

PARTIE I : EQUILIBRES, LEVIERS ET BALANCES

I / NOTIONS DE FORCE, MASSE ET POIDS

a) Les forces

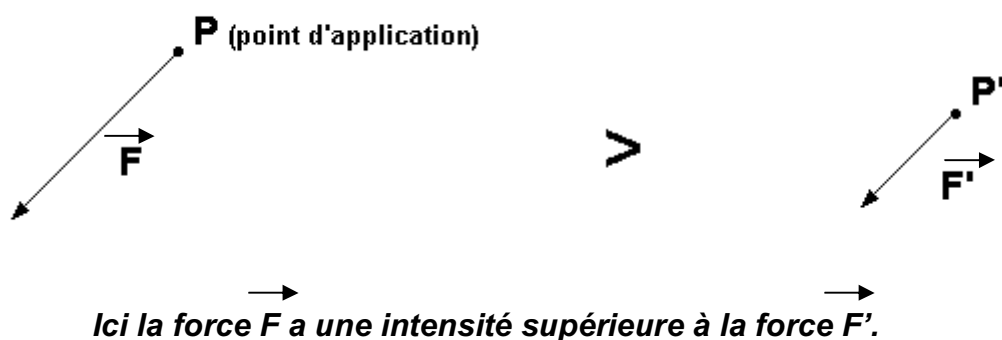
1°) Définition

La notion de **force** est palpable lorsque l'on pousse ou l'on tire sur quelque chose pour le faire bouger. On peut ainsi dire dans quelle **direction** et dans quel **sens** on exerce son **action** et si celle-ci est plus ou moins forte c'est-à-dire **intense**.

En physique, une force possède ces mêmes caractéristiques de direction, sens et intensité. Par ailleurs elle s'exerce en un point que l'on nomme le **point d'application**.

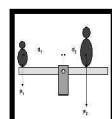
On représente conventionnellement une force par un **vecteur**, c'est-à-dire une **flèche rectiligne** partant de son **point d'application**.

La direction et le sens de la flèche correspondent à ceux de la force et la longueur de la flèche est **proportionnelle à son intensité**.



2°) Unité

L'intensité d'une force se mesure en **newtons (N)**. Un newton correspond à peu près à l'intensité de la force avec laquelle un objet de 100g, suspendu à une ficelle, tire sur cette ficelle (c'est en fait le poids de cet objet).

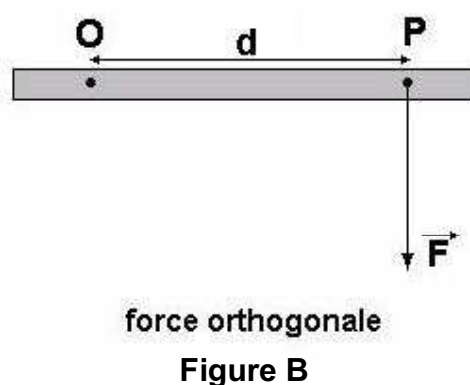
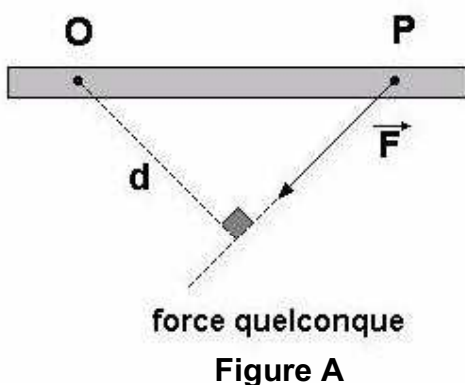


3°) Moment d'une force

Considérons une barre pouvant tourner autour d'un **axe (O)** et appliquons, en un point **P**, à la distance **d** de l'axe, une force d'intensité **F** destinée à faire pivoter la barre.

Pour rendre notre action la plus efficace possible et obtenir un pivotement plus rapide, on devra :

- appliquer la force **perpendiculairement à la barre** ;
- appliquer la force **le plus loin possible de l'axe** ;
- exercer la force **la plus intense possible**.



