

Leviers - Balances - Equilibres

1 Notions d'équilibres

En mécanique, l'équilibre est état dans lequel la somme des forces et la somme des couples subis par chaque particule d'une pièce mécanique (système) sont nulles.

1.2 Masse et poids d'un corps

1.3.1 La masse

Masse d'un corps : la **masse** m d'un corps représente la **quantité de matière** qui le constitue.

L'attraction terrestre s'exerçant sur cette masse m peut varier mais m ne change pas pour autant.

La masse est donc une caractéristique du corps.

Elle s'exprime en **kilogramme** (kg).

1.3.2 Le poids

Poids d'un corps : à la surface de la terre le poids P d'un corps représente l'effet de l'attraction terrestre sur celui-ci.

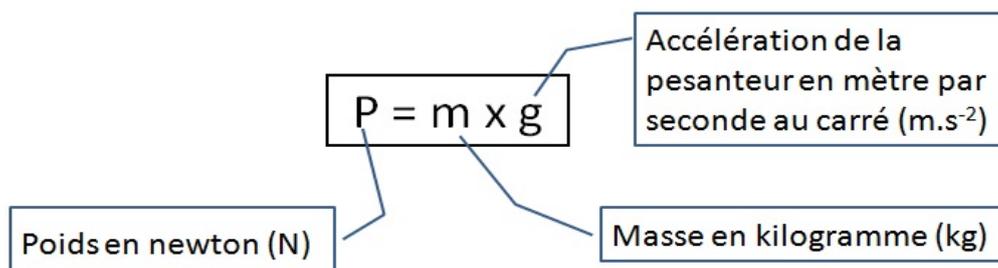
Le poids est une force, il s'exprime en **newton** (N) :

- Son **point d'application** est le centre de gravité du corps.
- Sa **direction** est la verticale du lieu où se trouve le corps.
- Son **sens** est celui d'une force dirigée vers le centre de la terre.
- Son **intensité** dépend du lieu où se trouve le corps

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

En un lieu déterminé le poids d'un corps est proportionnel à sa masse, il est numériquement égal au produit de deux grandeurs :

- La masse du corps (elle est indépendante du lieu où se trouve l'objet) ;
- L'accélération de la pesanteur, variable avec le lieu.



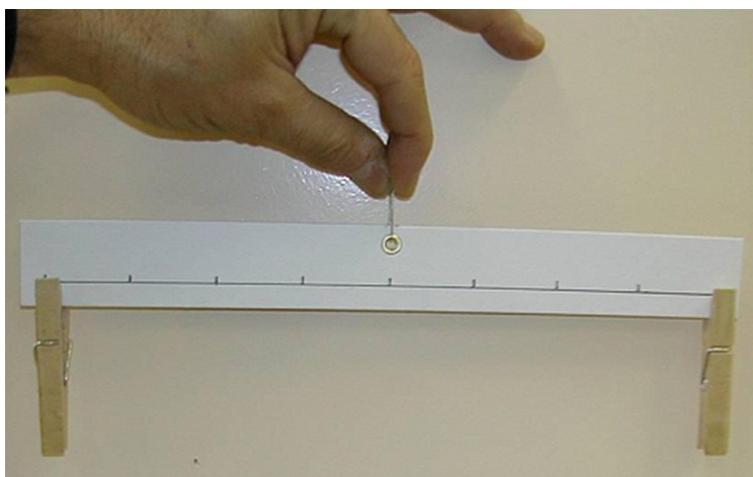
Pratiquement, en France, pour les calculs la valeur de g peut être égale à $9,81 \text{ m/s}^2$, on prendra même,

pour des calculs approximatifs la valeur de 10 m.s^{-2} .

Quelques valeurs de l'intensité de la pesanteur :

- Poles : $9,832 \text{ m.s}^{-2}$
- Paris : $9,809 \text{ m.s}^{-2}$
- Moscou : $9,815 \text{ m.s}^{-2}$
- New York : $9,804 \text{ m.s}^{-2}$
- Mont Everest : $9,773 \text{ m.s}^{-2}$
- Lune : $1,62 \text{ m.s}^{-2}$

1.3 la balance pédagogique



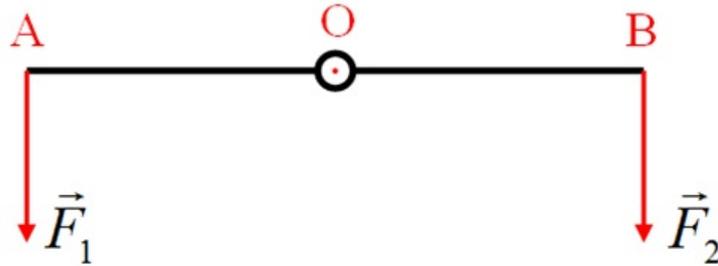
La "balance pédagogique" est un solide en rotation autour d'un axe, à vide (sans les pinces), il est en position d'équilibre horizontal.

Si l'on a deux pinces à linge, nous constatons que cette balance est en équilibre quand une pince à linge est placée de chaque côté de cet axe et à égale distance de l'axe.

Un objet qui peut tourner autour d'un axe fixe peut rester en équilibre, s'il est soumis à des forces dont les effets se compensent.

Schématisation de la balance

Les deux pinces à linge sont supposées de masses égales. Une pince à linge exerce d'un côté du fléau une force, l'autre pince exerce de l'autre côté une force égale.



- L'effet provoqué par \vec{F}_1 et le bras de levier OA tend à faire tourner le fléau dans le sens contraire des aiguilles d'une montre,
- L'effet de \vec{F}_2 tend à faire tourner ce fléau dans le sens des aiguilles d'une montre.

Ces deux effets se compensent, le fléau est en équilibre.

Le produit de l'intensité de la force \vec{F}_1 par le bras de levier OA est appelé **moment** de la force \vec{F}_1 .

1.1 Caractéristiques d'une force

Une force est une grandeur vectorielle caractérisée par :

Une intensité. U n e d i r e c t i o n ,
U n s e n s ,

Elle est notée \vec{F} , l'unité de force est le Newton : N

Newton : force qui communique à une masse de 1 kg une accélération de 1 mètre par seconde au carré ($m \cdot s^{-2}$ ou m/s^2), On la mesure avec un dynamomètre.

