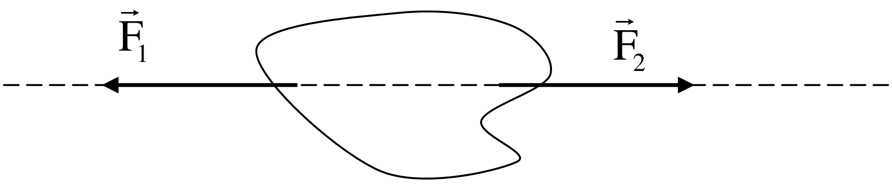
Unité 5 : Equilibre d’un corps solide soumis à l’action de deux forces
توازن جسم صلب خاضع لقوتين

I. Conditions d’équilibre d’un corps solide soumis à l’action de deux forces.

Lorsqu’un solide S soumis à l’action de deux forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ est en équilibre, alors :

- La somme vectorielle de $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ est nulle $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$: condition nécessaire pour que la centre d’inertie est en repos.
- Les deux forces la même droite d’action : condition nécessaire pour l’absence de rotation de corps autour de lui-même.



II. Force exercée par un ressort

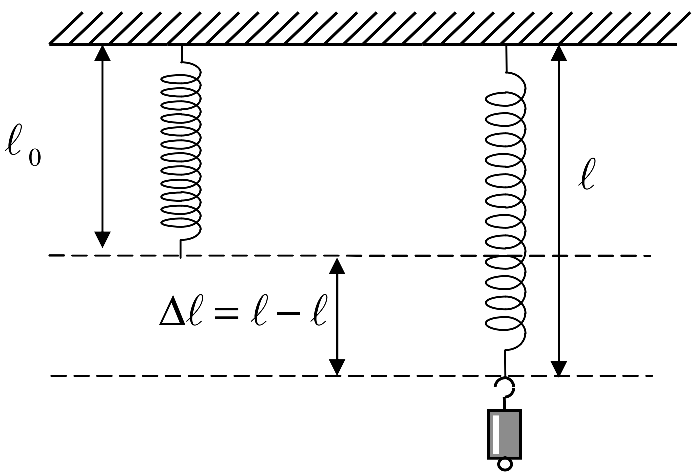
Le ressort est un corps solide déformable (susceptible d’allongé ou de comprimé).

Lorsque le ressort est déformé (allongé ou comprimé) il exerce une force sur le corps agissant. Cette force est appelée tension du ressort et notée $\vec{T}$. (Tension du ressort est une force de rappel).

1. Relation entre la force exercée par le ressort et s’allongement.

Suspendons un corps solide (S) de masse m à un ressort, de spires non jointives et de masse négligeable, par son extrémité A dont la deuxième extrémité B est fixée à un crochet fixe.

La longueur à vide de ressort est notée ℓ_0 et sa longueur après la déformation est notée ℓ



On appelle l'allongement du ressort la grandeur $\Delta\ell = \ell - \ell_0$

Considérons le système : {solide (s)}

Les forces appliquées sur le solide (s) sont :

Son poids : $\vec{P}$

Tension du ressort : $\vec{T}$

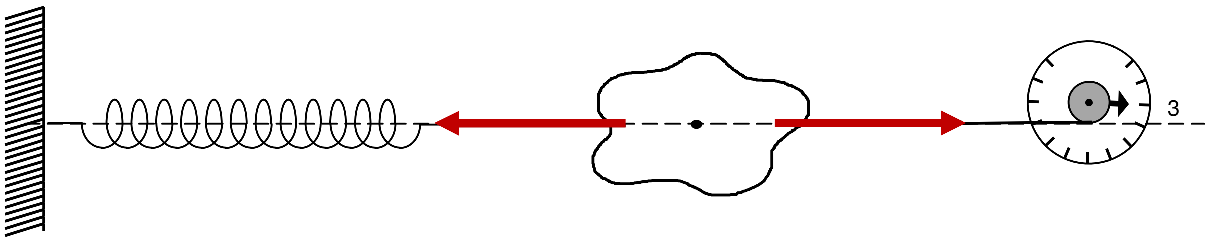
Le solide est en équilibre alors $\vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$

Donc les forces ont la même valeur $T = P$ ou $T = m.g$

Activité expérimentale :

Relions l'extrémité d'un ressort à un dynamomètre de telle sorte que le ressort soit tendu.