On définit ainsi une grandeur qui rend compte de la capacité de la force à faire pivoter la barre. On l'appelle « **moment** » (noté **M**) de cette force par rapport à l'axe, égal au produit de son intensité par la distance entre l'axe et son point d'application.

L'unité de moment est logiquement le **newton-mètre (Nm)**.

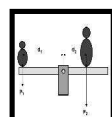
$$M = F d$$

Attention : cette définition n'est valable que si la force est orthogonale (perpendiculaire) à la barre. Si ce n'est pas le cas, la distance *d* doit être mesurée perpendiculairement entre l'axe et la droite portant la force (voir figure A).

b) Distinguer la masse du poids

1°) Masse d'un objet

La **masse** d'un objet mesure en quelque sorte la **quantité de matière qu'elle contient**, matière constituée de particules élémentaires formant les **atomes**.



L'unité utilisée est le **kilogramme (kg)**. On utilise aussi des multiples et sous-multiples comme **le gramme (g) ou la tonne (t)**.

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$$

$$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$$

2°) Poids d'un objet

Tout les corps à la surface de la Terre, ou dans son voisinage, sont attirés par la Terre du fait de phénomène de **gravitation**. La Terre exerce donc, sur tout corps, **une force dirigée vers son centre** – ce qui définit la direction verticale – et que la physique appelle le **poids** du corps.

Comme toute force, le poids se mesure en **newtons**.

Remarque : même si usuellement on parle de poids lorsqu'on se pèse (mot qui étymologiquement renvoie à la notion de poids), c'est scientifiquement inexact. On mesure sa masse en kilogrammes et non son poids en newtons.

Néanmoins ces deux notions de poids et de masse étant **proportionnelles**, cela n'a pas vraiment d'incidence.

$$P = m g$$

g est la constante de proportionnalité qui définit **l'intensité de la pesanteur terrestre**, qui est fonction de la masse de la Terre et de la distance à son centre. A la surface de la Terre, donc à une distance quasi constante de son centre, g a la valeur quasi constante de **9,81 newtons par kilogramme**.

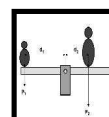
Ainsi à n'importe quel point de la surface de la Terre, un objet de masse 1 kg a un poids de 9,81 N. Bien sûr, un objet de *n* kg aura un poids de *n* fois 9,81 kg.

Exemple un objet de masse de 2 kg aura un poids de :

$$2 \times 9,81 = 19,62 \text{ N.kg}^{-1}.$$

Il suffit donc de mesurer le poids de l'objet pour connaître sa masse, et inversement. C'est la raison pour laquelle on peut graduer directement en kilogrammes le pèse-personne, qui, pourtant, réagit au poids.

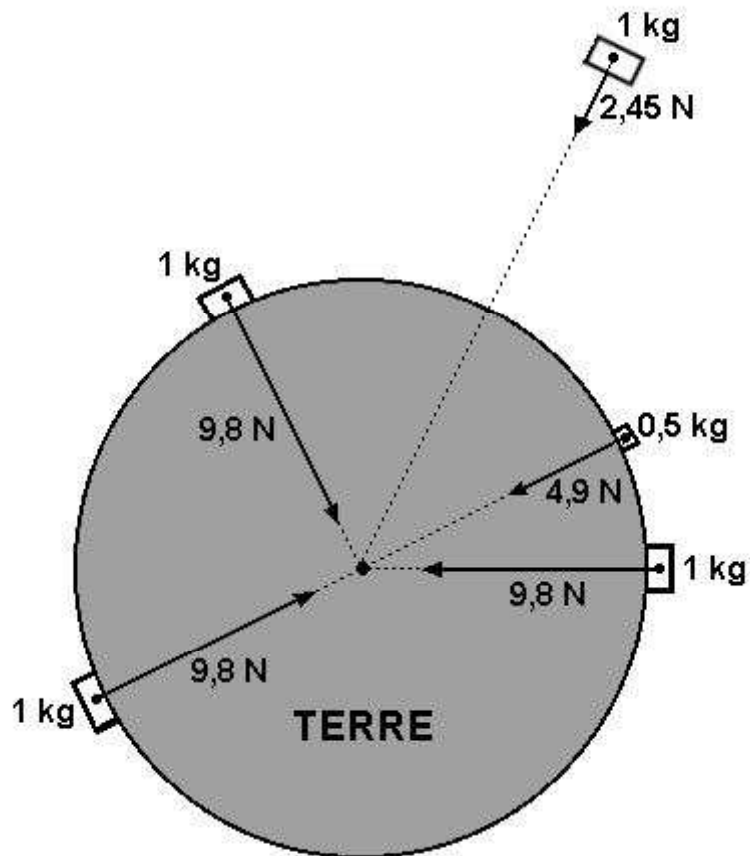
Mais si l'on s'éloigne de la Terre, la force d'attraction qu'exerce la Terre sur l'objet, donc son poids, diminue, alors que sa masse reste constante.



