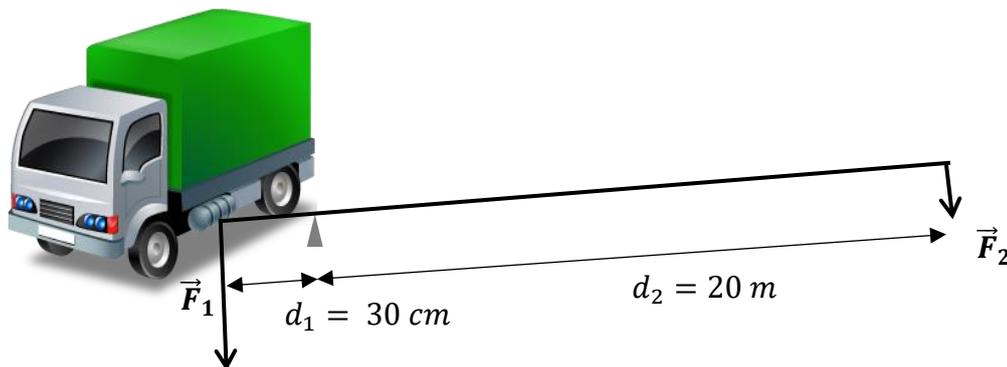
Exercice : a) Dessine la situation pour un levier à un bras avec axe au milieu. Contrôler la loi par une mesure à l'équilibre.

b) Discuter l'effet du poids comme 3^e force si l'axe se trouve à une extrémité. Généraliser l'équilibre pour 3 forces et contrôler par une mesure à l'équilibre

Exercice :

Calcule la force \vec{F}_2 nécessaire pour soulever l'axe d'un camion avec une charge de 4t.

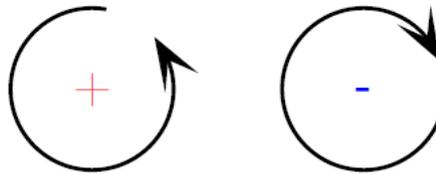
<https://www.youtube.com/watch?v=3yC3Cig2gFQ>



2.3 Moment d'une force

Sens de rotation

En physique, pour indiquer le sens de rotation d'un corps, on utilise le *sens trigonométrique*.

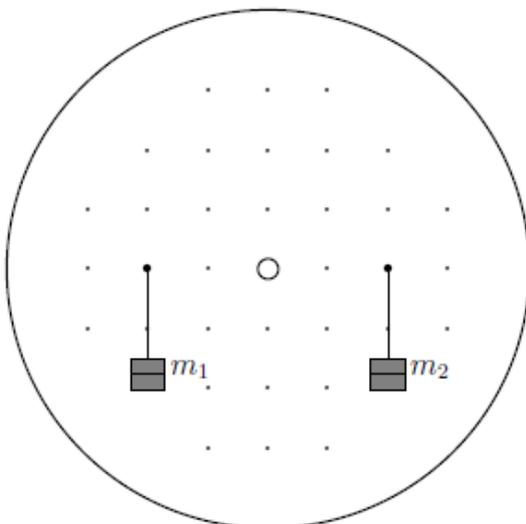


Expérience

Un disque peut tourner librement autour d'un axe horizontal passant par son centre. On peut accrocher des masses à différents points du disque.

Puis ajoutons les vecteurs force des poids sur toutes les figures (échelle $1\text{ cm} \hat{=} 1\text{ N}$).

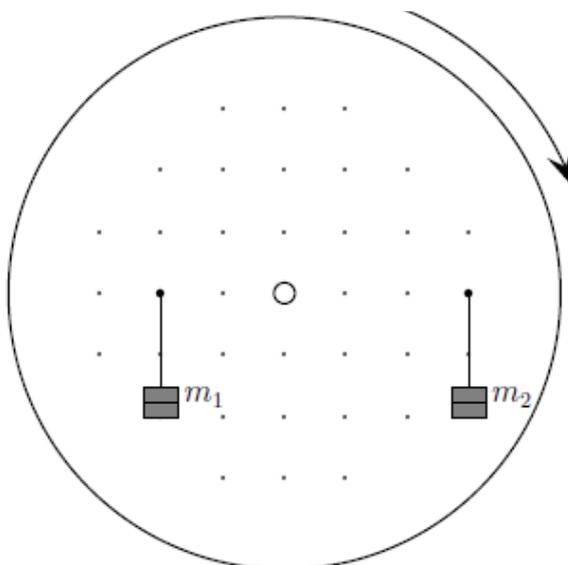
Situation 1 : Accrochons deux masses de 200g, m_1 et m_2 , de manière à ce que leurs points