On tire chaque fois le ressort et on mesure son élongation et la valeur de sa tension.

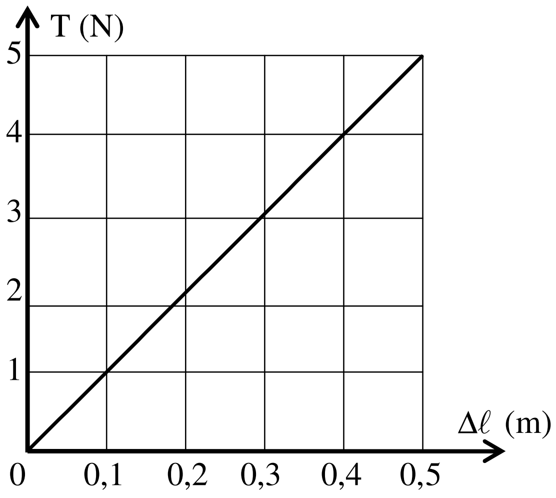


Longueur à vide du ressort est : $\ell_0 = 10cm$

Tableau de mesure :

T (N)						
ℓ (cm)						
$\Delta\ell$ (cm)						

Représentation de variation T en fonction de $\Delta\ell$: $T = f(\Delta\ell)$



La courbe obtenue est une droite passe à l'origine de repère son équation est de la forme suivante :

$$T = K.\Delta\ell$$

Telle que K est une constante de proportionnalité (coefficient directeur de la droite) s'appelle la constante de raideur son unité dans le SI est N/m

$$K = \frac{\Delta T}{\Delta(\Delta\ell)} = \frac{T_2 - T_1}{\Delta\ell_2 - \Delta\ell_1}$$

$$K=10N.m^{-1}$$

2. <u>Résumé :</u>

La tension du ressort $\vec{T}$ est la force exercée par le ressort sur un solide (S) lorsqu'il est déformé.

Caractéristiques de la tension du ressort :

Point d'application : point de contacte de ressort avec le corps solide

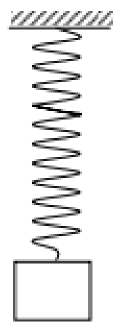
Sens : sens inverse de celle de la déformation

Droite d'action ou direction : celle du ressort

L'intensité : $T = K|\Delta\ell|$

<u>Exercice d'application :</u>

On accroche un solide (S) de masse m à un ressort de longueur à vide $\ell_0 = 0{,}22$ m et de raideur K = 50 Nm^{-1}. A l'équilibre le ressort prend la longueur $\ell = 0{,}25$ m.



1- Préciser les forces exercées sur le solide S.

2- Représenter ces forces sur la figure.

3- Ecrire la condition d'équilibre du solide (S).

4- a- Exprimer la valeur de la tension du ressort T en fonction de K, ℓ et ℓ_0.

b- Calculer T

5- a- Donner la valeur de P

b- Calculer la masse m de ce solide. On donne g=10N/Kg.

