REPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE

Honneur - Fraternité - Justice

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE
DE LA FORMATION TECHNIQUE
ET DE LA REFORME
INSTITUT PEDAGOGIQUE NATIONAL

PARTIE PHYSIQUE

5ème AS

Unité: 1

CHAPITRE I : NOTION DE FORCE

ET

ETALONNAGE D'UN RESSORT

La caractéristique d'élasticité rend les ressorts des composants très essentiels dans l'industrie de plusieurs machines et appareils.

Objectifs

- ✓ Connaître les notions essentielles relatives aux forces.
- ✓ Déterminer expérimentalement la constante de raideur d'un ressort.
- ✓ Connaître le principe du dynamomètre et la mesure de l'intensité d'une force.

I - RAPPEL MATHEMATIQUE

1- Valeurs trigonométriques:

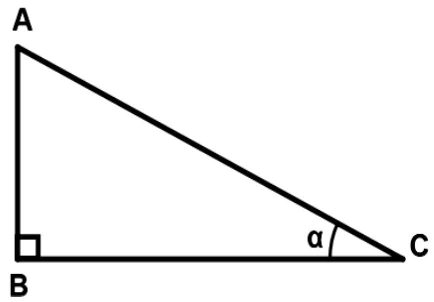
Soit **ABC** un triangle rectangle en **B**.

$$\boldsymbol{sin(\alpha) = \frac{opp}{hyp} = \frac{AB}{AC}}$$

$$\boldsymbol{cos(\alpha) = \frac{adj}{hyp} = \frac{BC}{AC}}$$

$$\boldsymbol{tan(\alpha) = \frac{sin(\alpha)}{cos(\alpha)} = \frac{opp}{adj} = \frac{AB}{BC}}$$

$$\boldsymbol{sin^2(\alpha) + cos^2(\alpha) = 1.}$$

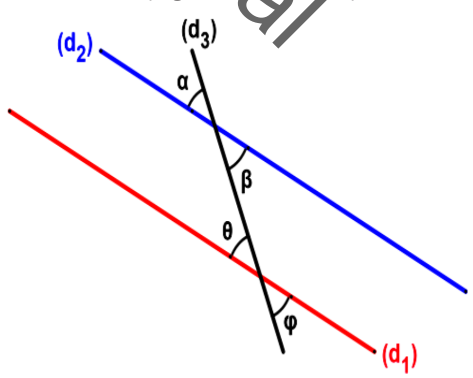


2- les valeurs de cos, sin et tan des angles usuels.

Angle α							
	En degré	0	30°	45°	60°	90°	180°
	En radian	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	π
sin α		0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	0
cos α		1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	-1
tan α		0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	Indéfini	0

3- Propriétés des angles

- Soient **α** et **β** deux angles :
  - **α** et **β** sont complémentaires si $\boldsymbol{\alpha + \beta} = \frac{\pi}{2}$
  - **α** et **β** sont supplémentaires si $\boldsymbol{\alpha + \beta = \pi}$
- Soient $\mathbf{d_1}$ et $\mathbf{d_2}$ deux droites parallèles et $\mathbf{d_3}$ sécante à $\mathbf{d_1}$ et à $\mathbf{d_2}$ (figure ci-contre).
  - Les angles $\boldsymbol{\alpha}$ *et* $\boldsymbol{\beta}$ d'une part et $\boldsymbol{\theta}$ *et* $\boldsymbol{\varphi}$ d'autre part sont dits opposés par le sommet et on a $\boldsymbol{\alpha = \beta}$ et $\boldsymbol{\theta = \varphi}$
  - Les angles $\boldsymbol{\beta}$ et $\boldsymbol{\theta}$ sont dits alterne-internes et on a $\boldsymbol{\beta = \theta}$
  - Les angles $\boldsymbol{\alpha}$ et $\boldsymbol{\varphi}$ sont dits alterne-externes et on a $\boldsymbol{\alpha = \varphi}$
  - Les angles $\boldsymbol{\alpha}$ *et* $\boldsymbol{\theta}$ d'une part et $\boldsymbol{\beta}$ *et* $\boldsymbol{\varphi}$ d'autre part sont dits correspondants et on a $\boldsymbol{\alpha = \theta}$ et $\boldsymbol{\beta = \varphi}$.



