

Athénée royal du Condroz Jules Delot
Ciney

Mécanique 2



3-4 Electromécanique
2 h/semaine

Ir Jacques COLLOT

Table des matières

LES MACHINES SIMPLES.....	4
1. Un peu de vocabulaire.....	4
2. Un peu d'histoire	5
3. Classification des machines simples.....	6
4. Les leviers.....	7
4.1 Qu'est-ce qu'une force ?.....	7
4.2 Qu'est-ce qu'un levier ?.....	8
4.3 Les leviers de type I ou leviers inter-appuis	9
4.4 Leviers de type II ou leviers inter-résistants	10
4.5 Leviers de type III ou leviers inter-moteurs.....	11
4.6 Condition d'équilibre des leviers	12
4.7 Le gain mécanique	14
4.8 Conclusion	14
4.9 Exercices.....	15
5. Les poulies.....	18
5.1 Poulie fixe (Toujours à la même distance de son point d'attache).....	18
5.2 Poulie mobile (qui peut monter ou descendre le long de la corde)	19
5.3 Le palan ou combinaison de poulies.....	20
5.4 Etude des poulies	21
5.5 Conclusion	26
5.6 Exercices.....	28
6. Le treuil.....	32
6.1 Exercices.....	34
LES SOLLICITATIONS.....	35
1. Intérêt.....	35
2. Hypothèses	35
3. Les sollicitations.....	35
4. Traction.....	36
4.1 Définition.....	36
4.2 Essai de traction.....	38
5. Compression	40
5.1 Définition.....	40
6. Cissaillement	42
6.1 Définition.....	42
6.2 Applications du cissaillement	43
7. Flexion	43
7.1 Définition.....	43
8. Torsion	45

8.1 Définition.....	45
9. Sollicitations composées	47
10. Exercices	48
SURFACES ET VOLUMES.....	49
1. Formulaire	49
2. Exercices sur les surfaces et volumes.....	51
3. Centre de gravité	54
3.1 Détermination du centre de gravité.....	54
3.2 Détermination graphique du centre de gravité.	58
3.3 Exercices.....	60
ELEMENTS D'HYDRAULIQUE	64
1. Rappels	64
1.1 Définition d'une force.....	64
1.2 Représentation d'une force.	64
2. Pression	65
2.1 Exemples	65
2.3 Définition.....	67
2.4 Exercices.....	67
3. La pression hydrostatique	67
3.1 Pression et force pressante dans les liquides.....	67
3.2 Etude qualitative de la pression au sein d'un liquide	68
3.4 Conséquences de la pression hydrostatique	70
3.5 Problèmes	70
4. Le débit.....	72
4.1 Masse volumique	72
4.2 La densité.....	73
4.3 Débit	73
4.5 Vitesses préconisées pour les fluides dans les tuyauteries.....	74
4.6 Exercices.....	76
5. Principe de Pascal.....	77
5.1 Principe.....	77
5.2 Applications du principe de Pascal	79
6. Poussée d'Archimède	81
6.1 Corps flottants.....	81
6.2 Caractéristiques et mesure de la force d'Archimède dans les liquides	81
6.3 Schématisation de la force d'Archimède.	84
6.4 Quelle est la valeur de la force d'Archimède ?	84
6.5 Applications	86
6.6 Exercices qualitatifs et quantitatifs sur la force d'Archimède dans les liquides.....	88
7 Force d'Archimède dans les gaz.....	91
ANNEXES.....	94
Géométrie	94
Constantes physiques.....	95

Les machines simples

1. Un peu de vocabulaire

Le mot « mécanique » provient du grec « mēkhanē » qui est devenu « machina » en latin et qui signifie « machine ».

Les Grecs définissent les machines comme « tout ce qui permet de vaincre la nature à notre avantage ». Ils disent aussi « mēkhanaomai », qui signifie « j'invente une astuce ».

Les « mécaniciens » sont, à l'origine, les savants qui récoltent toutes les informations sur les machines et essaient de structurer ces savoirs de manière rationnelle. Ils perfectionnent les machines existantes et essaient d'en inventer de nouvelles.

Le plus célèbre des mécaniciens est Archimède.

Archimède est un savant grec né à Syracuse, en Sicile, en 287 avant J.-C.

A la fois mathématicien (il invente la première méthode pour calculer le nombre π), physicien (il découvre la poussée « d'Archimède », les lois des leviers), et ingénieur (il met au point les machines de traction, la vis sans fin, des machines de guerre et dit-on, le miroir parabolique), Archimède aime les raisonnements logiques et a une très grande imagination.



C'est à Archimède que l'on attribue la phrase : « Donnez-moi un point d'appui et je soulèverai le Monde ».

Le Petit Larousse Illustré définit le mot « **machine** » de la manière suivante :

1. Machine : appareil ou ensemble d'appareils capable d'effectuer un certain travail ou de remplir une certaine fonction, soit sous la conduite d'un opérateur, soit d'une manière autonome.
Machine simple : dispositif mécanique dans lequel la force se transmet directement (levier, poulie, treuil...).
2. Appareil : instrument destiné à simplifier les tâches, les travaux de la vie quotidienne.
Exemple : machine à laver.
3. Tout véhicule comportant un mécanisme ou un moteur.

2. Un peu d'histoire

Les premiers outils retrouvés datent d'il y a environ deux millions d'années. Il s'agissait de « galets aménagés » (pierres dont on a enlevé les plus gros éclats) créés par « l'homo habilis ». Au cours des siècles, l'homme a essayé d'améliorer ses conditions de vie et de travail. « L'Homo sapiens » réalise des outils de plus en plus perfectionnés mais la première révolution technique est arrivée avec l'agriculture et l'élevage.

Dès la fabrication de ces premiers outils, l'homme prend conscience qu'il lui est possible de faciliter son travail en utilisant certaines astuces techniques.

Abattre un arbre s'avère plus facile en fixant un manche à la pierre (pour en faire une hache) plutôt que de cogner l'arbre en tenant la pierre à bout de bras.



Fig.2.



Fig.3.

La grande pyramide de Chéops (2600 avant J.-C.) a nécessité le découpage, l'équarrissage et le transport et la mise en place de plus de trois millions de blocs en pierre de 2 à 3 tonnes chacun. Les pierres étaient sans doute hissées et tirées sur rampe d'accès en pente douce.

La roue est déjà connue du temps des Sumériens (3000 avant J.-C.) et est améliorée par les Egyptiens qui construisent alors des chars rapides et stables. Les chars à deux roues ont joué un rôle important durant toute l'antiquité.

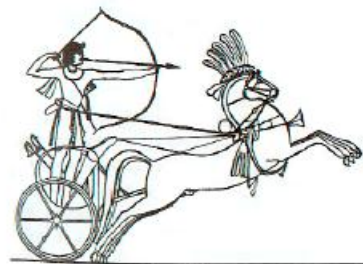


Fig.4.

3. Classification des machines simples

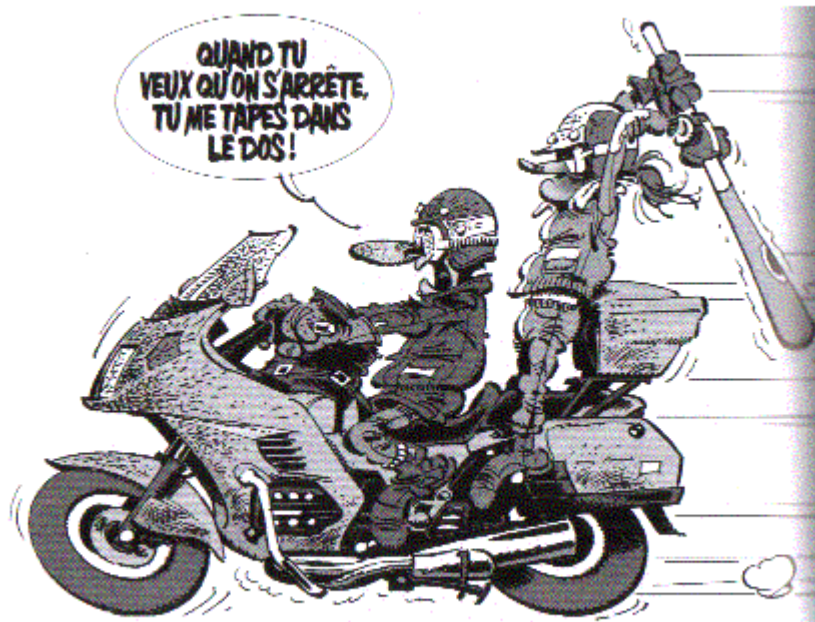
On peut classer les machines simples en cinq grandes familles

Il existe cinq grandes familles de **machines simples** :

Les leviers
Les poulies
Les engrenages
Le plan incliné
La roue

Famille des leviers	Famille des engrenages	Famille des poulies	Famille du plan incliné	Familles des roues
• Pied-de-biche • Cric de voiture • Décapsuleur • Toutes les pinces • Ciseaux • Brouette • ...	• Essoreuse à salade • Chignole • Batteur à œuf mécanique • Plateaux et pignons de bicyclette • ...	• Systèmes de palans • Système de levage de la grue • ...	• Rampe d'accès pour handicapés • Planche inclinée pour monter une brouette • ...	• Roues de bicyclette • Moulin à vent, à eau • ...

Dans ce cours nous étudierons, les leviers et les poulies.



4. Les leviers

4.1 Qu'est-ce qu'une force ?

Nous ne pouvons pas voir une **force** comme nous voyons une personne, un animal ou un objet ; nous pouvons seulement voir ses **effets**. La notion de force est donc un **concept** que les physiciens ont inventé pour rendre compte de ces effets.

Voyons quels sont ces effets et pour cela prenons quelques exemples :

- Shooter dans un ballon, initialement immobile, permet de mettre ce ballon en mouvement (le ballon passe alors de l'état de repos à l'état de mouvement).
- Coincer, avec le pied, un ballon qui roule permet de l'arrêter (le ballon passe alors de l'état de mouvement à l'état de repos).
- Taper dans un ballon qui roule permet de le dévier (le ballon change de direction)
- Faire tourner avec la main un caillou attaché au bout d'une ficelle ;

Il est possible de résumer cela en disant qu'une force permet donc de **modifier** (augmenter, ou diminuer) **la vitesse** du corps sur lequel elle s'exerce ou de **faire tourner** ce corps (à condition que celui-ci ne soit pas attaché).

Il faut aussi savoir, mais nous n'entrerons pas dans les détails, que les forces n'existent jamais seules mais apparaissent toujours par paires. Par exemple, un livre posé sur une table pousse sur celle-ci mais, et cela est plus surprenant, la table pousse, elle aussi, sur le livre (dans le cas contraire, le livre s'enfoncerait dans la table).

→

Pour caractériser une force (notée F), il faut :

- un support² : la force agit (suivant la verticale, l'horizontale, en oblique ...)
- un sens : la force s'exerce (du bas vers le haut, du haut vers le bas, de la droite vers la gauche...)
- un point d'application : la force s'exerce (au centre de gravité de l'objet, au point de contact ...)
- une valeur (une intensité) : la force s'exprime avec une unité spéciale : le newton.
ex : $F = 100 \text{ N}$ (tout comme la masse, la température ... s'expriment avec des unités spécifiques le kilogramme, le degré Celsius ...)

Toutes ces caractéristiques sont celles d'un vecteur (raison pour laquelle, nous avons

→

l'avons noté $\vec{F}$).

Par exemple, la force de pesanteur est caractérisée par :

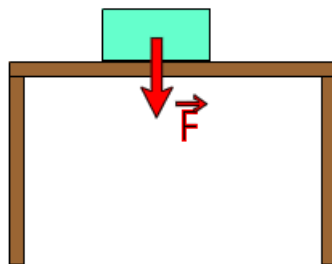


Fig.5.

- Un support : la verticale
- un sens : du haut vers le bas
- un point d'application : le centre de gravité de l'objet
- une valeur : par exemple : 10 N

Il existe deux types de forces :

- les « forces de contact » (vous poussez avec la main sur un objet : vous exercez une force et il y a contact entre l'objet et votre main).
- les « forces à distance » (la force de pesanteur exercée par la Terre sur tous les corps qui se trouvent dans son voisinage existe sans qu'il y ait contact entre la Terre et le corps ; de même l'aimant attire un objet contenant du fer même si l'objet ne touche pas l'aimant).

4.2 Qu'est-ce qu'un levier ?

Le levier est un corps rigide de forme quelconque qui peut pivoter autour d'un point d'appui lorsqu'une ou plusieurs forces lui sont appliquées.

Il est utilisé pour déplacer sur des petites distances une charge importante, impossible à soulever à mains nues.

La pince du carrier, par exemple, est introduite en dessous du rocher à déplacer. S'il est possible de lui faire prendre appui sur un objet (autre caillou) qui sert de pivot et d'exercer une force sur l'extrémité supérieure de la barre, alors le rocher se met à rouler.

Force exercée par le
levier sur le rocher

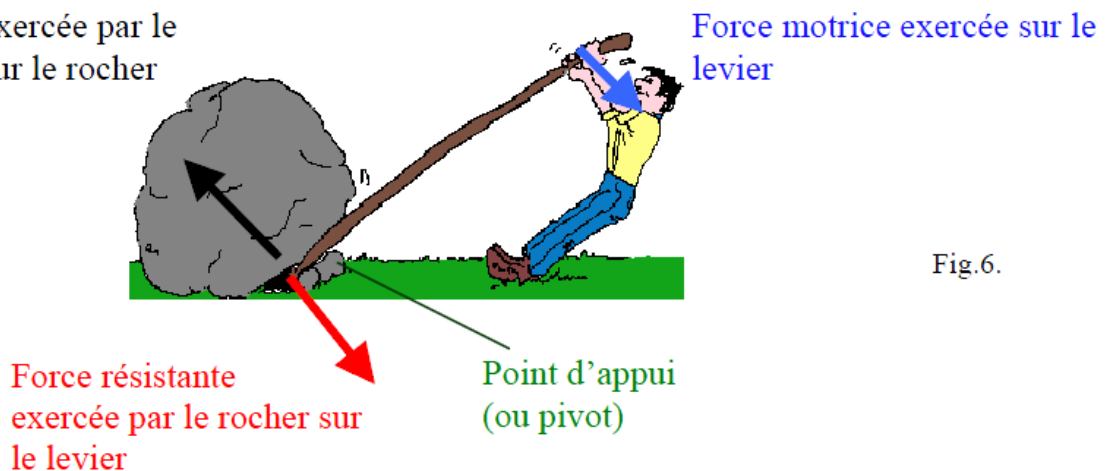


Fig.6.

La force exercée par la personne sur le levier, est appelée « force motrice » (c'est elle qui permet de déplacer la charge), elle est représentée en bleu sur le dessin ci-dessus.

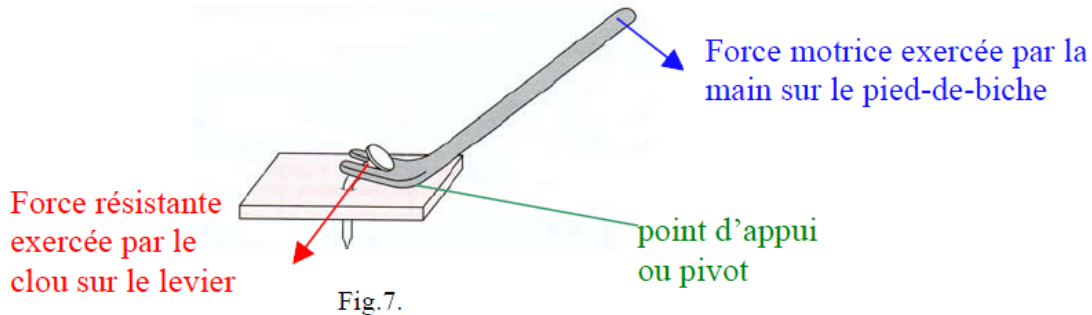
La « force résistante » exercée sur le levier (qui s'oppose au déplacement), représentée en rouge, dépend du poids du rocher à déplacer.

Le point d'appui (ou pivot) sert d'appui au levier.

Suivant les positions relatives du point d'application de la force motrice, de la force résistante, et du pivot, il est possible de classer les leviers suivant trois grandes classes :

4.3 Les leviers de type I ou leviers inter-appuis

ex : le pied de biche – l'arrache-clou – le frein à main de la voiture ...



Le **point d'appui** est situé entre le point d'application (endroit où s'exerce la force) de la force motrice et le point d'application de la force résistante. Pour cette raison, ces leviers sont appelés aussi leviers « inter-appui ». La force motrice est plus petite mais doit s'exercer sur une distance plus grande (le long de l'arc de cercle décrit par le bout du manche pendant le mouvement).

Les tenailles, les ciseaux, les pinces d'électriciens, les pinces à linge, les rames font partie de cette catégorie, la balance de Roberval (mais sont constituées de deux leviers).

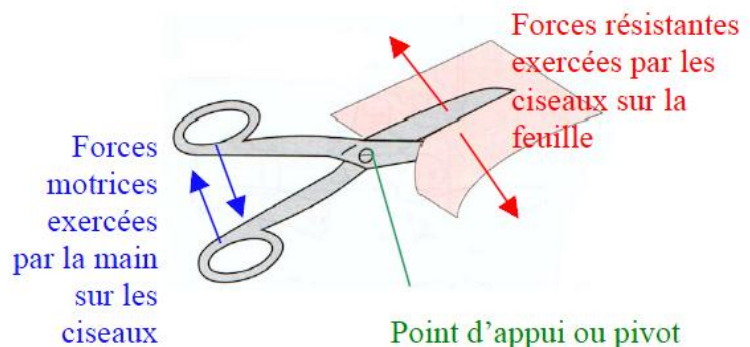
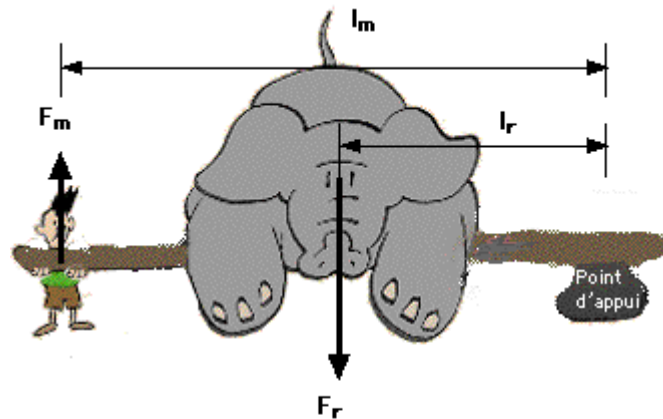


Fig.8.

Avantages et inconvénients

La force motrice à appliquer est, en première approche, d'autant plus petite que la distance entre le point d'appui et le point d'application de cette force est grande. Nous avons donc intérêt à tenir le manche du pied-de-biche le plus loin possible. Cependant, il faut exercer cette force sur une plus grande distance (l'arc de cercle décrit par l'extrémité - de droite - du pied-de-biche pendant le mouvement est plus grand que celui décrit par le point d'application de la force résistante).

4.4 Leviers de type II ou leviers inter-résistants



Où

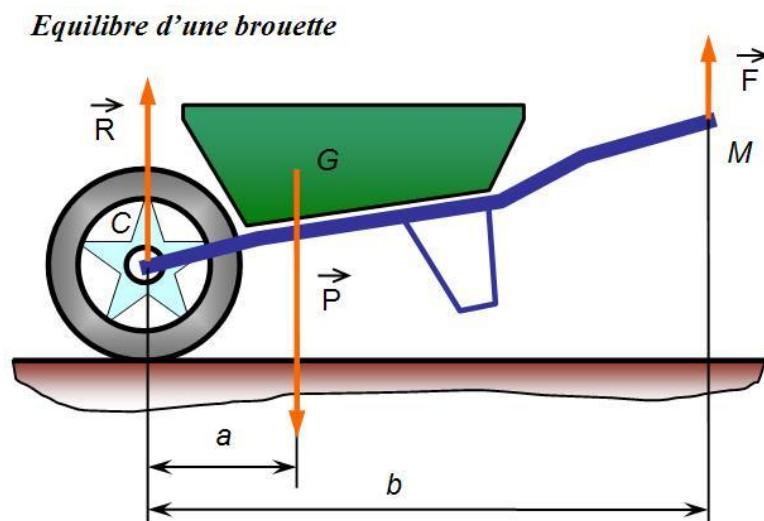
F_m : est la force motrice.

F_r : est la force **résistante**.

l_m : est le bras de levier moteur.

l_r : est le bras de levier résistant.

Exemple : La brouette



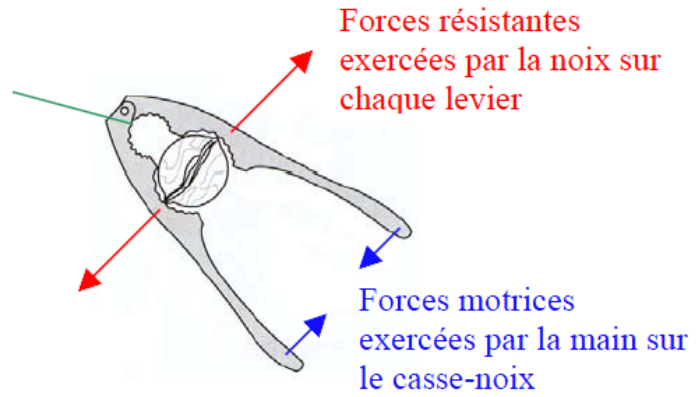
Le point d'application de la **force résistante** est situé entre le pivot et le point d'application de la force motrice. Pour cette raison, ces leviers sont aussi appelés leviers « inter-résistants ».

Avantages et Inconvénients

La force motrice est plus petite que la force résistante mais doit être exercée sur une plus grande distance (l'arc de cercle décrit par le manche de la brouette ou du bout du manche du casse-noix pendant le mouvement).

Le casse-noix fait aussi partie de cette catégorie, mais est constitué de deux leviers.

Point d'appui



4.5 Leviers de type III ou leviers inter-moteurs

ex : l'articulation du coude, ...

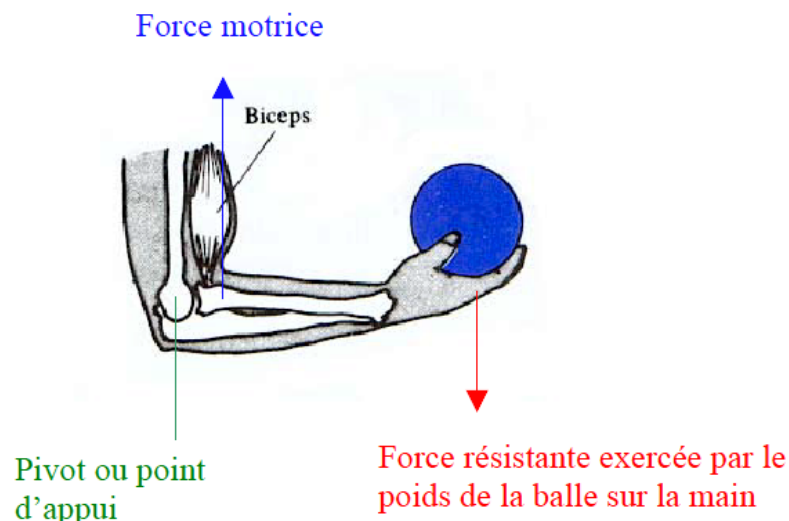
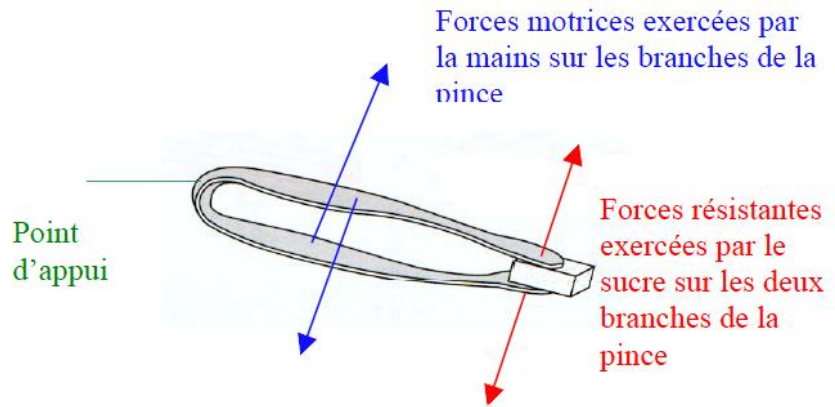


Fig.11.

Le point d'application de la **force motrice** est situé entre le pivot et le point d'application de la force résistante. Pour cette raison, ces leviers sont aussi appelés leviers « inter-moteur » .

Dans ce cas, la force motrice est plus grande que la force résistante.

La pince à sucre,
la pince à glaçons,
la pince à barbecue,
l'étau
font aussi partie de cette
catégorie.



Avantages et Inconvénients

Ces leviers permettent d'effectuer certains travaux délicats comme le maniement d'objets fragiles, que la pression directe des doigts pourrait endommager.

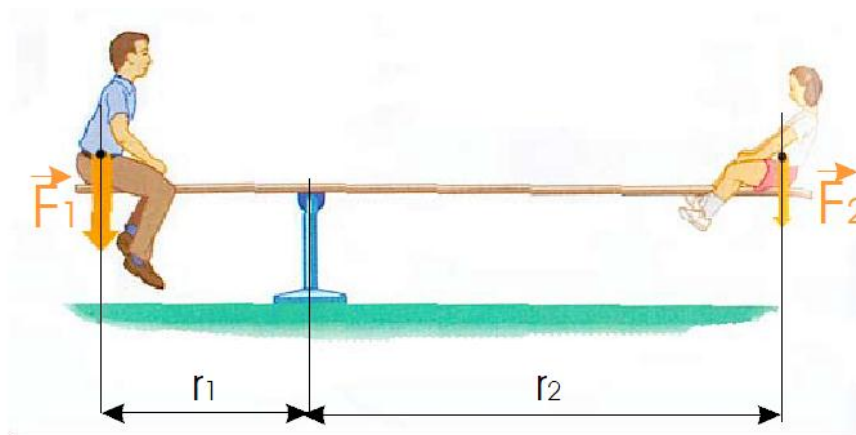
Dans de nombreux cas relevant du fonctionnement de l'organisme humain, comme l'articulation du coude, de la mâchoire, nous n'avons pas le choix, la nature est ainsi faite et l'on n'y peut rien...

4.6 Condition d'équilibre des leviers

Il nous semble important de signaler que le terme de « levier » ne sera pas forcément usuel pour les enfants. L'enfant comprend que le pied-de-biche est un levier car il sert à soulever la plaque d'égout mais le décapsuleur, le casse-noix, ou le pédalier de vélo ne seront peut-être pas d'emblée assimilés à des leviers.

Dans le cas des leviers, les notions importantes, sont les notions de *bras de levier* et de *point d'appui*.

Observons la situation suivante et demandons-nous sous quelles conditions, la balançoire est en équilibre :



Nous savons d'expérience que la balançoire sera en équilibre si chaque personne, ayant son propre poids, s'assoit à un endroit bien précis :

- l'adulte, plus lourd (ayant un poids = F_1), doit s'asseoir relativement près du point d'appui (à une distance r_1) : le bras de levier est petit
- l'enfant, plus léger (ayant un poids = F_2), doit s'asseoir relativement plus loin du point d'appui (à une distance r_2) : le bras de levier est grand.

La condition d'équilibre des leviers :

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

est vérifiée.

Il existe donc un lien important entre les longueurs des bras de leviers et les forces mises en jeu.

Dans le cas de la balançoire, le poids de l'adulte (F_1) est important et le poids de l'enfant (F_2) est petit. Pour que la relation d'équilibre soit vérifiée, il faut que r_1 soit petit et r_2 soit plus grand.

De même : dans les trois situations qui suivent, la caisse à soulever et le levier utilisé sont les mêmes, mais le point d'appui se trouve à des endroits différents : les bras de leviers sont donc à chaque fois différents.

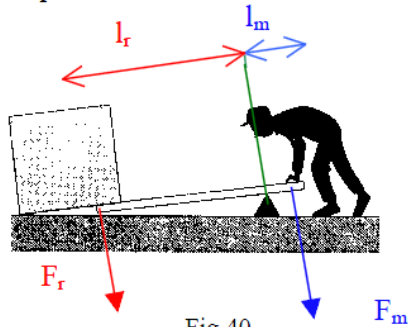


Fig.40.

Le bras résistant (l_r) est plus grand que le bras moteur (l_m).

Pour que la relation d'équilibre ($F_r \cdot l_r = F_m \cdot l_m$) soit vérifiée, il faut que la force motrice (F_m) soit plus grande que la force résistante (F_r).

Ce levier n'est pas avantageux !!!

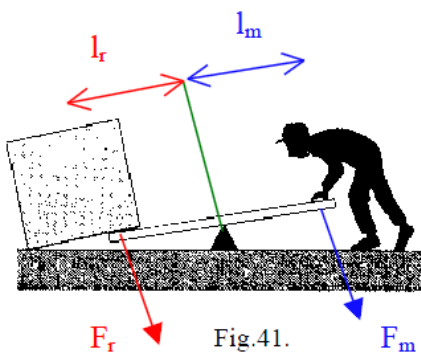


Fig.41.

Les bras de leviers (l_r) et (l_m) sont égaux.

Pour que la relation d'équilibre ($F_r \cdot l_r = F_m \cdot l_m$) soit vérifiée, il faut que la force motrice (F_m) soit égale à la force résistante (F_r).

Ce type de levier n'est pas non plus avantageux...

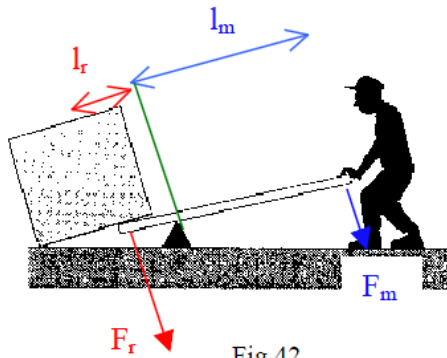


Fig.42.

Le bras moteur (l_m) est plus grand que le bras résistant (l_r).

Pour que la relation d'équilibre ($F_r \cdot l_r = F_m \cdot l_m$) soit vérifiée, il suffit que la force motrice (F_m) soit plus petite que la force résistante (F_r).

Ce type de levier nous facilite vraiment la tâche !!!

Lorsque nous utilisons une machine, le but est de se faciliter la tâche, donc d'exercer une force la plus petite possible. Voilà pourquoi, intuitivement, nous plaçons la main, le plus loin possible du point d'appui, sur le manche de la brouette, du pied-de-biche, de l'arrache-clou, du cric de voiture, du décapsuleur ...