d'application se trouvent alignés horizontalement avec l'axe de rotation et qu'ils se trouvent à une distance égale de cet axe.

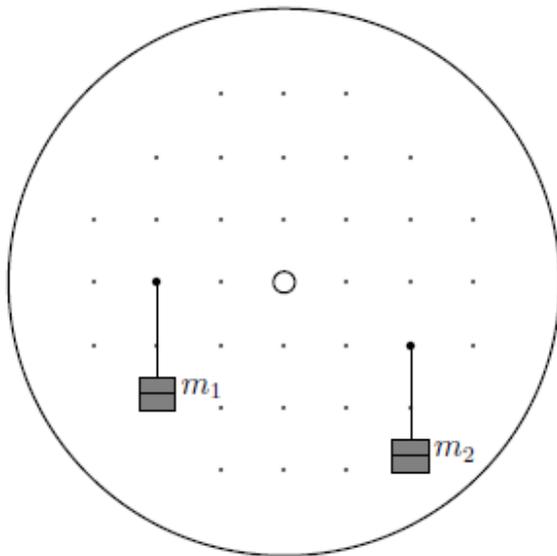
On constate :

Situation 2 : Déplaçons m_2 vers la droite.



On constate :

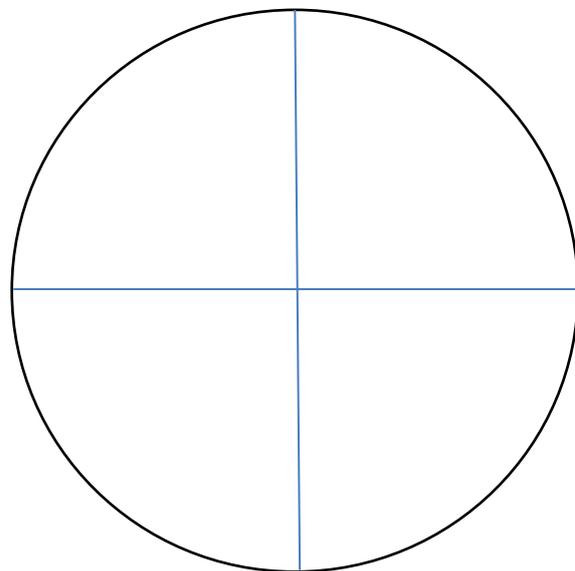
Situation 3 : Maintenant déplaçons m_2 verticalement vers le bas.



On constate :

Situation 4 : Finalement, plaçons une masse $m_1 = 200g$ et $m_2' = 300g$ chaque fois abaissé verticalement d'un cran par rapport à l'endroit initial. Laisser tourner le disque pour trouver un équilibre.

On constate :

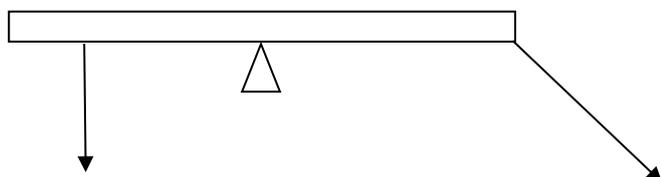


Définition : Le bras de levier

On appelle « **bras de levier** » d d'une force \vec{F} par rapport à un axe de rotation Δ , la distance entre la droite d'action de \vec{F} et l'axe de rotation.

Pratiquement, on prolonge la droite d'action et on mesure d **perpendiculairement** à cette droite d'action jusqu'à l'axe de rotation. L'unité S.I. de d est le mètre.

Exercice : Mesurer les 2 bras de levier.