Une **force** désigne une action mécanique capable d'imposer une accélération (en physique, l'interaction entre deux objets ou systèmes), ce qui induit un déplacement ou une déformation de l'objet

1.4 Le moment d'une force

Expression générale du moment d'une force

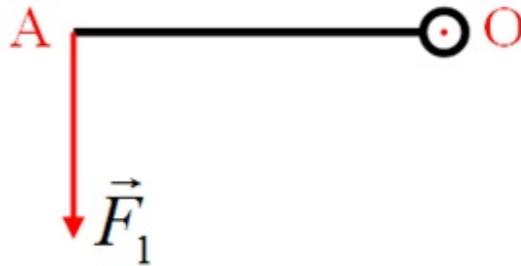
$$\vec{M}_{\vec{F}/A/O} = \vec{OA} \wedge \vec{F} \quad (\text{Produit vectoriel})$$

D'où la norme

$$\|\vec{M}_{\vec{F}/A/O}\| = \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{OA}\|$$

Dans le cas particulier où le fléau est horizontal, où les lignes de force sont perpendiculaires au fléau et situées dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation alors l'écriture du moment d'une force est simplifiée et on a :

Expression simplifiée



On appelle moment d'une force M le produit de l'intensité de la force par son bras de levier.

$$\underset{\substack{\uparrow \\ \text{N.m}}}{M} \underset{\substack{\rightarrow \\ F_1/O}}{F_1/O} = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{N}}}{F_1} \times \underset{\substack{\swarrow \\ \text{m}}}{OA}$$

Le **moment** d'une force est l'aptitude d'une force à faire tourner un système mécanique autour d'un point donné.

Pour tous les systèmes techniques étudiés dans ce cours nous les utiliserons dans une position telle que l'on pourra utiliser la formule précédente (cas particulier où le fléau est horizontal où les lignes de force sont perpendiculaires au fléau et situées dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation).

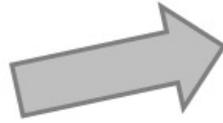
1.5 Les dynamomètres

Les dynamomètres permettent de mesurer l'intensités de forces. Ils devraient être gradués en newton (N).

Leur fonctionnement est basé sur une déformation mécanique (élastique) d'une pièce, par exemple le ressort du peson à ressort.

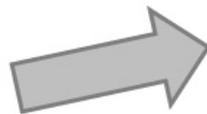
1.5.1 Le peson à ressort





Source : le Compendium/Albert Balasse

1.5.2 Le dynamomètre à lame d'acier en V



Source : le Compendium/Albert Balasse



1.5.3 Le dynamomètre à lame d'acier en C



Source : le Compendium/Albert Balasse

1.5.4 Le dynamomètre électronique



1.5.5 Le dynamomètre à colonne



2 Les Balances

Les balances sont apparues par nécessité lors des premiers échanges de denrées ou de marchandises. On a trouvé dans des écrits datant de -2800 les premières représentations d'une balance à fléau à deux plateaux, que l'on soulève à la main pour faire les pesées.



Les balances sont des instruments qui comparent des masses

(Mesure de masse par comparaison)

On peut classer les balances utilisant le principe du levier en deux types :

- Les **balances à bras égaux**.
- Les **balances à bras inégaux**.

2.1 Les balances à bras de fleau égaux

Les **balances à bras égaux** : l'équilibre est obtenu en ajustant les masses.

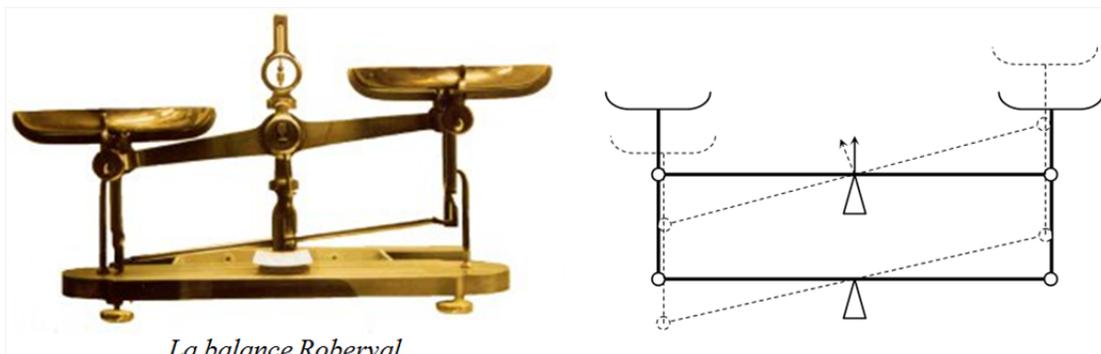


2.1.1 La balance de Roberval

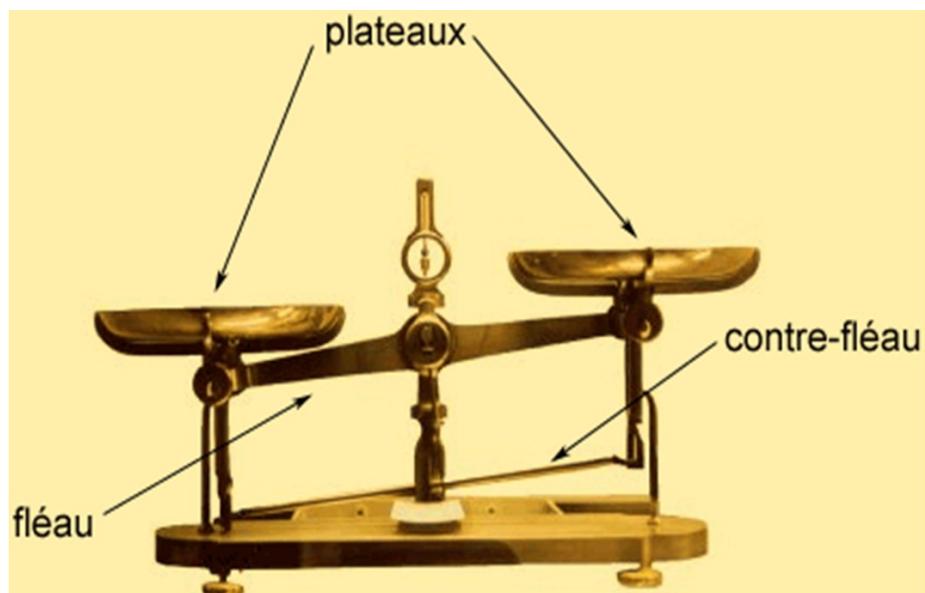
La balance **Roberval** est une balance à bras égaux qui comporte deux fléaux. *Gilles Personne de Roberval** (1602-1675) a appliqué le **principe du parallélogramme déformable** pour obtenir une position des plateaux toujours horizontale afin de faciliter les pesées. Une aiguille fixée sur le fléau supérieur indique la parfaite horizontalité des plateaux et facilite aussi la lecture.

