

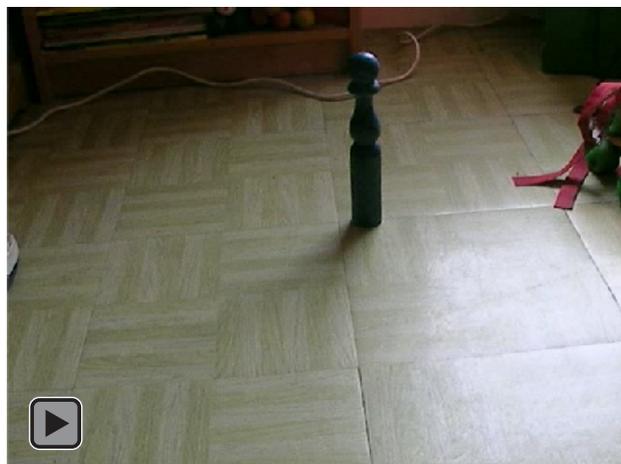
LEVIERS BALANCES

I- LES FORCES

Pierre BOUTELOUP

1- La masse

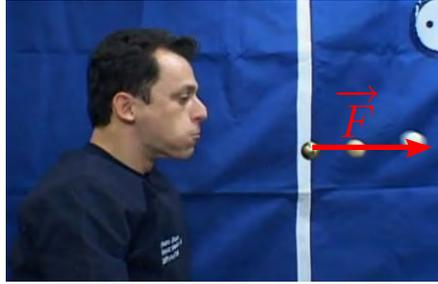
La masse correspond intuitivement à la quantité de matière d'un corps. Elle mesure l'inertie, c'est-à-dire la difficulté qu'on a à mettre un corps immobile en mouvement ou à arrêter un objet en mouvement. Dans la vidéo ci-dessous, un cosmonaute en apesanteur dans une station spatiale souffle sur des petites billes immobiles qui ont toutes les mêmes dimensions. Elles sont donc toutes soumises à la même force. La plus légère (plus faible masse) part très vite (forte accélération). La plus lourde (forte masse) démarre très lentement (faible accélération). Lorsqu'il y a trois boules, une est en laiton, l'autre en bois et la troisième en plastique (balle de ping-pong). La masse se mesure en kilogramme (symbole : kg). Dans la vidéo suivante, la boule en bois de forte masse a du mal à s'arrêter et renverse la quille. La boule de faible masse en polystyrène s'arrête et n'arrive pas à renverser la quille.



La masse est un invariant. On voit dans la première vidéo qu'on peut faire l'expérience non pas en apesanteur, mais sur la Terre sur une table, le résultat est le même. La mesure de la masse ne dépend donc pas du lieu où on se trouve.

2- La force

La personne qui souffle applique une force. Une force modifie un mouvement ou déforme un corps.



On voit qu'une force possède un point d'application, une direction un sens et une intensité. Elle se représente donc par un vecteur. L'intensité se mesure en Newton (N). Une force de 1N appliquée pendant une seconde à un objet de 1 kg immobile, lui donne une vitesse de 1m/s. Cela traduit la formule : $\vec{F} = m\vec{a}$; comme $\vec{F} = \vec{P} = m \vec{g}$, $\vec{a} = \vec{g}$ tous les corps ont la même accélération de chute libre sur Terre ; cela fut remarqué la première fois par Galilée.

Une force de 0,5 N appliquée pendant une demi-seconde à un objet de 2 kg, lui donne une vitesse de 1/8 m/s.

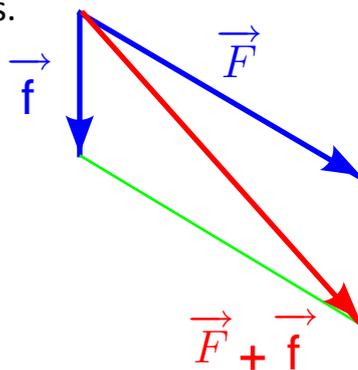
La force peut se mesurer avec un dynamomètre :



Un cas particulier de force est le poids d'un corps : $P = m g$; $g = 9,81 \approx 10$ sur la Terre mesure l'attraction gravitationnelle de la planète. Le poids d'un corps, contrairement à la masse, dépend du lieu où on est. Sur la Lune, un objet a la même masse que sur la Terre, mais pèse moins lourd.