III. Poussée d'Archimède.

1. La masse volumique d'un fluide.

La masse volumique d'une substance correspond au rapport de sa masse (m) par son volume (V). Elle se note ρ (lettre grecque qui se prononce rho) et peut être calculée en utilisant la relation suivante:

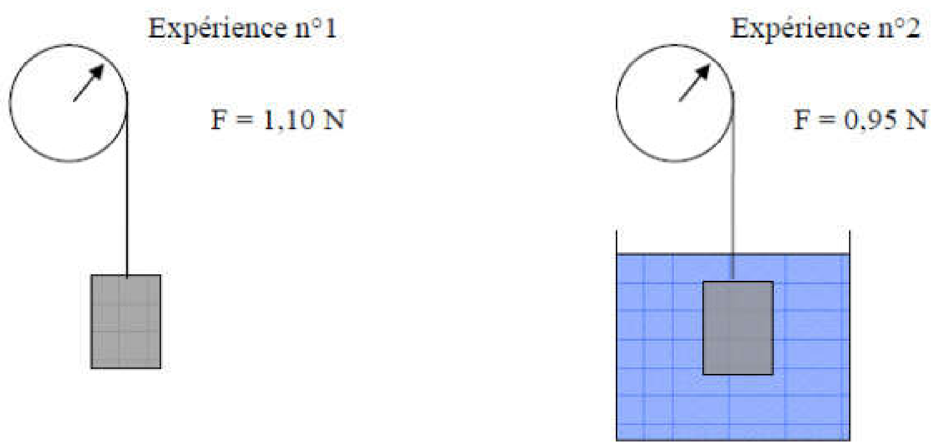
$$\rho = \frac{m}{V}$$

Avec m en kilogramme et V en mètre cube. L'unité de masse volumique au SI est $Kg.m^{-3}$

2. Mise en évidence la poussée d'Archimède dans les liquides.

Exemple :

On réalise les expériences ci-dessous.
Dans l'expérience n°1, on mesure le poids d'une masse au repos et non immergée.
Dans l'expérience n°2, on mesure le poids d'une masse au repos et immergée dans de l'eau.



Que remarque-t-on ?

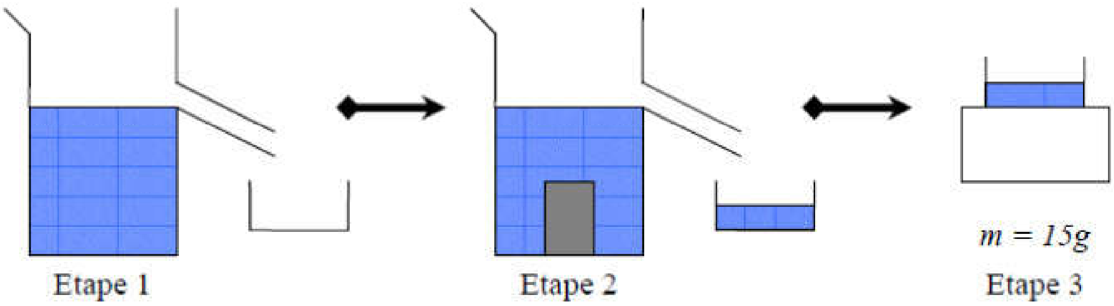
La force exercée sur la masse est moins forte.

Que peut-on en conclure ?

Il existe une autre force agissant sur la masse qui vient atténuer son poids. C'est la poussée d'Archimède, notée F_A.
Ici, $F_A = 0,15\ N = F_{Réel} - F_{apparent}$
Le poids réel est $F_{Réel} = 1,10\ N$ le poids apparent $F_{apparent} = 0,95\ N$

3. Valeur de la poussée d'Archimède

(Note : l'expérience ci-dessous est la continuité de paragraphe 2 ; la masse utilisée est la même)
On réalise l'expérience ci-dessous :
On remplit un bécher de versée jusqu'au rebord. (Voir étape 1)
Puis on immerge un solide de volume V connu. (Voir étape 2)
Enfin, on mesure la masse du volume d'eau déplace. (Voir étape 3)



Calculer le poids du volume d'eau déplace (g = 9,81 N/kg)

La masse d'eau déplace est de m = 15g, soit 0,015 kg. Le poids est alors :

$P = m \times g = 15.10^{-3} \times 9,81 = 0,1475 N$

Calculer le produit $\rho_{eau}.g.V$ avec g = 9,81 N/kg et ρ_{eau} = 1000 kg/m3.