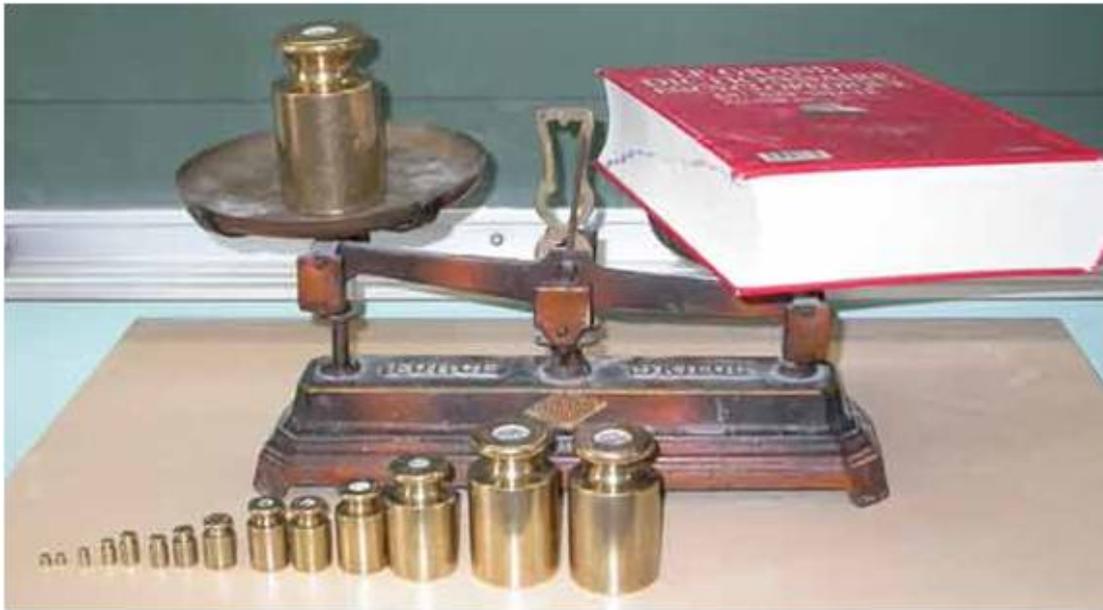
C'est une balance relativement précise, la précision est de l'ordre du gramme.

On utilise des masses marquées pour réaliser l'équilibre. La somme de ces masses marquées donne la masse de l'objet pesé.



La balance Roberval.





** Roberval est une ville au nord de Paris entre Senlis et Compiègne.*

2.1.2 La balance à plateaux suspendus

Le **trébuchet** est un type particulier de balance à plateaux suspendus.

C'est une balance de précision, utilisée pour peser de faibles quantités de substances et également pour peser les pièces de monnaies.

Il est toujours utilisé pour la pesée de matières précieuses en orfèvrerie, de pierres précieuses en joaillerie et des constituants pour l'allopathie.



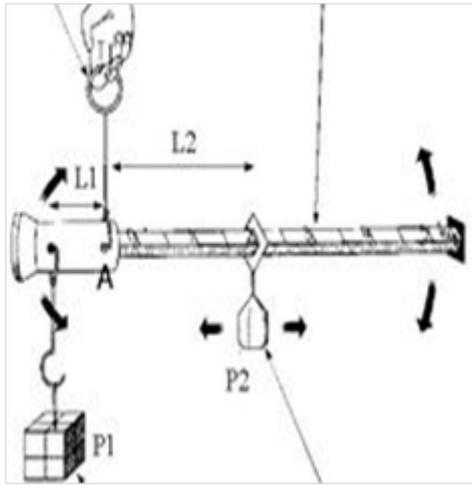
L'expression "des pièces sonnantes et trébuchantes" trouve son origine dans le nom de cet objet technique.

2.2 Les balances à bras inégaux

Avec les **balances à bras inégaux**, l'équilibre est obtenu en faisant varier le bras de levier (longueur) d'un côté.

La plus connue de ces balances est la balance romaine.

Dans l'exemple, le fléau est mobile en rotation autour du point A. L'objet à peser (P_1) exerce une force avec un bras de levier (L_1) d'un côté du fléau. L'équilibre est obtenu en déplaçant le contrepoids (P_2) de l'autre côté du fléau. Cette partie est graduée et indique la masse de l'objet. Lorsque le fléau est horizontal, balance en équilibre, l'effet de la force $P_1 \times L_1$ est compensé par $P_2 \times L_2$.



$$P_1 \times L_1 = P_2 \times L_2$$

2.2.1 La balance romaine à crochet

La présence de deux anneaux indique que l'instrument permet des mesures selon deux échelles de mesure différentes.



Exemple :

Pour des mesures de 0 à 5 kg avec la position où l'anneau est le plus éloigné du crochet par exemple. De 5 à 25 kg pour l'autre position (position la plus près du crochet). L'étendue de mesure de l'instrument sera alors de 0 à 25 kg.

2.2.2 La balance romaine à coupe





Balance romaine de maraîcher
Portées : de 0 à 3 kg et de 3 à 15 kg
Longueur du fléau : 30 cm
Hauteur totale : 60 cm
Diamètre du plateau : 30 cm

Source : le Compendium/Albert Balasse

2.2.3 Le pèse lettre



Pèse-lettre gradué de 0 à 100 g
Hauteur totale au repos : 15 cm
Fabriqué par Narcisse Briais

Source : le Compendium/Albert Balasse

2.2.4 Le pèse bébé



L'équilibre de cette balance est réalisée grâce aux déplacements de deux masses coulissantes. Il suffit ensuite d'additionner les valeurs indiquées par la position des deux masses mobiles pour connaître la valeur de la masse pesée.

3 Les leviers

On peut représenter un levier par une tige mobile autour d'un axe (pivot) ou d'un appui, qui est soumise à deux forces : la force motrice \vec{F}_m et la force résistante \vec{F}_r .



Aristote (384-322 av JC) donne une théorie de la balance et des leviers et énonce clairement le théorème des moments en ces termes : "*Le rapport de la force motrice à la force résistante est en raison de l'inverse des bras du levier*".

$$\frac{F_m}{F_r} = \frac{L_r}{L_m}$$

Dans un mémoire d'**Archimède** (287-212 av JC) on trouve l'énoncé de la loi des leviers :

- "*des poids qui s'équilibrent à des distances égales sont égaux*"
- "*des poids inégaux s'équilibreront à des distances inégales, le plus grand sera situé à la plus petite distance*".

$$F_m \times L_m = F_r \times L_r$$

3.1 La classification des leviers

Dans un levier on retrouve toujours trois éléments :

- l'axe de rotation ou l'appui,
- la force motrice \vec{F}_m .
- la force résistante \vec{F}_r .

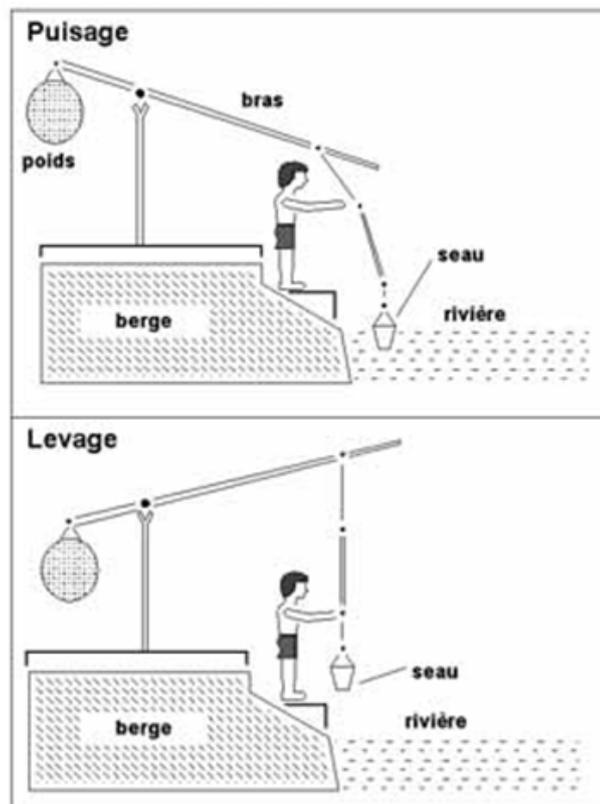
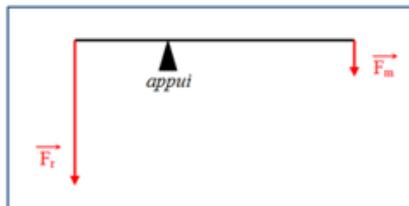
C'est en recherchant ces trois éléments que l'on peut caractériser les leviers utilisés dans les objets. On **peut** classer les leviers en trois genres en fonction de celui qui se trouve au centre.