3- Addition des forces

On voit sur la vidéo que si l'on tire un objet avec deux forces différentes, il part dans une direction intermédiaire, mais avec plus d'accélération. On admet la règle du parallélogramme pour trouver la somme de deux forces.



Deux forces sont opposées si elles ont même direction et même intensité, mais deux sens opposés. Leur somme vaut 0, et si le corps est immobile, il le reste. C'est grâce à cette propriété qu'on peut mesurer le poids d'un corps avec un dynamomètre.

Remarque : le fait que la masse mesure aussi bien l'inertie que l'attraction gravitationnelle est resté un mystère jusqu'à ce que Einstein, avec la relativité générale, montre que l'inertie est la manifestation de l'attraction gravitationnelle des galaxies lointaines.

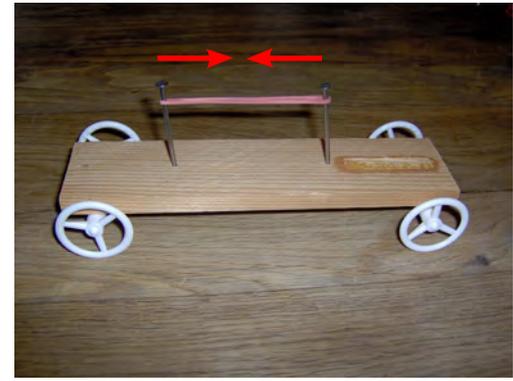
100 g pèse environ 1 N

100 g



4- Principe de l'action et de la réaction

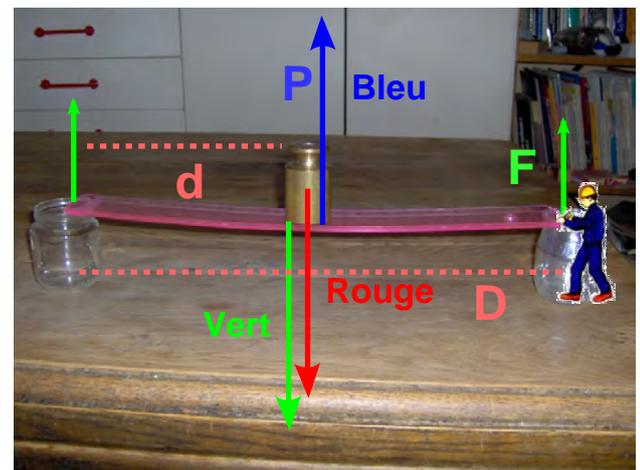
Considérons le chariot ci-contre à droite, avec deux clous entre lesquels est tendu un élastique. Il est évident que le chariot reste immobile ; pourtant, au niveau du clou à l'avant, l'élastique tire le chariot vers l'arrière, et au niveau du clou à l'arrière, le chariot est tiré vers l'avant. Les deux forces doivent donc être opposées. Donc, si le clou A applique une force sur le clou B, le clou B applique la force opposée au clou A. Ce serait pareil avec deux aimants.



On voit alors, que pour deux patins à roulettes qui se repoussent grâce à deux aimants, les deux forces ont la même intensité et s'ils ont la même masse, ils partent avec la même vitesse. Mais, plus leur masse est importante, plus ils ont d'inertie, ce qui fait que bien qu'ils soient soumis à des forces de mêmes intensités, celui qui a la plus grande masse, part plus lentement.