Définition : Le moment d'une force

On appelle « **moment d'une force \vec{F}** » par rapport à un axe de rotation Δ , le produit de l'intensité F de la force par son bras de levier d . Symbole : M

$$M_{\Delta}(\vec{F}) = \pm F \cdot d$$

unité : $[M] = [F] \cdot [d] = Nm$

Signe d'un moment de rotation :

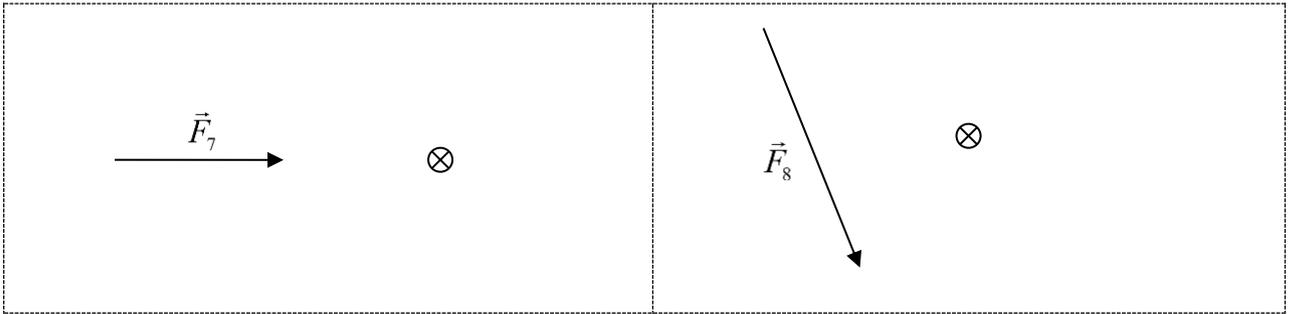
On attribue un signe positif à $M_{\Delta}(\vec{F})$ si la force fait tourner l'objet dans le sens trigonométrique positif et négatif dans le cas contraire. Parfois on indique aussi le moment en valeur absolue et on précise le sens de rotation par $M+$ ou $M-$.

Remarques :

- 1) Le moment d'une force caractérise son *action de rotation sur le solide*.
- 2) Le bras de levier d'une force dont la droite d'action passe par l'axe est nul et cette force n'a pas d'action de rotation.
- 3) Simple physics : <https://www.youtube.com/watch?v=WA0ry1H4LZ4>
- 4) Une clé dynamométrique (photo outil vélo) permet de contrôler le moment de force pour serrer une vis.



Exercices : dessine et mesure le bras de levier pour calculer M (+ ou -). Échelle: $F: 1\text{ cm} \cong 1\text{ N}$ $d: 1\text{ cm} \cong 1\text{ m}$



2.4 Equilibre d'un solide en rotation

Loi d'équilibre pour un corps en rotation :

Un corps mobile autour d'un axe Δ est en équilibre si la somme algébrique des moments de toutes les forces s'annule.

Equilibre de rotation :

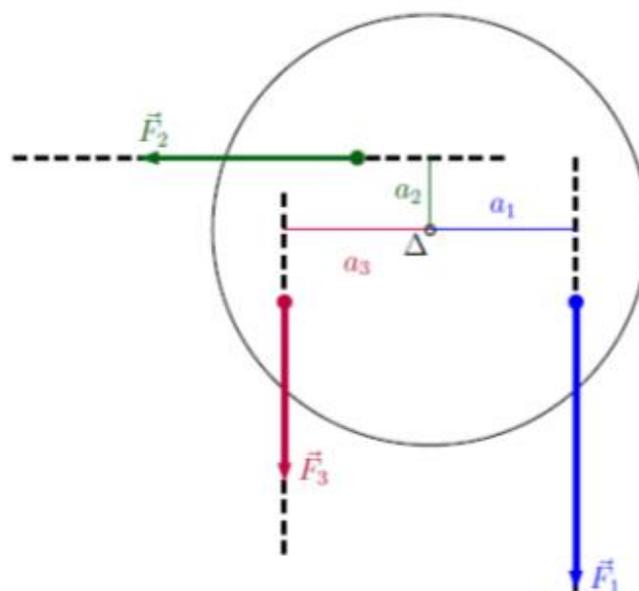
$$\sum_i M_{\Delta}(\vec{F}_i) = 0$$

ou : **Moments tournant à gauche = Moments tournant à droite**

$$\sum_i M_{i+} = \sum_i M_{i-}$$

Exemples :