3.2 les leviers inter-appuis

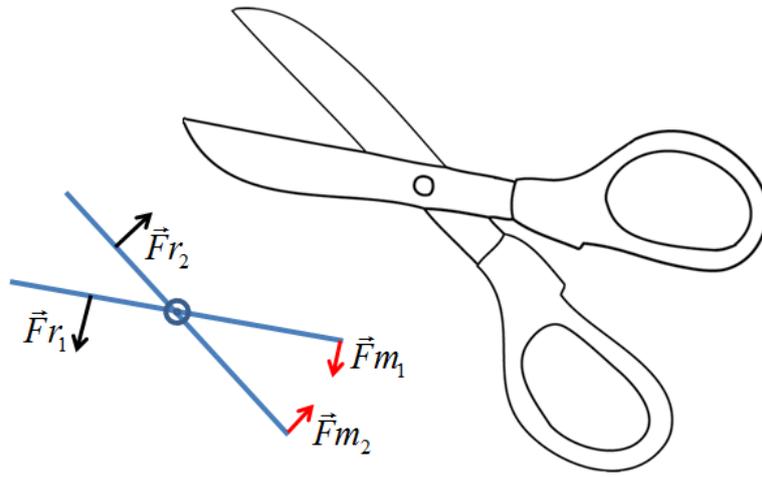
Le levier inter-appui est un levier dont l'appui est situé entre les deux forces.



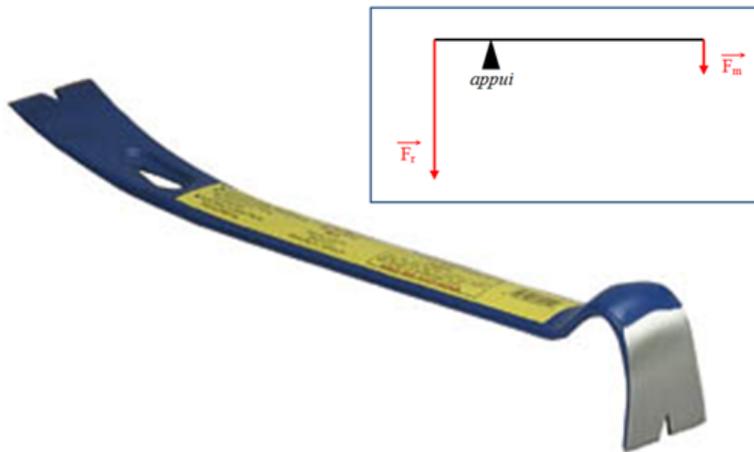
3.2.1 Le chadouf égyptien



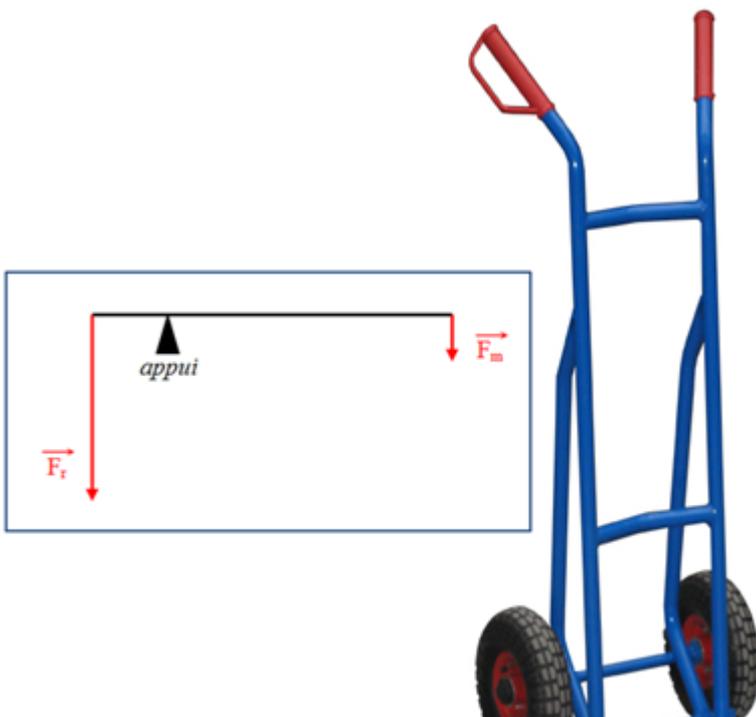
3.2.2 Les ciseaux



3.2.3 Le pied de biche



3.2.4 Le diable





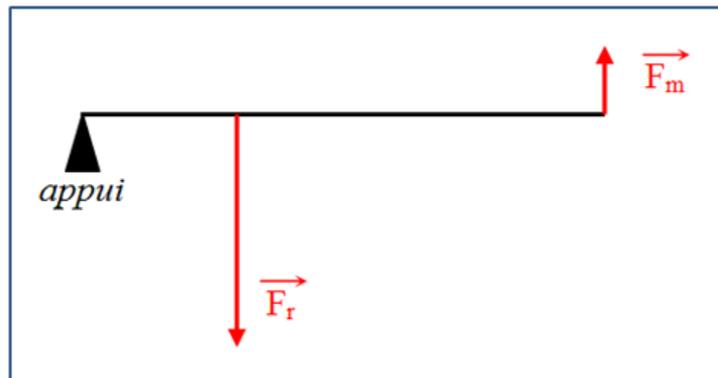
La force motrice est appliquée au niveau des poignées.

La force résistante est appliquée au niveau de la plaque (au bas du diable).

L'appui se situe au niveau de l'axe de rotation des roues.

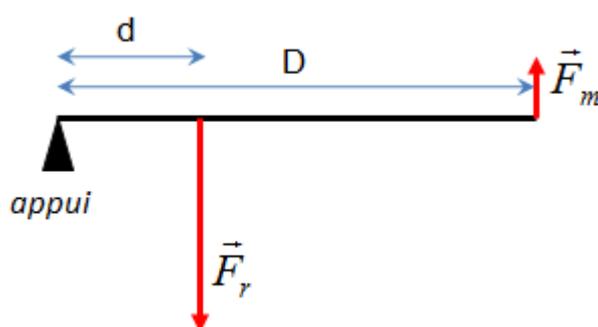
3.3 Les leviers inter-résistants

Dans le levier inter-résistant c'est la force résistante qui est située entre l'appui et la force motrice.