La masse est de forme cylindrique de volume $1,5 \times 10^{-5} m^3$ donc le volume de l'eau déplacé est également vaut $1,5 \times 10^{-5} m^3$.

Le calcul du produit $\rho_{eau}.g.V$ vaut alors : $\rho_{eau}.g.V = 1000 \times 9,81 \times 1,5 \times 10^{-5} = 0,147 N$

Comparer les deux résultats.

On remarque que le poids du volume déplace et que le produit $\rho_{eau}.g.V$ sont presque égaux entre eux et égaux a la poussée d'Archimède du paragraphe 1.

4. Définition de la Poussée d'Archimède

Lorsqu'un solide de volume V est immergé dans un liquide de masse volumique ρ, il subit de la part de ce liquide une force $\vec{F}_A$, verticale, ascendante, au centre de poussée et de valeur :

$$F_A = \rho_{eau}.g.V$$

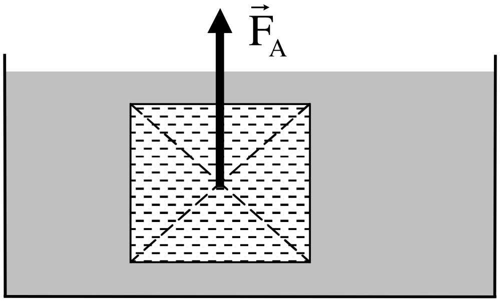
V : volume du liquide déplacé exprimée en m^3
ρ: masse volumique du liquide exprimée en kg/m^3
g : valeur de la pesanteur (g = 9,81 N/kg)
La valeur de la poussée d'Archimède est égale au poids du volume de fluide déplace

Caractéristique de la poussée d'Archimède :

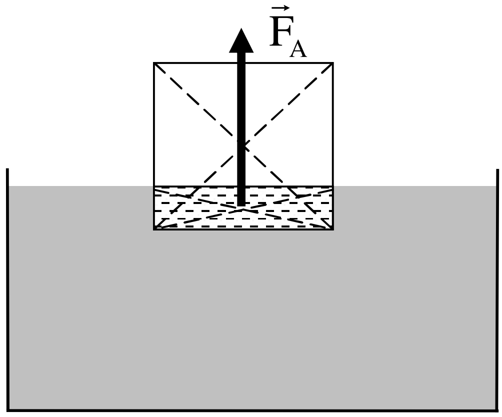
- **Point d'application ou centre de poussée: centre de gravité du fluide déplacé.**
- **Direction : la droite verticale**
- **Sens : de bas vers le haut**
- **Intensité :** $F_A = \rho_{eau}.g.V$

<u>Centre de poussée.</u>

Pour un corps solide homogène immergé totalement (A) ou partiellement (B) dans un liquide. Le centre de poussée et le centre de gravité de la partie immergée de solide en liquide.



(A)



(B)

5. Objets qui flottent et qui se coulent (conditions de flottabilité)

La « flottabilité » caractérise le comportement d'un objet immergé au sein d'un liquide.

Un objet immergé dans un fluide (liquide ou gaz) est soumis à deux forces de sens contraire son poids $\vec{P}$ et la poussée d'Archimède $\vec{F}_A$.

- Si $P > F_A$ (ou $\rho_{objet} > \rho_{fluide}$) : l'objet coule vers le fond.
- Si $P = F_A$ (ou $\rho_{objet} = \rho_{fluide}$) : l'objet est en équilibre et flotte entre deux eaux (flotter légèrement sous la surface)
- Si $P < F_A$ (ou $\rho_{objet} < \rho_{fluide}$) : l'objet remonte vers la surface. Il flotte à la surface et en équilibre lorsque l'intensité de la poussée d'Archimède deviendra égale au poids de l'objet.