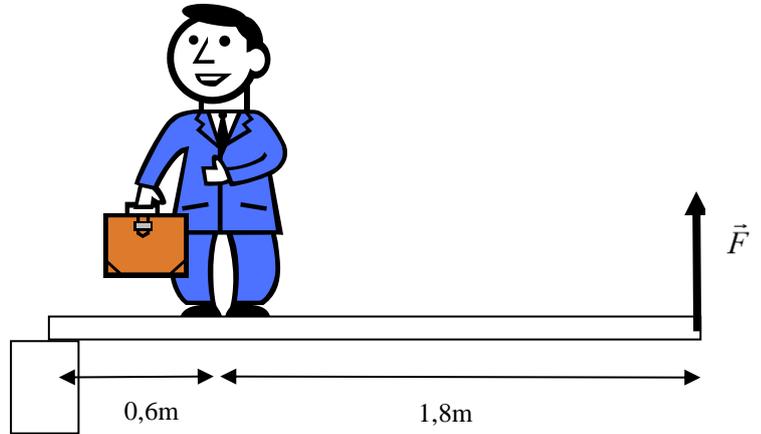
1) Quelle est la force F_2 nécessaire pour maintenir le disque en équilibre :



2) Balance ton prof !

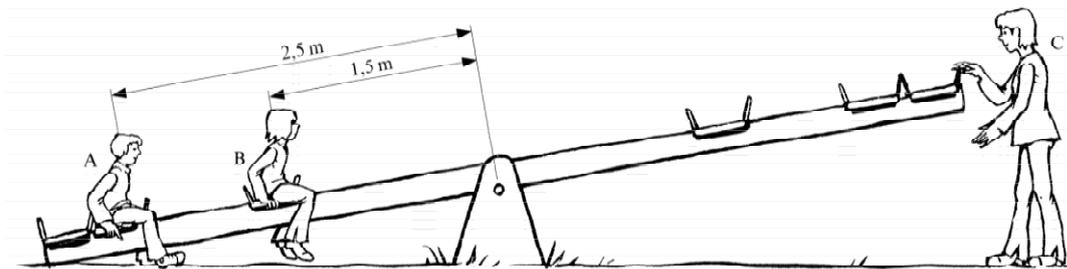
a) S'agit-t-il d'un levier à 1 ou 2 bras ?

b) On a besoin d'une force $F=300\text{N}$ pour maintenir la planche en équilibre. Quelle est le **poide** **P** et la **masse m** du professeur si on suppose que la masse de la planche $m_2= 20\text{kg}$ (**avec G au milieu**).



c) Quelle est l'intensité et l'orientation de la réaction de l'axe ?

3) (Utilise $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$) La personne A a une masse $m_A = 30 \text{ kg}$. La personne B a une masse $m_B = 40 \text{ kg}$. La personne C a une masse $m_C = 65 \text{ kg}$. Indique l'endroit où C doit être assis pour établir un équilibre (bascule horizontale). Calcule la longueur du bras de levier.



2.5 Équilibre général

On dit qu'un corps solide est en **équilibre statique** si dans un référentiel terrestre tous ses points sont immobiles.

Conditions d'équilibre

Un corps solide est en équilibre statique si les forces qui s'appliquent à lui vérifient les conditions suivantes :

Équilibre de translation :