Par exemple si l'on double la distance de l'objet par rapport au centre de la Terre, son poids est divisé par 4.

L'objet de **1 kg** n'a plus alors qu'un poids de **2,45 N** environ (voir (A) schéma ci-dessous).

(A)

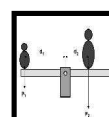


Terre et poids de plusieurs objets

II / EQUILIBRE D'UN SOLIDE MOBILE AUTOUR D'UN AXE

a) Conditions d'équilibre

Pour qu'un solide mobile autour d'un axe soit en équilibre, l'action des forces tendant à la faire tourner dans un sens doit être compensée par l'action des forces tendant à le faire tourner dans l'autre sens.



Comme ce qui définit l'action d'une force est le moment $M (= F \cdot d$ qui égal à $P \cdot d$ dans le cas d'une force orthogonale) de cette force par rapport à l'axe, la condition ci-dessus revient à dire que la somme des moments des forces tendant à faire tourner le solide dans un sens doit être égale à la somme des moments des forces tendant à le faire tourner dans l'autre sens.

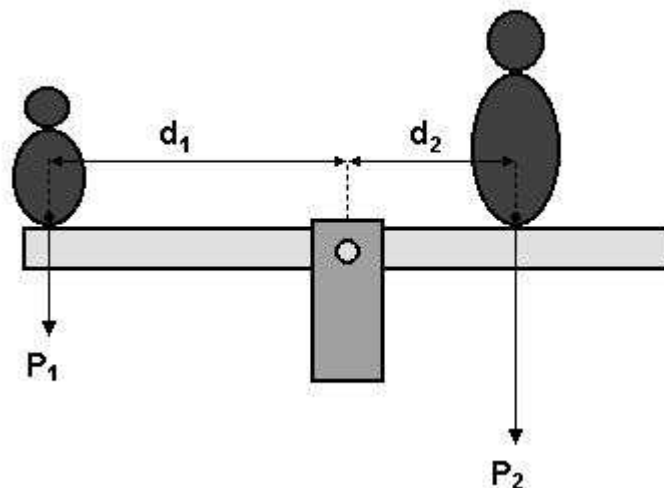
b) Objets en équilibre

Dans une balançoire, la force s'exerçant sur la barre de chaque côté de l'axe est le poids de la personne qui s'y trouve. La condition d'équilibre de la balançoire est l'égalité des moments des deux poids soit :

$$P_1 d_1 = P_2 d_2$$

et donc

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{P_1}{P_2}$$



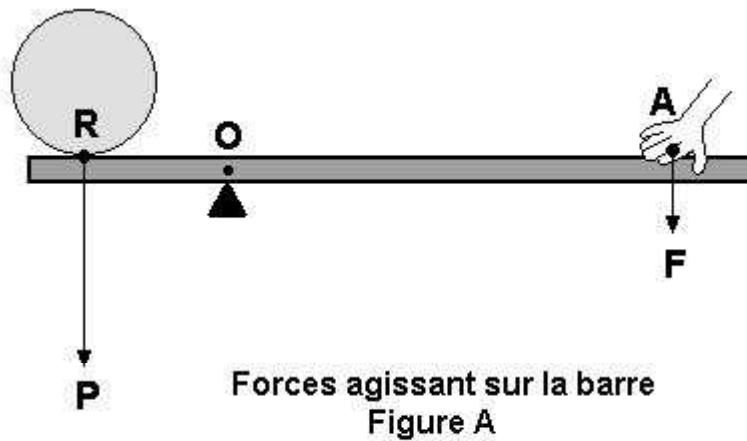
III / LES LEVIERS

a) Principe de fonctionnement

La « **barre à mine** » est un outil très ancien permettant de soulever une lourde charge. Une extrémité de la barre est positionnée **sous** la pierre, la barre étant appuyée tout près sur un support résistant (**le point d'appui**) qui ne s'enfoncera pas, on appuie vers le bas à l'autre bout de la barre et on obtient ainsi le **soulèvement** de la pierre.