Dans le cas du levier inter-résistant l'intensité de la force résistante est toujours supérieure à l'intensité de la force motrice.

3.3.1 La brouette



$$d \times F_r = D \times F_m$$

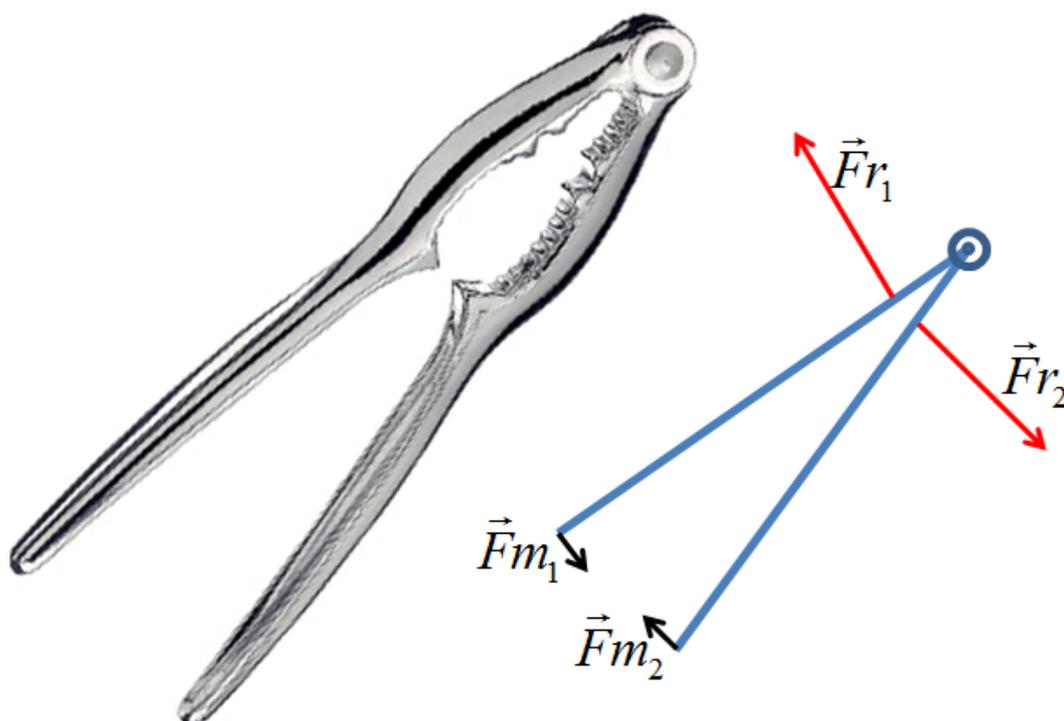
$$F_m = \frac{d}{D} \times F_r$$

En pratique le rapport des distance (d/D) est d'environ 1/4.

Pour optimiser l'utilisation de la brouette on peut jouer sur la position de la charge que l'on cherchera à rapprocher de l'appui (diminution de d) afin de réduire le moment créé par la charge. La force à exercer pour lever la brouette par l'utilisateur peut être diminuée mais la position de la charge ne modifiera pas la masse globale (charge + brouette) qu'il faudra tout de même pousser.

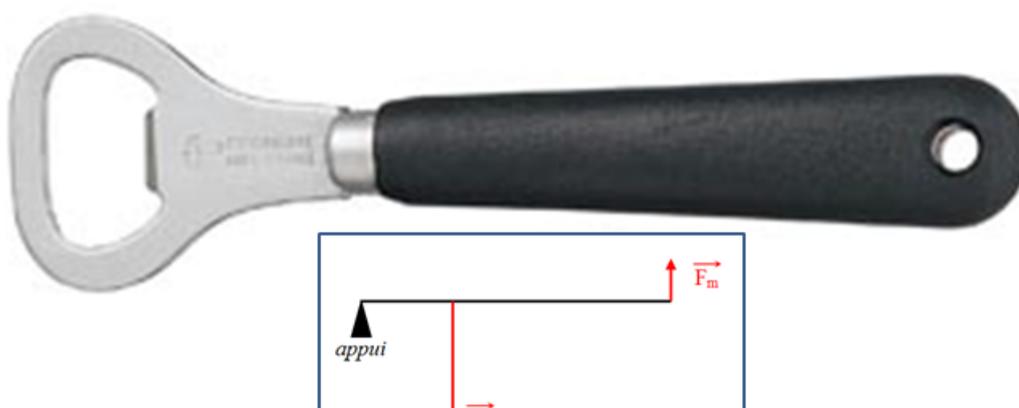
On peut aussi, bien évidemment, jouer directement sur la valeur de la masse en la limitant mais, il faudra faire plus de voyages.

3.3.2 Le casse-noix



Pour le casse-noix, il est possible de modifier la position de la noix à casser. Plus la coque de la noix est dure plus il faudra rapprocher la noix de l'appui (ce qui permet d'augmenter l'effet de levier). A l'inverse, il faut veiller à ne pas "exploser" une noix en la mettant trop proche de l'appui, position pour laquelle l'utilisateur ne ressent pas de résistance.

3.3.3 Le décapsuleur

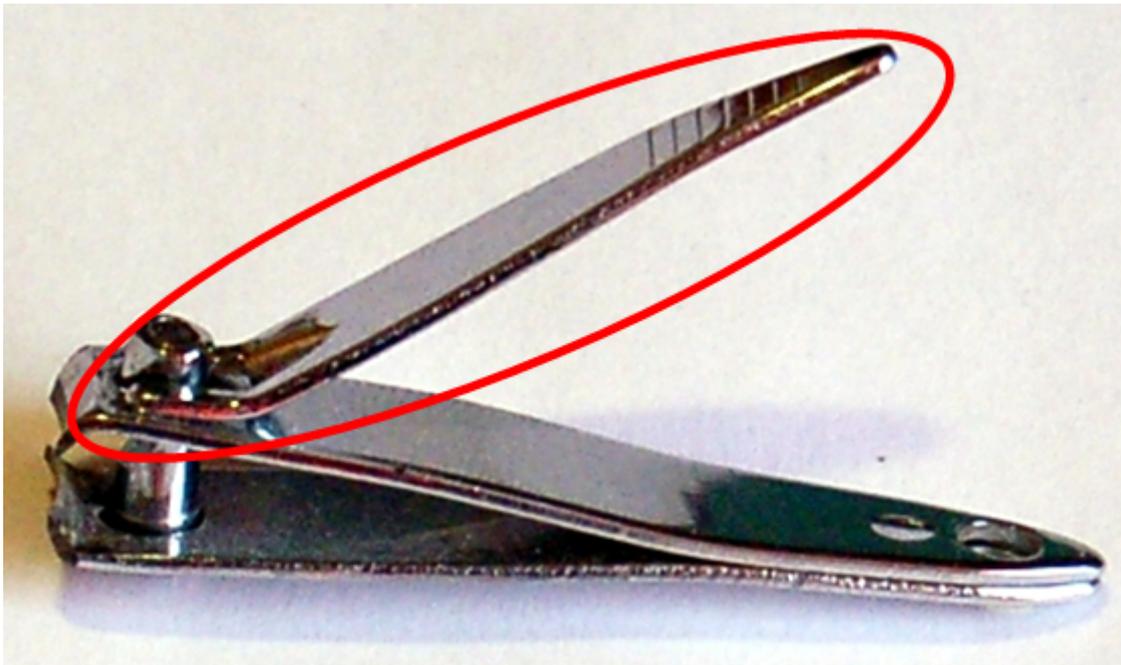




Ce décapsuleur est un levier inter-résistant. On le reconnaît à sa forme, plus particulièrement à la partie qui « accroche » la capsule et qui se trouve entre la partie en appui sur la capsule et la partie où est positionnée la main.