Prenons l'exemple d'une règle en plastique sur laquelle on pose un poids. Le poids reste immobile, donc la règle lui applique une force bleue opposée à son poids dessiné en rouge. Donc, d'après le principe de l'action et de la réaction, le poids applique une force opposée à la force bleue à la règle. C'est cette force, ici dessinée en vert qui tord la règle. Les deux pots de yaourt opposent, eux, deux forces moitiés de la force verte pour soutenir la règle (en supposant la règle de masse négligeable).



$$F D = P d$$

II- THÉORÈME DES MOMENTS

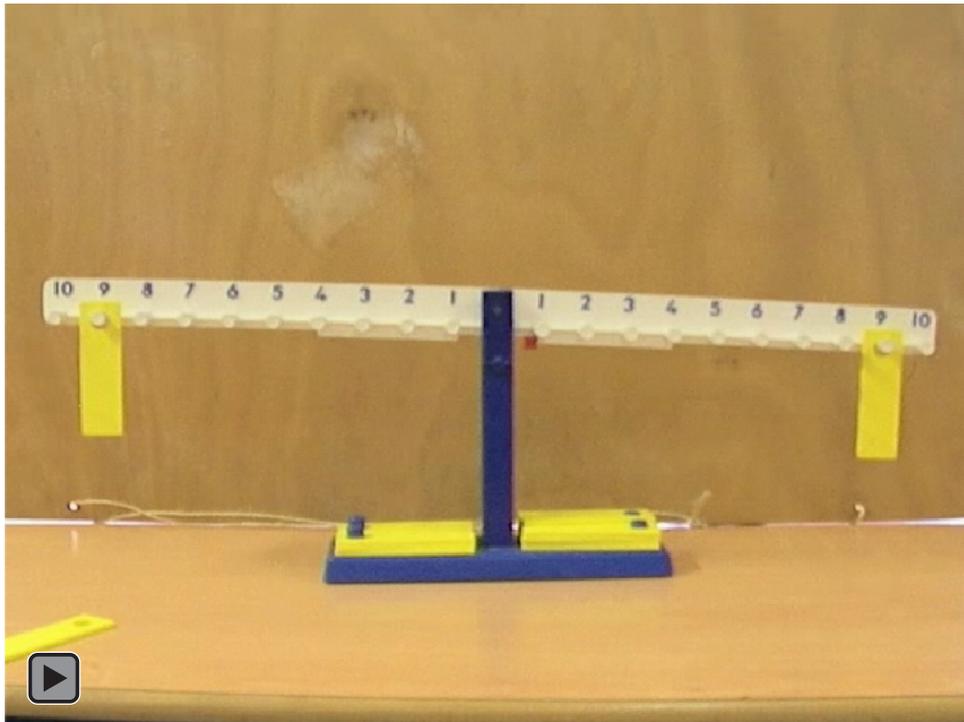
1- Par l'addition des forces

Dans l'expérience ci-dessus, on peut remplacer le yaourt de gauche par un pivot, et le yaourt de droite par un homme qui tire vers le haut pour soutenir la charge. On voit qu'il n'a besoin que d'une force moitié du poids de la charge, et c'est bien évident, puisque le pivot fournit l'autre moitié de la force ! On a affaire maintenant à une brouette. Mais on observe que le produit de la

force appliquée par l'homme par la distance au pivot est égal au produit du poids (qui est double) par sa distance au pivot qui est moitié. On pourrait généraliser cette méthode pour montrer que lorsqu'il y a un équilibre avec un pivot, le produit de la force par la distance (bras de levier) est toujours le même : c'est un invariant.