La barre utilisée constitue ainsi un « **levier** », c'est-à-dire un **solide mobile autour d'un axe** (le point d'appui), que l'on fait tourner en exerçant une **force motrice** capable de vaincre une **force résistante**.





Sur la figure A, on a fait apparaître les deux forces qui agissent sur la barre et qui conditionnent donc sa rotation :

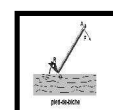
- la **force motrice F** exercée en **A** par le personnage ;
- la **force de résistance P** (égale à son poids ici) exercée en **R** par la pierre.

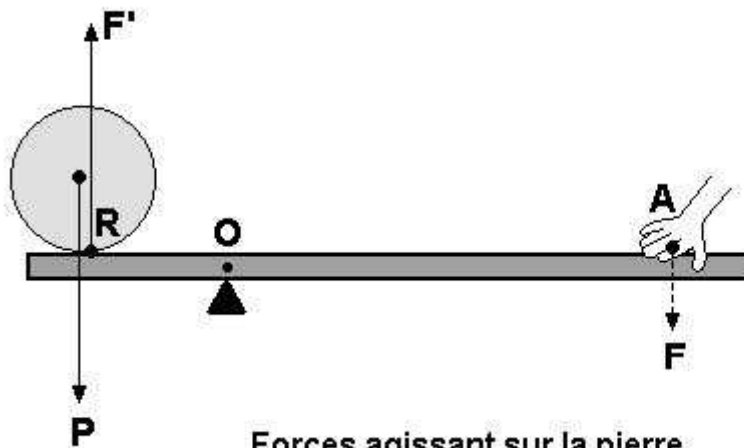
La condition pour que la force motrice fasse tourner la barre, et donc que la pierre soit soulevée, est que son moment par rapport au point **O** soit supérieur à celui de la force de résistance **P**.

$$\text{Soit : } F \times OA > P \times OR$$

Cette condition est d'autant plus facilement remplie que OA est plus grand et que OR est plus petit.

Les distances OA et OR sont appelées les bras de levier.





Forces agissant sur la pierre
Figure B

Sur la figure B, on a fait apparaître en traits pleins, les deux forces qui agissent sur la pierre :

- le poids P (appliqué au centre de gravité) qui tire vers le bas ;
- la force F' exercée par la barre vers le haut et qui, si elle est supérieure à P, va soulever la pierre ; cette force correspond en fait à la force motrice exercée en A et transmise par le levier au point de résistance. L'intensité de F' est telle que son moment est égal à celui de F.

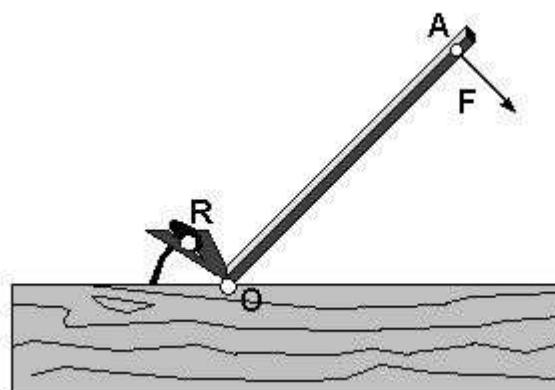
$$\text{Soit : } F' \times OR = F \times OA$$

Attention : un grand déplacement du point A se traduit par un petit déplacement du point R. Ce que l'on gagne en force, on le perd en déplacement. Ainsi, si les bras de leviers sont par exemple dans le rapport 10, on obtiendra 10 fois plus près de l'axe une force 10 fois plus grande, mais le déplacement de la pierre sera 10 fois plus petit que celui du point A.

c) Quelques exemples de leviers

1°) Le pied de biche

Il fonctionne exactement comme la barre à mine.