3.3.4 Le coupe-angle

Dans ce chapitre nous observerons le levier de manuvre du coupe-angle.

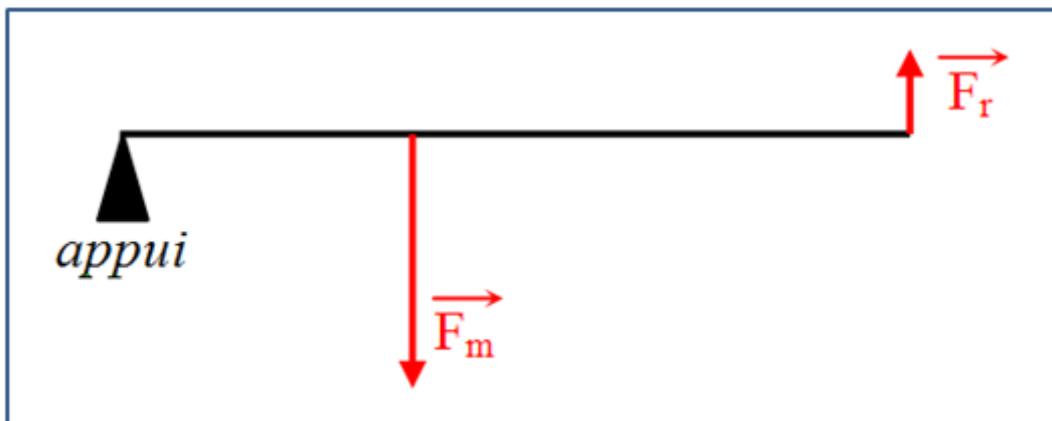


La difficulté pour ce levier est de "choisir" l'appui". On prendra comme appui la partie fixe (l'avant du levier). L'appui est donc à gauche sur cette image et la force est appliquée par les doigts de l'utilisateur sur la droite du levier. Le point d'application de la force résistante est donc entre l'appui et la force motrice.

On peut remarquer que dans cet objet technique la position du point d'application de la force résistante se déplace pendant l'utilisation du levier.

3.4 Les leviers Inter-moteurs

Dans ce genre de levier c'est la force motrice qui se situe entre l'appui et la force résistante.



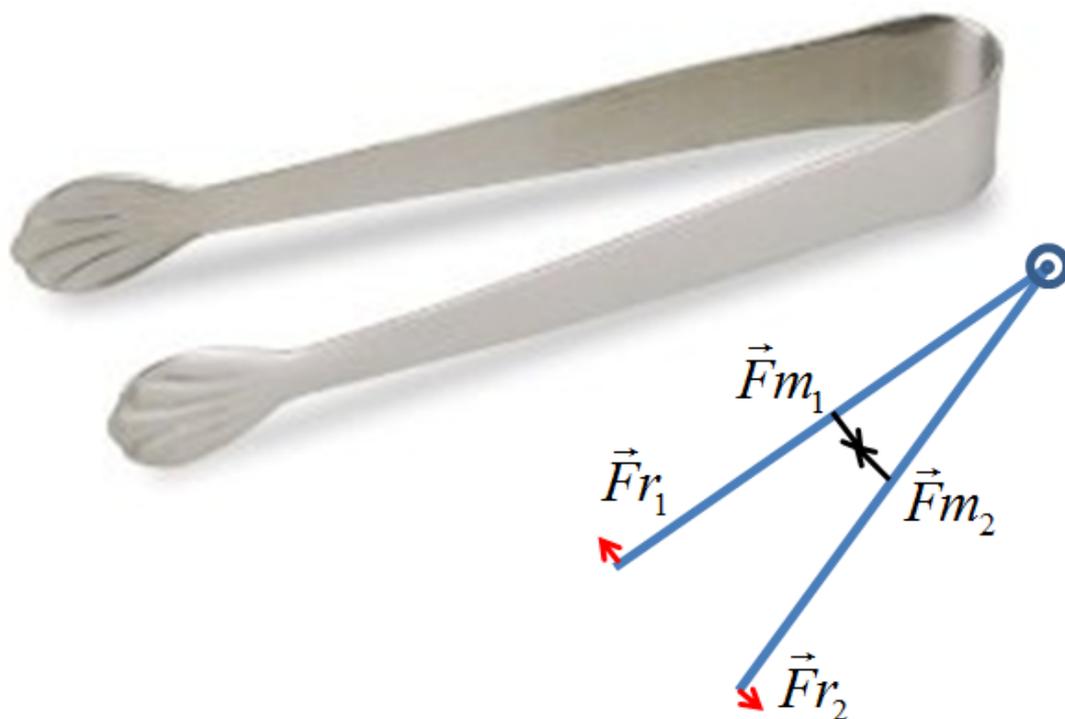
Le levier inter-moteur est un levier particulier, car il ne présente pas d'avantage au niveau de la force

motrice, au contraire même, cette force doit être toujours supérieure à la force résistante.