4.7 Le gain mécanique

Le **gain mécanique** est un rapport qui indique le nombre de fois que la machine multiplie ou démultiplie la force appliquée.

Par exemple, pour casser une noisette, on doit appliquer une force de 20 N. On applique une force de 5 N à l'entrée du casse-noisette (levier). Le gain mécanique de cette machine sera de 4. La machine a donc multiplié la force par 4.

$$\begin{aligned}\text{Gain mécanique} &= \text{force produite/force fournie} \\ &= 20 \text{ N} / 5 \text{ N} \\ &= 4\end{aligned}$$

Autrement dit :

$$G = \frac{F_p}{F_F}$$

G Gain (sans dimension)

F_p Force produite (N)

F_F Force fournie (N)

4.8 Conclusion

Nous utilisons souvent les **leviers** dans notre vie quotidienne.

Le **choix** du levier adéquat dépend de la tâche à effectuer.

Pour avoir une meilleure **efficacité**, il faut actionner le levier le plus loin possible de son point d'appui.

4.9 Exercices

Un objet peut servir de levier du premier genre, du deuxième genre ou du troisième genre, selon son usage. Pour chacune des façons de transporter un seau d'eau illustrées ci-dessous, indique par des flèches la charge (C) et la force exercée (E), et identifie le point d'appui (A) grâce à un petit triangle. Détermine ensuite de quel type de levier il s'agit et justifie ta réponse.

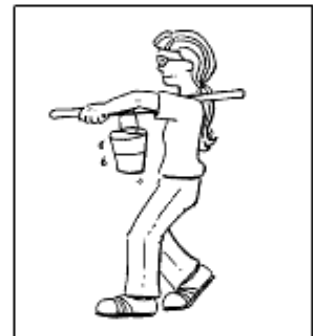
Dans cette situation, la perche agit comme un levier du _____ genre
parce que _____



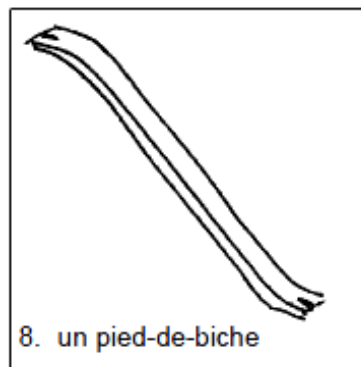
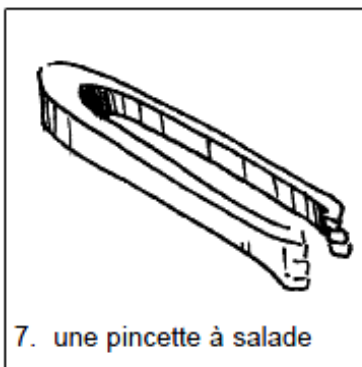
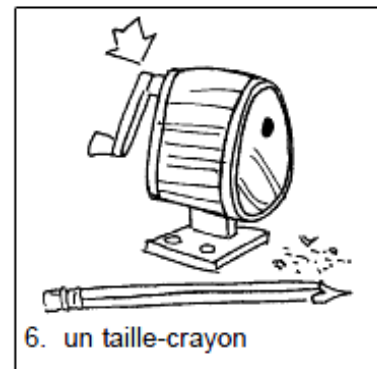
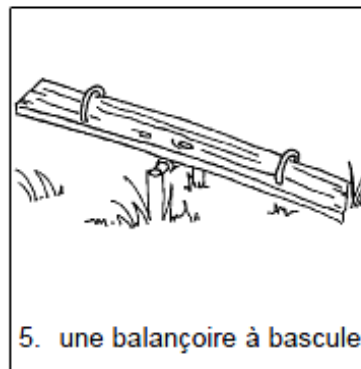
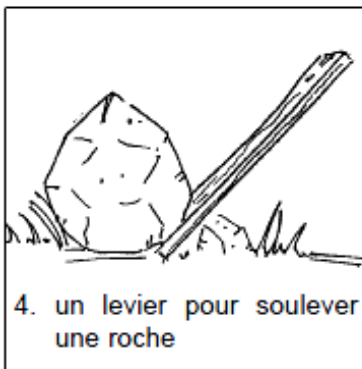
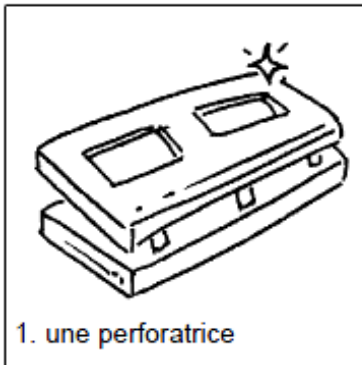
Dans cette situation, la perche agit comme un levier du _____ genre
parce que _____

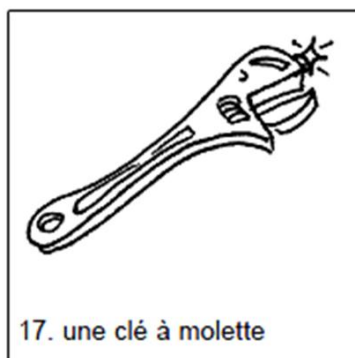
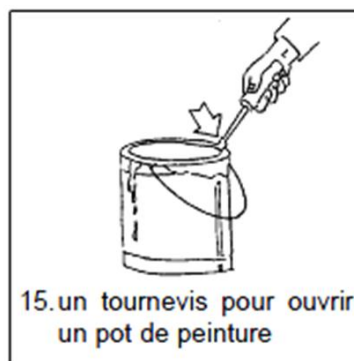
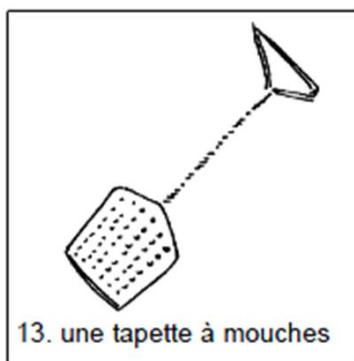


Dans cette situation, la perche agit comme un levier du _____ genre
parce que _____



Déterminer le type de levier





1. Quelle devrait être la longueur du bras de levier résistant permettant de soulever une masse de 13 g à partir d'une force motrice de 0,0294 N si le bras de levier moteur de ce levier inter-résistant est d'une longueur de 12 cm?

Réponse : _____ /4

2. Quelle est la longueur de planche minimale nécessaire à la conception d'un levier inter-résistant capable de soulever une masse de 200 g avec une force de 0,196 N et d'un bras de levier résistant de 8 cm?

Réponse : _____ /4

3. Un levier inter-appui est constitué d'un point d'appui et d'une planche de 100 cm de longueur. On dispose le point d'appui sous la planche de façon à ce que l'avantage mécanique de ce levier soit de 3. Quelle sera la longueur du bras de levier résistant?

Réponse : _____ /4

Les questions 4 à 6 se rapportent à un levier inter-résistant dont le bras de levier moteur mesure 12 cm de longueur et dont le gain mécanique est de 3.

4. Si on dispose une masse de 60 g à l'extrémité du bras de levier résistant, quelle masse devra être disposée à l'autre extrémité pour que les deux masses soient en équilibre sur le levier?

Réponse : _____ /4

5. Sachant qu'on essaie de soulever une masse de 30 g à l'aide d'une force motrice créée par une masse de 10 g, calcule le travail fourni par la force motrice si elle soulève la masse de 30 g de 5 cm.

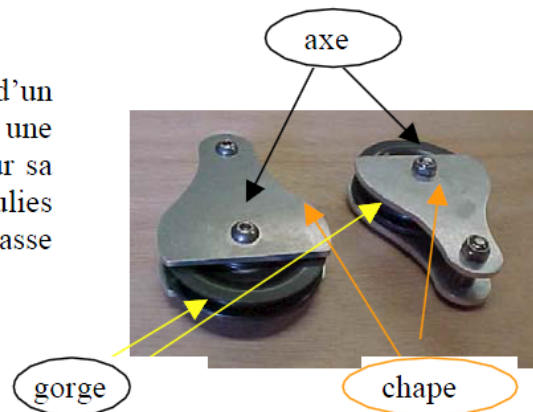
Réponse : _____ /2

6. À la question précédente, sachant que la masse résistante a été soulevée en deux secondes, quelle a été la puissance déployée par le levier?

Réponse : _____ /2

5. Les poulies

Une poulie est un disque libre de tourner autour d'un axe passant par son centre et supporté par une fourche appelée « chape ». La poulie présente sur sa tranche une rainure appelée « gorge ». Les poulies permettent de soulever plus facilement une masse importante (un sac de blé, un bloc en pierre...).



Un **moufle** est constitué de plusieurs poulies montés sur la même chape. Ces poulies peuvent avoir le même essieu ou pas.

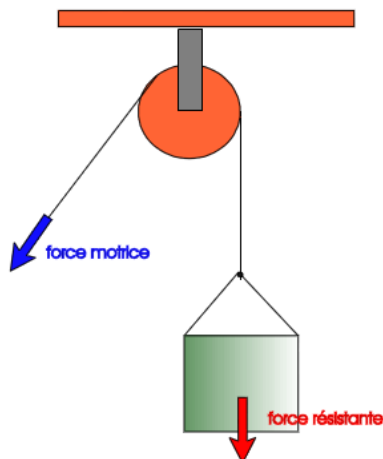


Deux poulies sur le même essieu



Essieux différents

5.1 Poulie fixe (Toujours à la même distance de son point d'attache)



Sur le dessin ci-contre, la masse à soulever est à droite (en vert), elle a un certain poids qui s'exerce vers le bas et que l'on appelle « force résistante » (représentée par la flèche rouge dirigée suivant la verticale et vers le bas).

C'est contre cette force qu'il faut lutter pour hisser la masse.

La force nécessaire pour soulever la masse s'exerce sur la partie libre de la corde. Nous l'appelons « force motrice » (représentée par la flèche bleue).

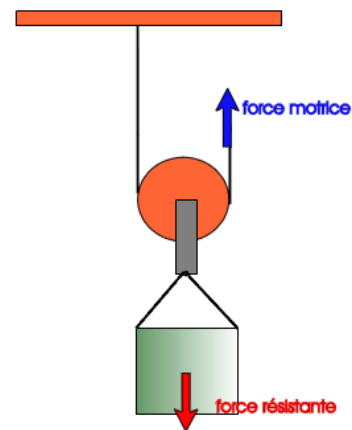
Avantages et inconvénients

Une telle poulie ne diminue pas la force que doit exercer la personne pour soulever l'objet. Son seul avantage est de modifier la direction de cette force : il nous est plus facile de tirer vers le bas car nous pouvons nous aider de notre propre poids que de soulever vers le haut

5.2 Poulie mobile (qui peut monter ou descendre le long de la corde)

Description

La charge à soulever est alors attachée à la chape de la poulie. L'une des extrémités de la corde est fixée à un point fixe et l'autre permet d'exercer la force motrice.



Avantages et inconvénients

Pour soulever la charge d'une hauteur d , il suffit d'exercer une force motrice deux fois plus petite que dans le cas de la poulie fixe, mais il faut tirer sur la corde sur une distance deux fois plus longue

5.3 Le palan ou combinaison de poulies

L'homme découvre qu'en combinant les poulies, il parvient à réduire considérablement la force nécessaire pour soulever une charge : c'est le principe du palan. Il est toujours utilisé même si le moteur a remplacé la force humaine.

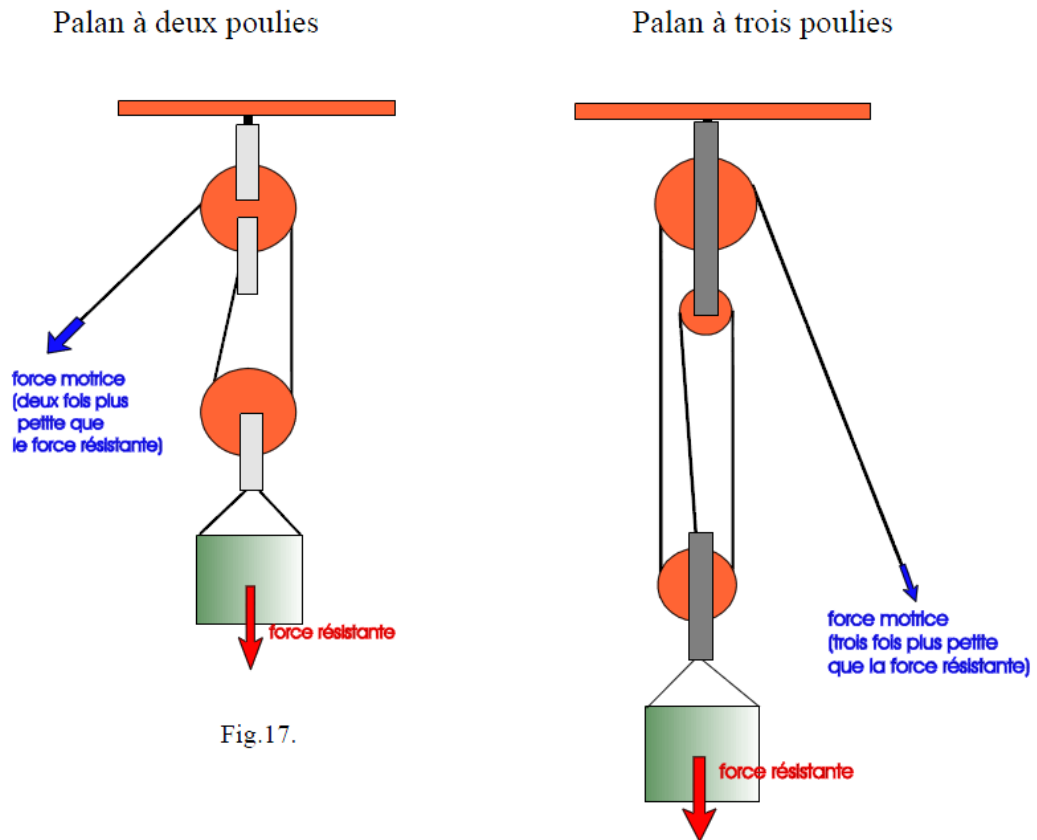


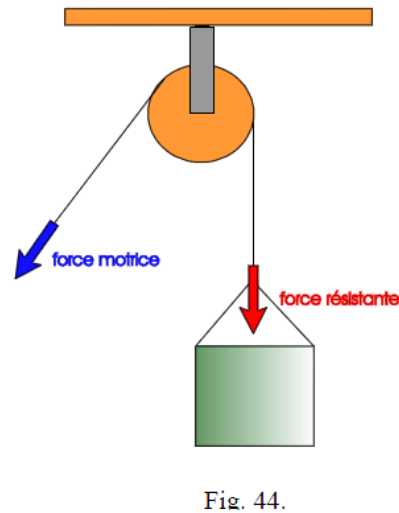
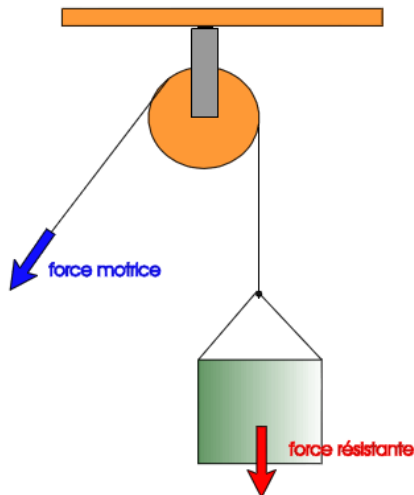
Fig.17.

Dans le cas du palan à trois poulies, pour soulever la masse sur une hauteur d ,

- il suffit de développer une force qui sera trois fois plus petite que dans le cas de la poulie fixe
- mais
- il faudra tirer la ficelle sur une distance égale à $3d$ (car il faut remonter chacun des trois brins de la corde reliant la poulie mobile aux poulies fixes sur une distance égale à d)

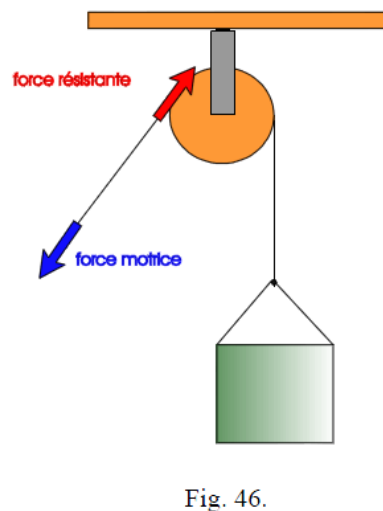
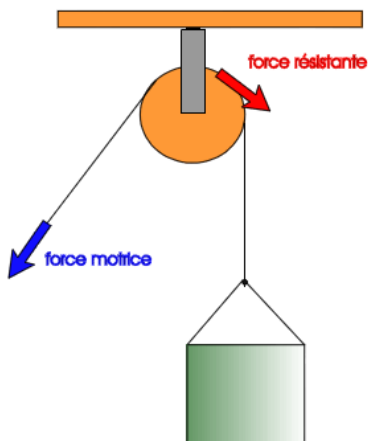
5.4 Etude des poulies

Dans le cas de la **poulie « fixe »** (qui se trouve toujours à la même distance du point d'attache):

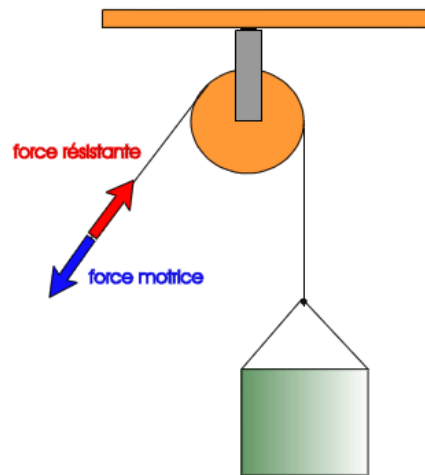


La force qu'il faut exercer pour soulever la masse (représentée en bleu et appelée : force motrice) dépend du poids de cette masse (représenté en rouge et appelé : force résistante) (Fig.43) .

La force résistante s'exerce au centre de gravité de l'objet (Fig.43) ou, ce qui revient au même résultat, sur le point de contact entre la corde et l'objet (Fig.44).



La corde sert de « fil conducteur » à cette force résistante. Nous pouvons donc considérer que tout se passe comme si la force résistante se « déplaçait » de proche en proche le long de la corde (Fig.45 et 46).



C'est pourquoi nous pouvons représenter cette force à l'autre bout de la corde (du côté de la main. Ce système ne diminue pas la valeur de la force à exercer. Il ne permet aucun gain mécanique). Il ne fait que modifier la direction de la force à appliquer. Il est plus facile tirer vers le bas que de soulever vers

le haut. Comme pour les leviers, il s'agit d'un système en équilibre

Dans le cas d'une **poulie mobile** (qui peut « monter » et « descendre » le long de la corde): il est possible de décomposer le problème de la façon suivante :

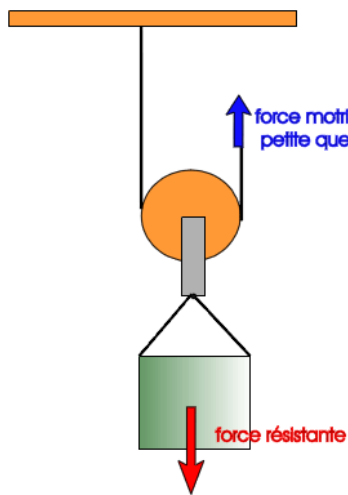


Fig.48.

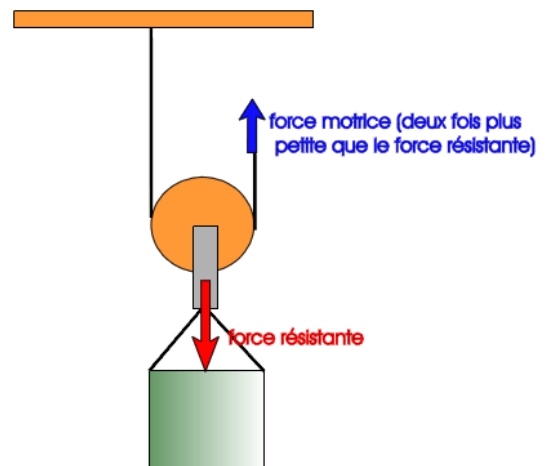


Fig.49.

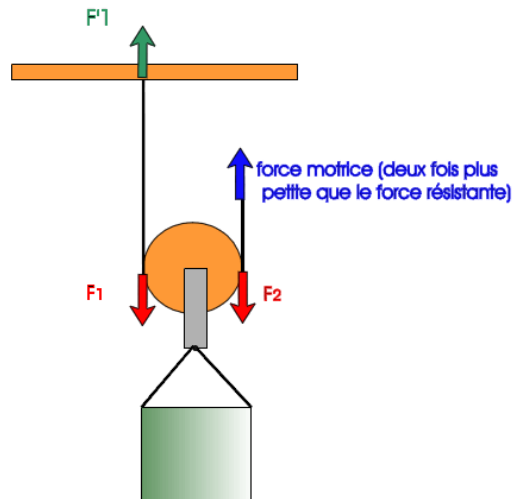


Fig.50.

La force résistante (le poids) s'applique au centre de gravité de l'objet (Fig.48) ou, ce qui revient à la même chose, sur la chape de la poulie (Fig.49).

Cette force peut se décomposer en deux forces F_1 et F_2 (ayant chacune la moitié de la valeur de la force initiale) sur chacun des brins de la corde.

La force F_1 est compensée par l'action du « plafond » notée F'_1 et coloriée en vert (Fig.50).

C'est donc la force F_2 qu'il faut vaincre .

La force motrice à développer pour faire monter la charge, dans ce cas, est donc légèrement plus grande que la moitié de la force initiale

Cependant, pour soulever la charge d'une hauteur d , il faut tirer sur la corde sur une distance $2d$. En effet, il faut raccourcir chaque brin de la corde d'une valeur d .

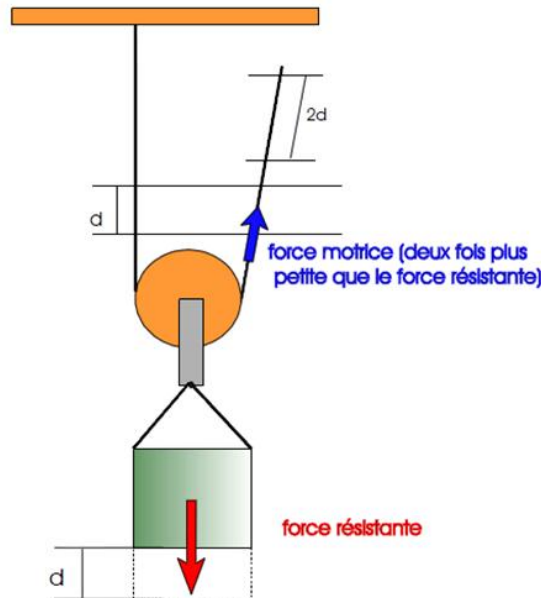


Fig.51.

Dans le cas du **palan à deux poulies**, le résultat est le même que dans le cas de la poulie mobile (la poulie fixe ne fait que modifier le support de la force à appliquer) :

- la grandeur de la force motrice vaut la moitié de la force résistante
- la longueur de corde à tirer, pour monter la charge de la même hauteur, est double.

Nous retrouvons toujours cette idée de compromis : la force à appliquer est réduite mais la distance sur laquelle il faut l'exercer est augmentée.

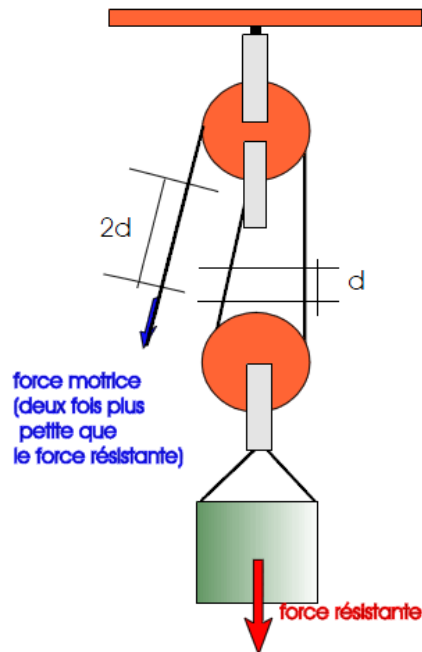


Fig.52

De nouveau, toujours pour les mêmes raisons, pour faire monter la charge il faudra exercer une force légèrement plus grande que la force motrice représentée sur le schéma.

Dans le cas du **palan à trois poulies** :

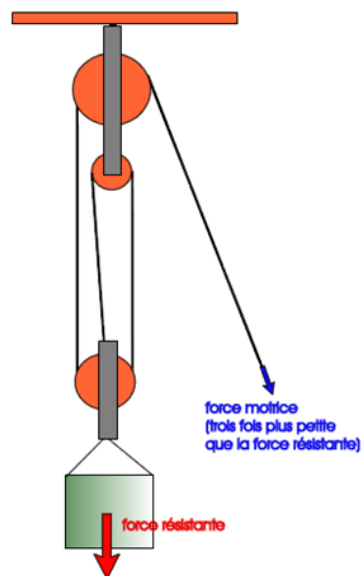


Fig.53.

- La force à exercer est plus petite.

Pour savoir combien de fois elle est plus petite, il suffit de « couper » et de compter le nombre de brins auxquels est attachée la poulie qui soutient la masse à soulever – ici 3. La valeur de la force à exercer est trois fois plus petite que la force résistante.

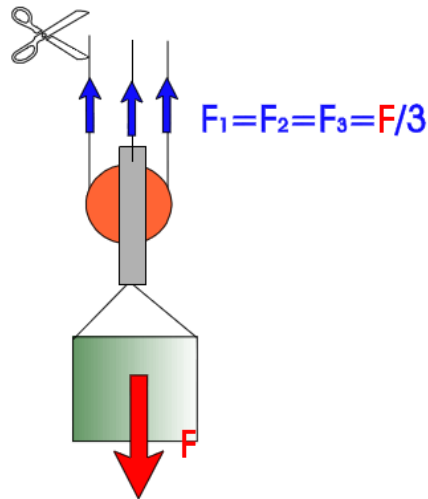


Fig.54.

- Pour monter la charge d'une hauteur d , il faut tirer la corde sur une distance $3d$ (il faut relever chaque tronçon de corde d'une hauteur d).

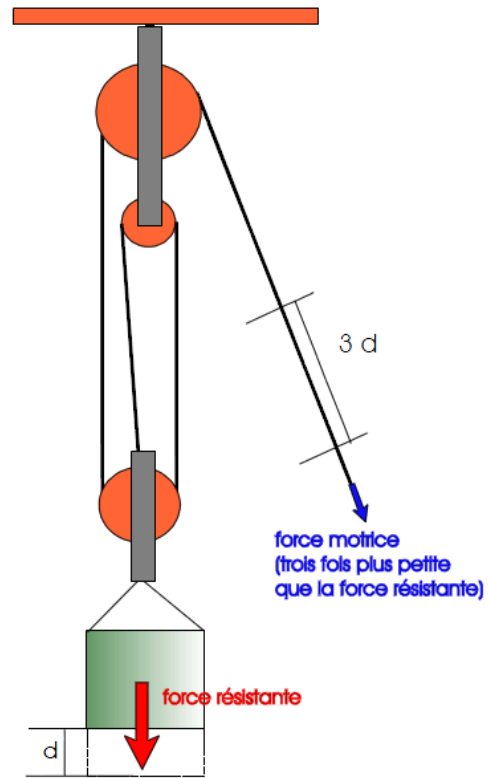


Fig.55.

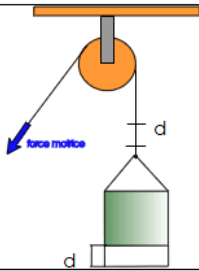
Comme dans les cas précédents, ce système est en équilibre, il faudra donc exercer une force légèrement plus grande que la force motrice représentée sur la fig.53, s'il on souhaite faire monter la charge.

Le palan joue le rôle de « démultiplicateur de force » : ce système permet de supporter une charge importante en exerçant une force plus faible, l'inconvénient étant qu'il faut tirer une longueur de corde plus grande.

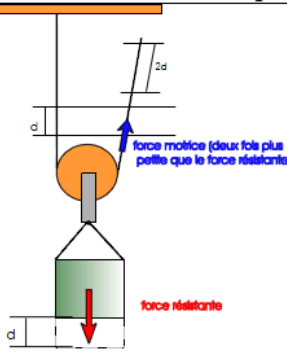
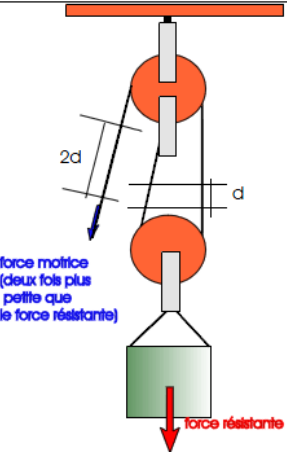
Vous pouvez résumer les différentes possibilités dans le tableau qui se trouve à la page suivante:

5.5 Conclusion

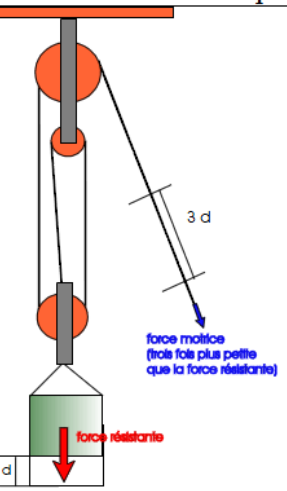
Un brin de corde attaché à l'objet à soulever :

	La force à exercer est F Si l'on veut monter l'objet d'une hauteur d, il faut tirer une longueur de corde égale à d	Le produit de la force exercée par la longueur de corde à tirer est, dans ce cas : $F \cdot d$
---	--	--

Deux brins de corde passant par la poulie (attachée à l'objet à soulever)

	La force à exercer est $\frac{F}{2}$ Si l'on veut monter l'objet d'une hauteur d, il faut tirer une longueur de corde égale à $2 \cdot d$	Le produit de la force exercée par la longueur de corde à tirer est dans ce cas : $\frac{F}{2} \cdot 2 \cdot d = F \cdot d$
	La force à exercer est $\frac{F}{2}$ Si l'on veut monter l'objet d'une hauteur d, il faut tirer une longueur de corde égale à $2 \cdot d$	Le produit de la force exercée par la longueur de corde à tirer est, dans ce cas : $\frac{F}{2} \cdot 2 \cdot d = F \cdot d$

Trois brins de corde passant par la poulie (attachée à l'objet à soulever)

	La force à exercer est $\frac{F}{3}$ Si l'on veut monter l'objet d'une hauteur d, il faut tirer une longueur de corde égale à $3 \cdot d$	Le produit de la force exercée par la longueur de corde à tirer est, dans ce cas : $\frac{F}{3} \cdot 3 \cdot d = F \cdot d$
---	--	--

Bien évidemment il est possible d'imaginer d'autres combinaisons de poulies, mais dans tous les cas, ce que l'on gagne en force, on le perd en longueur de corde à tirer.