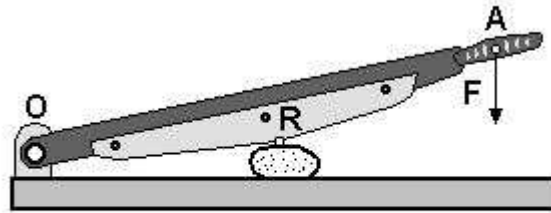


pied-de-biche

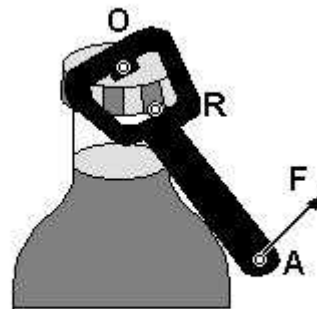


2°) Le couteau à pain ou le décapsuleur

Dans ces objets, le point de résistance R se trouve entre le point d'appui ou axe O et le point d'application de la force motrice A .



couteau à pain

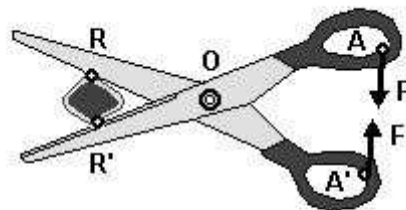


décapsuleur

3°) Exemples particuliers

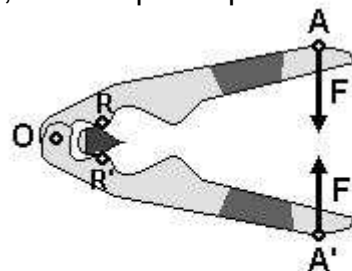
Enfin certains objets sont formés de l'association de deux leviers, comme par exemple :

- La pince ou les ciseaux, dans lesquels c'est l'axe O qui est entre A et R .



Ciseaux

- Le casse-noix, dans lequel le point de résistance est entre O et A .



Casse-noix



IV / LES BALANCES

Une balance sert à mesurer la masse d'un objet. Comme cette grandeur n'est pas directement accessible, c'est toujours le poids de l'objet à peser qui agit dans une balance (*cf plus haut*).

On utilise ensuite la **proportionnalité entre poids et masse** pour déterminer cette dernière.

On peut classer les différents types de balances en deux grandes catégories :

- les « **vraies balances** », qui indiquent la masse d'un objet par comparaison avec une masse de référence. Celles-ci seraient utilisables et donneraient le même résultat, en n'importe quel lieu, où s'exerce une pesanteur (Terre, Lune...). C'est le cas de la **balance à deux plateaux et de la balance romaine**.
- Les « **fausses balances** », qui ne mesurent en fait que le poids de l'objet (la force qui le tire vers le bas). C'est le cas **des pèse-personnes** et autres **balances de ménage** qui réagissent à la force exercée sur le plateau, donc au poids de l'objet. Elles sont fondées sur le rapport de proportionnalité entre masse et poids mais ne sont valables que sur Terre.

a) Les balances à deux plateaux

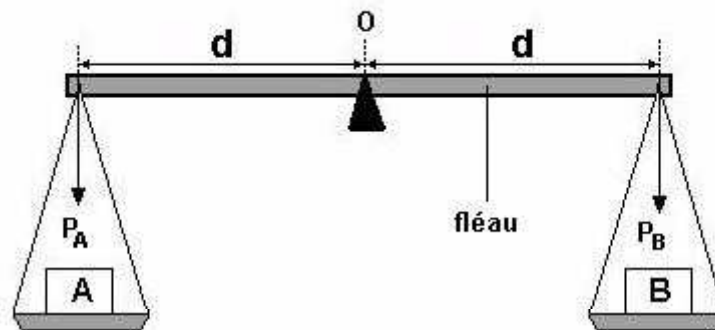


Schéma de la balance à deux plateaux

Le fonctionnement d'une balance à deux plateaux repose sur l'équilibre d'une barre appelée **fléau, mobile autour d'un axe et symétrique** (autant que possible) par rapport à cet axe. Les deux plateaux identiques, accrochés aux extrémités du fléau, sont donc accrochés à égale distance (notée **d** sur le schéma) de l'axe.