$$\sum_i \vec{F}_i = \vec{0}$$

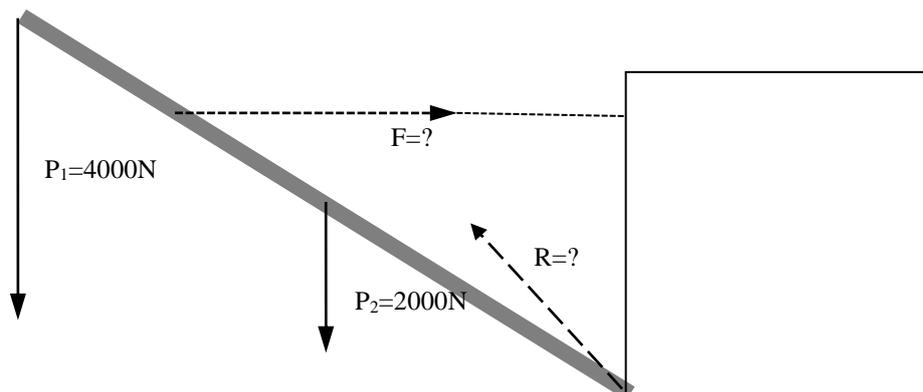
Équilibre de rotation :

$$\sum_i M_{\Delta}(\vec{F}_i) = 0 \quad (\text{moments avec signe})$$

Respectivement : $\sum M_+ = \sum M_-$ (moments sans signe)

Ces relations permettent de calculer des forces et des moments et constituent la base du travail des ingénieurs et des architectes.

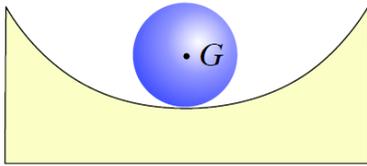
Exercice: Détermine la force F pour que le bras de grue L = 4m suivant soit en équilibre si le bras est incliné de $\theta=30^\circ$ par rapport à l'horizontale.
Quelle est la réaction R sur l'axe?



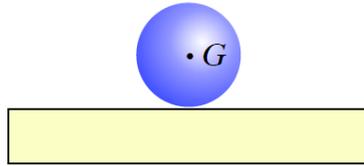
2.6 Formes d'équilibre

Considérons un corps de *centre de gravité* G en équilibre statique. Lorsqu'on l'écarte légèrement de sa position d'équilibre, le corps peut réagir de trois façons différentes :

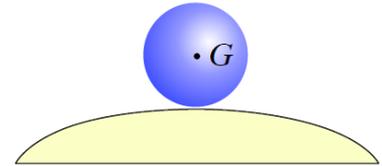
- Il retourne vers sa position d'équilibre. On dit que l'équilibre est **stable**.
- Le corps est toujours en équilibre et conserve sa nouvelle position. L'équilibre est dit **indifférent**.
- Il s'éloigne d'avantage de sa position d'équilibre. Un tel équilibre est **instable**.



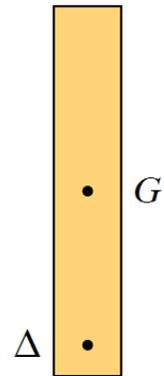
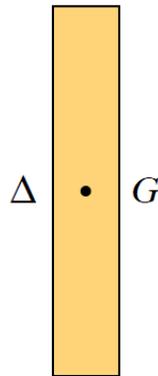
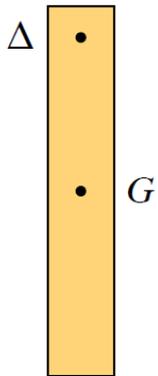
(a) Équilibre stable