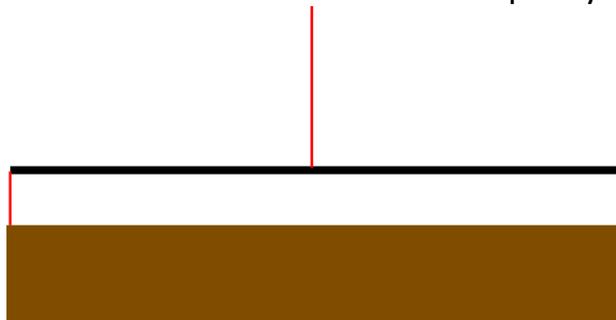
2- Par l'expérience

La vidéo ci-dessous montre par l'expérience que c'est le produit de la force par la distance qui mesure l'action en rotation d'une force. On l'appelle le *moment de la force*, et il se mesure en Nm. On dit aussi le *couple* car il faut au moins deux forces opposées pour mettre un corps en rotation pure sans translation de l'ensemble.

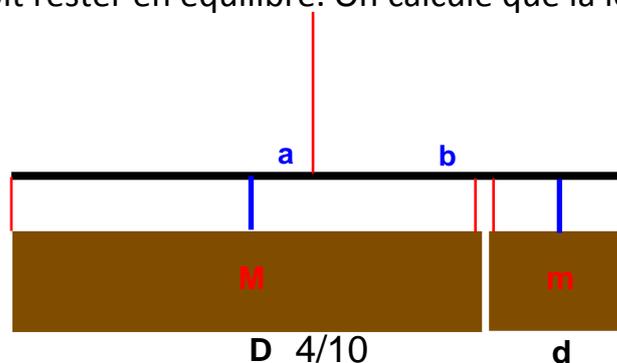


3- Démonstration de Galilée

Une poutre homogène est attachée à ses deux extrémités à une tige métallique rigide, elle-même suspendue par une corde en son milieu. Il est évident par symétrie que le système est en équilibre :



On scie alors la poutre, puis on suspend les deux bouts par leurs extrémités, puis ensuite par leurs milieux. Le système doit rester en équilibre. On calcule que la loi d'égalité des moments est bien vérifiée.

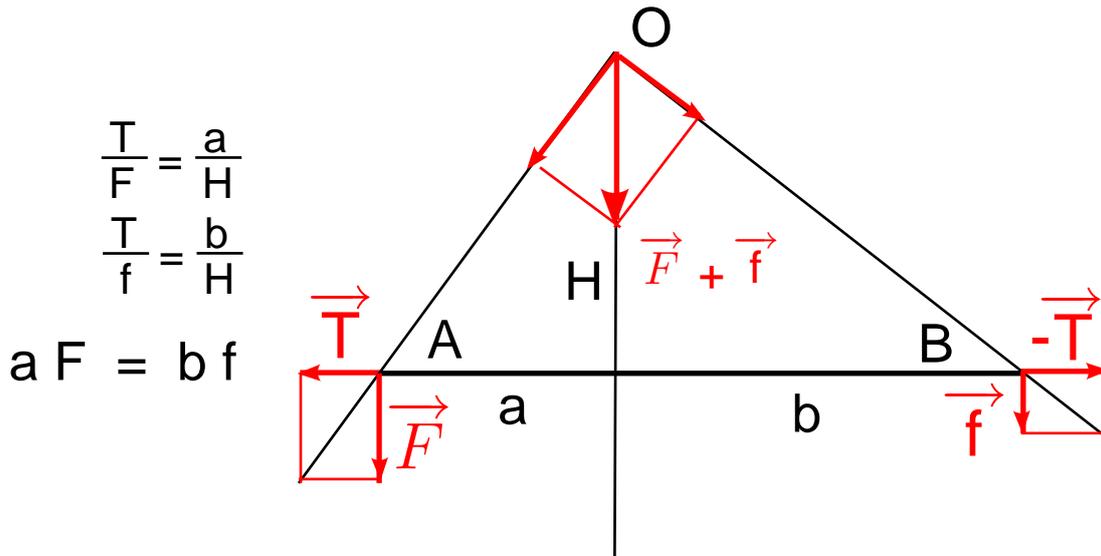


En effet, les masses des poutres (donc leurs poids) sont proportionnelles à leurs longueurs, et :

$$Pa \propto Ma \propto Da = D \left(\frac{D+d}{2} - \frac{D}{2} \right) = \frac{Dd}{2} = d \left(\frac{D+d}{2} - \frac{d}{2} \right) = db \propto bm \propto bp$$