En résumé, nous avons trouvé

- Une relation entre : le nombre de brins de corde directement attachés à la masse à soulever, la masse à soulever et la masse « qui soulève »

Cette relation est :
$$\text{la masse « qui soulève »} = \frac{\text{la masse « à soulever »}}{\text{le nombre de brins de corde}}$$

- Une relation entre : le nombre de brins de corde, la longueur de corde à tirer et la hauteur dont est soulevée la masse :

Cette relation est :
$$\text{la longueur de corde à tirer} = (\text{la hauteur dont est soulevée la masse}) \times (\text{le nombre de brins de corde}).$$

Dans tous les cas, le travail reste le même :

$$W = F.d = \text{constante}$$

Une **poulie fixe** seule n'est utile que parce qu'elle modifie le support de la force à exercer : elle rend la situation plus ergonomique (nous pouvons alors utiliser notre propre poids pour faciliter la tâche). Mais l'utilisation de cette poulie ne modifie pas la **valeur** de la force.

L'utilisation du **palan** (couplage de plusieurs poulies) permet de réduire la **valeur** de la force à exercer : plus le nombre de brins de corde passant par la poulie attachée à la masse à soulever est important, plus la force à exercer est petite.

Mais la **longueur** de corde à tirer est alors plus importante. Il faut donc faire des compromis : ce que l'on gagne d'un côté (en force à exercer), on le perd d'un autre (en longueur de corde à tirer).

5.6 Exercices

Remplir le tableau

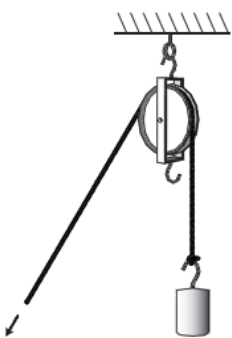
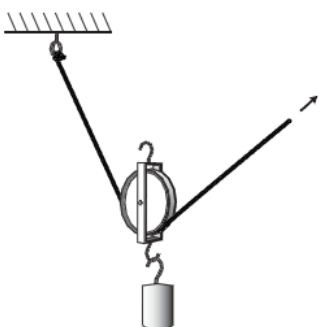
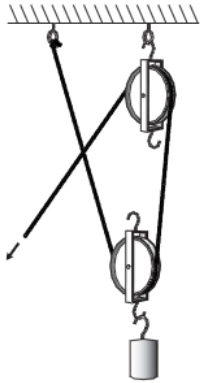
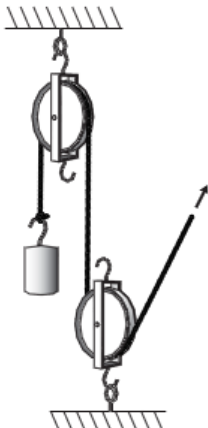
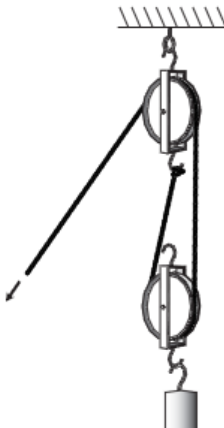
Schéma des poulies et diagramme de forces	Charge à soulever (C)	Direction de l'effort (E)	Intensité de l'effort (E)	Distance sur laquelle il faut tirer la corde pour soulever la charge (C) de 20 cm
	250 g			
	500 g			
	250 g			
	500 g			
Schéma des poulies et diagramme de forces	Charge à soulever (C)	Direction de l'effort (E)	Intensité de l'effort (E)	Distance sur laquelle il faut tirer la corde pour soulever la charge (C) de 20 cm
	250 g			
	500 g			
	250 g			
	500 g			

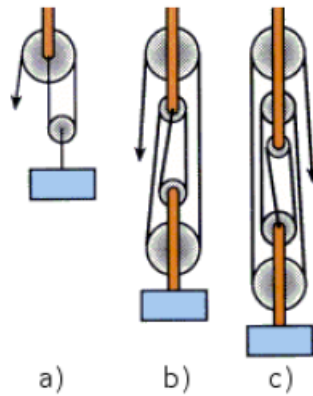
Schéma des poulies et diagramme de forces	Charge à soulever (C)	Direction de l'effort (E)	Intensité de l'effort (E)	Distance sur laquelle il faut tirer la corde pour soulever la charge (C) de 20 cm
	250 g			
	500 g			
	250 g			
	500 g			

14. Quelle force minimale devras-tu fournir pour lever une masse de 40 kg avec une poulie fixe?
Réponse : _____ /4
15. Quelle énergie devras-tu déployer pour soulever une masse de 40 kg à une hauteur de 2,5 m?
Réponse : _____ /2
16. Sachant que la masse de 40 kg de la question précédente a été soulevée de 2,5 m en 4 secondes, quelle puissance a été déployée?
Réponse : _____ /2
17. Pour une poulie fixe, si on tire 1 m de corde, de combien de mètres sera soulevée la masse résistante?
Réponse : _____ /2
18. Quelle force devrais-tu fournir pour lever une masse de 40 kg à l'aide d'une poulie mobile?
Réponse : _____ /4
19. En utilisant une poulie mobile pour soulever la masse résistante de 1 m, combien de mètres de corde devront être tirés par l'individu qui applique la force motrice?
Réponse : _____ /4

28. Sur la figure suivante, chaque palan soulève une masse de 25 kg.

Remplis le tableau suivant. (2 points par palan)

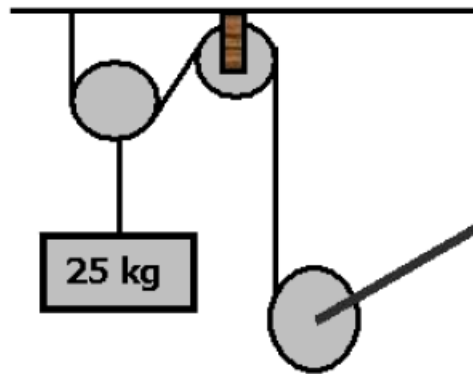
_____ /6



Données demandées	Palans		
	a)	b)	c)
Avantage mécanique			
F_m déployée pour lever la masse			
Longueur de corde à tirer pour soulever la masse de 2 m			

Données demandées	Palans		
	a)	b)	c)
Énergie déployée pour soulever la masse de 2 m			
Puissance pour soulever la masse de 2 m en 14 secondes.			

29. La machine illustrée ci-dessous est composée d'une poulie mobile et d'un treuil. Le rayon du tambour du treuil est de 20 cm et la longueur de sa manivelle est de 80 cm.

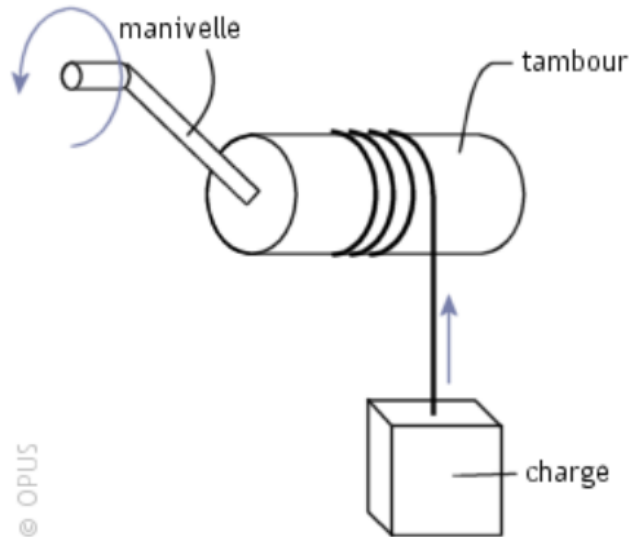


- a) Quel est l'avantage mécanique de cette machine?
Réponse : _____ /4
- b) Quelle est la force motrice minimale à appliquer sur la manivelle qui permettrait de soulever la masse?
Réponse : _____ /4
- c) Pour soulever la masse de 20 cm, combien de tours de manivelle seront nécessaires?
Réponse : _____ /2
- d) Quelle est la distance totale perdue par la machine (c'est à dire la différence entre la distance parcourue par l'extrémité de la manivelle et la déplacement de la masse) pour soulever la masse de 20 cm?
Réponse : _____ /2
- e) Quelle est l'énergie minimale déployée par la machine pour soulever la masse de 20 cm?
Réponse : _____ /2
- f) Si 15 secondes sont nécessaires pour soulever la masse de 20 cm, quelle est la puissance fournie à la machine?
Réponse : _____ /2



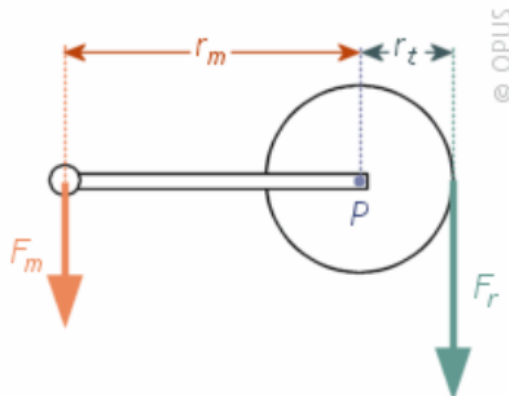
6. Le treuil

Un treuil est constitué d'un tambour cylindrique autour duquel s'enroule une corde qui tire sur une masse. Le tambour est actionné par une manivelle fixée au centre de l'une de ses extrémités.



Un treuil simple

Si on regarde le treuil le long de son axe, on comprend vite pourquoi on peut le considérer comme un levier. Le rayon du tambour représente le bras de levier résistant alors que la longueur de la manivelle représente le bras de levier moteur.



Vue de profil du treuil

Le gain mécanique du treuil est donc

$$GM = \frac{l_m}{l_r} = \frac{r_m}{r_t}$$

En plus d'offrir un gain mécanique supérieur à un, le treuil permet de transformer un mouvement de rotation (donc un mouvement « compact ») en un mouvement de translation.

Exemple 4 : En visite dans un village isolé de l'Amérique du Sud, tu dois aller chercher de l'eau fraîche dans un puits muni d'un treuil. Le tambour du treuil a un rayon de 15 cm et la longueur de sa manivelle est de 40 cm. Quelle force devras-tu fournir pour soulever le seau plein d'eau si ce dernier peut contenir 10 l d'eau? La masse volumique de l'eau est de 1 g/ml et on suppose que le seau est léger.

Données

$$\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g/ml} = 1 \text{ kg/l}$$

$$V = 10 \text{ l}$$

$$r_m = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$$

$$r_t = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$$

Résolution

Il faut d'abord déterminer la grandeur de la force résistante, qui correspond au poids de l'eau contenue dans le seau.

$$F_r = m_{\text{eau}} g = \rho_{\text{eau}} V g$$

$$F_r = 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \times 10 \text{ l} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_r = 98 \text{ N}$$

À partir de la définition du gain mécanique, on peut ensuite déterminer la grandeur de la force motrice nécessaire pour monter le seau d'eau.

$$GM = \frac{r_m}{r_t} = \frac{F_r}{F_m}$$

$$F_m = \frac{F_r r_t}{r_m}$$

$$F_m = \frac{98 \text{ N} \times 0,15 \text{ m}}{0,4 \text{ m}}$$

$$F_m = 36,75 \text{ N}$$



Exemple de treuil à manivelle

6.1 Exercices

7. Quel devrait être le diamètre d'une poignée de porte permettant de faire tourner un arbre dont le diamètre est de 4 cm avec un gain mécanique de 6?



Réponse : _____ /4

8. Quel est l'avantage mécanique d'un volant d'automobile dont le diamètre est de 50 cm pour faire tourner un arbre dont le diamètre est de 8 cm?

Réponse : _____ /4

9. Quelle force devras-tu fournir pour tourner un robinet dont le rayon est de 3 cm qui est relié à un arbre dont le rayon est de 1,2 cm sachant que la force résistante sur l'arbre est de 12 N?

Réponse : _____ /4

10. Dans la situation précédente :

a) Quelle distance parcourra un point situé à la surface de l'arbre pour deux tours de robinet?

Réponse : _____ /2

b) Quelle distance sera parcourue par un point situé à l'extérieur du robinet pour deux tours?

Réponse : _____ /2

c) Quelle énergie dépenserais-tu pour faire tourner l'arbre de deux tours sans l'aide du robinet?

Réponse : _____ /2

d) Quelle énergie dépenseras-tu pour tourner le robinet de deux tours?

Réponse : _____ /2

e) Si tu as pris 8 secondes pour tes deux tours de robinet, quelle puissance as-tu déployée?

Réponse : _____ /2

11. Quel devrait être le diamètre du tambour d'un treuil afin qu'il présente un gain mécanique de 12 à partir d'une manivelle de 20 cm de longueur?

Réponse : _____ /4

12. Quelle devrait être la longueur d'une manivelle permettant de soulever une masse de 20 kg à l'aide d'un treuil dont le tambour a un diamètre de 20 cm, si on applique une force motrice de 25 N?

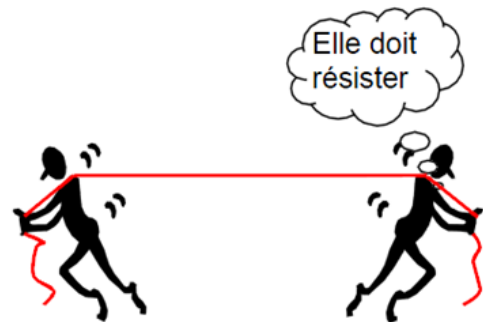
Réponse : _____ /4

Les sollicitations

Nous parlerons dans ce chapitre des différentes sollicitations auxquelles peut être soumis un corps rigide. Ces diverses sollicitations vont entraîner des déformations. La branche de la physique qui étudie ces déformations s'appelle la résistance des matériaux.

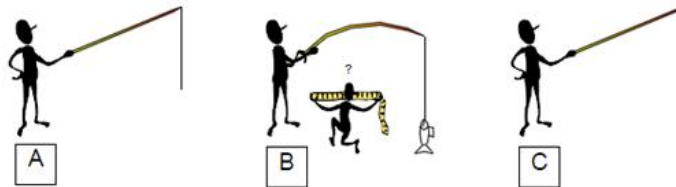
1. Intérêt

Elle permet de **dimensionner les pièces** (épaisseur, longueur...), en vérifiant les **conditions de résistances en fonction des matériaux** qui les composent et d'étudier les déformations (allongement, raccourcissement...), suivant la nature des sollicitations qu'elles auront à supporter.



2. Hypothèses

☞ Les déformations sont élastiques, cela veut dire que si l'on supprime les sollicitations, la pièce reprend sa forme initiale.



☞ Les matériaux sont supposés homogènes et isotropes ; (les matériaux composites, le béton ne sont pas homogènes, et le bois n'est pas isotrope, le sens des fibres est important).

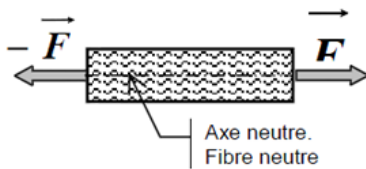
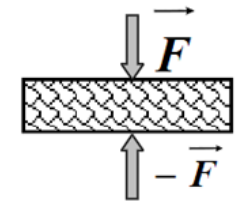
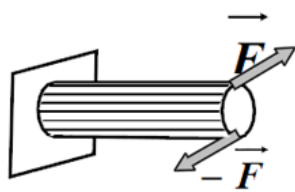
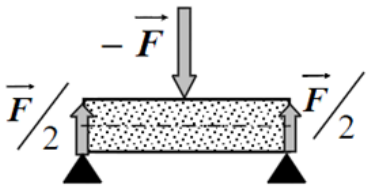
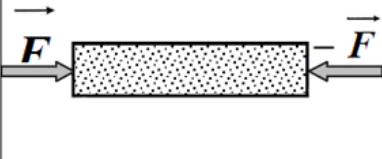
3. Les sollicitations

On distingue

- La traction
- La compression
- Le cisaillement
- La flexion
- La torsion
- Le flambage

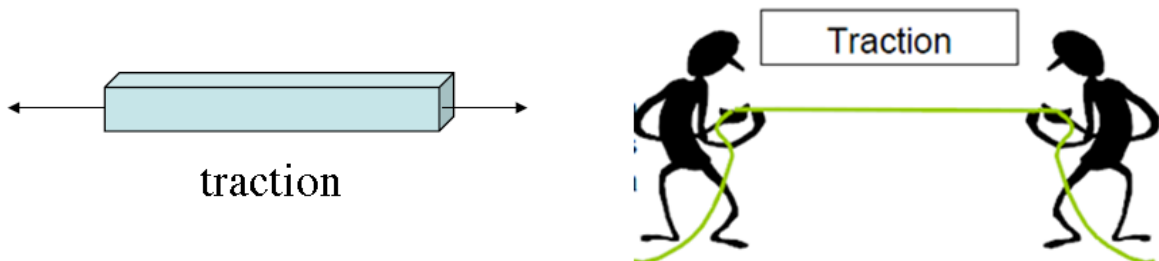
Dans ce cours nous n'étudierons pas le flambage qui sort du cadre du programme.

On constate suivant la direction et le sens des actions appliquées les conditions de résistance à :

<u>L'extension (traction) :</u>	<u>La compression (pièce courte) :</u>	<u>Le cisaillement :</u>
		
<u>La torsion :</u>	<u>La flexion :</u>	<u>Le flambage (compression sur pièce longue) :</u>
		

Nous parlerons dans ce chapitre des différentes sollicitations auxquelles peut être soumis un corps rigide.

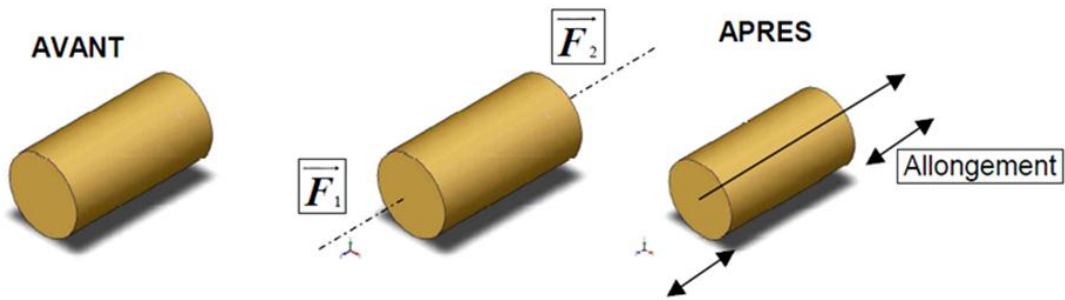
4. Traction



4.1 Définition

Une pièce est soumise à la traction lorsqu'elle subit deux forces égales, directement opposées et orientées vers l'extérieur de la pièce, sur l'axe de la pièce.

Lorsqu'une pièce est soumise à la traction, elle subira un allongement dans le sens de l'axe neutre et un rétrécissement dans les sens perpendiculaire (La section diminue). Si cet allongement est trop important, on sortira des limites de plasticité et les déformations seront permanentes. Si on continue à tirer, la pièce finira par se rompre.

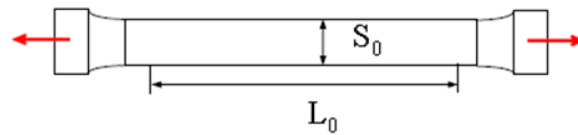


NOTE : Un câble, un fil, une corde sont toujours en traction.

Exemple : un barre de remorquage.



Exemple : éprouvette de traction (voir ci-après).



Exemple : câble soumis à l'effet de sous propre poids.



4.2 Essai de traction

Il permet de déterminer la Résistance à la limite élastique et la Résistance à la rupture des différents matériaux.

Il permet de définir les caractéristiques de résistance des matériaux.



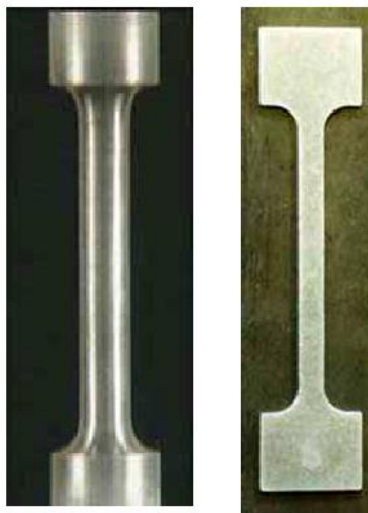
1 - Machine à essai de traction



2 - Machine à essai de traction



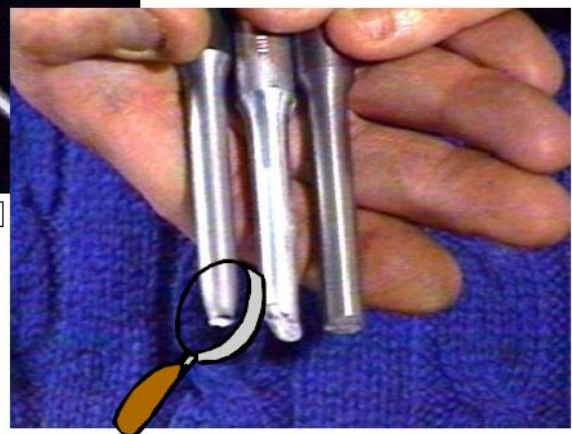
3 – Détail des mors et de l'éprouvette



4 – Éprouvettes cylindrique et plane

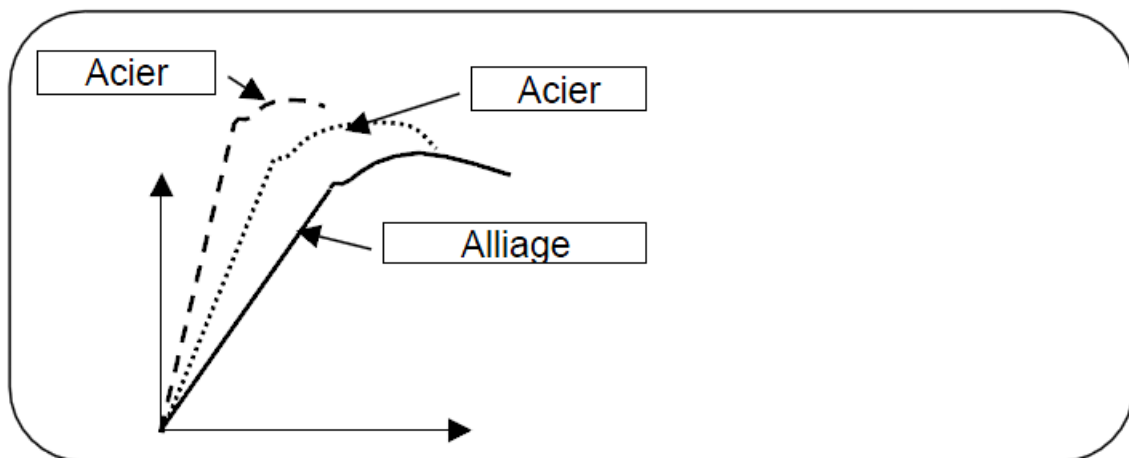
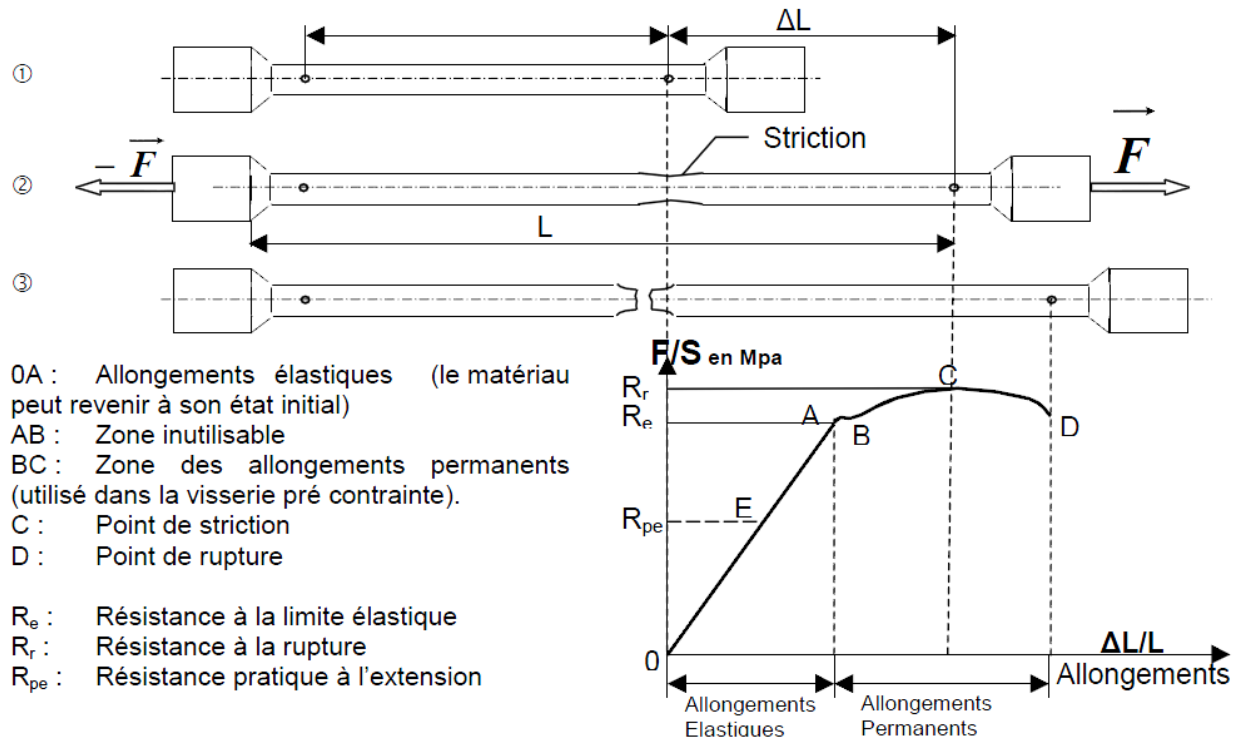


5 – Rupture d'éprouvette



5 – Striction et formes de la cassure d'éprouvette

L'éprouvette de longueur initiale L_0 , de section S , **subit une force croissante jusqu'à la rupture**. Le **graphe** traduit la relation entre les allongements de l'éprouvette et F/S .



5. Compression



5.1 Définition

Une pièce est soumise à la traction lorsqu'elle subit deux forces égales, directement opposées et orientées vers l'intérieure de la pièce, sur l'axe de la pièce. La compression tend donc à rétrécir la pièce.

Exemple : Poteau de support d'un plancher



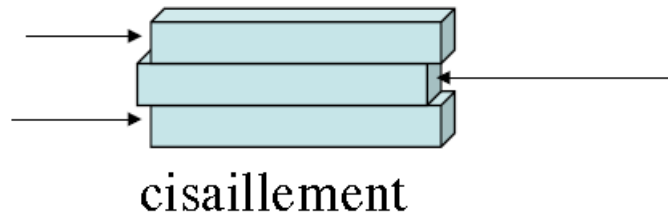
Exemple : réanimation d'un blessé.



Exemple : presse hydraulique à compression.

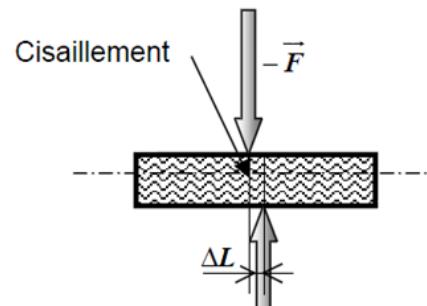


6. Cisaillement

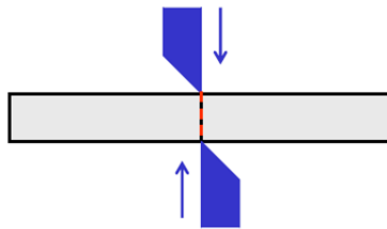


6.1 Définition

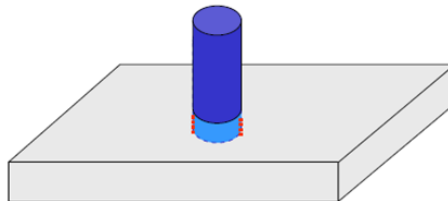
Une pièce est soumise au cisaillement lorsqu'elle subit deux forces égales et opposées (*le mot directement est volontairement enlevé*) perpendiculaires à la ligne moyenne.



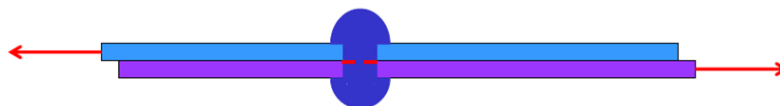
Exemple : cisaillement pur.



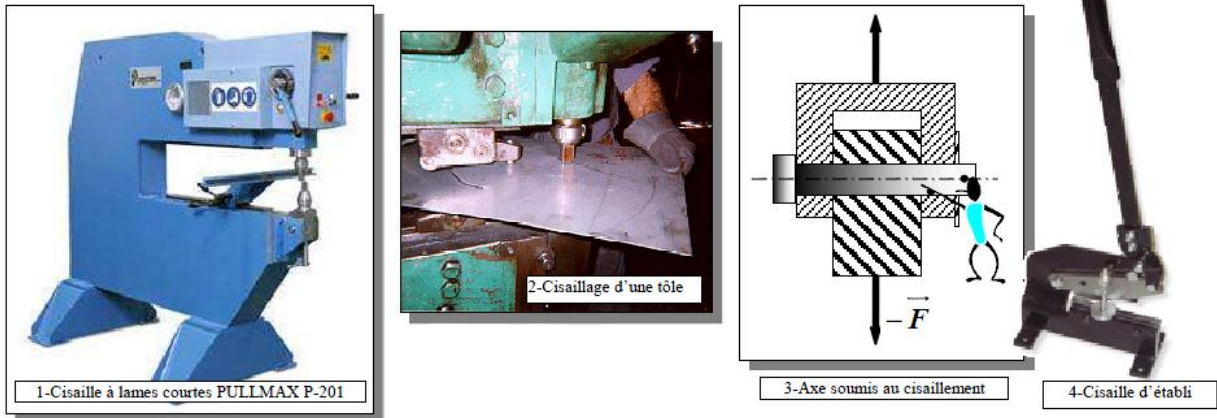
Exemple : poinçonnage



Exemple : rivetage.