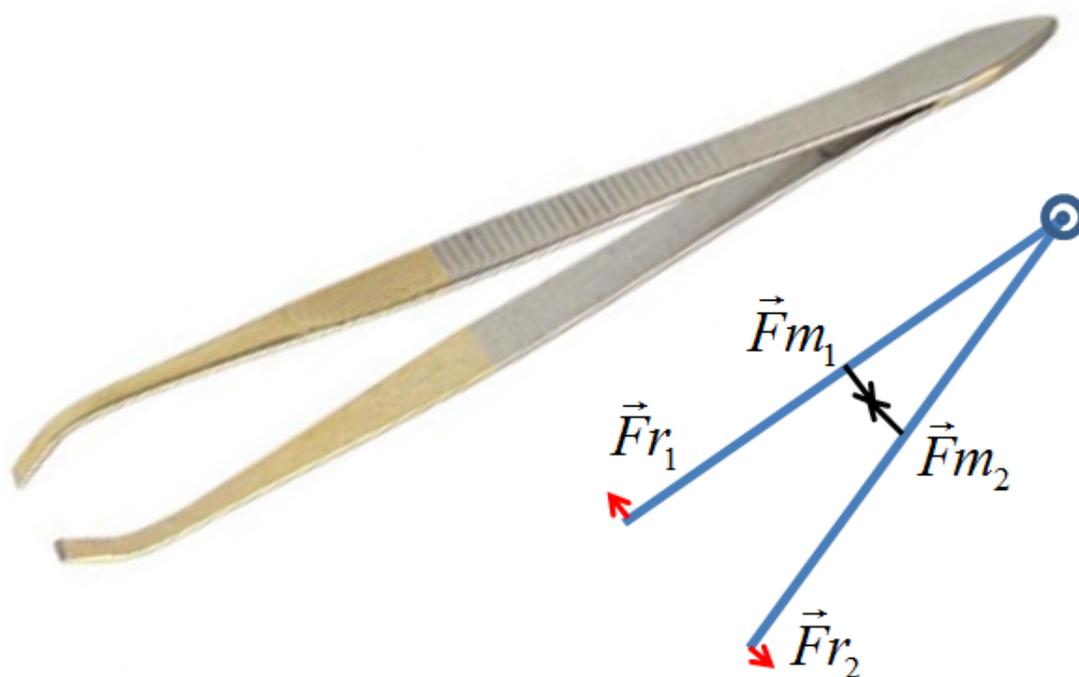
On va l'utiliser justement dans les cas où la force doit être faible, plus faible que la pression des doigts, c'est-à-dire dans le cas des travaux délicats comme avec une pince à épiler par exemple.

On retrouve aussi ce type de levier dans les objets de type pince à sucre, pince brucelles, où il est nécessaire de prolonger l'action des doigts.

3.4.1 La pince à sucre

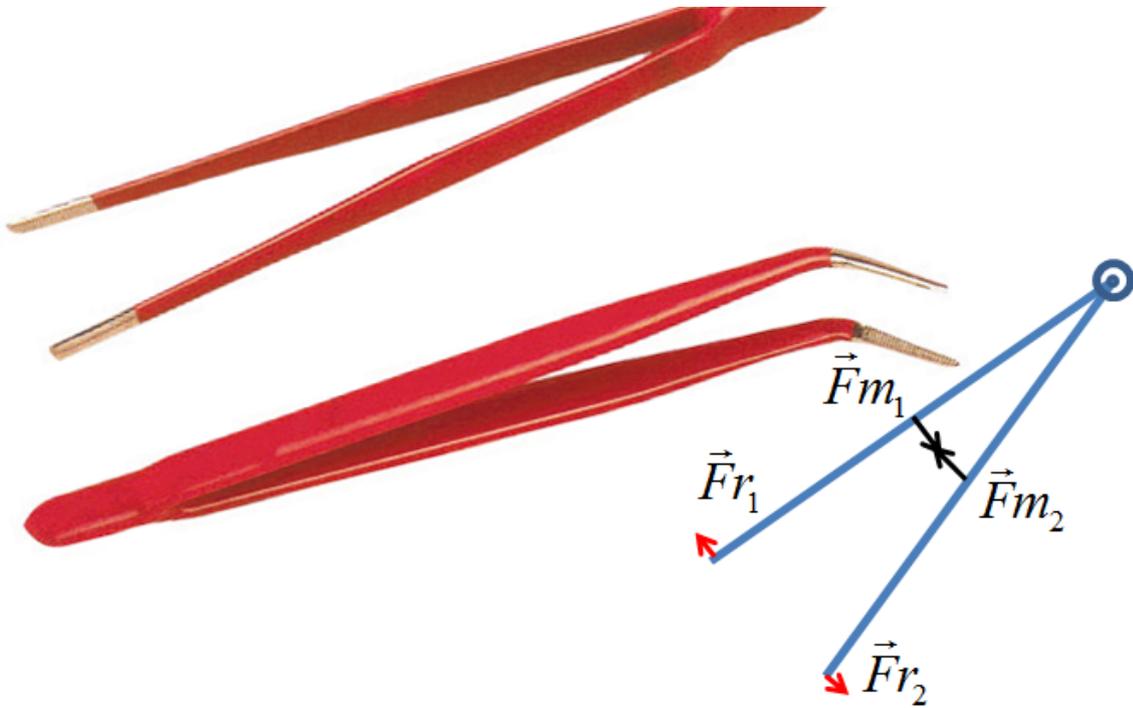


3.4.2 La pince à épiler

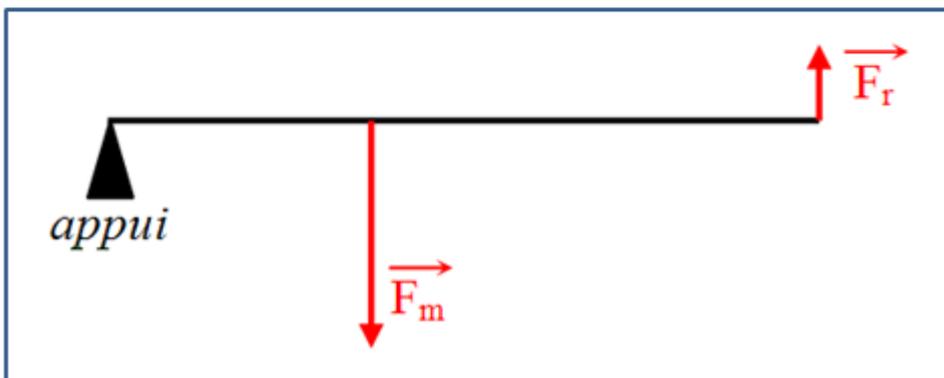
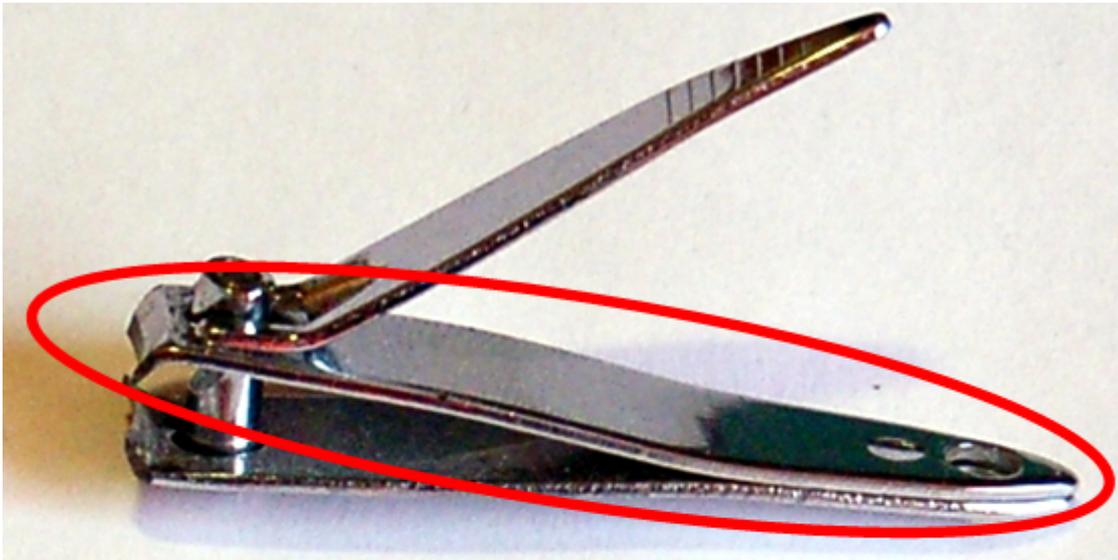