4- Démonstration avec l'ajout de deux forces auxiliaires

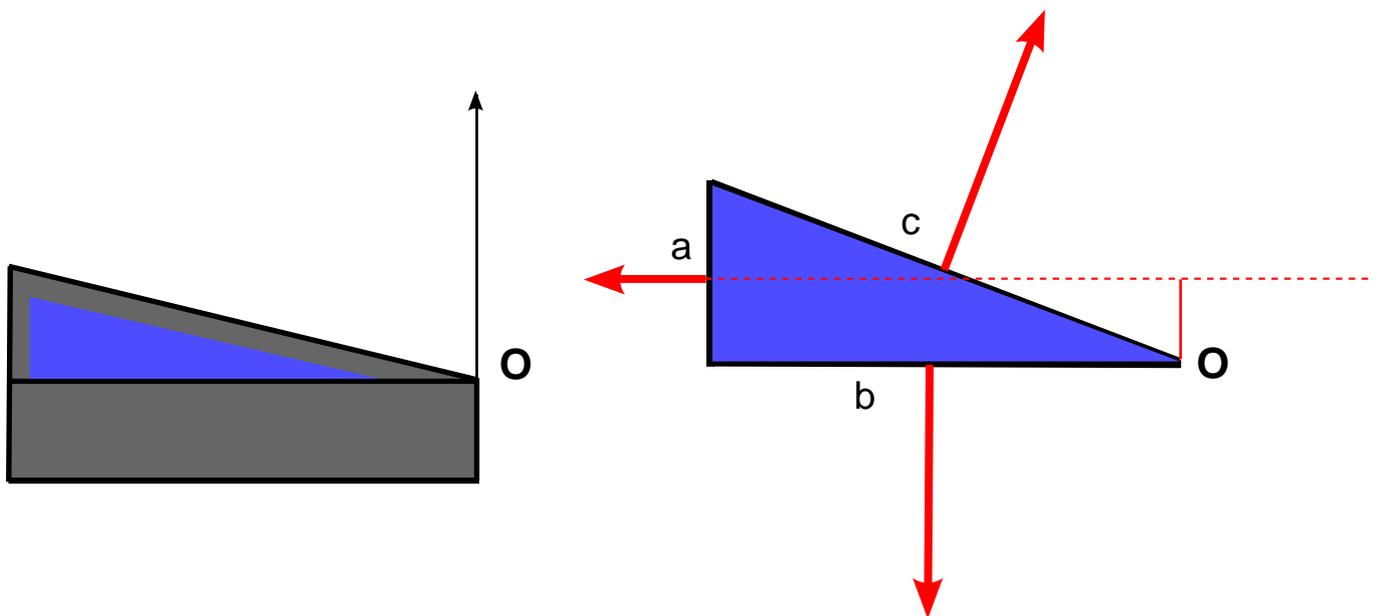
Un triangle de masse nulle OAB est suspendu en O et soumis à deux forces F et f telles que $Fa = fb$. On voit, en ajoutant les deux forces intermédiaires T et $-T$ que la résultante est une force passant par O, donc sans effet de rotation autour de O.



5- Démonstration avec le théorème de Pythagore

On a un triangle rectangle dont les côtés possèdent des bords verticaux permettant de le remplir d'eau. La force de pression de l'eau s'appliquant sur chaque bord est proportionnelle à la longueur du côté. Le moment total qui fait tourner en sens inverse des aiguilles d'une montre autour de O vaut donc : $a \frac{a}{2} + b \frac{b}{2}$, tandis que le moment qui fait tourner dans l'autre sens vaut : $\sqrt{a^2 + b^2} \times \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{2}$

Les deux moments s'annulent donc. L'effet en rotation est donc bien le produit de la force par la distance.