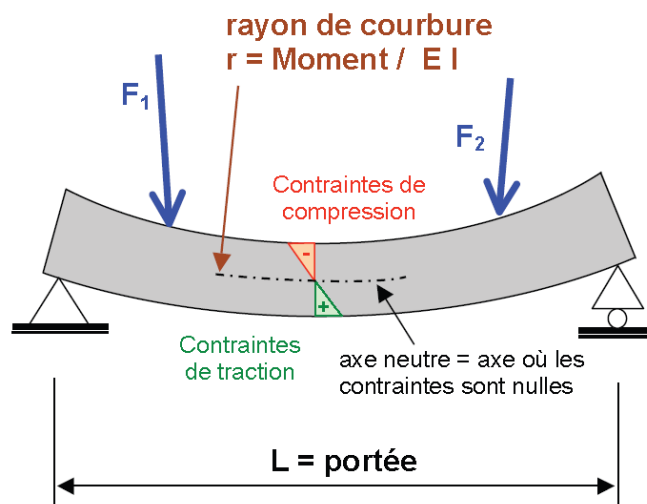
6.2 Applications du cisaillement



7. Flexion

7.1 Définition

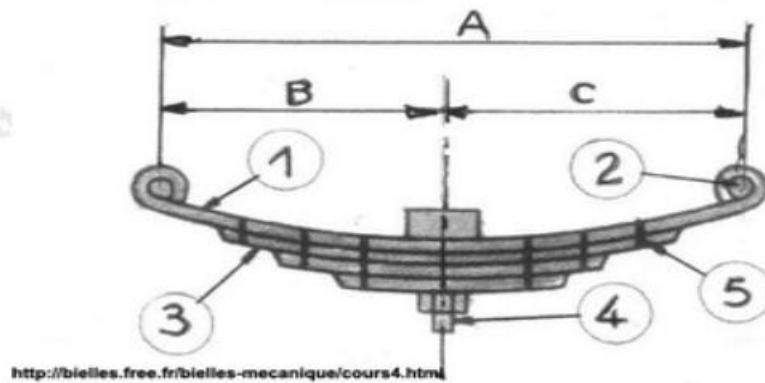
Lorsqu'une poutre est soumise à un effort de flexion, elle fléchit. Cette déformation en forme de "banane" est également appelée **courbure**. On constate alors que la partie supérieure de la section de coupe est soumise à un effort de compression alors que la partie inférieure est soumise à un effort de traction. Entre ces deux situations, il existe un point particulier où les contraintes sont nulles; il est appelé **axe neutre** (à ne pas confondre avec l'axe d'inertie !)



Exemple : planche de plongoir



Exemple d'une suspension utilisant la flexion.

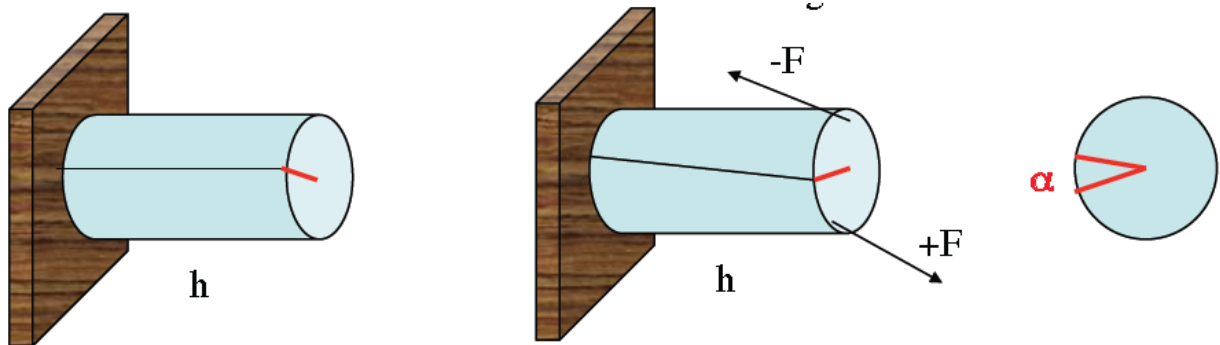


1	Lame maîtresse
2	Oeil de montage
3	lame sous-maîtresse
4	Boulon étoquiau
5	Les étriers



© Calvin and Hobbes

8. Torsion

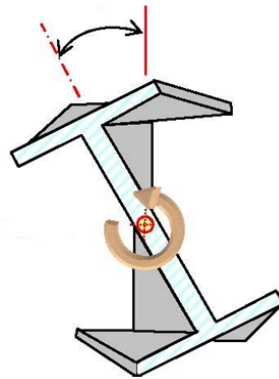


8.1 Définition

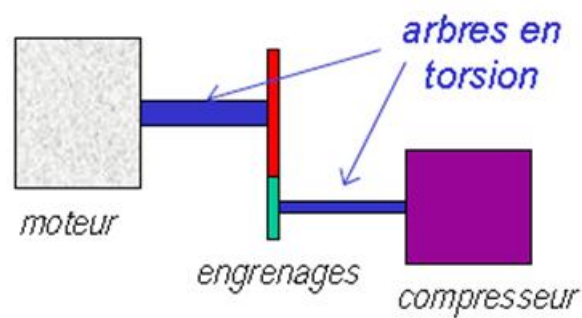
Une pièce est soumise à une torsion, lorsqu'elle est soumise à ces extrémités à un moment porté par l'axe de symétrie de la pièce.

Exemple : arbre de transmission d'un moteur, tige de tournevis.

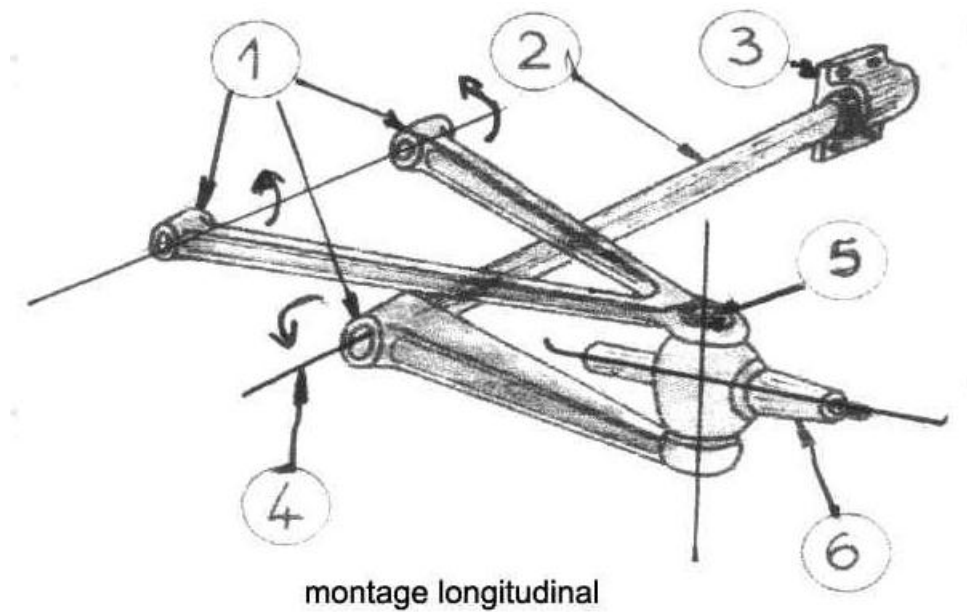
Exemple : torsion d'une poutre.



Exemple : arbre de transmission



Exemple : suspension utilisant une barre de torsion.

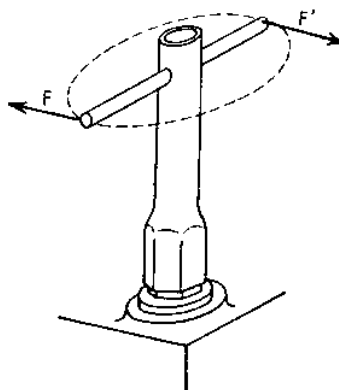


1	Articulation des bras de suspension
2	Barre de torsion
3	Enclage de la barre
4	Axe longitudinal du cadre
5	Axe de pivot
6	La fusée

Exemple : ressort.



Exemple : serrage d'une vis avec une clé à douille.

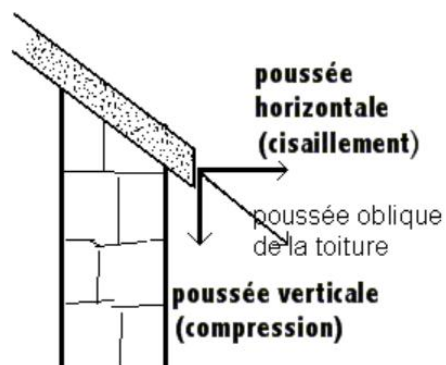


9. Sollicitations composées

Note les mécanismes sont souvent soumis à plusieurs sollicitations différentes en même temps.

Type	Exemple
Flexion et torsion	arbre de transmission
Flexion et traction	vis
Flexion et compression	poteau d'angle
Cisaillement et compression	pile de pont en rivière navigable
Cisaillement et traction	boulon précontraint

Exemple ; une toiture



10. Exercices

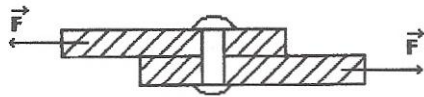
Identifier les types de sollicitations auxquels sont soumis les éléments des mécanismes ci-dessous

Le rivet du schéma 1 est soumis:

Coche la bonne réponse

☐	A la compression
☐	A la flexion
☐	A la traction
☐	Au cisaillement
☐	A la torsion

Schéma 1

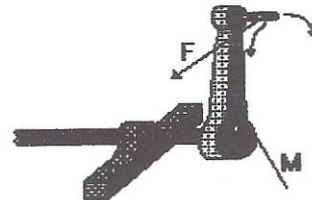


L'axe du schéma 2 est soumis :

Coche la bonne réponse

☐	A la compression
☐	A la flexion
☐	A la traction
☐	Au cisaillement
☐	A la torsion

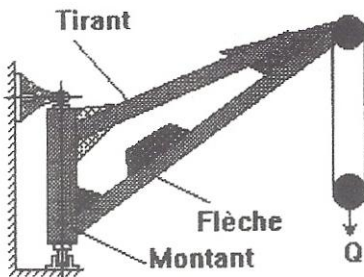
Schéma 2



La flèche de la grue est soumise :

Coche la bonne réponse

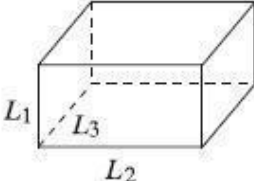
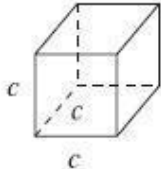
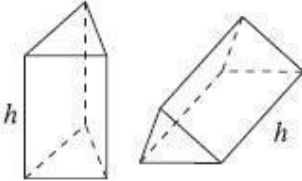
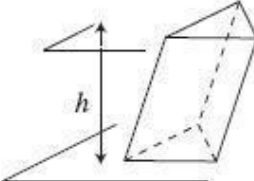
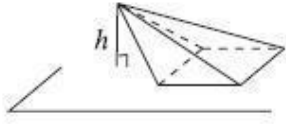
☐	A la compression
☐	A la flexion
☐	A la traction
☐	Au cisaillement
☐	A la torsion

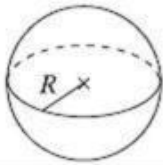
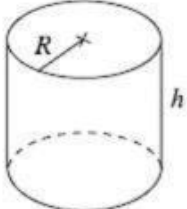
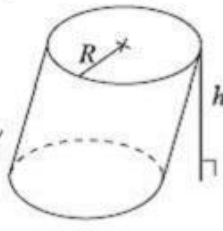
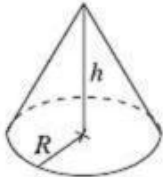
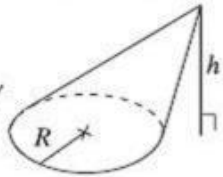


Mêmes questions pour le tirant et le montant.

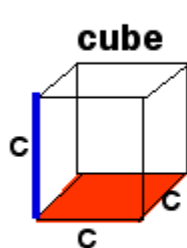
Surfaces et volumes

1. Formulaire

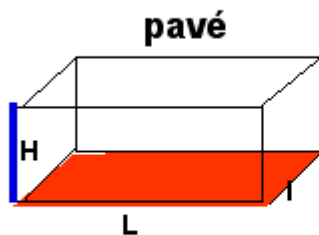
Solides	Mesure du volume	Signification des lettres
Parallélépipède rectangle 	$V = L_1 \times L_2 \times L_3$	L_1 , L_2 , et L_3 sont les mesures des longueurs des trois arêtes partant d'un sommet.
Cube 	$V = c^3$	c est la mesure de la longueur d'une arête.
Prisme droit 	$V = B \times h$	B est la mesure de l'aire d'une base et h est la distance des plans contenant les bases.
Prisme oblique 	$V = B \times h$	B est la mesure de l'aire d'une base et h est la distance des plans contenant les bases.
Pyramide 	$V = \frac{B \times h}{3}$	B est la mesure de l'aire de la base et h la mesure de la hauteur (c'est-à-dire la distance du sommet au plan de la base).

Solides	Mesure du volume	Signification des lettres
Boule 	$V = \frac{4}{3} \pi R^3$	R est la mesure du rayon de la sphère.
Cylindre de révolution 	$V = \pi R^2 \times h$	R est la mesure du rayon de la base ; h est la mesure d'une génératrice.
Cylindre oblique 	$V = B \times h$	B est la mesure de l'aire de la base et h la distance des deux plans contenant les bases.
Cône de révolution 	$V = \frac{1}{3} \pi R^2 \times h$	R est la mesure du rayon de la base et h celle de la hauteur.
Cône quelconque 	$V = \frac{1}{3} B \times h$	B est la mesure de l'aire de la base et h la distance du sommet au plan contenant la base.

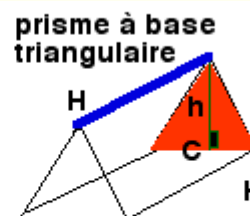
Volumes des "solides droits" = **Aire de Base X Hauteur**



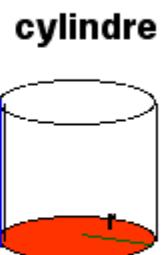
$$V = c^3$$



$$V = L \times l \times H$$



$$V = (c \times h) / 2 \times H$$

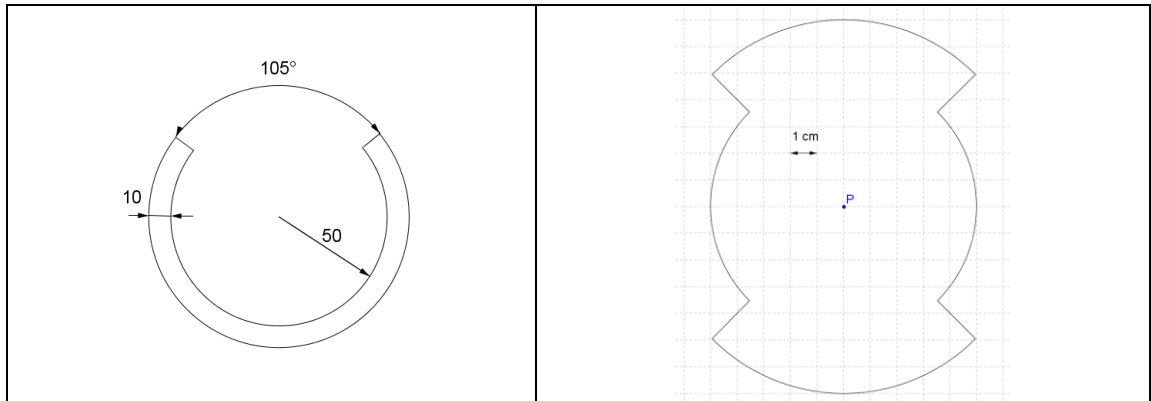


$$V = \pi r^2 \times H$$

2. Exercices sur les surfaces et volumes

1) Calculer les surfaces

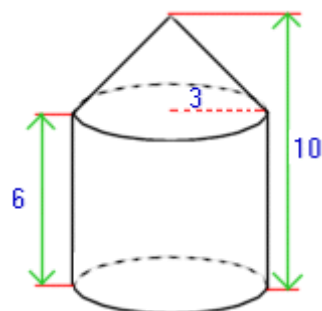
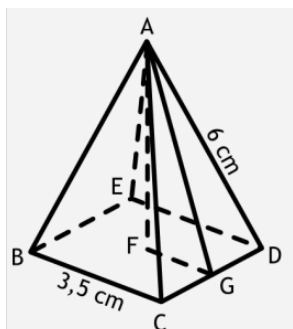
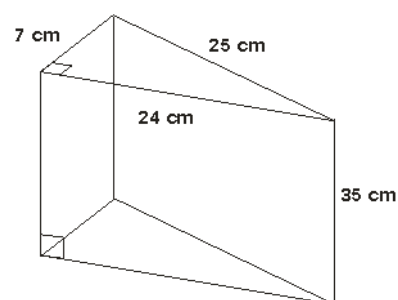
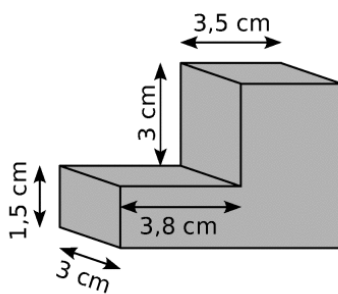
Les deux ronds sont des trous.	Les deux ronds sont des trous.



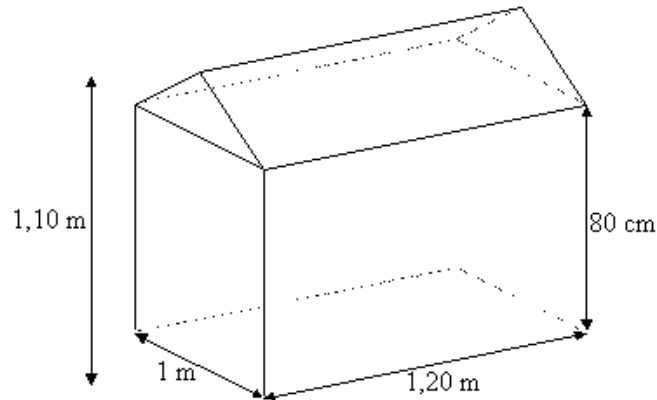
2) Calculer les volumes suivants

- Cube de 3 cm de côté.
- Parallélépipède rectangle. $L = 5$ cm, $l = 2$ cm, $H = 4$ cm.
- Une demi-sphère de 5 cm de rayon.
- Un quart de sphère de diamètre 10 cm.
- Un cylindre de 5 cm de diamètre et de 10 cm de haut.
- Volume intérieure d'un tuyau de 3 cm de diamètre extérieure, de 2 mm d'épaisseur et de hauteur 10 cm.
- Un cylindre de 3 cm de diamètre de 10 cm de haut, surmonté d'une demi-sphère.
- Un cube de 5 cm de côté surmonté d'une pyramide de 4 cm.
- Un cube de 8 cm dans lequel on a creusé une sphère de diamètre égale à la moitié du côté du cube.
- Un tuyau de 4 cm de diamètre auquel on a adjoint à une extrémité une demi-sphère et de l'autre un cône de 2 cm de haut.
- Une demi-sphère de 8 cm surmontée d'un cône de 5 cm de haut.
- Un prisme à base hexagonale de côté 4 cm et de hauteur 8 cm.
- Un prisme dont la base est un triangle équilatéral de côté 4 cm, de hauteur 6 cm et qui est surmonté d'une pyramide de même base et de 3 cm de haut.

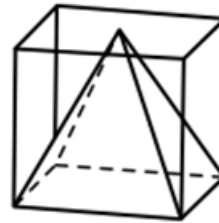
3) Calculer la surface latérale totale et le volume des volumes suivants :



- 4) Calculer la surface totale et le volume de la maison de poupée suivante :

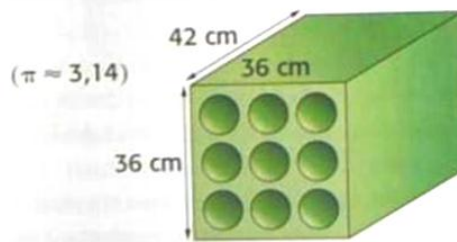


- 5) Soit une pyramide inscrite dans un cube de 15 cm d'arête, quels sont l'aire latérale et le volume de la pyramide



Un casier à bouteilles en plastique a la forme d'un pavé droit contenant neuf compartiments cylindriques, de diamètre 10 cm chacun, traversant le pavé dans toute sa profondeur.

1. Calculer le volume du pavé droit à partir duquel a été formé le casier.
2. Calculer le volume intérieur d'un compartiment.
3. En déduire le volume de plastique.

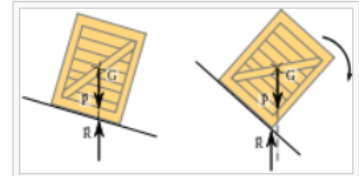


3. Centre de gravité

Le centre de gravité G est le point d'application du poids d'un objet. Il faut donc le connaître pour pouvoir résoudre les problèmes de statique.

Mais la connaissance du centre de gravité est aussi un élément de sécurité important, concernant la stabilité des objets :

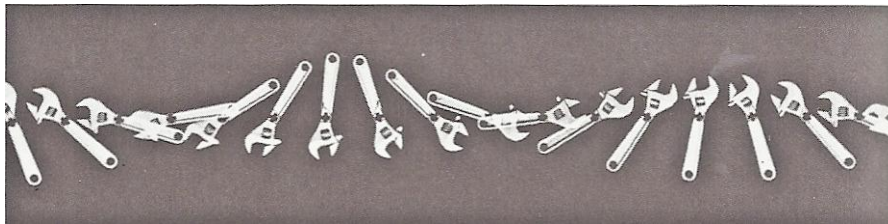
- lorsque l'on pose un objet sur des appuis, il faut impérativement que le centre de gravité se trouve entre les appuis, sinon l'objet bascule ; c'est notamment critique dans le cas d'un plan incliné ;
- lorsque l'on lève un objet avec une élingue (câble, sangle), le centre de gravité se met à l'aplomb du point d'accroche de l'élingue ; si les deux ne sont pas alignés au départ, l'objet va basculer.



Caisse sur un plan incliné : lorsque la verticale au centre de gravité sort de la zone d'appui, la caisse bascule

La détermination du centre de gravité d'un système est aussi importante en mécanique pour de multiples problèmes comme par exemple assurer la stabilité de la pièce ou du mécanisme et empêcher les vibrations (balourds),.....

On peut également montrer que le mouvement d'un solide peut en général se ramener au mouvement de son centre de gravité



Lancé d'un clé à molettes : le centre de gravité de la clé est en mouvement rectiligne uniforme. Le reste de la clé tourne autour du centre de gravité

3.1 Détermination du centre de gravité

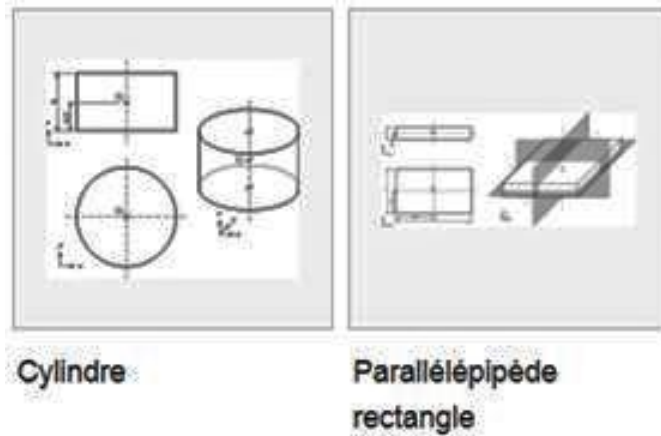
Pour déterminer la position du centre de gravité, on applique les règles suivantes.

1^{er} principe

Si l'objet est fait d'un matériau homogène et qu'il présente un plan de symétrie orthogonale (miroir), G est dans ce plan de symétrie.

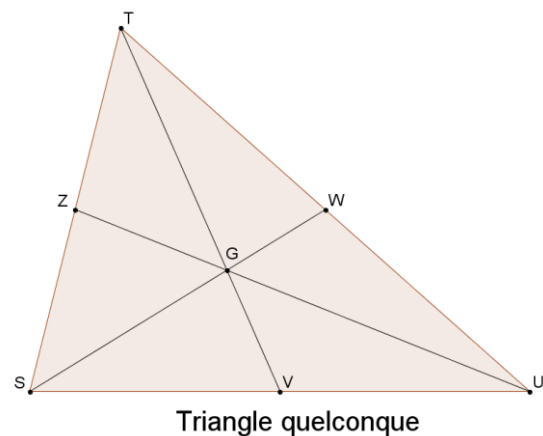
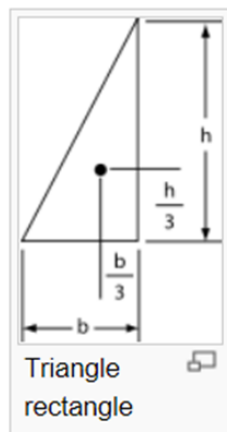
S'il présente un axe de symétrie orthogonale, G est sur cet axe. S'il présente un point de symétrie centrale, G est ce point.

Pour les objets de forme simple — cube, parallélépipède rectangle (et notamment tôles rectangulaires, plats — barres de section rectangulaire — et carrés — barres de section carrée), sphères (boules, réservoirs sphériques), cylindres (et notamment disques, ronds — barres de section circulaire —, tubes et viroles) —, le centre de gravité est le centre de l'objet.



2^e principe

Dans le cas d'un prisme dont la base est un triangle rectangle, le centre de gravité se situe sur la droite située au tiers des côtés de l'angle droit.



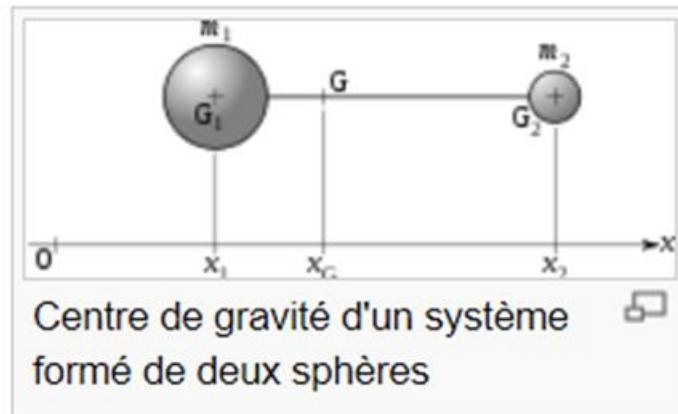
Dans le cas d'un triangle quelconque, le centre de gravité est le point de rencontre des médianes du triangle.

3^e principe

Si le système est composé de deux objets rep. 1 et 2, de masse respective P_1 et P_2 , et de centre de gravités respectifs G_1 et G_2 situés à l'abscisse x_1 et x_2 , alors le centre de gravité total G est situé à l'abscisse

$$x_G = \frac{P_1 x_1 + P_2 x_2}{P_1 + P_2}.$$

C'est la moyenne pondérée des abscisses.



Cette méthode peut s'étendre à n pièces de masse $P_1, P_2, \dots, P_n$ et dont les abscisses des centres de gravité sont notées $x_1, x_2, \dots, x_n$:

$$x_G = \frac{P_1 x_1 + P_2 x_2 + \dots + P_n x_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i}{P_{\text{total}}}.$$

Calcul du centre de gravité

Pièce i	P_i	x_i	$P_i x_i$
1	P_1	x_1	$P_1 x_1$
2	P_2	x_2	$P_2 x_2$
...			
n	P_n	x_n	$P_n x_n$
Somme	P_{total}	—	A

et

$$x_G = \frac{A}{P_{\text{total}}}.$$

Exemple

La pièce 1 a pour masse $P_1 = 100$ N et son centre de gravité G_1 a pour abscisse $x_1 = 1$ m ; pour la pièce 2, on a $P_2 = 50$ N et $x_2 = 3$ m.

Calcul du centre de gravité

Pièce i	P_i	x_i	$P_i x_i$
1	100	1	100
2	50	3	150
Somme	150	—	250

donc

$$x_G = \frac{250}{150} = 1,67 \text{ m.}$$

On peut aussi présenter le calcul sous la forme d'une formule :

$$x_G = \frac{\sum_{i=1}^2 P_i x_i}{\sum_{i=1}^2 P_i} = \frac{P_1 x_1 + P_2 x_2}{P_1 + P_2} = \frac{100 \times 1 + 50 \times 3}{100 + 50} = 1,67 \text{ m.}$$

Note

On peut utiliser n'importe quelle unité de longueur tant que l'on utilise toujours la même ; pour les grands systèmes, il est souvent intéressant d'utiliser des mètres afin de manipuler des nombres plus petits. Par ailleurs, la position de l'origine des abscisses O n'a pas d'importance. Il arrive fréquemment que l'on prenne un des centres de gravité comme origine, par exemple $O = G_1$ et donc $x_1 = 0$, ce qui simplifie les calculs.