A vide, le fléau est en équilibre et donc horizontal.

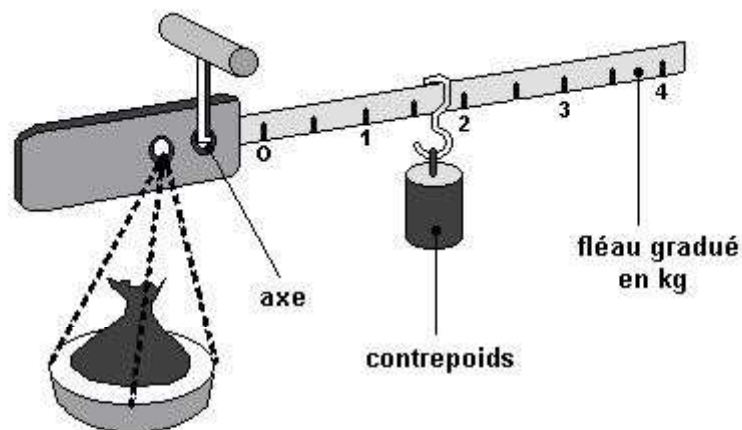


Deux objets (**A et B**) étant placés dans les plateaux, chaque extrémité du fléau est tirée vers les bas par le poids (**P_A et P_B**) de l'objet. Pour que le fléau reste en équilibre, les **moments** des poids par rapport à l'axe doivent être égaux puisqu'ils agissent à égale distance de l'axe. Pour peser un objet, on réalise l'équilibre en plaçant dans l'autre des masses marquées.

Remarque : l'égalité des masses n'est rigoureusement vraie que si la balance est parfaitement juste, ce qui nécessite que les deux bras du fléau soient rigoureusement égaux.

La balance à deux plateaux la plus connue est la **balance Roberval**, du nom de son inventeur en 1670. Elle fonctionne exactement sur le même principe mais possède un **double fléau articulé** sur deux tiges portant les plateaux, le tout formant un **parallélogramme déformable**. Les tiges restent ainsi verticales durant le balancement des fléaux, et les plateaux horizontaux. Le fait que tout le mécanisme soit sous les plateaux rend son utilisation très aisée.

b) *La balance romaine*



Balance romaine

Employée depuis l'Antiquité, cette balance permet de déterminer la masse d'un objet en **déplaçant un contrepoids sur une tige graduée**, partie intégrante d'un fléau mobile autour d'un axe.



Le plateau étant vide, le contrepoids doit occuper une certaine position notée **O**, pour que le fléau soit en équilibre. Lorsqu'on place un objet sur le plateau, son poids (ou plutôt le moment de son poids par rapport à l'axe) tend à faire descendre le fléau de son côté.

Pour rétablir l'équilibre, il faut éloigner le contrepoids de l'axe afin d'augmenter le moment de son poids par rapport à l'axe, et compenser ainsi l'action de l'objet à peser.

La proportionnalité entre poids et masse permet de graduer directement la tige en kilogrammes, par exemple en plaçant des masses marquées dans le plateau.

La graduation obtenue est linéaire, donc à intervalles égaux.



LE MONDE CONSTRUIT PAR L'HOMME

L'élève s'initie, dans le cadre d'une réalisation, à la recherche de solutions techniques, au choix et à l'utilisation raisonnée d'objets et de matériaux : leviers et balances ; équilibres.

Mots clés :

Force, direction, sens, action, intensité, point d'application, vecteur, proportionnalité, newton, kilogramme, newton-mètre, 9,81 newtons par kilogramme, axe, moment, $P = m g$, équilibre, barre à mine, point d'appui, soulèvement, levier, force motrice, force résistante, bras de levier, pied-de-biche, couteau à pain, décapsuleur, ciseaux, casse-noix, balance à deux plateaux, balance romaine, balance Roberval.