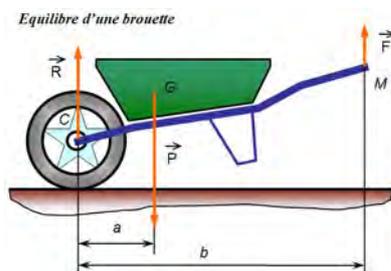
III- LEVIERS

1- Différents types de leviers

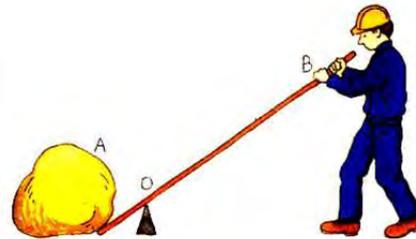
Dans un levier, il y a la force à l'entrée **E**, la force à la sortie **S**, et le pivot **P**. Les dispositions peuvent être :

ESP EPS SEP SPE PES PSE, mais PSE = ESP et PES = SEP et SPE = EPS. Il n'y a donc que trois disposition vraiment différentes :

ESP, type casse-noix, ou brouette, appelé levier inter-résistant. Il fonctionne toujours en diminuant l'amplitude du mouvement et en augmentant la force. C'est un levier en *démultiplication*.



EPS, type balance ou pied de biche, appelé levier inter-appui. Il peut fonctionner en diminuant ou en augmentant la force, suivant les distances respectives de l'entrée et de la sortie.



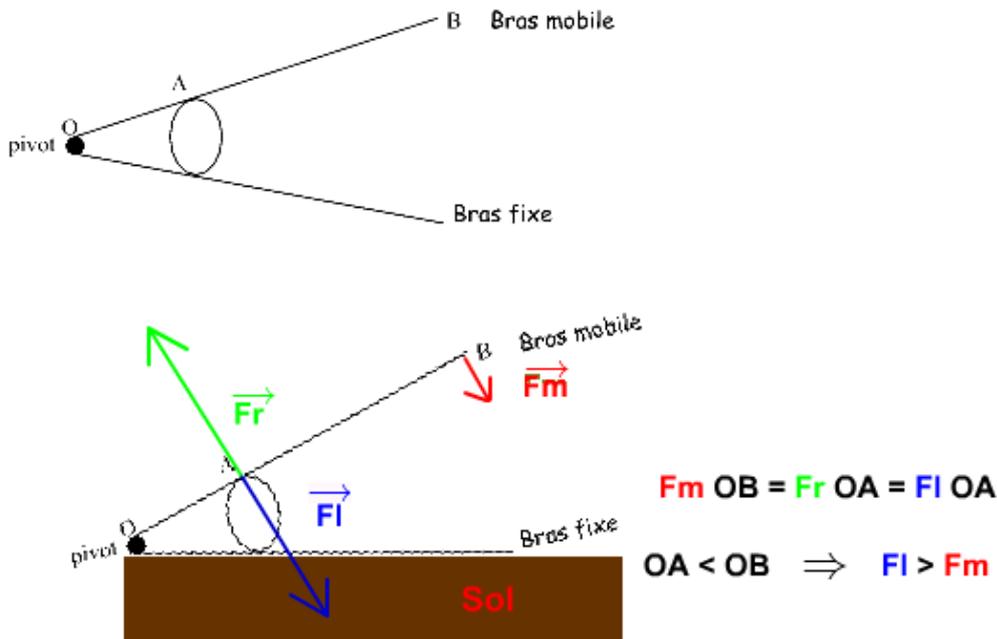
SEP, type raquette de tennis, ou fouet pour battre les œufs en neige, ou pince à sucre, appelé levier inter-effort ou aussi inter-moteur. Il fonctionne toujours en diminuant la force et en augmentant le déplacement, donc la vitesse. C'est un levier en *surmultiplication*.



Lorsque la force est augmentée, le déplacement est diminué et réciproquement. En effet, un levier est une machine simple qui conserve l'énergie. Il donne autant de travail à la sortie qu'il en reçoit à l'entrée, donc le produit de la force par le déplacement est le même à l'entrée et à la sortie.