Note

Puisque le poids est proportionnel à la masse, on peut utiliser la masse (en kg) pour pondérer :

$$x_G = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2 + \dots + p_n x_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i}.$$

Si les pièces sont en tôles qui sont faites du même matériau et qui ont la même épaisseur, on peut utiliser l'aire des pièces (en m^2 , cm^2 ou mm^2), puisque la masse est proportionnelle à l'aire :

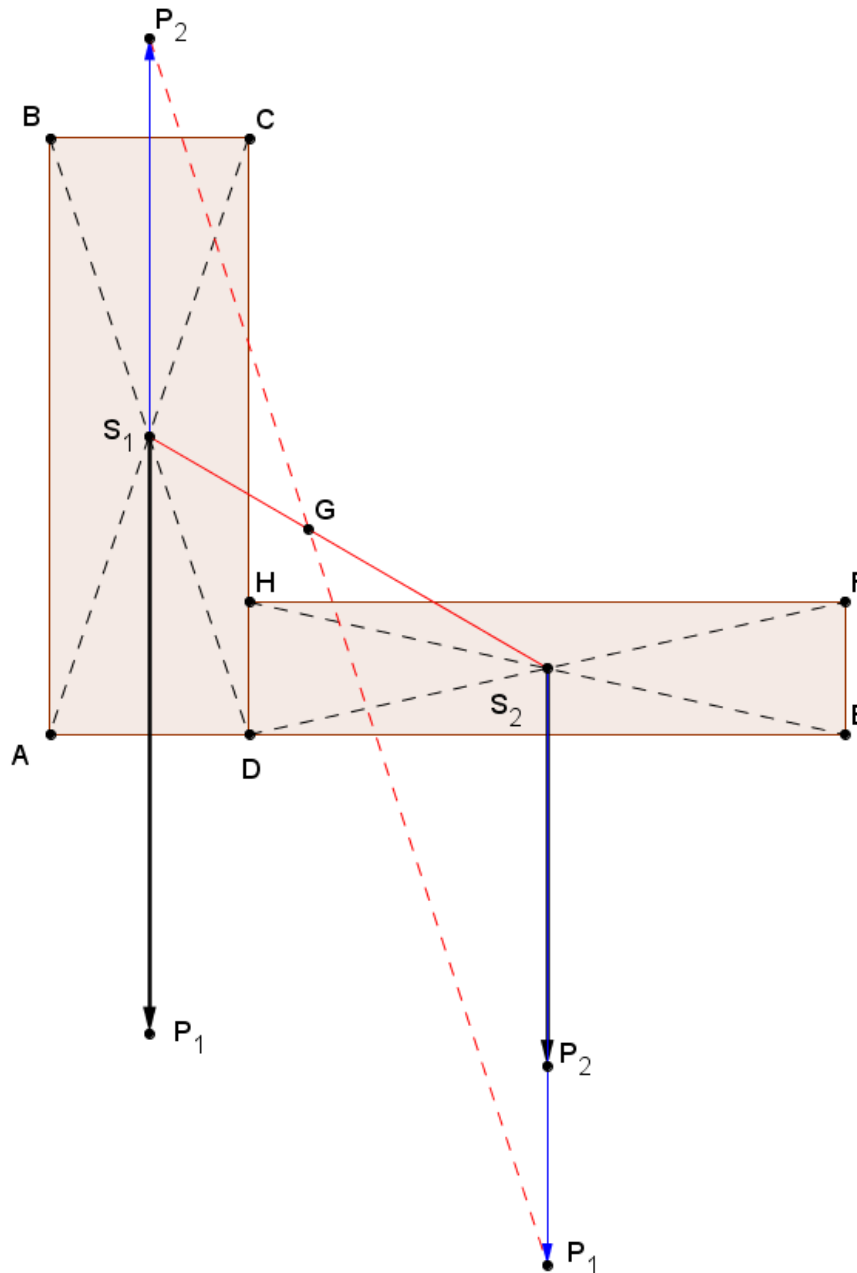
$$x_G = \frac{S_1 x_1 + S_2 x_2 + \dots + S_n x_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i x_i}{\sum_{i=1}^n S_i}.$$



3.2 Détermination graphique du centre de gravité.

3.2.1 Exemple 1 : Pièce composée

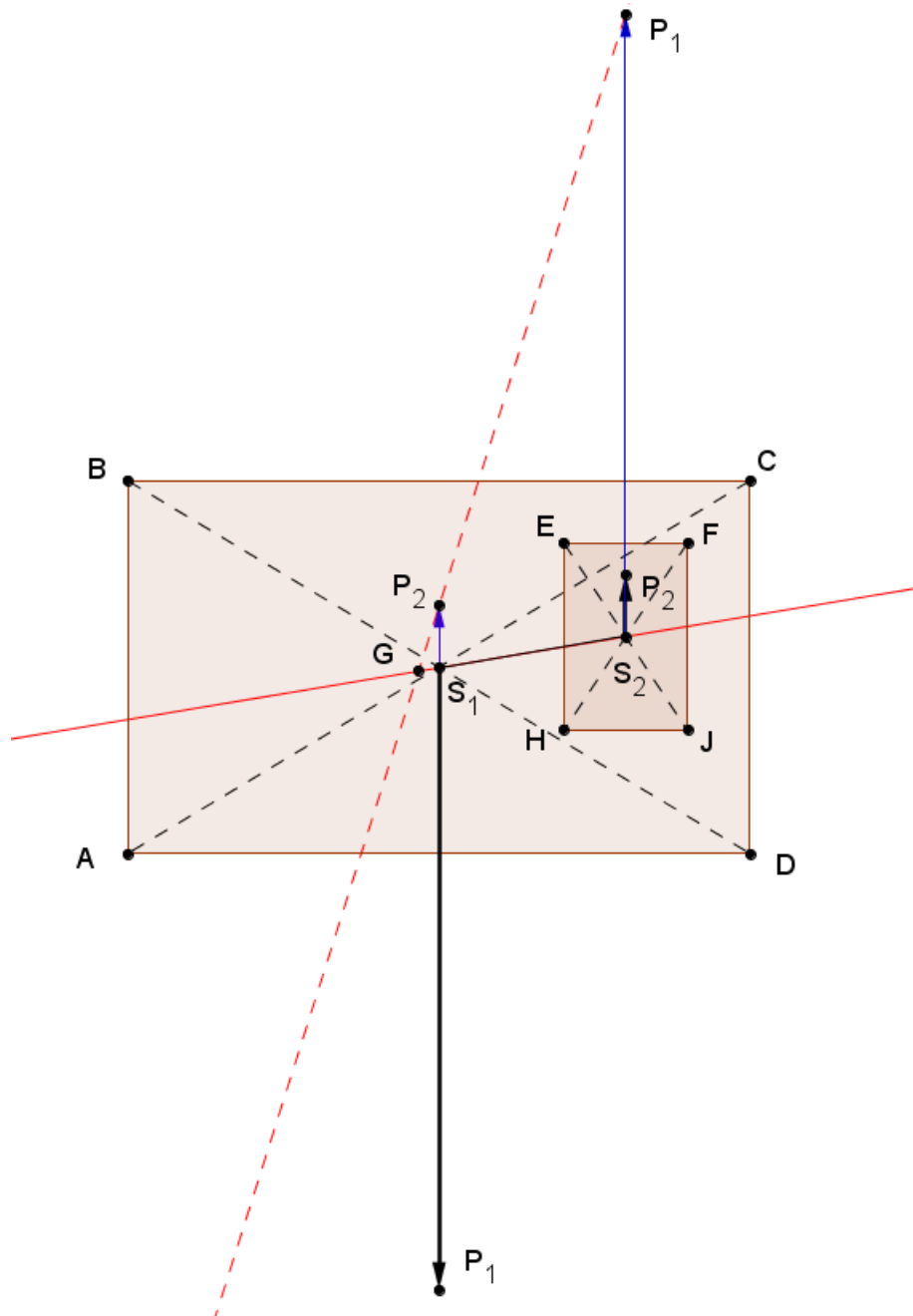
1. Déterminer S_1 et S_2 , les centres de gravité des rectangles $ABCD$ et $DEFH$.
2. On trace S_1S_2 . **Le centre de gravité G se trouve sur cette ligne.**
3. On trace deux vecteurs P_1 en S_1 et P_2 en S_2 de longueur proportionnelle aux aires des deux rectangles. (Par exemple : 1 cm pour 1 cm²)
4. On reporte les vecteurs : P_1 en S_2 (même sens) et P_2 en S_1 (sens opposé).
5. G est l'intersection de P_1P_2 avec S_1S_2 .



3.2.2 Exemple 2 : Pièce avec un « trou ».

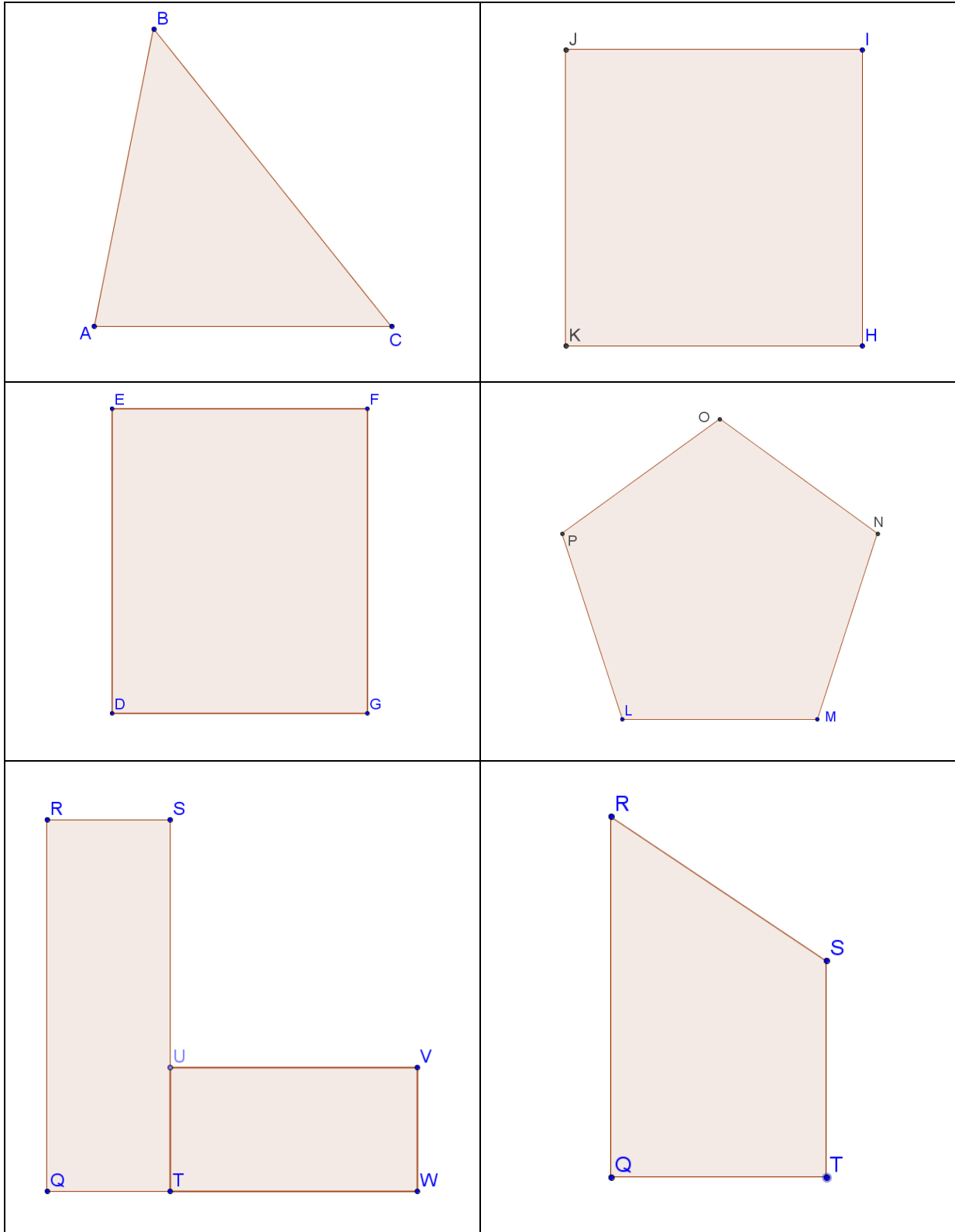
Soit la pièce $ABCD$ comportant le trou $EFHJ$

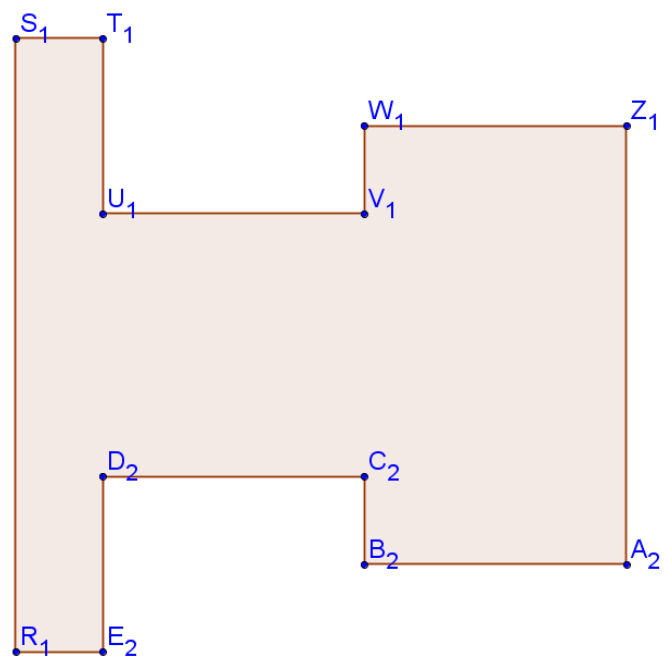
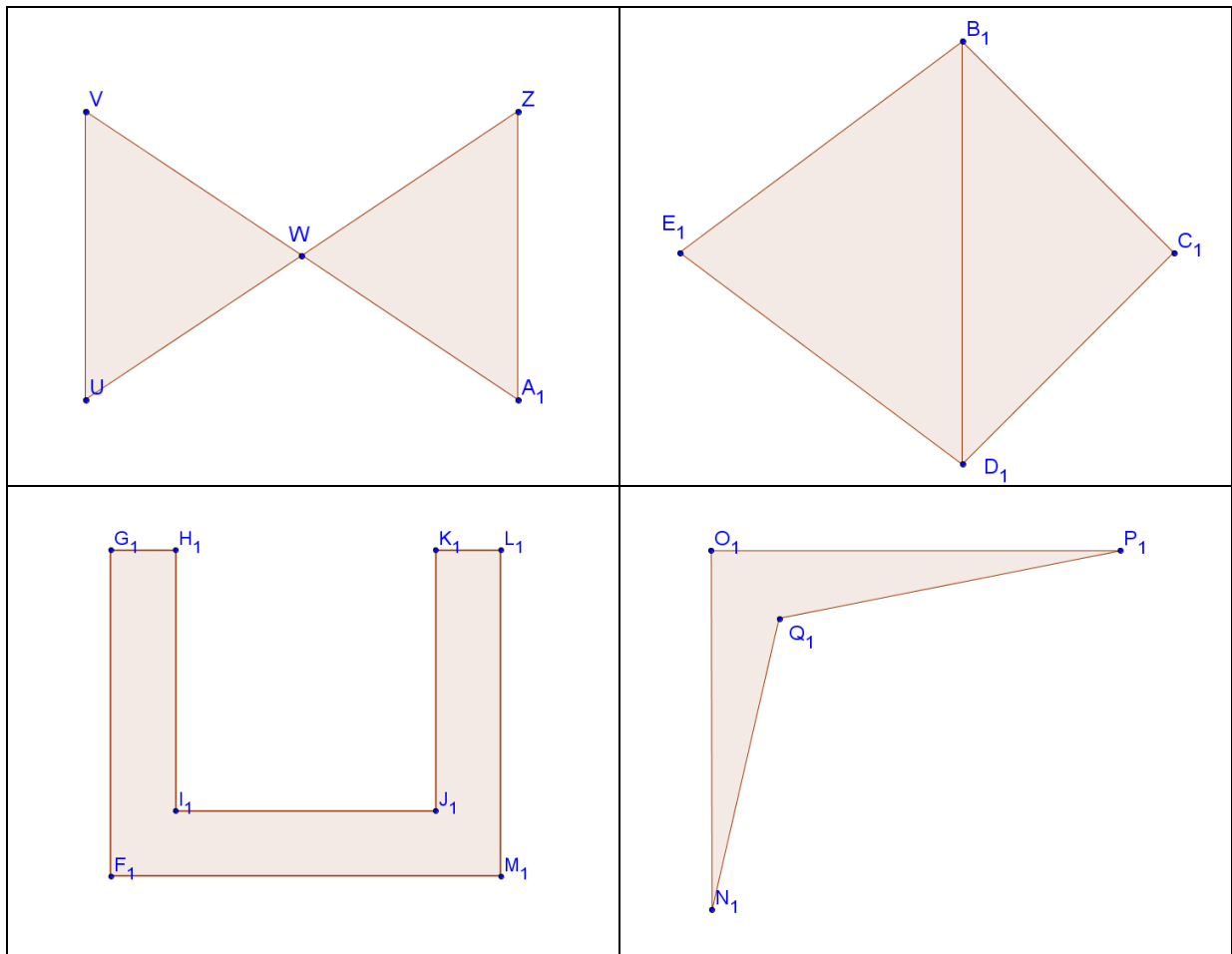
1. Déterminer S_1 et S_2 , les centres de gravité des rectangles $ABCD$ et $EFHJ$.
2. On trace S_1S_2 . **Le centre de gravité G se trouve sur cette ligne.**
3. On trace deux vecteurs P_1 en S_1 et P_2 en S_2 de longueur proportionnelle aux aires des deux rectangles. (Par exemple : 1 cm pour 1 cm²). Attention : le sens du vecteur P_2 est **opposé** à celui du vecteur P_1 .
4. On reporte les vecteurs : P_1 en S_2 (même sens) et P_1 (sens opposé).
5. G est l'intersection de P_1P_2 avec S_1S_2 .

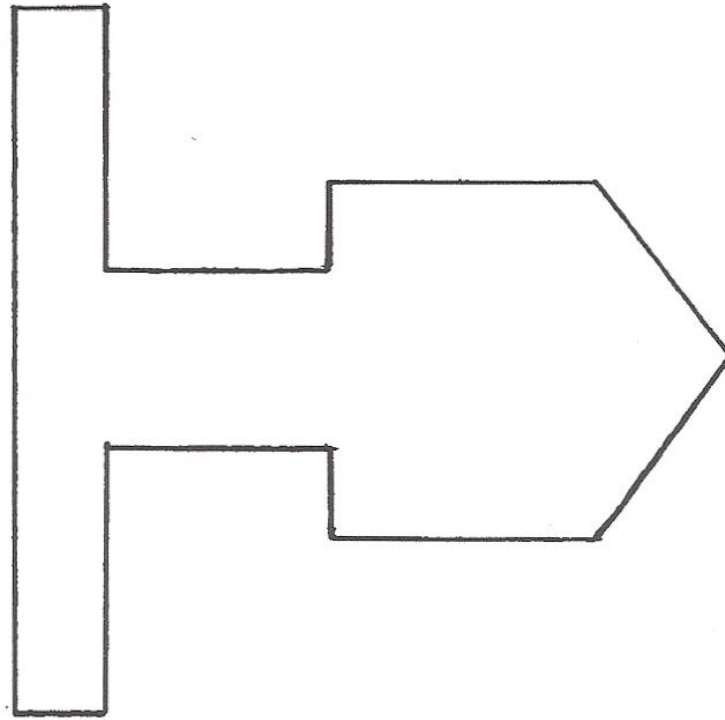


3.3 Exercices

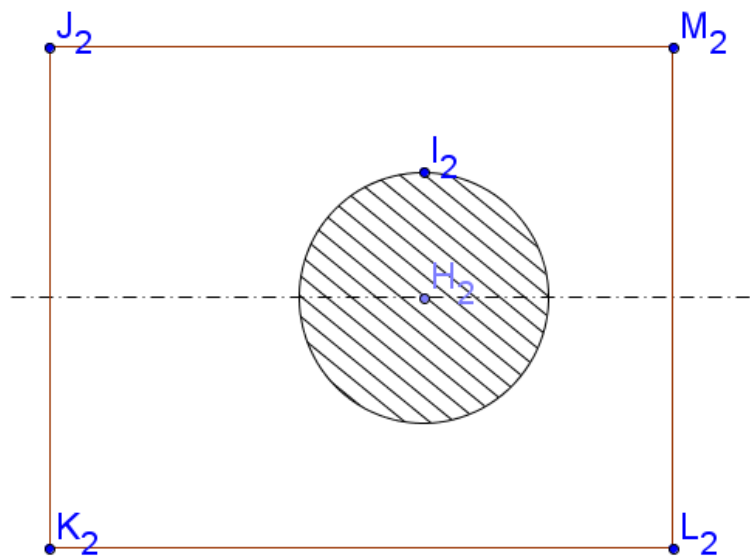
Trouver graphiquement le centre de gravité des figures suivantes. (Echelle 1/1)



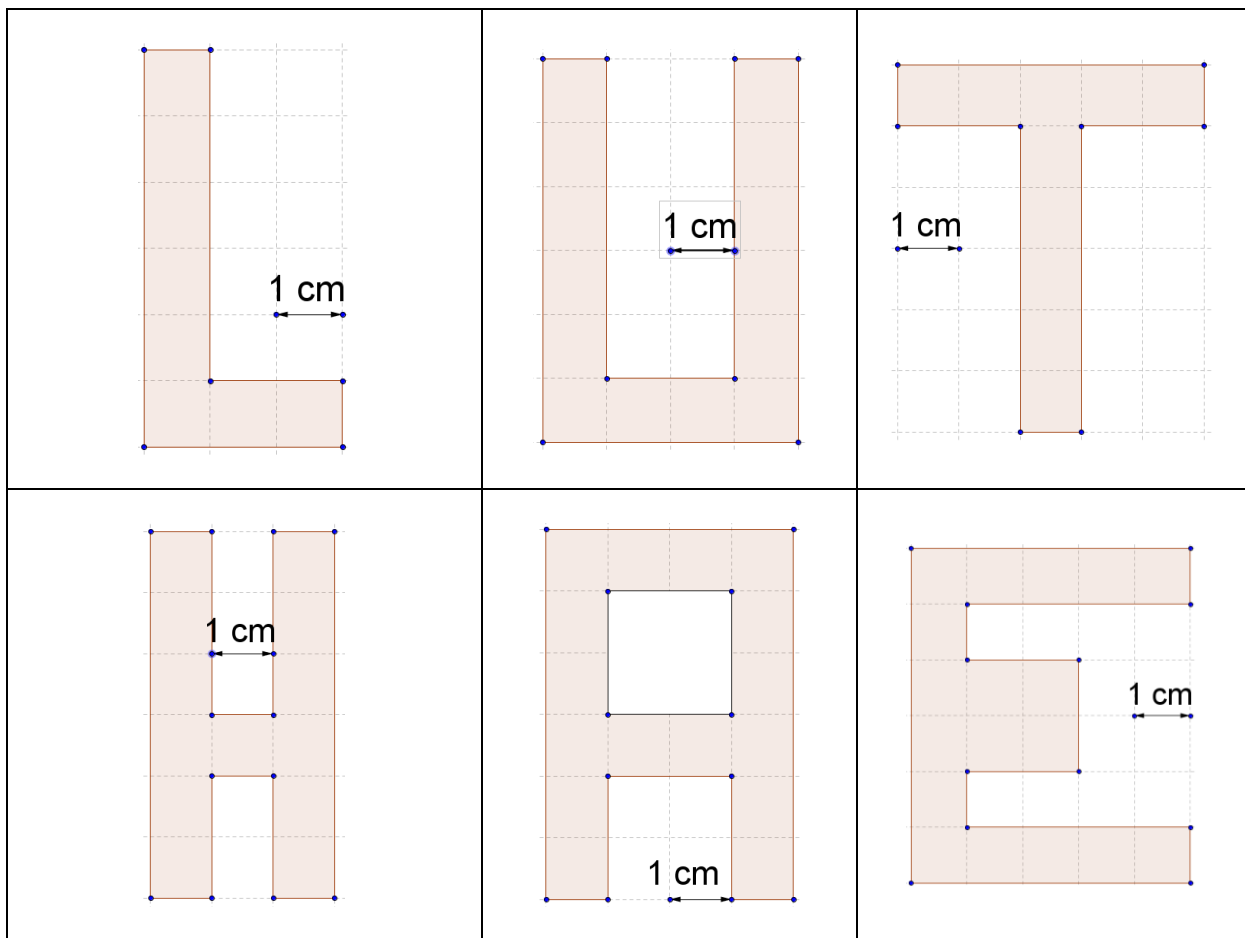




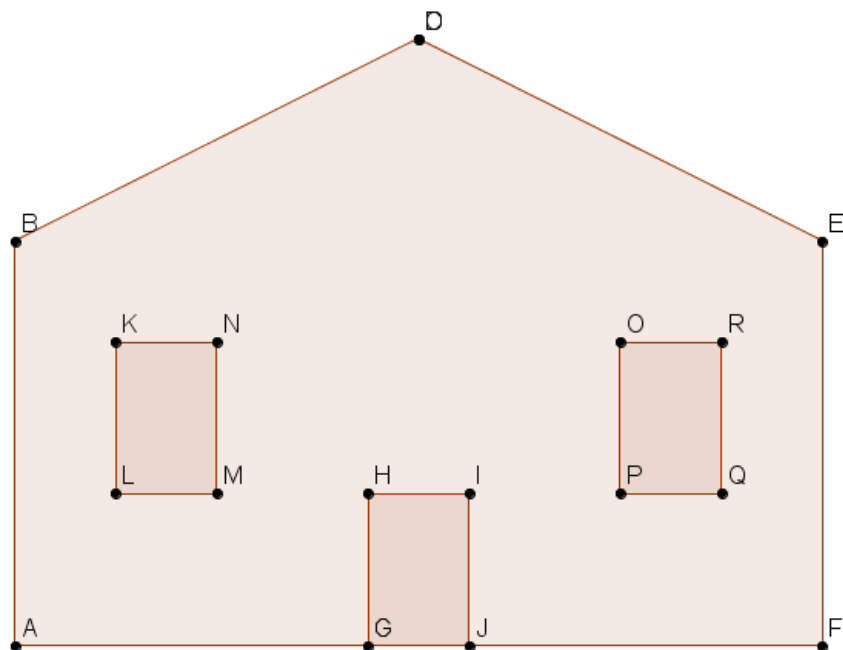
Pièce avec un trou



Trouver par calcul le centre de gravité des figures suivantes :



Pièce avec 3 trous. (Note : reproduire le dessin à plus grande échelle)



Eléments d'hydraulique

1. Rappels

1.1 Définition d'une force

En physique, la force est une action mécanique capable de créer :

- une accélération, c'est-à-dire une modification de la vitesse d'un objet ou d'une partie d'un objet, ce qui induit un déplacement
- ou une déformation de l'objet.

1.2 Représentation d'une force.

Le poids d'un corps mesure la force avec laquelle la Terre attire un objet de masse donnée en un endroit déterminé. La force est représentée par un segment orienté de droite (plus tard nous dirons : un vecteur). Ce segment orienté de droite possède :

- 1- Une direction (la droite qui détermine le segment)
- 2- Un sens
- 3- Un point d'application, c'est-à-dire à quel endroit la force agit. En général, ce point est le centre de gravité du corps.
- 4- Une intensité qui se mesure en newtons. La longueur du segment orienté est proportionnelle à l'intensité de la force.

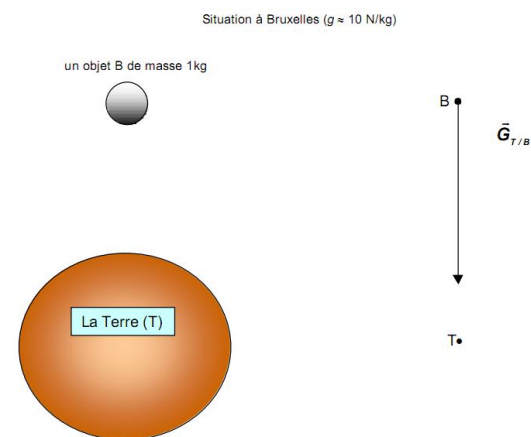
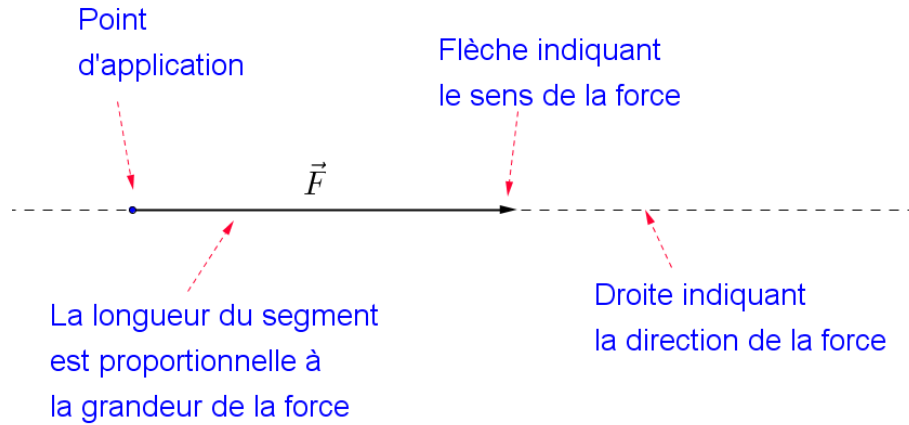


Fig 4.1 : Représentation de la force poids d'un objet B de masse 1 kg

Une force peut donc se représenter par un segment orienté de droite. Une force est une grandeur caractérisée par une direction, un sens, un point d'application et une grandeur. Une force est une grandeur vectorielle.

Une force sera en général représentée par le symbole $\vec{F}$ (une flèche au-dessus). A ne pas confondre avec F (sans flèche) qui représente la grandeur de la force.

Attention : une force n'est pas un nombre, c'est un vecteur. Par contre, la grandeur de la force est bien un nombre exprimé généralement en Newtons.

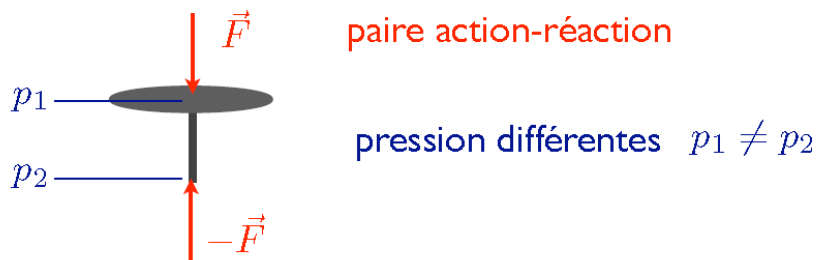


2. Pression

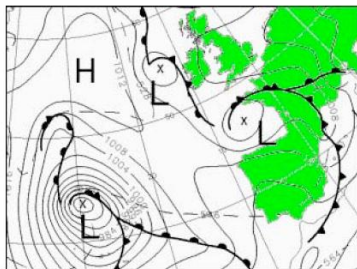
2.1 Exemples

- * Un couteau qui coupe bien est capable d'exercer une grande pression pour une force faible. En l'aiguïsant, on réduit sa surface et on augmente donc la pression.
- * Pour se déplacer sur la neige sans trop enfoncer, il faut réduire la pression en augmentant la surface de contact. On utilisera donc des skis ou des raquettes pour se déplacer dans des endroits très enneigés.
- * Un clou est fait pour être enfoncé dans un certain sens où la pression est maximale avec une force donnée. Pour s'en convaincre, il suffit de vouloir l'enfoncer à l'envers.

- punaise

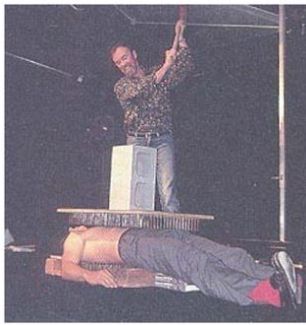


- pression atmosphérique : force = poids de l'air



$$p = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1013 \text{ hPa} = 1 \text{ atm}$$

- Fakir :



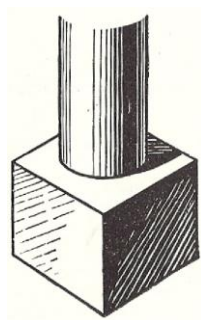
- Raquettes et skis sur la neige



- Tracteur à chenilles sur la neige :



Pied de pilier



2.3 Définition

Les exemples précédents montrent que les effets d'une force sont différents selon la surface sur laquelle elle agit. Dans l'exemple de la punaise, on cherche à **augmenter** l'effet de la force. Dans l'exemple du ski, on cherche à **diminuer** l'effet de la force.