6. Poussée d'Archimède dans les gaz

Les gaz exercent sur les corps plongés dans ceux-ci une force verticale, ascendante, au centre de poussée et de valeur

$$F_A = \rho_{gaz}.g.V$$

V : volume du gaz déplacé exprime en m^3
ρ: masse volumique du gaz exprimée en kg/m^3
g : valeur de la pesanteur (g = 9,81 N/kg)

Exercice d'application :

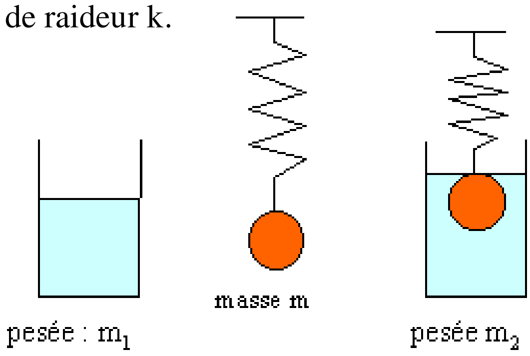
Un corps solide homogène de volume V= $500cm^3$ et de masse m=0,3Kg. On donne g=10N/Kg.

On plonge complètement le corps dans l'eau de masse volumique $\rho = 1000Kg/m^3$.

1. Quels sont les forces exercées sur le corps solide.
2. Quel est la valeur de la poussée d'Archimède appliquée au corps solide.
3. Le corps solide peut- il flotter sur l'eau, justifier.
4. en cas d'équilibre, Quel est le volume du corps solide immergé dans l'eau.

Exercice :

Exercice 1 Solide suspendu à un ressort



Un solide S de masse m est accroché à un ressort de constante de raideur k.

A l'équilibre le ressort s'allonge d'une longueur x_1.

Un becher contenant de l'eau à une masse m_1.

Le solide S est plongé dans l'eau du becher.

Un nouvel équilibre est observé.

L'allongement du ressort devient égal à x_2 et la masse de l'ensemble est m_2.

1- Établir l'expression de l'allongement x_1 en fonction de m, g et k.

2- Établir l'expression de l'allongement x_2 en fonction de m, m_e, g et k. Comparer à x_1.

3- Exprimer la différence de pesée $m_2 - m_1$ (on considère le système {eau, becher}).

Rappel : l'intensité de la tension d'un ressort a pour expression $F = k\,x$.

Exercice 2 Iceberg

Un iceberg a un volume émergé $V_e = 600\ m^3$. La masse volumique de l'iceberg est $\rho_1 = 910\ kg\ m^{-3}$ et celle de l'eau de mer est $\rho_2 = 1024\ kg\ m^{-3}$.

1- Schématiser l'iceberg flottant et tracer les forces auxquelles il est soumis à l'équilibre.

2- Déterminer une relation entre le volume émergé V_e, le volume totale V_t et les masses volumiques.

3- Calculer le volume V_t et la masse m de l'iceberg

Exercice 3 Poids apparent

Une sphère de cuivre de 24,5 N est plongée dans un liquide de masse volumique 0,800 g/cm^3.

Le cuivre a une masse volumique de 8,00 g/cm^3. On prendra $g \approx 9{,}81$ N/kg.

Calculer le poids apparent de la sphère de cuivre (le poids apparent est le poids réel moins la poussée d'Archimède).

Exercice 4 Paquebot

La masse d'un paquebot est de 57 800 tonnes. Quel est le volume de la partie immergée dans l'eau de mer de densité 1,028, ou dans l'eau douce ?

Exercice 5 Radeau

Un radeau doit supporter au maximum 1 500 N. Pour cela on assemble, à l'aide de cordages et de planches de 300 N, des tonneaux vides de 50 litres pesant chacun 200 N (g ≈ 10 N/kg).

1- Combien faut-il de tonneaux ?

2- Quelle charge peut supporter ce radeau lorsque la moitié de chaque tonneau est immergée ?

Exercice 6

Un glaçon de volume 8 cm3 flotte dans un verre rempli d'eau.