2- Exercice 1 : le casse-noix

Un casse-noix est un levier. Expliquez à partir du schéma suivant, et justifiez son utilité.



Force rouge = force motrice

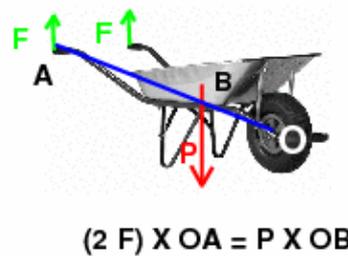
Force verte = force résistante de la noix

**Force bleue = action du levier sur la noix,
opposée à la force verte d'après le
principe de l'action et de la réaction.**

Ce n'est pas la force qui est transmise entre l'entrée et la sortie, mais le moment des forces. Le levier permet donc d'amplifier la force motrice, dans le rapport des distances des points d'applications au pivot. On peut donc casser une noix sans forcer.

3- Exercice 2 : la brouette

Expliquez par un schéma commenté le principe de fonctionnement de l'objet ci-dessous.



$$OB \ll OA \Rightarrow F < 2 F \ll P$$

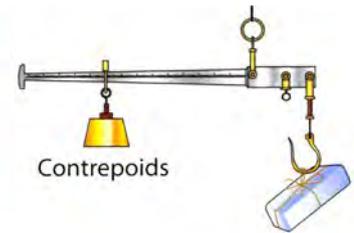
IV- BALANCES

1- Balances pour mesurer la masse

Ces balances comparent par équilibre deux forces, mais ces forces étant toutes deux proportionnelles à **g**, en fait, ces balances mesurent des masses.



Balance de Roberval



Contrepoids

Balance romaine

2- Balances pour mesurer le poids.

Même si elles sont étalonnées en kilogrammes, ces balances utilisant la déformation d'un solide, comme un dynamomètre, mesurent le poids. C'est le cas des balances électroniques usuelles pour mesurer son poids. Ces balances affichent directement la masse en kilogramme en faisant directement la conversion avec $g \approx 10$, mais mesurent en réalité une force. Une telle balance indiquerait une masse fausse sur la Lune.



3- Qualités d'une balance à bras égaux

Dans une telle balance, les distances sont les mêmes de part et d'autre du pivot. La balance de Roberval est une balance à bras égaux.

a) Position du zéro

Au repos, l'aiguille doit indiquer 0. Si ce n'est pas le cas, on peut ajouter des petits bouts de papier dans le plateau le plus haut pour rétablir l'équilibre.

b) Stabilité

Si on écarte un peu la balance de l'équilibre, elle doit y revenir. On dit que l'équilibre est stable.

c) Fidélité

La balance doit reprendre la même position si après avoir retiré les masses, ou donné un petit choc à la balance, on la laisse osciller jusqu'au repos.

d) Justesse

À l'équilibre, les masses de chaque côté de la balance doivent être égales. Ceci suppose que les deux bras de leviers soient strictement égaux.

On vérifie cela, après avoir réalisé un équilibre, en intervertissant les masses placées dans les plateaux de droite et de gauche, et en regardant si l'équilibre a toujours lieu à l'identique.

Si ce n'est pas le cas, on peut procéder par double pesée : on équilibre une tare placée dans le plateau de gauche par exemple, avec des masses marquées mises dans le plateau de droite (masse m_1). On place ensuite l'objet de masse m à peser (qui doit être moins lourd que la tare) dans le plateau de droite, et on regarde les masses qu'il faut ajouter pour rétablir l'équilibre (masse m_2). On a $m = m_1 - m_2$.

e) Sensibilité

La sensibilité est la plus petite masse qui ajoutée à un des plateaux déplace l'équilibre d'une manière perceptible.

V- EXERCICE : RECONNAÎTRE LES DIFFÉRENTS TYPES DE LEVIERS