On est donc naturellement amené à définir une nouvelle grandeur appelée **pression** :

Quand une surface pressée S est soumise à la force pressante F , on dit qu'il y a, à cet endroit, une pression p telle que :

$$p = \frac{F}{S}$$

La pression s'exprime en N/m^2 ou en Pascal (Pa).

2.4 Exercices

1. Le centre international de Paris est un ensemble hôtelier d'une masse de 90 kT et réparti sur une superficie de 50 000 m^2 . quelle est la pression moyenne supportée par le sol ?
2. Calculer la pression exercée par un homme de 960 N lorsqu'il repose :
 - sur ses pieds (surface d'une semelle de chaussure = 1,2 dm^2)
 - sur des skis (surface d'un ski = 16 dm^2)
3. Une machine à vapeur a été conçue de façon à supporter une pression maximale de 10^6 Pa. A cette fin, une soupape ferme un orifice de 4 cm^2 . Quelle est la poussée correspondante qui commande le fonctionnement de cette soupape ?
4. Un bloc de maçonnerie pèse 20 T. la surface de base est un carré. Calculer le côté de ce carré si la pression exercée est de $20 \cdot 10^4$ Pa.

3. La pression hydrostatique

3.1 Pression et force pressante dans les liquides

Un liquide contenu dans un récipient exerce une force sur chaque fragment de la paroi avec laquelle il est en contact. La droite d'action de cette force est perpendiculaire à la paroi. On parle de force pressante.

On peut donc définir une pression au sein du liquide qui sera le rapport de la force pressante (en Newtons) divisée par la surface (en m^2). La pression est dite pression hydrostatique (en Pa).

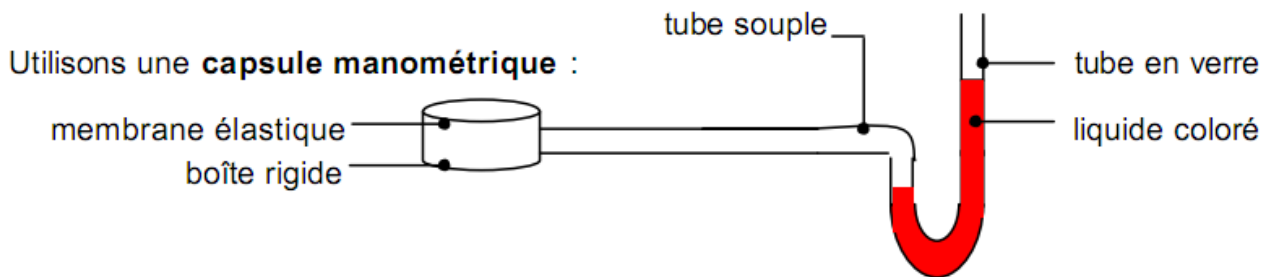
$$P = \frac{F}{S}$$

P Pression hydrostatique en Pa

F Force pressante en N

S Surface sur laquelle agit la force pressante en m^2

3.2 Etude qualitative de la pression au sein d'un liquide



Usage : si la capsule manométrique est hors de l'eau, les niveaux d'eau colorée dans les 2 branches du manomètre sont égaux ; le niveau du liquide coloré est en rapport avec la pression exercée sur la membrane ; plus la pression est élevée, plus le liquide monte.

La capsule manométrique est l'instrument qui permet d'estimer la pression hydrostatique.

3.2.1 Vérification de l'existence de la pression au sein d'un liquide.

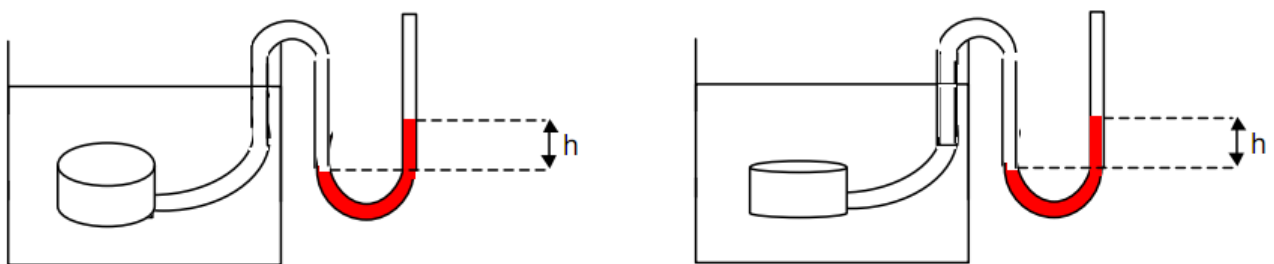
Plongeons la capsule manométrique dans l'eau.

Nous constatons que le niveau de liquide coloré monte.

La pression hydrostatique est la pression qui existe au sein d'un liquide.

3.2.2 Facteurs influençant la pression hydrostatique :

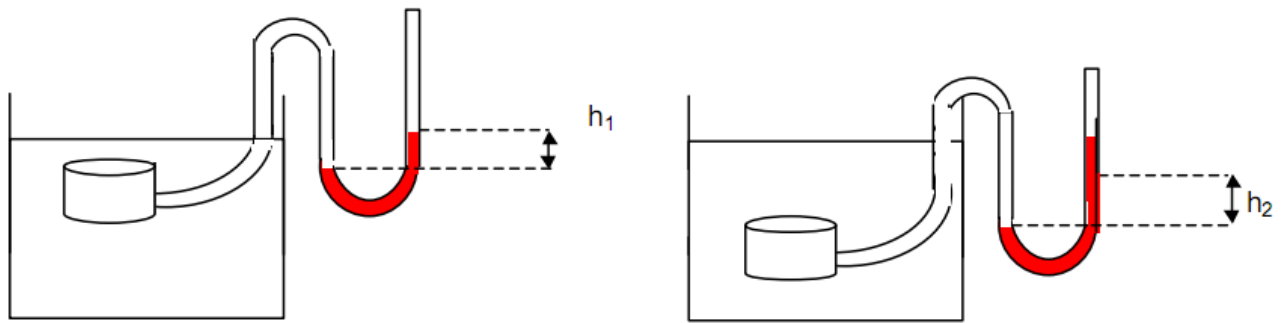
3.2.2.1 Etude du paramètre direction



Si on maintient la capsule à la même profondeur et qu'on la tourne dans toutes les directions, il n'y a pas de modification de la pression.

Le paramètre « direction » est-il un paramètre significatif de la pression hydrostatique ? Non.

3.2.2.2 Influence de la profondeur :

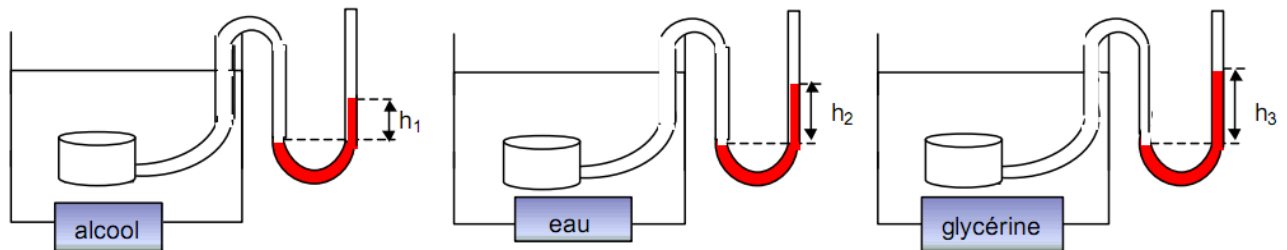


Si on enfonce la capsule de plus en plus profondément dans l'eau :

Le paramètre « profondeur » est-il un paramètre significatif de la pression hydrostatique ? Oui.

3.2.2.3 Influence de la nature du liquide :

Si on enfonce la capsule dans des liquides de nature différente :



Si on enfonce la capsule dans des liquides de nature différente :

Le paramètre « masse volumique » est-il un paramètre significatif de la pression hydrostatique ? Oui.

Formulons la relation recherchée :

1. La pression est une grandeur indépendante de la direction ;
2. La pression dans un liquide est proportionnelle à la profondeur (h en mètre) ;
3. La pression dépend de la masse volumique du liquide (ρ en kg/m^3) ;
4. (La pression dépend du champ de pesanteur mais nous ne pouvons pas le vérifier !)

$P = \rho_{liq} \cdot g \cdot h$	P Pression hydrostatique en Pa ρ_{liq} Masse volumique du liquide en kg/m^3 g Champ de la pesanteur en N/kg h Profondeur en m
----------------------------------	---

3.4 Conséquences de la pression hydrostatique



- Les digues des rivières et des canaux subissent de la part de l'eau qu'ils contiennent de très fortes pressions. En période de crue, ces pressions peuvent atteindre des valeurs telles qu'elles rompent les digues et provoquent des inondations.
- Les murs des barrages ont une épaisseur croissante car la pression augmente avec la profondeur.
- Les parois des aquariums doivent être faites en verre épais.
- Les scaphandres doivent être d'autant plus résistants que les scaphandriers descendent plus profondément dans l'eau. Ci contre : casque d'un scaphandre.



- Dans les profondeurs des mers, la pression hydrostatique atteint des valeurs énormes.
 - Ex: à 1 000 m de profondeur : $P = \dots\dots\dots$ ($\rho_{\text{eau de mer}} = 1\,026 \text{ kg/m}^3$)
 - à 10 000 m de profondeur : $P = \dots\dots\dots$
 - La profondeur de l'océan peut atteindre 11 000 m.
Les poissons qui vivent dans les grandes profondeurs sont dotés d'organes capables de résister à des pressions importantes (grande pression à l'intérieur de l'organisme animal).
Si on ramène rapidement en surface ces poissons, ils explosent par suite de la diminution rapide de la pression hydrostatique.



3.5 Problèmes

1. Calculer la pression hydrostatique régnant à une profondeur de 50 m dans la mer
2. Une éprouvette de 2 cm de diamètre contient du mercure sur une hauteur de 15 cm.
 - a. Quelle est la pression du mercure sur le fond ?
 - b. Quelle est la force pressante exercée par le mercure sur le fond ?
3. Un réservoir de 2 m de long, 1 m de large et 1,5 m de haut contient de l'essence sur une hauteur de 1,2 m. Quelle est la valeur de la force pressante qui s'exerce sur le fond et la pression qui en résulte ?
4. Un homme grenouille nage dans la mer du Nord ($\rho = 1\,025 \text{ kg/m}^3$) à une profondeur de 20 m. Quelle est la pression de l'eau sur son corps ? Si le corps du nageur a une aire de 1 m^2 , quelle force pressante supporte-t-il ?
5. Calculer la force pressante exercée sur un robinet de $2,5 \text{ cm}^2$ de section par l'eau d'une canalisation de distribution sachant que la différence des niveaux entre le robinet et le niveau du château d'eau est de 50 m.
6. On constate à la sortie d'un robinet, une pression de 60 N/cm^2 ($\rho = 1\,005 \text{ kg/m}^3$). A quelle hauteur se trouve la surface libre de l'eau du château d'eau par rapport au robinet ?

7. L'obturateur d'une baignoire à 5 cm de diamètre et la hauteur d'eau dans la baignoire est de 40 cm. Quelle force faut-il exercer sur la chaînette pour soulever l'obturateur afin de vider la baignoire ?

Exercices complémentaires

- 1) La surface de l'eau contenue dans une baignoire est située à 30 cm au-dessus de son bouchon de vidange. La masse de ce dernier est de 50 g et son diamètre mesure 40 mm. Quelle est l'intensité de la force qu'il faut exercer pour retirer le bouchon ? On suppose que le frottement du bouchon est négligeable.
- 2) On réalise une perfusion sanguine dans le bras d'un malade. La pression du sang dans la veine dépasse de 15 kPa la pression atmosphérique. Quelle doit être la dénivellation minimale entre le bras et le flacon pour que le sang s'écoule du flacon dans la veine ? (la masse volumique du sang est égale à 1060 kg m^{-3} .)
- 3) Une turbine hydraulique est alimentée à partir d'un bassin d'accumulation par une conduite forcée. Le niveau de l'eau dans le bassin est à une hauteur h au-dessus de la turbine. Montrer que, si l'on ne tient pas compte des frottements, la puissance P théoriquement disponible à la turbine est donnée par la relation :

$$P = p Q_V$$

$$P : \text{puissance en [W]} ; p : \text{pression en [Pa]} ; Q_V : \text{débit volumique en [m}^3/\text{s]}$$
- 4) La pression atmosphérique à la surface d'un lac est égale à 960 mbar. A quelle profondeur sous le niveau de l'eau la pression absolue est-elle de 3,66 bars ? (1 bar = 10^5 Pa)
- 5) Une des parois verticales d'un aquarium rempli d'eau mesure 40 cm de hauteur sur 90 cm de longueur. Quelle est l'intensité de la force résultante exercée par l'eau sur cette paroi ?
- 6) Le barrage de la Grande Dixence (300 m) retient 400 millions de tonnes d'eau. Celui de l'Hongrin (100 m) en retient huit fois moins. Peut-on en déduire que la poussée exercée par l'eau sur le barrage de la Grande Dixence est huit fois supérieure à celle que subit le barrage de l'Hongrin ?
- 7) Le château d'eau d'un réseau de distribution d'eau potable se trouve à une altitude de 500 m, et les robinets A à 450 m, B à 475 m et C à 460 m se trouvent dans un immeuble. Quelles sont les pressions, dues à l'eau uniquement, en A, B et C quand tous les robinets sont fermés ?

- 1) Pression : $p = \rho gh = 3 \text{ kPa}$; Force : $F = pS + mg = 4.2 \text{ N}$.
- 2) $h = (p - p_{\text{atm}})/(\rho g) = 1.443 \text{ m}$.
- 3) $P = E / t = F \cdot v = pS \cdot Q_V / S = p \cdot Q_V$.
- 4) $h = \Delta p / (\rho g) = (366000 - 96000) / (998 \cdot 9.81) = 27.58 \text{ m}$.
- 5) pression moyenne sur la paroi : $p = \rho gh / 2 = 2000 \text{ Pa}$; $F = p_{\text{moy}} S = 720 \text{ N}$.
- 6) Non, la pression ne dépend que de la hauteur d'eau (3 fois plus élevée sur le barrage de la Grande Dixence qu'à l'Hongrin) et la force de l'eau sur le barrage est de $p_{\text{moy}} S$.
- 7) $h_A = 50 \text{ m} \Rightarrow p_A = 5 \text{ atm}$; $h_B = 25 \text{ m} \Rightarrow p_B = 2.5 \text{ atm}$ et $h_C = 40 \text{ m} \Rightarrow p_C = 4 \text{ atm}$.

4. Le débit

4.1 Masse volumique

La masse volumique d'un corps est le rapport de la masse d'un corps par le volume du même corps.

$$\rho = \frac{m}{V}$$



masse : m
volume : V

ρ
m
V

masse volumique
masse
volume

kg.m^{-3}
kg
m^3

matière	masse volumique en $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	matière	masse volumique en $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
aluminium	2,7	chlorure de sodium	2,16
argent	10,5	glace (entre -10° et 0°)	0,92
chrome	7,1	verre	2,5
cuivre	8,9	marbre	2,7
étain	7,3	liège	0,24
fer	7,9	acétone	0,79
magnésium	1,7	eau	1
nickel	8,9	éther	0,71
or	19,3	glycérine	1,26
platine	21,5	mercure	13,6
plomb	11,3	éthanol	0,79
potassium	0,86	méthanol	0,78
uranium	18,7	chloroforme	1,5
zinc	7,1	tétrachlorure de carbone	1,6

ATTENTION : $1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/l} = 1000 \text{ kg/m}^3$

4.2 La densité

La densité d'un corps est le rapport de la masse volumique de ce corps par la masse volumique du corps de référence.

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{ref}}}$$

d
ρ
ρ_{ref}
solide
eau

densité
masse volumique du corps
masse volumique référence
liquide
eau

-
kg.m^{-3}
kg.m^{-3}
gaz
air

En général pour les liquides et les solides, la masse volumique de référence est celle de l'eau (1000 kg/m^3). Par conséquent, on a **numériquement** que

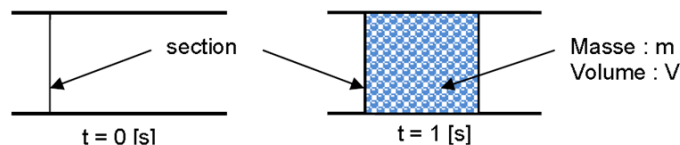
$$d = \frac{\rho}{1000}$$

(Ce qui ne veut pas dire que masse volumique et densité sont la même chose).

Pour les gaz, on prendra généralement la masse volumique de l'air à 0°C et 1 atm, soit 1.29 kg/m^3

4.3 Débit

Débit massique



notation
q_m

unité
kilogramme par seconde

symbole de l'unité
kg.s^{-1}

Le débit massique est la masse de fluide qui s'écoule durant l'unité de temps au travers d'une section donnée.

$$q_m = \frac{m}{t}$$

q_m
m
t

débit massique
masse
temps

kg.s^{-1}
kg
s

Débit volumique

notation
q_v

unité
mètre cube par seconde

symbole de l'unité
$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$

Le débit volumique est le volume de fluide qui s'écoule durant l'unité de temps au travers d'une section donnée.

$$q_v = \frac{V}{t}$$

q_v
V
t

débit volumique
volume
temps

$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$
m^3
s

Relation débit massique débit volumiquePour une **température** et une **pression** donnée :

$$q_m = \rho \times q_v$$

Débit volumique dans une section constante

$$q_v = S \times v$$

Avec S en m² et v en m/s

4.5 Vitesses préconisées pour les fluides dans les tuyauteries

FLUIDES	UTILISATION	VITESSE EN m/s		CONDITIONS D'EMPLOI PRESSIONS MOYENNES
		Aspiration	Refoulement	
EAU	Alimentation chaudière	0,5 - 1	1 - 2	Suivant la longueur de la tuyauterie
	Pompe à piston	0,6 - 1	1 - 2	
	Pompe centrifuge	0,8 - 1,5	2 - 2,5	
	Distribution d'eau			
	Réseau extérieur		1 à 2	
	Réseau intérieur		0,5 à 0,8	
HUILES MAZOUT		0,4 - 0,8	0,6 - 2	Suivant Ø et viscosité
ESSENCE		0,6 - 1	1 - 2	Suivant Ø et longueur
VAPEUR	Saturée humide	20	à 40	Suivant pression
	Saturée sèche	30	à 50	
	Surchauffée	40	à 60	
	Echappement	15	à 20	
AIR	Canalisation air comprimé	10	à 25	
	Compresseurs	15 - 20	20 - 25	
GAZ	Pression 1 Hpz	5	à 20	Installation intérieur
	Pression 5 Hpz	10	à 30	
	Gaz de ville		environ 1	



TUBES ACIER PETROLE ET NFA 49 211

TUBE - NORME ANSI B 36.10-1979

DN	Øext (mm)	STD		40		XS		80	
		Epaisseur (mm)	Poids (kg/m)	Epaisseur (mm)	Poids (kg/m)	Epaisseur (mm)	Poids (kg/m)	Epaisseur (mm)	Poids (kg/m)
1/8	10,30	Idem SCH 40		1,73	0,37	Idem SCH 80		2,41	0,47
1/4	13,70			2,24	0,63			3,02	0,80
3/8	17,10			2,31	0,84			3,20	1,10
1/2	21,30			2,77	1,27			3,73	1,62
3/4	26,70			2,87	1,69			3,91	2,20
1	33,40			3,38	2,50			4,55	3,24
1 1/4	42,20			3,56	3,39			4,85	4,47
1 1/2	48,30			3,68	4,05			5,08	5,41
2	60,30			3,91	5,44			5,54	7,48
2 1/2	73,00			5,16	8,63			7,01	11,41
3	88,90			5,49	11,29			7,62	15,27
3 1/2	101,60			5,74	13,57			8,08	18,63
4	114,30			6,02	16,07			8,56	22,32
5	141,30			6,55	21,77			9,53	30,97
6	168,30			7,11	28,36			10,97	42,56
8	219,10			8,18	42,55			12,70	64,64
10	273,10			9,27	60,31	12,70	81,55	15,09	96,01
12	323,90	9,53	73,88	10,31	79,73	12,70	97,46	17,48	132,08
14	355,60	9,53	81,33	11,13	94,55	12,70	107,39	19,05	158,10
16	406,40	9,53	93,27	12,70	123,30	12,70	123,30	21,44	203,53
18	457,00	9,53	105,16	14,27	155,80	12,70	139,15	23,88	254,55
20	508,00	9,53	117,15	15,09	183,42	12,70	155,12	26,19	311,17



DEBITS DE BASE D'APPAREILS SANITAIRES

EXTRAITS DE LA NORME P 41 - 201 à 204 (MAI 1942).

DESIGNATION DE L'APPAREIL	DEBIT EN LITRES/MN
Machine à laver	6 L
WC à réservoir de chasse	6 L
Douche	15 L
Poste d'eau	10 L
Robinet de buanderie	25 L
Robinet de lavage de cour de 20/27	40 L
Evier	12 L
Lavabo	6 L
Lavabo collectif, par jet	3 L
Bidet	6 L
Baignoire	20 à 40 L
Baignoire à chauffe-bains instant	15 L
Urinoir à chasse automatique	0,3 L

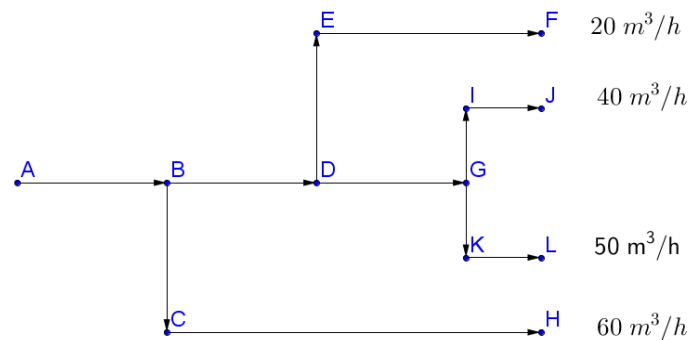


CONSOMMATIONS MOYENNES D'EAU

L'HABITATION (par jour)	POUR LE JARDIN	POUR LA FERME (par jour)
Par personne (bain non compris) : 50 L	Par mètre carré de jardin suivant la nature du sol	Par tête de gros bétail (cheval, vache) : 80 L
Un bain : 250 à 300 L	3 à 8 L	Pour un porc : 10 L
Chasse d'eau des WC : 200 L	Arrosage à la lance de 4 mm : 600 à 900 L/H	Pour un mouton : 5 L
Lavage d'une automobile : 100 L	Arrosage à la lance de 6 mm : 1500 à 2000 L/H	

4.6 Exercices

1. Calculer le volume occupé par 3 kg de méthanol.
2. Calculer la masse de 3 l de chloroforme.
3. Calculer la masse volumique d'un corps qui a une masse 18.25 kg pour un volume de 2.5 l. De quel corps s'agit-il ?
4. Quelle est la densité du potassium ?
5. Quelle est la densité d'un corps de masse volumique 1850 kg/m^3 ?
6. Quelle est la densité d'un corps de masse de 756 g pour un volume de 0.6 l ? Quel est ce corps ?
7. Un tuyau débite 18 kg en 30 s. Quel est le débit massique ?
8. Un tuyau débite 500 l d'acétone en 1 min. Quel est le débit massique ?
9. 25 m^3 s'échappe d'une piscine en 3 h. Quel est le débit volumique ?
10. 600 l d'éthanol s'écoule d'une cuve en 15 min. Quels sont les débits volumique et massique ?
11. Quel temps faut-il pour remplir une piscine de 600 m^3 avec un débit d'eau de 300 l/min ?
12. On remplit avec de l'eau une cuve de 50 m^3 en 25 min. Quel est le débit volumique ?
13. Dans un tuyau de diamètre intérieur 30 mm de l'eau circule à 2 m/s. Quel est le débit volumique ?
14. $20 \text{ m}^3/\text{h}$ d'eau circulent dans un tuyau. Si la vitesse est de 1.5 m/s. Quel est le diamètre intérieur du tuyau ?
15. Quelle est la vitesse de l'eau circulant dans une tuyauterie de 40 mm de diamètre intérieure, si le débit est de $30 \text{ m}^3/\text{h}$?
16. Soit une pompe centrifuge d'une capacité de $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Donner le DN de la tuyauterie d'aspiration et de refoulement ?
17. Soit un réseau d'eau extérieur. On désire un débit de $100 \text{ m}^3/\text{h}$. Donner le DN de la tuyauterie.
18. Soit une conduite de vapeur sèche. On désire un débit de 1 tonne/h. Donner le DN de la tuyauterie.
19. Une canalisation d'air comprimé a un DN de 2. Si la vitesse est de 20 m/s, quel est le débit massique d'air ?
20. On raccorde trois tuyauteries d'eau : l'une de DN 1, l'une de DN 2 et l'une de DN 3. Quel doit être le DN du collecteur ?
21. Dimensionner le réseau extérieur suivant :



5. Principe de Pascal

On peut constater que la surface libre d'un liquide est horizontale, on peut le vérifier avec un fil à plomb et une équerre. Si la surface du liquide prend des dimensions considérables comme les mers ou les océans, elle suit la sphéricité de la Terre.

Une deuxième constatation est que les liquides sont quasiment incompressibles. Pour s'en convaincre, il suffit d'essayer d'enfoncer un bouchon de liège dans une bouteille pleine d'eau ; l'opération s'avère quasiment impossible.

L'expérience du schéma ci-contre montre que, s'il n'y a pas d'air dans le récipient, la pression du marteau est parfaitement transmise d'un bouchon à l'autre par le liquide.

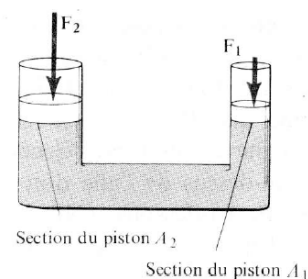


On regroupe sous le nom de fluide les liquides et les gaz. Les différences physiques entre solides, liquides et gaz s'expliquent par les forces qui lient les molécules entre elles dans ces trois états. Les fluides pouvant s'écouler, ils possèdent quelques propriétés particulières que n'ont pas les solides. Rappelons que les forces de cohésion dans les liquides sont suffisantes pour qu'ils aient un volume propre, bien que ne possédant pas de forme propre. Les gaz n'ont ni volume, ni forme propres.

5.1 Principe

Lorsqu'une force est appliquée à un liquide, la pression dans ce liquide augmente d'une quantité $p = \frac{F}{A}$. Dans un fluide incompressible (liquide), la pression est immédiatement transmise, inchangée, en tous points du fluide.

Exemple: la presse hydraulique pour laquelle on a $p_1 = p_2$, soit $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$. Une petite force appliquée sur une petite surface produit autant d'effet qu'une grande force appliquée sur une grande surface.



Unités: la pression se mesure en $\frac{N}{m^2}$ ou Pascal [Pa].

Autres unités: 1 torr = 1 mmHg = 0,133 kPa

1 atm = 760 mmHg = 1,013 · 10⁵ Pa

1 bar = 10⁵ Pa

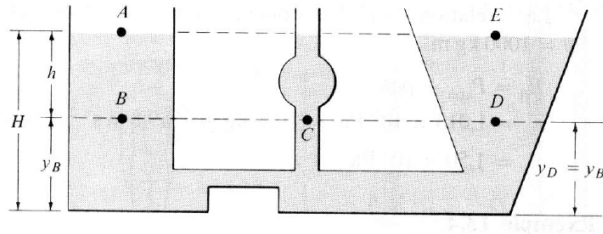
Principe de Pascal : Toute pression exercée sur un fluide en équilibre se transmet intégralement et dans toutes les directions.

A. Cas des fluides incompressibles (liquides):

La pression exercée au bas d'une colonne de liquide de hauteur h due à son poids propre vaut:

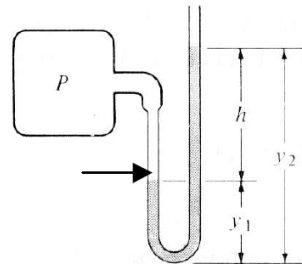
$p = \frac{\text{Poids}}{\text{Aire}} = \frac{mg}{A} = \frac{\rho \cdot h \cdot A \cdot g}{A} = \rho \cdot g \cdot h$. La pression ne dépend ni de la forme, ni de la quantité de liquide, mais uniquement de sa hauteur.

Cette propriété explique les caractéristiques des vases communicants: En A et E la pression est égale à la pression atmosphérique. En B, C, D les pressions sont égales en vertu du principe de Pascal et valent $p_B = p_{atm} + \rho g h$



Le principe du manomètre (dispositif pour mesurer la pression d'un gaz contenu dans une enceinte) est également basé sur les propriétés que nous venons de voir:

Au niveau désigné par la flèche, la pression dans le liquide est la même à gauche et à droite du tube. A gauche, la pression en ce point, p_G est égale à la pression p dans le gaz; à droite la pression p_D est égale à la pression atmosphérique plus la pression exercée par le poids de la colonne de liquide au-dessus du point fléché: $p_G = p_D$, soit: $p = p_{atm} + \rho g h$



Principe des vases communicants : dans un fluide en équilibre, tous les points situés dans un plan horizontal sont soumis à la même pression.

Exemple: une colonne de mercure de 760 mm exerce une pression comparable à celle d'une colonne d'eau de 10,3 m ou une colonne de sang de 9,8 m.