(b) Équilibre indifférent

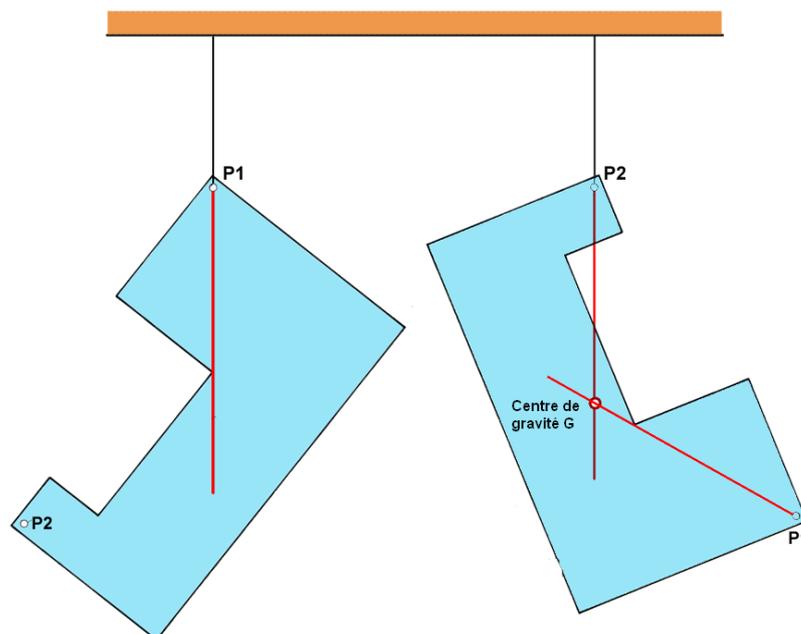


(c) Équilibre instable



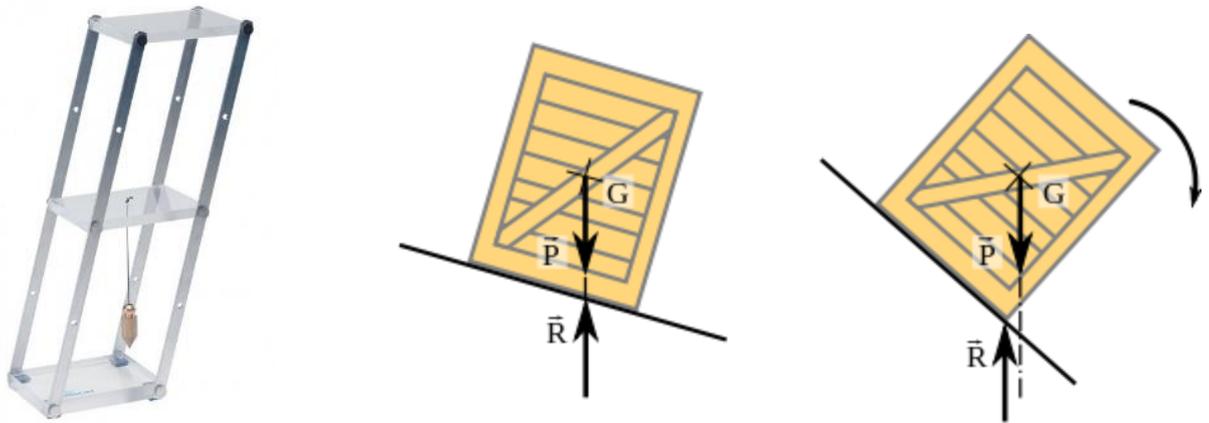
Remarques

1) On appelle **centre de gravité** G le point d'application du poids \vec{P} . Pour déterminer la position de G on suspend le corps de différentes manières. G se trouve chaque fois à la verticale du point de suspension.



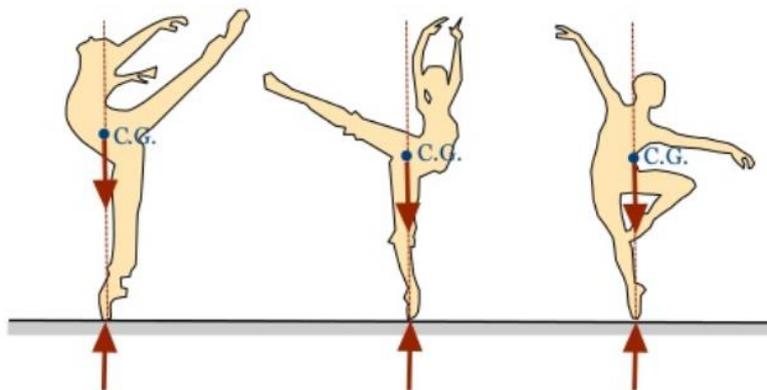
Equilibre d'un corps soumis au poids

Tant que la droite d'action du poids \vec{P} passe par un point d'appui d'un corps, celui-ci est en équilibre. Dès que la droite d'action du Poids ne passe plus par un point d'appui, le corps bascule.



Exemple :

Lorsqu'un danseur se tient en équilibre sur une jambe, il se place instinctivement de manière à ce que son centre de gravité soit situé à la verticale de son point d'appui.



Il y a un truc ...

Indiquer où se trouve le centre de masse et la ligne d'action du poids. S'agit-il d'un équilibre stable ?