On donne la masse volumique de l'eau :

ρeau = 1000 kg.m-3, et la masse volumique de la glace : ρglace = 800 kg.m-3.

a) Calculez sa masse et la valeur de son poids.

b) Quelle est la valeur de la poussée d'archimède appliquée au glaçon ?

c) Quelle est la valeur du volume de glace immergée ?

d) Le glaçon fond. L'eau déborde t-elle du verre ?

Exercice :

Un bloc de bois de 1 m de long, 20 cm de large, 7 cm de haut est posé sur l'eau.

On donne la masse volumique de ce bois : ρbois = 0,8 g.cm3,

et la masse volumique de l'eau : ρeau = 1 g.cm3.

a) Calculez le volume de ce morceau de bois.

b) Calculez la masse et le poids de ce morceau de bois

c) Quel est la valeur de la poussée d'archimède appliquée au morceau de bois ?

d) Déterminez le volume d'eau déplacé par le morceau de bois

e) De combien de centimètre s'enfonce le morceau de bois dans l'eau ?

Exercice 6 Densité

Une sphère de laiton a dans l'air une masse de 160 g. On l'immerge dans l'eau et elle parait ne plus peser que 100 g. La densité du laiton est 8.

1- La boule est-elle pleine ou creuse ?

2- Si elle est creuse, quel est le volume de la sphère ?

Exercice 8 Hiéron et Archimède

Le roi Hiéron, tyran de Syracuse, voulant offrir une couronne d'or à Jupiter, soupçonna l'orfèvre de l'avoir faite en alliage d'argent et d'or.

C'est en cherchant à résoudre ce problème, sans détériorer la couronne, qu'Archimède découvrit la poussée à laquelle on a donné son nom.

Dans l'air, la couronne pèse 48,2 N et dans l'eau son poids apparent n'est plus que de 45,3N.

La densité de l'or est de 19,3 et celle de l'argent de 10,5.

1- Quelle est la densité du métal de la couronne ?

2- Quelle est la composition du métal de la couronne en masse et en volume ?

Exercice :

1. La masse d'un homme change-t-elle lorsqu'il s'immerge dans un liquide ?

On prend $\rho = 1025 Kg / m^3$ comme masse volumique du corps humain,.

2. Calculer le poids apparent d'une femme de masse m=45Kg totalement immergé dans l'eau douce de masse volumique $\rho = 1000 kg / m^3$
3. La mer Morte a une eau salée contenant environ 250g de sel par litre. Calculer la masse volumique de l'eau de la mer Morte.
4. Expliquer ce qui se passe si le même homme essaie de se baigner dans la mer Morte.

<u>Exercice</u>

On souhaite envoyer dans l'atmosphère, à l'aide d'un ballon sonde, des appareils de mesure scientifiques ; la masse de l'enveloppe vide et des différents équipements est m=17kg. Le volume des équipements est négligeable devant le volume du ballon une fois gonflé.

1. Quelle est l'action qui va permettre au ballon de s'élever dans l'atmosphère.

2. Quelle doit être sa valeur minimale du gaz remplissant le ballon sonde.
3. A 15°C, la masse volumique de l'air est $\rho = 1,225 Kg / m^3$. Le tableau donne les valeurs des masses volumiques de quelques gaz à 15°C.

Gaz	H_2	O_2	N_2	He
Masse volumique	$0,085$	$1,359$	$1,183$	$0,169$

3.1.Quel ne gaz pourra-t-on pas utiliser ? justifier.

3.2. Quels sont les deux gaz les plus intéressants.

4. On gonfle le ballon sonde avec de l'hélium, de symbole chimique He. On note Vm le volume minimal du ballon gonflé pour qu'il puisse s'élever dans l'air.

4.1. Ecrire l'inéquation permettant de déterminer Vm. Puis résoudre cette inéquation.

4.2.Vérifier que si l'on prend $V=14,5m^3$ comme volume pour le ballon, celui-ci pourra bien s'élever dans l'air.

4.3.Il serait possible de gonfler le ballon avec du dihydrogène. Préciser la raison pour laquelle on préfère l'hélium.