B. Cas des fluides compressibles (gaz):

Dans le cas des gaz, la relation entre pression et hauteur de colonne de gaz n'est plus si simple, puisque le poids propre du gaz peut le comprimer. Dans le cas de l'atmosphère, la relation pression-altitude n'est pas linéaire

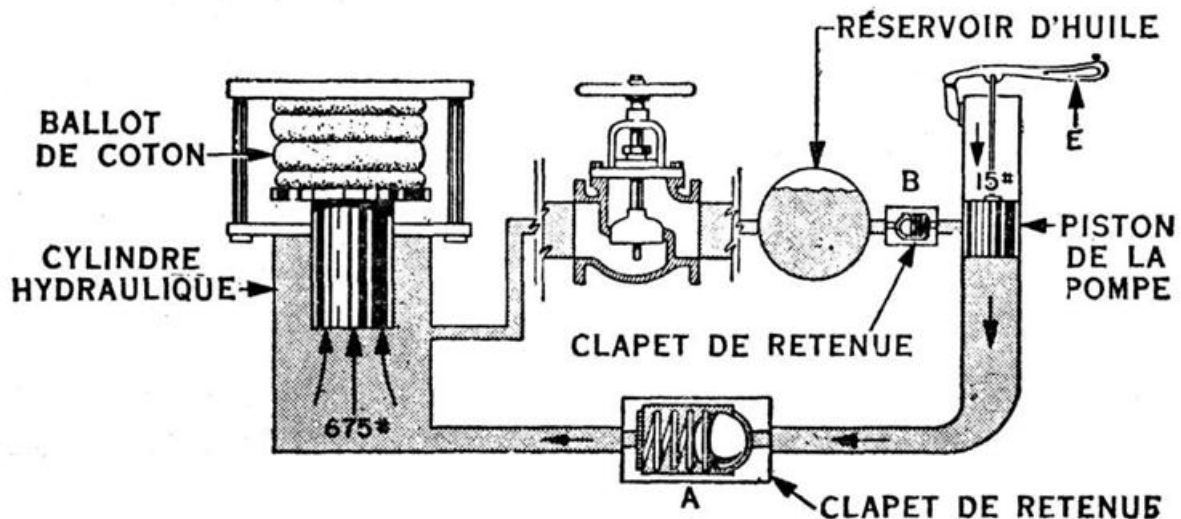
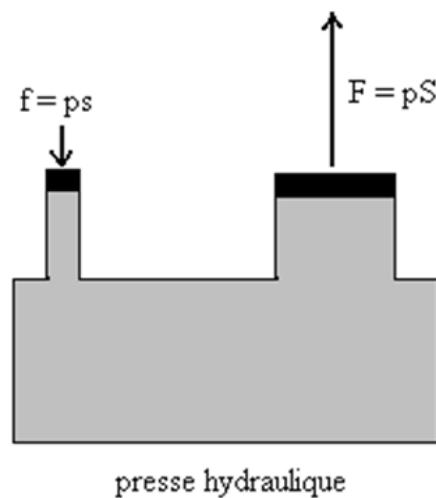
5.2 Applications du principe de Pascal

La presse hydraulique

Une presse hydraulique se compose de deux pistons : un gros et un petit. En vertu du principe de Pascal, la pression sur les deux pistons p est identique. Si on appuie avec une force f sur le petit piston, il en résultera une force F sur le grand piston suivant la relation suivante :

$$\begin{cases} f = ps \\ F = pS \end{cases} \Rightarrow \frac{F}{f} = \frac{S}{s}$$

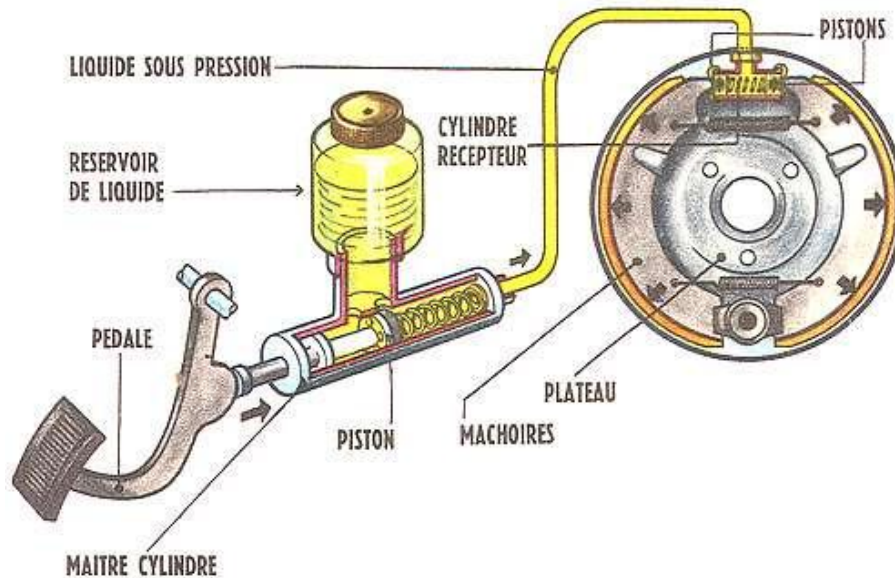
La force est donc multipliée par le rapport des surfaces des deux pistons. En pratique, on arrive facilement à un rapport de 1000.



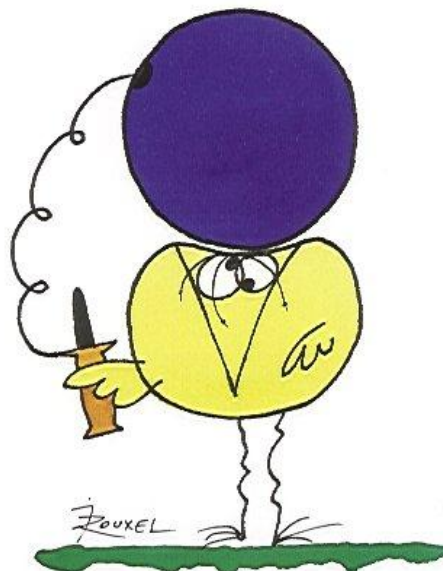
Vue semi-schématique des organes essentiels d'une presse hydraulique.

Freins de voiture

Un frein de voiture comporte un système hydraulique qui transmet la pression entre deux pistons. La différence de surface des deux pistons permet de multiplier la force sur les mâchoires de frein.



Les devises Shadok



EN ESSAYANT CONTINUUELLEMENT
ON FINIT PAR RÉUSSIR. DONC:
PLUS ÇA RATE, PLUS ON A
DE CHANCES QUE ÇA MARCHE.

6. Poussée d'Archimède

6.1 Corps flottants.

Sur l'eau, les bateaux sont plus ou moins enfoncés. Bien entendu, nous savons que cela dépend de leur charge. Plus les bateaux sont chargés, plus ils s'enfoncent. Il est d'ailleurs évident qu'une charge maximale ne peut être dépassée !

Une expérience simple permet de modéliser cette situation :

Utilisons des bouteilles identiques de $\frac{1}{2}$ litre (plastique). Lestons-les : 2 N, 4 N, 6 N et 8 N. Les deux premières flottent, les deux autres coulent. Remarquons que, dans tous les cas, le niveau d'eau monte : un objet dans un liquide déplace un volume de liquide.

Pourquoi les deux premières bouteilles flottent-elles ? Pourquoi les bateaux ne coulent-ils pas ?

L'eau exerce une force qui les soutient.

Quelle est l'orientation de cette force (droite d'action, sens) ? Quelle est sa valeur ?

Elle est dirigée verticalement vers le haut. Sa valeur est égale au poids de l'objet.

Conclusion :

Cette force exercée par l'eau sur l'objet flottant s'appelle force d'Archimède, elle est verticale, dirigée vers le haut et sa valeur est égale au poids de l'objet.

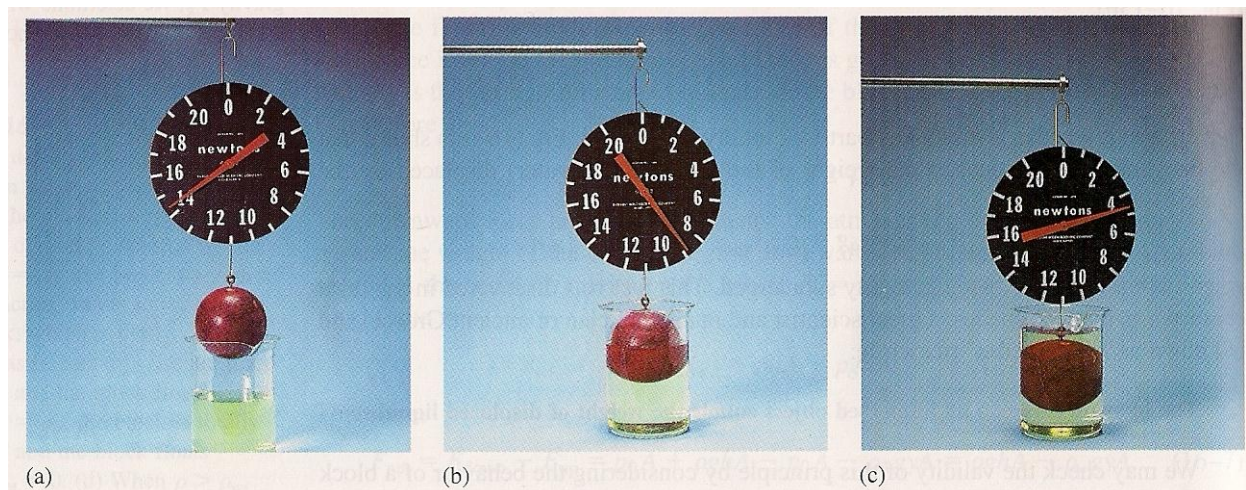


Fig 4.2 : (a) La sphère ne déplace pas d'eau, le dynamomètre indique le poids de la sphère ; (b) La sphère plonge partiellement dans l'eau, le dynamomètre indique une valeur moindre ; (c) La sphère plonge totalement dans l'eau, le dynamomètre indique le poids de la sphère diminué de la force d'Archimède

6.2 Caractéristiques et mesure de la force d'Archimède dans les liquides

6.2.1 Généralisation de la force d'Archimède.

L'eau exerce-t-elle également une force sur les deux bouteilles qui coulent ? (Rappelons qu'il s'agit de deux bouteilles de $\frac{1}{2}$ litre lestées de manières différentes) :

- peut-être : on fait de la gymnastique et de la rééducation en piscine pour que ce soit plus facile... « l'eau porte le corps ».
- si oui, cette force est plus petite que le poids puisque les bouteilles ne flottent pas.

Pour le vérifier, nous devons faire des mesures.

- Utilisons la bouteille lestée à 6 N.
- Suspendons-la à un dynamomètre (10 N). Il indique 6 N.
- Plongeons-la entièrement dans l'eau. Le dynamomètre indique 0,5 N (environ). L'eau exerce donc une force verticale vers le haut de 5,5 N.

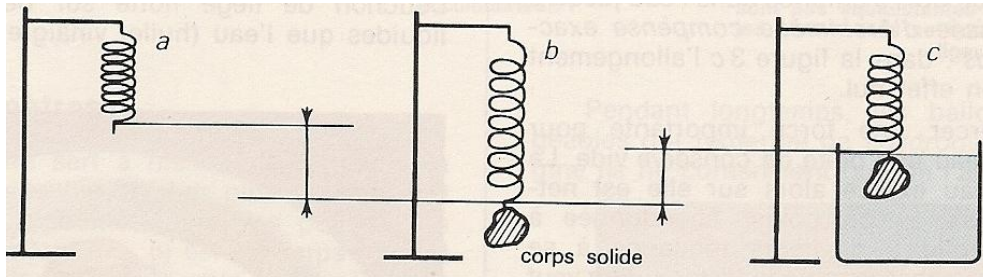


Fig 5.1 : Un ressort s'allonge sous l'action du poids d'un corps. Cet allongement diminue lorsque le corps est immergé dans l'eau.

6.2.2 De quoi la force d'Archimède dépend-elle ?

6.2.2.1 De la profondeur ?

Toutes nos expériences montrent que... NON (dans la limite des récipients utilisés).

6.2.2.2 De la forme du récipient ?

Les expériences sont faciles à réaliser. Elles montrent que... NON.

6.2.2.3 Du poids de l'objet immergé ?

Utilisons la bouteille lestée à 8 N. Quand elle est immergée, le dynamomètre n'indique plus que 2,5 N. L'eau exerce donc une force verticale vers le haut de 5,5 N. Les deux bouteilles lestées à 6 N et 8 N subissent la même poussée.

Conclusion : la force d'Archimède ne dépend pas du poids (de la masse) de l'objet immergé.

6.2.2.4 Du volume de l'objet immergé ?

Au moins deux expériences simples peuvent être proposées :

- utilisons deux sacs en plastique de même poids (2N). Le premier contient du sable et l'autre des petits grains de plomb. Leurs volumes sont très différents. Une fois les sacs entièrement immergés, le dynamomètre n'indique plus que 0,6 N (sable) et 1,7 N (plomb). Les forces d'Archimède sont de 1,4 N et 0,3 N. Elles diffèrent donc en fonction du volume.
- Reprenons la bouteille lestée à 8 N, suspendons-la au dynamomètre et plongeons-la progressivement dans l'eau. La force indiquée par le dynamomètre diminue graduellement et donc la force d'Archimède augmente graduellement.

Conclusion : la force d'Archimède dépend du volume de l'objet immergé.

6.2.2.5 De la nature du liquide ?



Fig 5.2 : La salinité de la mer Morte permet à une personne de flotter tout en étant couché.

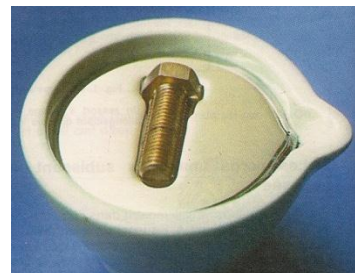


Fig 5.3 : Une vis de laiton flotte sur du mercure

Refaisons les mesures avec le sac lesté à 2 N de sable dans de l'eau salée et du méthanol. Quand le sac est entièrement immergé, le dynamomètre indique 0,35 N (eau salée) et 0,9 N (méthanol). La force d'Archimède est donc plus importante dans l'eau salée (1,65 N) que dans l'eau pure (1,4 N), et plus faible dans le méthanol (1,1 N).

Conclusion : la force d'Archimède dépend de la nature du liquide, elle est d'autant plus importante que la masse volumique du liquide l'est aussi.

6.2.2.6 D'autres facteurs ?

À réfléchir... et à tester !

Conclusion :

Un objet immergé (entièrement ou en partie) dans un liquide, subit de la part de celui-ci une force exercée verticalement vers le haut. La valeur de cette force dépend du volume immergé et de la nature du liquide.

6.2.3 D'où cette force vient-elle?

Réalisons une expérience pour résoudre ce problème : je pose un disque contre l'extrémité d'un tuyau en plastique souple. Quand je lâche le disque, il tombe. Je maintiens le disque contre le tuyau. J'introduis l'extrémité bouchée dans l'eau. Je lâche le disque, il reste collé au tuyau : l'eau le pousse.

Conclusion : l'eau exerce une force pressante sur le fond du récipient (surface pressée).

L'eau exerce-t-elle également une force pressante sur les parois verticales ?

Réalisons une expérience pour répondre à cette question : je reprends le tube, mais cette fois, je le plie de telle sorte que l'ouverture fermée par le disque soit verticale. J'entre cette extrémité dans l'eau. Je lâche le disque. Il reste collé. L'eau pousse également sur les côtés. Cette force est horizontale.

Puisque l'eau la pousse horizontalement, pourquoi la bouteille ne se déplace-t-elle pas latéralement, vers la gauche ou vers la droite ? Sans doute parce que les forces latérales (1) et (2) sont identiques et s'équilibrent.

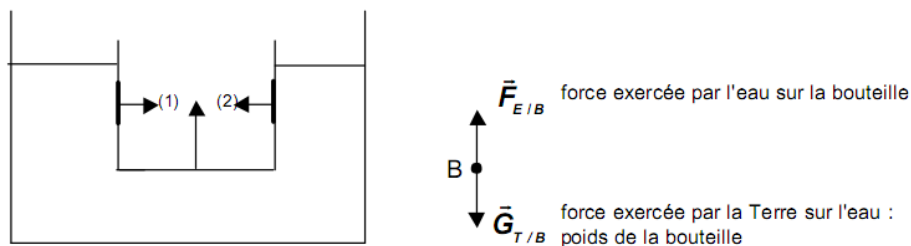


Fig 5.4 : Les forces latérales sont identiques et s'équilibrent. La force d'Archimède correspond à la force appliquée sur le fond du récipient.

Conclusion : de l'ensemble des forces pressantes exercées par l'eau sur tous les côtés de la bouteille qui flotte, il résulte une force verticale vers le haut. Elle s'appelle la force d'Archimède.

6.3 Schématisation de la force d'Archimède.

6.3.1. Corps flottant à la surface du liquide.

(avec B l'objet, E l'eau, T la Terre et $\vec{G}$ le poids du corps, $\vec{F}$ la force d'Archimède)

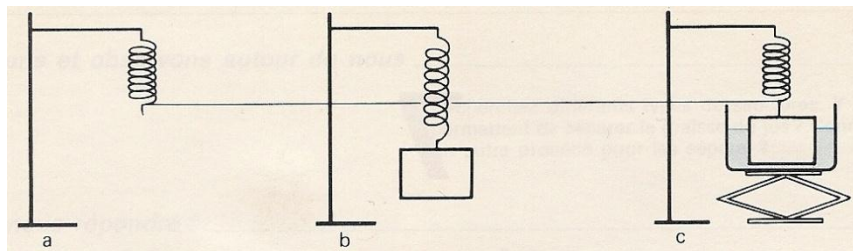


Fig 5.5 : En soulevant progressivement la bassine à l'aide d'un support à hauteur réglable. Le morceau de bois s'enfonce progressivement dans l'eau et l'allongement du ressort diminue. La force d'Archimède augmente avec le volume immergé. A partir d'un certain moment, le bois ne s'enfonce plus et le ressort n'est plus tendu, son allongement devient nul.

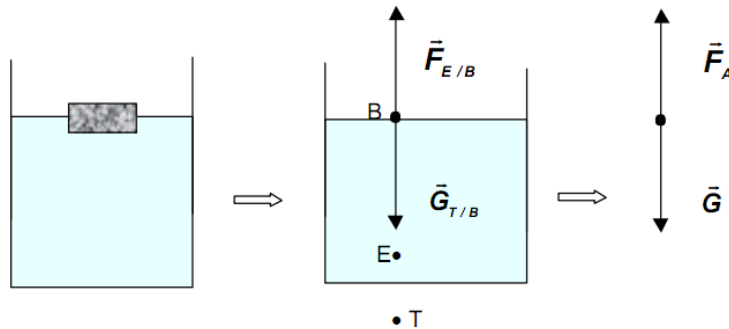


Fig 5.6 : Le morceau de bois s'enfonce tout juste pour que la force d'Archimède compense son poids. A ce moment, les deux forces s'équilibrent et le morceau de bois flotte.

6.3.2 Corps en équilibre dans le liquide

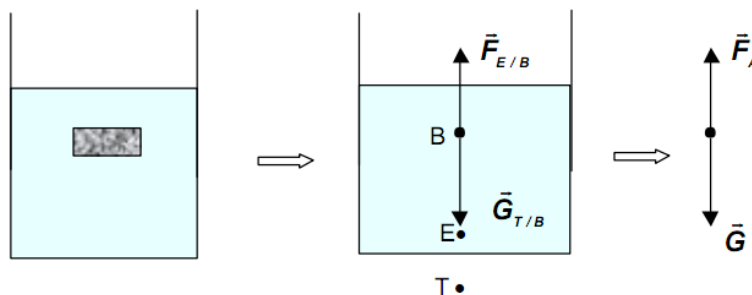


Fig 5.7 : Si lorsque le corps est totalement immergé, la force d'Archimède équilibre le poids du corps, alors celui-ci est dit en équilibre dans le liquide et peut rester à différentes profondeurs.

6.4 Quelle est la valeur de la force d'Archimède ?

Prenons une bouteille de $\frac{1}{2}$ L que l'on gradue de 100 en 100 cm³. Elle est lestée suffisamment pour couler si on ne la soutient pas. On peut, par exemple, utiliser la bouteille lestée à 8 N. Suspendons-la à un dynamomètre. Immergeons-la progressivement dans l'eau. Notons les valeurs lues sur le dynamomètre, pour différents volumes immergés. Calculons la force d'Archimède.

Volume immergé (cm ³)	Le dynamomètre indique en N :	Force d'Archimède en N :	Relation	Poids du liquide déplacé en N :
0				
100				
200				
300				
400				
500				

Quelles sont les variables mises en œuvre ?

Quelle est la variable contrôlée ?

Existe-t-il une relation entre la variable contrôlée et la force d'Archimède ?

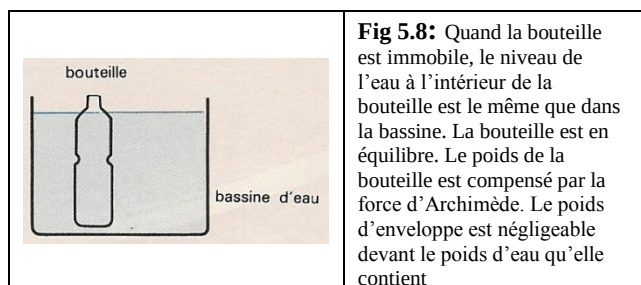
Quelle est donc la variable dépendante ?

A cette variable dépendante mesurée directement, correspond une autre variable dépendante à mesure indirecte, la force d'Archimède. Trace le graphique que ces données suscitent et donne-lui un titre.

Constatations

La valeur de la force d'Archimède est directement proportionnelle au volume immergé. La valeur de la force d'Archimède est chaque fois égale à la valeur du poids du volume d'eau déplacé (équivalent au volume de la partie immergée de l'objet).

D'autres mesures réalisées dans différents liquides, permettent de confirmer ces premiers résultats.



Nous obtenons la loi d'Archimède : la valeur de la force d'Archimède est égale à la valeur du poids du liquide dont l'objet prend la place.

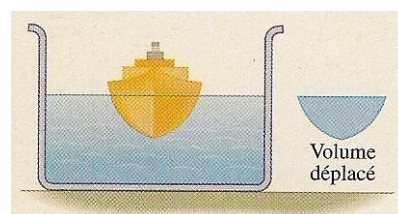


Fig 5.9 : un bateau flotte parce que le volume d'eau déplacé est égal au poids du bateau

6.5 Applications

6.5.1 Comment un sous-marin fait-il surface ?

Prenons une bouteille en plastique (330 ml par exemple).

Remplissons-la au tiers à l'aide de billes de verre. Elle flotte sur l'eau.

Perçons la bouteille de plusieurs trous dans le bas, de manière à pouvoir y faire passer un tuyau souple et à laisser passer l'eau, sans que les billes puissent sortir.

Ajoutons de l'eau pour remplir complètement la bouteille et refermons le bouchon. Maintenant, la bouteille coule.

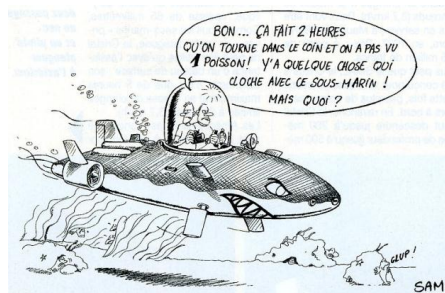
Glissons une extrémité du tuyau dans la bouteille. Soufflons de l'air à l'intérieur.

Qu'observons-nous ? Comment l'expliquer ?

Comment un sous-marin fait-il pour remonter à la surface ?



Fig 6-1 Sous marin



6.5.2 L'eau ne pèse rien dans l'eau.

Prenons un sac de congélation. Remplissons-le d'eau et fermons-le hermétiquement en prenant soin de ne pas laisser d'air (exemple : $\frac{1}{2}$ l dans un sac d'un litre).

Suspendons-le à un dynamomètre. Plongeons le sac progressivement dans l'eau.

Qu'observons-nous ? Comment l'expliquer ?

Expliquer le titre : « l'eau ne pèse rien dans l'eau ».

Que se passerait-il si nous mettions de l'eau salée dans le sac ? (l'expérience peut facilement être réalisée).

6.5.3 Archimède et le faussaire

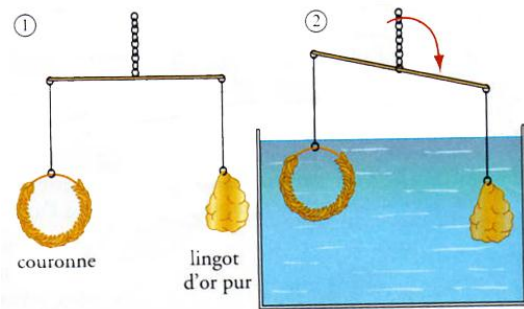


Fig 6.2 : (1) La balance est en équilibre. Le poids du lingot d'or pur est donc identique au poids de la couronne. (2) La balance penche du côté du lingot d'or pur. Ce qui indique que la force d'Archimède qui agit sur la couronne est plus forte que la force d'Archimède qui agit sur le lingot. Le volume de la couronne est donc plus grand que ce qu'il devrait être. La couronne n'est donc pas composée uniquement d'or pur.

La légende raconte que c'est dans son bain qu'Archimède a découvert une méthode permettant de savoir si l'orfèvre auquel le tyran de Syracuse avait confié son or, l'avait utilisé pour faire la couronne demandée ou s'il en avait remplacé une partie par un métal moins cher. Le poids de la couronne correspondait exactement au poids de l'or fourni. La peser ne permettait pas de savoir si elle était en or massif ou simplement recouverte. La scier l'aurait abîmée !

Une expérience simple montre la méthode finalement utilisée. Prenons un sac de 2 N de sable et un sac de 2 N d'un mélange sable-grains de plomb. Suspendons-les aux deux extrémités d'une tige de 25 cm de long.

Suspendons la tige en son milieu. Nous possédons ainsi une balance à bras égaux. Elle est en équilibre. Plongeons les deux sacs dans l'eau. Que se passe-t-il ? Comment l'expliquer ?

Archimède a fait le même type d'expérience en suspendant d'un côté la couronne et de l'autre un même poids d'or pur.

6.5.4 Critère de flottabilité des corps

Il est possible de trouver un critère qui permettra de savoir si un corps va flotter dans un liquide ou pas.

Pour simplifier prenons un corps dont nous connaissons son volume V_{corps} et sa masse m_{corps} et que nous plongeons dans un liquide connu. Nous savons que la force d'Archimède sera égale au poids du volume de liquide déplacé. Donc :

$$F_A = \rho_{\text{liquide}} \cdot V_{\text{liquide}} \cdot g$$

Nous savons aussi que le poids du corps est donné par :

$$G = m_{\text{corps}} \cdot g$$

Or la masse du corps peut être calculée si on connaît son volume et sa masse volumique :

$$m_{\text{corps}} = \rho_{\text{corps}} \cdot V_{\text{corps}} \rightarrow G = \rho_{\text{corps}} \cdot V_{\text{corps}} \cdot g$$

Nous avons alors les cas suivants :

- 1) Le corps coulera si la force d'Archimède est plus petite que le poids du corps

$$F_A < G \rightarrow \rho_{\text{liquide}} \cdot V_{\text{liquide}} \cdot g < \rho_{\text{corps}} \cdot V_{\text{corps}} \cdot g$$

Et comme $V_{\text{corps}} = V_{\text{liquide}}$:

$$\rho_{\text{liquide}} < \rho_{\text{corps}}$$

- 2) Le corps restera en équilibre si :

$$\rho_{\text{liquide}} = \rho_{\text{corps}}$$

- 3) Le corps flottera si :

$$\rho_{\text{liquide}} > \rho_{\text{corps}}$$

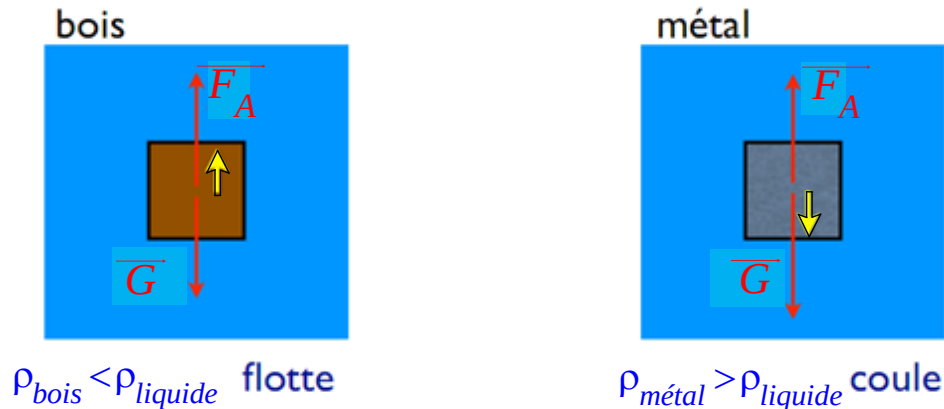


Fig 6.3 : (A droite) La masse volumique du bois est plus petite que la masse volumique du liquide. Il flotte. (A gauche) La masse volumique du métal est plus grande que la masse volumique du liquide. Il coule

En résumé, il suffit de comparer la masse volumique du corps à la masse volumique du liquide pour savoir si le corps va flotter ($\rho_{\text{liquide}} > \rho_{\text{corps}}$), ou s'il va couler ($\rho_{\text{liquide}} < \rho_{\text{corps}}$).

6.6 Exercices qualitatifs et quantitatifs sur la force d'Archimède dans les liquides

Données valables pour tous les problèmes

Si nécessaire, prendre $g = 10 \text{ N/kg}$.

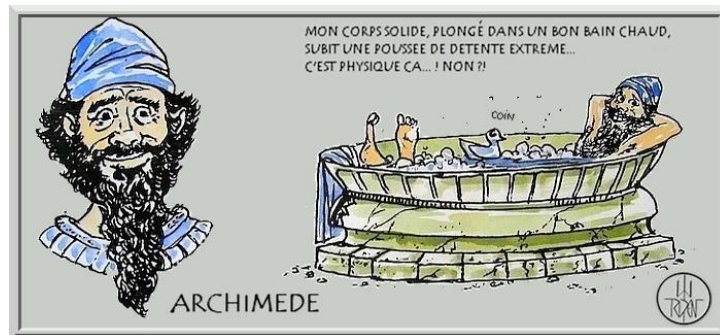
Masse volumique de quelques substances exprimée en kg/m^3

Aluminium (Al)	2 700	Or (Au)	19 300	Corps humain	1 070	Ether	740
Argent (Ag)	10 500	Platine (Pt)	21 400	Alcool	810	Glace	917
Cuivre (Cu)	8 900	Plomb (Pb)	11 300	Eau	1 000	Essence	700
Etain (Sn)	7 300	Zinc (Zn)	7 100	Eau de mer	1 026	Huile	880
Fer (Fe)	7 900	Mercure (Hg)	13 600	Glycérine	1 226	Méthanol	790

Les exercices qu'il faut savoir faire

1. Quelle est la poussée d'Archimède subie par une péniche de 100 tonnes naviguant sur un canal ?
2. Quelle est la poussée d'Archimède subie par un navire de 100 tonnes naviguant en mer ?
3. Quel est le volume immergé d'une péniche de 100 tonnes naviguant sur un canal ?
4. Quel est le volume immergé d'un navire de 100 tonnes naviguant en pleine mer ?
5. Quel est le poids maximal que ne peut dépasser une boîte de conserve de 0,5 L pour ne pas couler dans l'eau pure ? Même question pour l'eau de mer.
6. Un cube de cuivre de 5 cm de côté est plongé dans de l'eau. On le suspend à un dynamomètre puis on le plonge dans l'eau. Qu'indiquera le dynamomètre ?
7. Une sphère en aluminium a un volume de 10 cm^3 . Quel est son poids dans l'air ? Que vaut la force d'Archimède exercée par l'eau sur cette sphère ?
8. Un morceau de plomb a une masse de 40 kg. On le suspend à un dynamomètre puis on le plonge dans l'eau ; qu'indiquera le dynamomètre ? (Même travail dans l'alcool et dans le mercure).
9. On suspend une sphère de cuivre de 2,5 kg à un dynamomètre puis on la plonge dans l'eau. Qu'indiquera le dynamomètre ?
10. Un cube de zinc pèse dans l'air 50 N. On le suspend à un dynamomètre puis on le plonge dans l'alcool. Qu'indiquera ce dynamomètre ?
11. Plongé dans de l'eau pure, un corps complètement immergé subit une poussée de 0,735 N. Quelle serait la force d'Archimède exercée sur ce corps dans de l'eau salée ($= 1030 \text{ kg/m}^3$) ?