3.4.3 La pince brucelle





3.4.4 Le coupe-angle



Lors de l'utilisation du coupe-angle la force résistante vient dans un premier temps de la déformation du levier. On peut alors situer le point d'application de la force résistante entre l'appui et le point d'application de la force motrice (et on est en présence d'un levier inter-résistant), mais lorsque l'on coupe l'angle le point d'application de la force résistante se déplace et c'est alors le point d'application de la force motrice qui se retrouve au centre (levier inter-moteur).

3.5 Conclusion

La classification des leviers n'est pas toujours simple. Le plus important est de savoir quel est le rapport de la force résistante à la force motrice.

Dans un objet technique le plus simple est de repérer l'appui, c'est en général un axe de rotation. La position du point d'application de la force motrice peut se trouver en observant l'ergonomie de l'objet afin de repérer l'endroit où l'utilisateur doit positionner sa (ses) main(s).

4 Quelques questions

Quand peut-on dire qu'un objet tournant autour d'un axe est en équilibre ?

Un système mécanique est en équilibre (dans un référentiel galiléen,) si l'effet des efforts extérieurs qui s'appliquent sur lui est nul (somme des forces extérieures nulle et somme des moments extérieurs nulle).

Qu'est-ce que le moment d'une force ?

Le moment d'une force est l'aptitude d'une force à faire tourner un système mécanique autour d'un point donné.

Quelle l'unité de force ? Quel est son symbole ?

L'unité de la force est le newton dont le symbole est "N".

Quelle est la fonction d'une balance ?

Une balance permet de mesurer des masses par comparaison.

Quelle l'unité de masse ? Son symbole ?

Une masse se mesure en kilogramme dont le symbole est "kg".

Expliquer la différence entre poids et masse.

La masse représente une quantité de matière. Le poids représente l'attraction (de la Terre par exemple) qui est faite sur cette masse.

Dans la formule $P = m.g$, que veut dire g ?

"g" représente l'accélération de la pesanteur.

Avec quel instrument se mesure une force ?

Une force se mesure avec un dynamomètre. Un peson à ressort est un dynamomètre.

Sur quel principe est basé le fonctionnement de la balance dite "balance romaine" ?

Le principe de fonctionnement de la balance romaine est basé sur le fonctionnement du levier inter-appui.

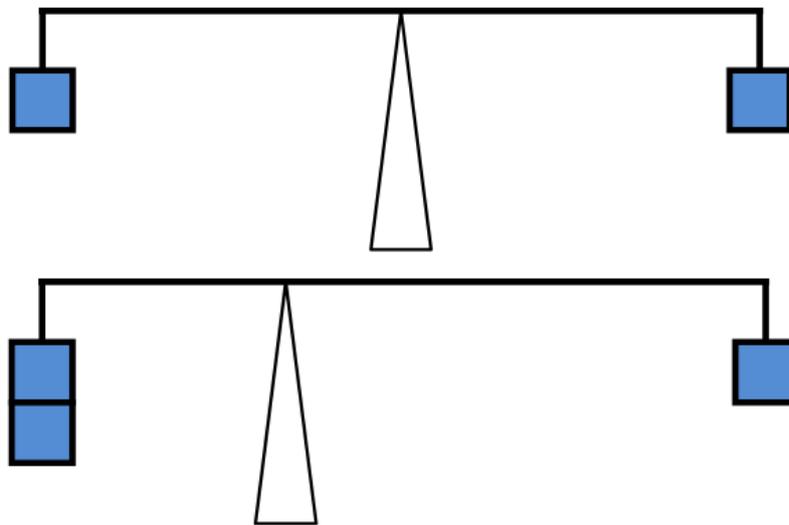
Quelles sont les principales caractéristiques de la balance Roberval ?

Une balance de Roberval est une balance à bras égaux dont la structure comprend un parallélogramme déformable.

Dans un mémoire d'Archimède on trouve l'énoncé de la loi des leviers :

- "des poids qui s'équilibrent à des distances égales sont égaux"
- "des poids inégaux s'équilibreront à des distances inégales, le plus grand sera situé à la plus petite distance".

Faire un dessin expliquant chacune de ces phrases.



Citer les trois genres, les trois types de levier ?

Levier inter-appui, levier inter-résistant et levier inter-moteur.

Citer deux objets qui utilisent le principe du levier inter-résistant, inter-appui, inter-moteur.

Une brouette, un casse-noix.

Quelle est la particularité du levier inter-moteur ?

Dans un levier inter-moteur l'intensité de la force motrice est toujours plus grande que l'intensité de la force résistante.

5 Formulaire

Relation poids/masse : $P = m \times g$

$$P = m \times g$$

avec :

P : poids en newton (N),

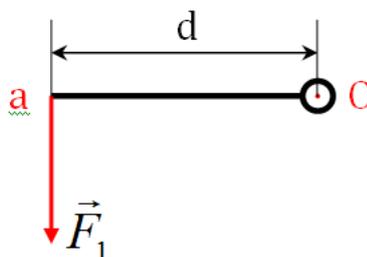
m : masse en kilogramme (kg),

g : accélération de la pesanteur en mètre par seconde au carré (m/s²)

sur la Terre, $g = 10 \text{ m/s}^2$

Moment d'une force par rapport à un point (avec $\vec{F}_1 \perp \vec{Oa}$)

$$M_{\vec{F}_1/O} = F_1 \times d$$



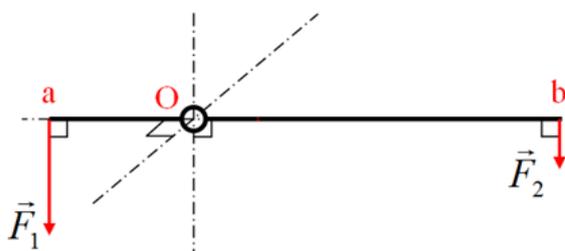
avec :

$M_{\vec{F}_1/O}$: moment de la force \vec{F}_1 par rapport à O en newton mètre (N.m),

F_1 : force en newton (N),

d : distance en mètre (m),

Levier à l'équilibre :



$$M_{\vec{F}_1/O} = M_{\vec{F}_2/O}$$

soit

$$F_1 \times Oa = F_2 \times Ob$$

avec :

$M_{\vec{F}_1/O}$: moment de la force \vec{F}_1 par rapport à O en newton mètre (N.m),

F_1 et F_2 : force en newton (N),

Oa et Ob : distance en mètre (m),