- 12- Si on suspend à un dynamomètre un objet en cuivre de 3,5 kg et qu'on plonge cet objet dans un liquide dont la masse volumique est de 800 kg/m^3 , qu'indiquera le dynamomètre ?
- 13- Un objet a dans l'air un poids de 2 N. Lorsqu'on le suspend à un dynamomètre puis qu'on le plonge dans l'eau, le dynamomètre indique 1,6 N. Quel est son volume ?
- 14- On suspend un bloc de verre à un dynamomètre. Il indique 1,33 N. On immerge le bloc dans l'eau et le dynamomètre indique 0,86 N. On immerge ensuite le bloc dans l'alcool et le dynamomètre indique 0,96 N. Quel est le volume du bloc de verre? Quelle est la masse volumique de l'alcool ?
- 15- Une cuvette métallique vide a une masse de 60 kg. Sa base est un rectangle de 10 dm sur 8 dm et sa hauteur est de 5 dm. Elle flotte à la surface de l'eau.
 - a. Calculer la hauteur de la partie immergée.
 - b. Quel poids minimum faut-il placer dans la cuvette pour qu'elle soit entièrement immergée ?



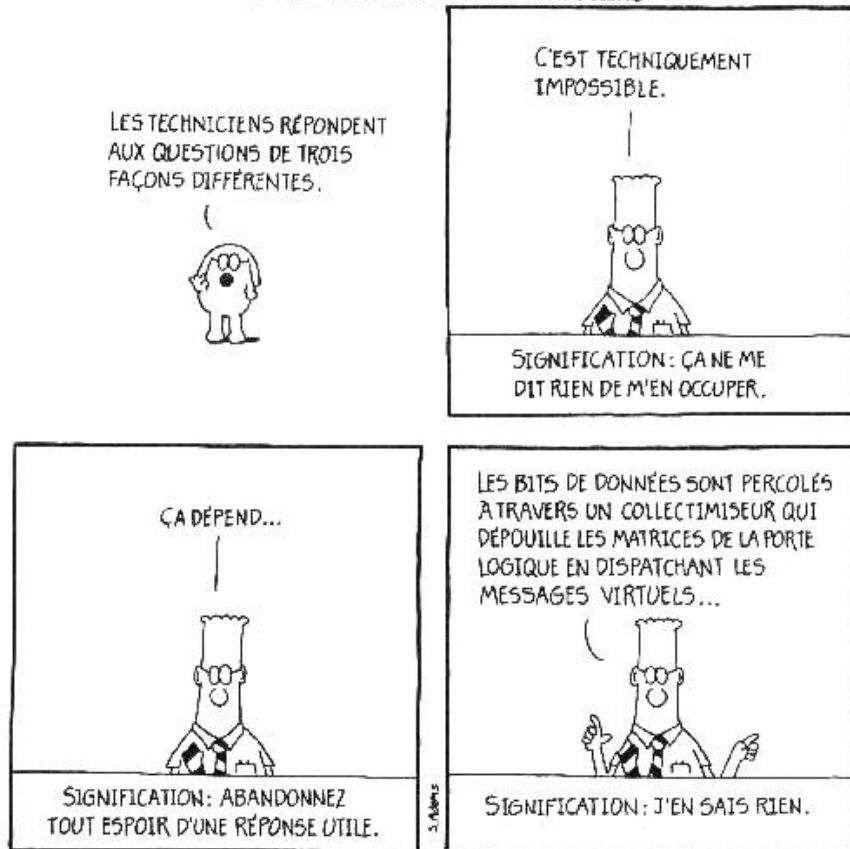
Exercices de dépassement

1. Lors d'une expérience en classe, le professeur met 8 L d'eau dans un seau de 10 L. Il met ensuite du sable dans une bouteille en plastique de 1 L. Il place la bouteille sur une balance qui indique 900 g. Il met la bouteille dans l'eau.
 - a. La bouteille flotte-t-elle ou coule-t-elle ?
 - b. Quelle est la valeur de la poussée d'Archimède subie par la bouteille ?
 - c. Si la bouteille flotte, quel est le volume qui est immergé ?
2. Le professeur recommence l'expérience mais en utilisant cette fois du méthanol. Répondre aux mêmes questions.
3. Un sac contenant du sable est suspendu à un dynamomètre qui indique 2 N. Lorsque le sac est immergé dans l'eau pure, le dynamomètre n'indique plus que 0,6 N. Quelle est la masse volumique du sable ?
4. Un bloc de bois pèse 88 N. Si on suspend un morceau de plomb à un dynamomètre et qu'on le plonge dans de l'eau, celui-ci indique 133 N. On attache le bloc de plomb au bloc de bois, ainsi ils sont tous les deux entièrement immergés. Le dynamomètre indique alors 97 N.
 - a. Quel est le volume du plomb ?
 - b. Calculer la masse volumique du bois.
 - c. Quel serait le volume immergé du bois si on le déposait seul sur l'eau ?

Exercices complémentaires

- 1) Un glaçon flotte à la surface de l'eau contenue dans un verre complètement rempli. Le glaçon fond. Que se passe-t-il ?
 - 2) La masse d'un cargo est égale à 5780 tonnes. Quel est le volume de sa partie immergée :
 - a) dans de l'eau de mer de masse volumique égale à 1030 kg m^{-3} ?
 - b) dans de l'eau douce de masse volumique égale à 1000 kg m^{-3} ?
 - 3) Expliquer pourquoi un gilet de sauvetage supportant une charge de 8 kg suffit à maintenir un naufragé avec la tête hors de l'eau.
 - 4) Les icebergs sont des glaces flottantes provenant des glaciers dont les vallées débouchent sur la mer. Quel est le rapport du volume de la partie immergée d'un iceberg à son volume total : $r = V_{\text{im}}/V$ si l'on admet que la masse volumique de l'eau de mer est égale à 1020 kg m^{-3} et celle de la glace à 917 kg m^{-3} .
-
- 1) La masse ne change pas donc les forces ne changent pas. La force d'Archimède donc le volume immergé ne change pas. L'eau ne déborde donc pas.
 - 2) $F_A = mg = \rho g V \Rightarrow V = m/\rho$ a) 5610 m^3 ; b) 5780 m^3 .
 - 3) La personne flotte presque sans gilet car sa masse volumique est presque égale à celle de l'eau.
 - 4) $920Vg = 1020xVg \Rightarrow x = 920/1020 = 90\%$.

APPRENEZ À COMPRENDRE LES TECHNICIENS



Lecture : « Eurêka ! » par Archimède

Archimède ou Arkhimédès (287-212 avant J.-C.) est sans nul doute un des savants les plus fameux de l'Antiquité. Si fameux, d'ailleurs, que des auteurs aussi célèbres que Polybe (II^e siècle avant J.-C.), Tite-Live (I^{er} siècle avant J.-C.) ou Plutarque (I^{er} siècle après J.-C.) rapporteront ses trouvailles ; si fameux qu'après sa mort le général Marcellus, vainqueur de Syracuse, fit élever un monument en son honneur. Né à Syracuse au sein d'une famille alliée ou cliente du roi Hiéron, c'est à Alexandrie, en Egypte, qu'Archimède fera ses « premières armes ». Elève d'Euclide, on dit qu'il parvint à assécher les marais du Nil grâce à une vis sans fin, dite vis d'Archimède. C'est du moins ce que rapporte la « légende ». Mais ce qui est certain c'est qu'il rapporta ce principe en Sicile. En effet, comme tous les héros célèbres, qu'ils soient scientifiques, écrivains, soldats ou artistes, toutes sortes de légendes sont venues se greffer sur son histoire. Des certitudes, nous en avons cependant, comme la quinzaine de traités qu'il rédigea, dont douze nous sont parvenues. Comme le fait qu'Archimède était un mathématicien et un physicien hors pair : le calcul infinitésimal, le principe des corps flottants sont là pour en témoigner.



Archimède
découvrant la
flottabilité (d'après
un dessin moderne).

Théoricien plus qu'ingénieur, il ne s'adonnera à cette dernière fonction que par la force des choses. C'est notamment parce que le roi Hiéron lui avait demandé de découvrir comment différencier un objet totalement en or d'un autre plaqué d'or qu'Archimède découvrit le principe du poids spécifique des corps. Alors qu'il prenait son bain que le savant se rendit compte que son corps semblait flotter, qu'il paraissait peser moins que son poids. De cette constatation naquit la formule voulant que « tout corps plongé dans un liquide subit une poussée verticale de bas en haut égale au poids du liquide qu'il déplace ». La légende -mais ce n'est qu'une légende- veut qu'Archimède, tout à sa joie, se soit précipiter hors de chez lui dans le plus simple appareil en criant Eurêka ! -« J'ai trouvé ! »

La défense de Syracuse, assiégée trois années durant par les Romains, qui finalement s'en empareront, permettra également au savant de développer son génie mécanique. C'est d'ailleurs ce qui, vraisemblablement, frappa le plus les Romains, plus doué dans l'entreprise que dans la théorie. Considérant ses propres inventions comme de « simples récréations », considérant, selon Plutarque, « tout l'art qui sert aux besoins de la vie comme un métier vil et sans noblesse », il fera néanmoins preuve, là aussi, de génie. Des catapultes capables de lancer des objets de près de 300 kilos, des « bras mécaniques » pouvant saisir des navires entiers, de les soulever et

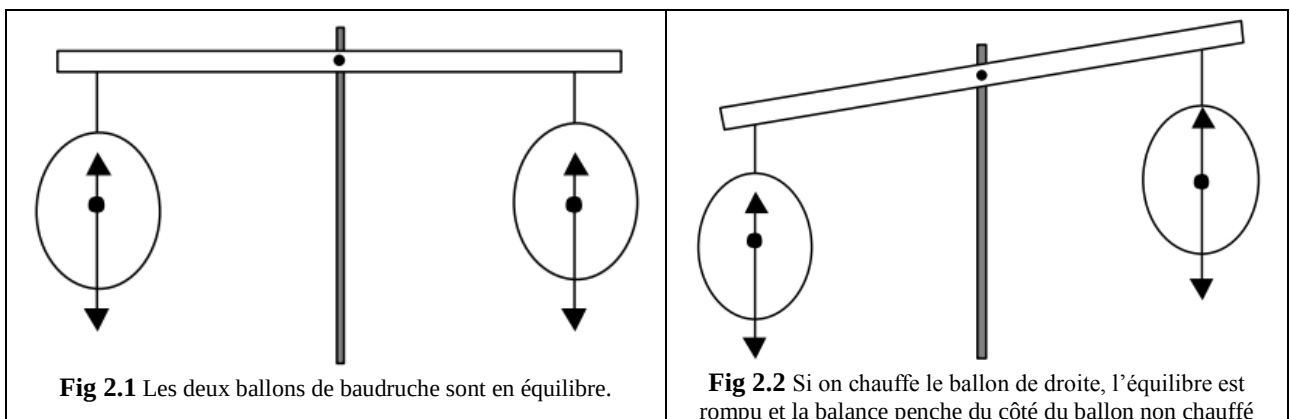
de les laisser s'écraser sur les rochers comptent au « catalogue » des ses inventions. A en croire Diodore de Sicile, il aurait même imaginé des miroirs géants qui auraient mis le feu aux vaisseaux des assiégeants... Une invention que ni Polybe, ni Tite-Live ni Plutarque ne confirment et qui, après des essais en situation réels, se sont révélés impossibles.

Au final, Syracuse sera prise par les armées du général Marcellus et c'est à cette occasion qu'Archimède perdra la vie, sans doute du fait d'un soldat impatient. Mais son génie était déjà reconnu au point même que ce sont ses ennemis -ou du moins ceux de son pays- qui, pour des siècles, feront sa « promotion ».

HISTORIA NOSTRA <http://www.historia-nostra.com>

7 Force d'Archimède dans les gaz

7.1 Résumé de l'activité



Gonflons deux ballons de baudruche identiques. Suspendons-les aux extrémités d'une tige légère de 1 m de long. La tige peut tourner autour d'un axe horizontal passant par son milieu. Nous obtenons une espèce de balance en équilibre. Chauffons un des ballons à l'aide d'un sèche-cheveux, tout en

maintenant la balance immobile. Lâchons la tige. L'équilibre est rompu, le côté où se trouve le ballon chauffé monte.

C'est la poussée d'Archimède qui est la cause de ce phénomène. Les ballons subissent la force de pesanteur verticale vers le bas et la poussée d'Archimède verticale vers le haut. La poussée d'Archimède est inférieure à la force de pesanteur : si nous lâchons le ballon, il tombe. Ces forces sont représentées sur les schémas.

Au début, la barre est en équilibre. On chauffe le ballon de droite. À gauche, rien ne change. Le poids du ballon de droite ne change pas (l'air est enfermé, la masse ne peut donc varier).

L'air chaud se dilate (c'est la même chose pour l'eau, le fer des rails et pour la plus grande partie des matériaux). Le volume du ballon chaud augmente. La poussée d'Archimède qu'il subit augmente (la flèche qui la représente est plus longue). La barre est déséquilibrée.

Comme dans les liquides, dans un gaz, la poussée d'Archimède est égale au poids du volume de gaz déplacé (dont l'objet prend la place).

Comme la masse volumique de l'air est faible (de l'ordre de $1,3 \text{ kg/m}^3$), la poussée d'Archimède exercée par l'air passe généralement inaperçue. Mais elle existe et tout objet la subit. Si elle est plus grande que la force de pesanteur, l'objet monte. C'est ce qui arrive aux ballons gonflés à l'hélium et aux montgolfières !

Comment une montgolfière s'élève-t-elle, descend-elle ?

Les montgolfières, contrairement aux ballons gonflés à l'hélium, comportent une ouverture dans le bas.

L'air qu'ils contiennent peut donc en sortir, mais uniquement par le bas. Il est chauffé par un brûleur pour permettre au ballon de s'élever.



Fig 2.3 Montgolfière de 3400 m^3

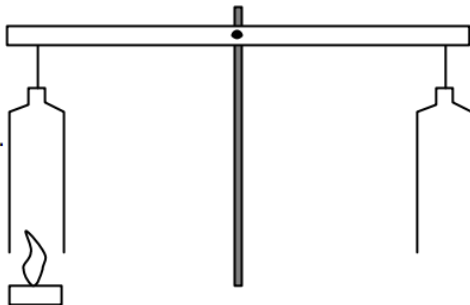


Fig 2.4 Deux bouteilles en plastique.

Une expérience assez facile à réaliser permet de modéliser ce qui se passe dans ces ballons.

Coupons le bas de deux bouteilles en plastique de 1,5 L (bien sèches).

Suspendons-les, ouvertures vers le bas, aux extrémités d'une tige légère de 1 m de long, accrochée en son milieu. Nous obtenons une espèce de balance en équilibre. Plaçons une bougie allumée sous une des bouteilles. Quelques instants plus tard, l'équilibre est rompu, la bouteille où l'air chauffé s'élève...

L'explication du phénomène se fait en deux temps...

· Comme l'eau dans l'eau, « l'air ne pèse rien dans l'air ». Cela signifie, bien entendu, que l'air subit une poussée d'Archimède (force vers le haut) ÉGALE au poids de l'air dont il prend la place, donc à son propre poids (force vers le bas) ! Ces deux forces s'équilibrent, l'air ne monte pas, ne descend pas. Ceci n'est en réalité vrai que pour l'air « normal », c'est-à-dire tout à fait identique à l'air ambiant.

Que se passe-t-il pour l'air plus chaud que l'air ambiant ?

Quand de l'air est chauffé (comme celui dans la bouteille ou dans la montgolfière), il se dilate. Il occupe un plus grand volume. Sa masse volumique (le quotient de la masse par le volume) diminue.

Un litre d'air chaud est plus léger qu'un litre d'air froid.

Un litre d'air chaud « immergé » dans l'air froid subit une poussée d'Archimède égale au poids d'un litre d'air froid. Cette poussée est donc plus grande que le poids de l'air chaud. La résultante de ces deux forces le pousse vers le haut. L'air chaud monte dans l'air froid.

· L'air de la bouteille chauffée, subissant une poussée d'Archimède supérieure à son poids est poussé vers le haut par l'air ambiant. Il pousse la bouteille vers le haut. La balance est déséquilibrée.

Quand une montgolfière descend trop, on allume le brûleur. L'air qu'elle contient est chauffé. Il se dilate (une partie sort du ballon par l'ouverture se trouvant en bas). Le poids de l'air dans le ballon diminue, devient inférieur à la force d'Archimède. Cela le pousse vers le haut. Il pousse le ballon vers le haut.

Quand cette poussée est supérieure au poids du ballon, la montée peut reprendre.

Pour descendre, il suffit de laisser l'air refroidir. Il se contracte (de l'air froid entre par le bas). L'air refroidi est plus lourd, il pousse de moins en moins le ballon vers le haut. Il est également possible d'ouvrir une soupape dans le haut du ballon pour laisser l'air chaud s'en échapper (de l'air froid prend sa place, rentrant par le bas). La descente est alors plus rapide.



Fig 2.5 Ballon météorologique gonflé à l'hélium. Certains de ces ballons sondes peuvent monter à 30 km d'altitude ?

Exercices

- 5) Le dirigeable Graf Zeppelin était un dirigeable gonflé à l'hydrogène. Sa longueur mesurait 237 m et son diamètre 30,5 m. Son volume total de $105'000 \text{ m}^3$ se répartissait entre $75'000 \text{ m}^3$ d'hydrogène ($\rho_H = 0.09 \text{ kg/m}^3$) et $30'000 \text{ m}^3$ de blaugaz³ servant de carburant à ses moteurs. La masse totale de sa carcasse, de ses nacelles et de ses moteurs était égale à 55 tonnes. Il était équipé de cinq moteurs de 390 kW qui le propulsaient à la vitesse maximale de 130 km/h. Quelle était la charge en tonnes que ce dirigeable pouvait emporter dans de l'air aux conditions normales ($\rho_{\text{air}} = 1,293 \text{ kg/m}^3$) ? Attention aux données inutiles !
 - 6) Un ballon est gonflé avec de l'hydrogène. Son volume est de 850 m^3 . L'intensité de la pesanteur totale de l'enveloppe, de la nacelle, du lest et des passagers est égale à 9010 N. La masse volumique de l'hydrogène qu'il contient est égale à $0,096 \text{ kg m}^{-3}$ et celle de l'air dans lequel il s'élève à $1,15 \text{ kg m}^{-3}$. Quelle est la masse minimale de lest qu'il faut jeter pour que ce ballon décolle ?
 - 7) Peut-on imaginer que des aérostiers pratiquent leur sport sur la Lune ?
- 5) 35,2 t
 - 6) $F_A = mg \Rightarrow \rho_{\text{air}} Vg = \rho_H Vg + mg - m_l g \Rightarrow m_l = -(\rho_{\text{air}} - \rho_H)V + m = -(1,15 - 0,096)850 + 9010/9,81 = 22.6 \text{ kg}$. (5.1 kg avec $g = 10 \text{ N/kg}$)
 - 7) Non, car il n'y a pas d'atmosphère donc pas de force d'Archimède.

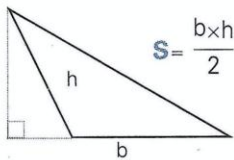
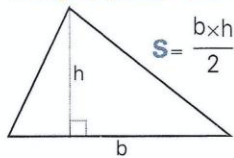
Annexes

Géométrie

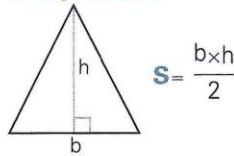
Géométrie

Les aires (S)

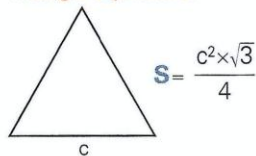
Triangles quelconques



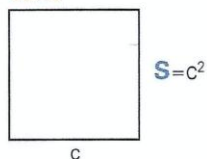
Triangle isocèle



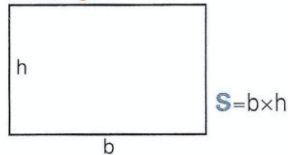
Triangle équilatéral



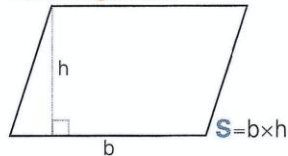
Carré



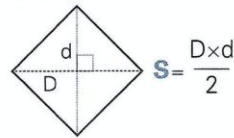
Rectangle



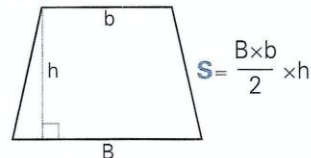
Parallélogramme



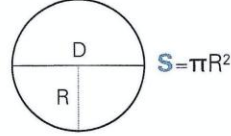
Losange



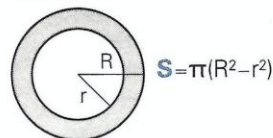
Trapèze



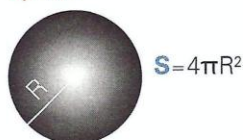
Cercle



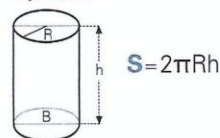
Couronne



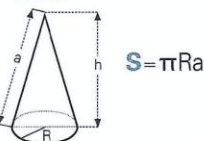
Sphère



Cylindre

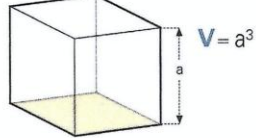


Cône

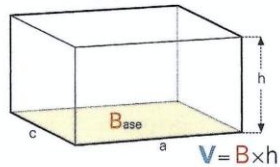


Les volumes (V)

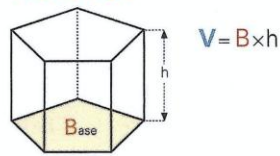
Cube



Parallélépipède droit



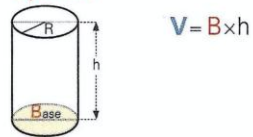
Prisme droit



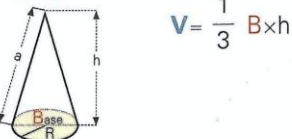
Sphère



Cylindre



Cône



Constantes physiques

TABEAU 10.1 Masse volumique ρ de certains matériaux

Matériaux	ρ (kg/m ³)	Matériaux	ρ (kg/m ³)
Espace interstellaire	10^{-21} à 10^{-18}	Chloroforme	$1,53 \times 10^3$
Hydrogène*	0,090	Sucre	$1,6 \times 10^3$
Oxygène	1,43	Magnésium	$1,7 \times 10^3$
Hélium	0,178	Os	$(1,5-2,0) \times 10^3$
Air, sec (30°C)	1,16	Argile	$(1,8-2,6) \times 10^3$
Air, sec (0°C)	1,29	Ivoire	$(1,8-1,9) \times 10^3$
Mousse de Styrène	$0,03 \times 10^3$	Verre	$(2,4-2,8) \times 10^3$
Bois de Balsa	$0,12 \times 10^3$	Ciment	$(2,7-3,0) \times 10^3$
Liège	$(0,2-0,3) \times 10^3$	Aluminium	$2,7 \times 10^3$
Bois de pin	$(0,4-0,6) \times 10^3$	Marbre	$2,7 \times 10^3$
Bois de chêne	$(0,6-0,9) \times 10^3$	Diamant	$(3,0-3,5) \times 10^3$
Éther	$0,74 \times 10^3$	La Lune	$3,34 \times 10^3$
Alcool éthylique	$0,79 \times 10^3$	Planète Terre,	
Acétone	$0,79 \times 10^3$	moyenne	$5,25 \times 10^3$
Térébenthine	$0,87 \times 10^3$	Fer	$7,9 \times 10^3$
Benzène	$0,88 \times 10^3$	Nickel	$8,8 \times 10^3$
Beurre	$0,9 \times 10^3$	Cuivre	$8,9 \times 10^3$
Huile d'olive	$0,92 \times 10^3$	Argent	$10,5 \times 10^3$
Glace	$0,92 \times 10^3$	Plomb	$11,3 \times 10^3$
Eau (0°C)	$0,999\,87 \times 10^3$	Mercure	$13,6 \times 10^3$
Eau (3,98°C)	$1,000\,00 \times 10^3$	Uranium	$18,7 \times 10^3$
Eau (20°C)	$1,00180 \times 10^3$	Or	$19,3 \times 10^3$
Goudron	$1,02 \times 10^3$	Tungstène	$19,3 \times 10^3$
Eau de mer	$1,025 \times 10^3$	Platine	$21,5 \times 10^3$
Plasma de sang	$1,03 \times 10^3$	Osmium	$22,5 \times 10^3$
Sang, entier	$1,05 \times 10^3$	Pulsar	$10^8 - 10^{11}$
Bois d'ébène	$(1,1-1,3) \times 10^3$	Matière nucléaire	$\approx 10^{17}$
Caoutchouc, dur	$1,2 \times 10^3$	Étoile à neutrons	$\approx 10^{18}$
Brique	$(1,4-2,2) \times 10^3$	Trou Noir	
Le Soleil, moyenne	$1,41 \times 10^3$	(1 masse solaire)	$\approx 10^{19}$

* Les gaz sont à 0°C et 1 atm sauf indication contraire.

Abréviations des unités courantes

Ampère	A	Kelvin	K
Année	a	Kilocalorie	kcal (Cal)
Ångström	Å	Kilogramme	kg
Atmosphère	atm	Livre	lb
British thermal unit	Btu	Mètre	m
Candela	cd	Minute	min
Coulomb	C	Mole	mol
Degré Celsius	°C	Newton	N
Degré Fahrenheit	°F	Ohm	Ω
Électronvolt	eV	Pascal	Pa
Farad	F	Pied	pi
Gauss	G	Pouce	po
Gramme	g	Seconde	s
Henry	H	Tesla	T
Heure	h	Unité de masse atomique	u
Horse-power	hp	Volt	V
Hertz	Hz	Watt	W
Joule	J	Weber	Wb

Préfixes des puissances de dix

Puissance	Préfixe	Abréviation	Puissance	Préfixe	Abréviation
10^{-18}	atto	a	10^1	déca	da
10^{-15}	femto	f	10^2	hecto	h
10^{-12}	pico	p	10^3	kilo	k
10^{-9}	nano	n	10^6	méga	M
10^{-6}	micro	μ	10^9	giga	G
10^{-3}	milli	m	10^{12}	téra	T
10^{-2}	centi	c	10^{15}	péta	P
10^{-1}	déci	d	10^{18}	exa	E

Facteurs de conversion**Longueur**

1 po = 2,54 cm (exactement)
 1 m = 39,37 po = 3,281 pi
 1 mille (mi) = 5280 pi = 1,609 km
 1 km = 0,6215 mille
 1 fermi (fm) = 1×10^{-15} m
 1 ångström (Å) = 1×10^{-10} m
 1 mille marin = 6076 pi = 1,151 mille
 1 unité astronomique (UA) = $1,4960 \times 10^{11}$ m
 1 année-lumière = $9,4607 \times 10^{15}$ m

Aire

1 m² = 10⁴ cm² = 10,76 pi²
 1 pi² = 0,0929 m²
 1 po² = 6,452 cm²
 1 mille² = 640 acres
 1 hecatre (ha) = 10⁴ m² = 2,471 acres
 1 acre (ac) = 43 560 pi²

Volume

1 m³ = 10⁶ cm³ = 6,102 × 10⁴ po³
 1 pi³ = 1728 po³ = 2,832 × 10⁻² m³
 1 L = 10³ cm³ = 0,0353 pi³
 = 1,0576 pinte (É.-U.)
 1 pi³ = 28,32 L = 7,481 gallons É.-U. = 2,832 × 10⁻² m³
 1 gallon (gal) É.-U. = 3,786 L = 231 po³
 1 gallon (gal) impérial = 1,201 gallon É.-U. = 277,42 po³

Masse

1 unité de masse atomique (u) = $1,6605 \times 10^{-27}$ kg
 1 tonne (t) = 10³ kg
 1 slug = 14,59 kg
 1 tonne É.-U. = 907,2 kg

Temps

1 jour = 24 h = $1,44 \times 10^3$ min = $8,64 \times 10^4$ s
 1 a = 365,24 jours = $3,156 \times 10^7$ s

Force

1 N = 10⁵ dynes = 0,2248 lb
 1 lb = 4,448 N
 Le poids de 1 kg correspond à 2,205 lb.

Énergie

1 J = 10⁷ ergs = 0,7376 pi·lb
 1 eV = $1,602 \times 10^{-19}$ J
 1 cal = 4,186 J ; 1 Cal = 4186 J (1 Cal = 1 kcal)
 1 kW·h = 3,600 × 10⁶ J = 3412 Btu
 1 Btu = 252,0 cal = 1055 J
 1 u est équivalent à 931,5 MeV

Puissance

1 hp = 550 pi·lb/s = 745,7 W
 1 cheval-vapeur métrique (ch) = 736 W
 1 W = 1 J/s = 0,7376 pi·lb/s
 1 Btu/h = 0,2931 W

Pression

1 Pa = 1 N/m² = $1,450 \times 10^{-4}$ lb/po²
 1 atm = 760 mm Hg = $1,013 \times 10^5$ N/m² = 14,70 lb/po²
 1 bar = 10⁵ Pa = 0,9870 atm
 1 torr = 1 mm Hg = 133,3 Pa

L'alphabet Grec

Alpha	A	α	Iota	I	ι	Rhō	P	ρ
Bêta	B	β	Kappa	K	κ	Sigma	Σ	σ
Gamma	Γ	γ	Lambda	Λ	λ	Tau	T	τ
Delta	Δ	δ	Mu	M	μ	Upsilon	Y	υ
Epsilon	E	ϵ	Nu	N	ν	Phi	Φ	ϕ ou φ
Zêta	Z	ζ	Xi	Ξ	ξ	Chi	X	χ
Êta	H	η	Omicron	O	o	Psi	Ψ	ψ
Thêta	Θ	θ	Pi	Π	π	Oméga	Ω	ω