II- NOTION RELATIVE AUX FORCES

1 - Les effets d'une force

Une force n'est pas visible, mais on peut constater ses effets. Elle peut :

- changer la nature du mouvement d'un corps : effet dynamique
- déformer un corps : effet statique

En l'absence de force, aucun de ces effets n'est possible. Inversement, aucun de ces effets n'est possible sans que la cause en soit une force.

1-1- Effets dynamiques

Il y a changement de la nature du mouvement lorsque la valeur, la direction ou le sens de la vitesse change

- une corps, initialement immobile, est mis en mouvement.
  exemple : une pierre qui est lancée.
- un corps, se déplaçant à une vitesse donnée, augmente ou diminue sa vitesse.
  exemple : une moto qui accélère ou décélère.
- un corps, se déplaçant à une vitesse donnée, est arrêté.
  exemple : un ballon bloqué par le pied d'un joueur.
- un corps en mouvement change de direction.
  exemple : une bille en acier en mouvement déviée par un aimant
- un corps en mouvement change de sens.
  exemple : le rebondissement d'une balle de tenus sur le sol.

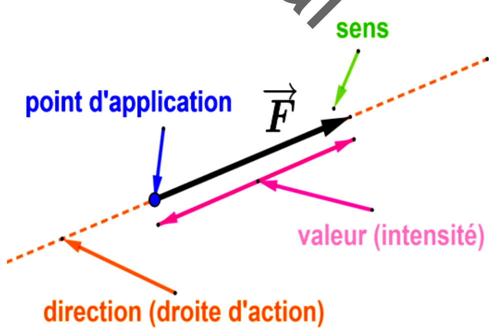
1-2- Effet statique

Les forces peuvent aussi entraîner la déformation d'un corps.
exemple : la déformation d'une bouteille d'eau minérale vide par la main.

2- Caractéristiques et représentation d'une force

Une force peut être modélisée par un vecteur qui possède quatre caractéristiques :

- le point d'application (origine) : le point où s'applique la force à un corps.
- la direction : la droite d'action de la force.
- le sens.
- la norme : la valeur ou l'intensité da la force.



L'intensité de la force est proportionnelle à la longueur de la flèche représentative suivant une échelle appropriée.
L'unité de mesure de la force dans le système international est le Newton (**N**).
On mesure l'intensité de la force par le dynamomètre.

Attention !

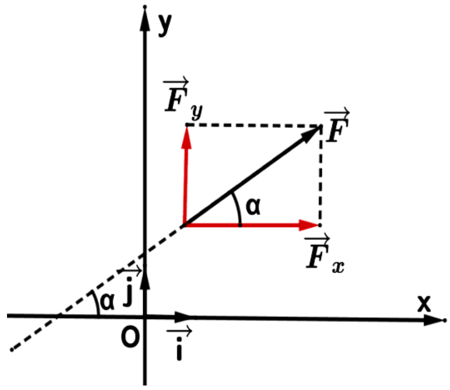
Le symbole $\vec{F}$ d'un vecteur force désigne la force avec ses quatre caractéristiques.

Le symbole **F** (sans flèche) ne désigne que la norme de la force $\vec{F}$: $F = \|\vec{F}\|$

On peut donc bien écrire par exemple. **F = 1,3 N**, mais non $\vec{F}$ **= 1, 3 N**

3- Décomposition d'une force dans un repère

Soit un repère $(O,\vec{\imath},\vec{\jmath})$ orthonormé et une force $\vec{F}$ faisant un angle α avec l'axe des abscisses (**Ox**).



La force $\vec{F}$ peut être décomposée en deux composantes $\vec{F}_x$ et $\vec{F}_y$ tel que : $\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y = F_x\vec{\imath} + F_y\vec{\jmath}$

- La composante **F$_x$** représente la projection du vecteur force $\vec{F}$ sur l'axe des abscisses **(Ox)** et on a :
  $cos(\alpha) = \frac{F_x}{F}$ soit $F_x = F.cos(\alpha)$
- La composante F_y représente la projection du vecteur force $\vec{F}$ sur l'axe des ordonnées **(Oy)** et on a :
  $sin(\alpha) = \frac{F_y}{F}$ soit $F_y = F.sin(\alpha)$.

4- Composition de deux forces

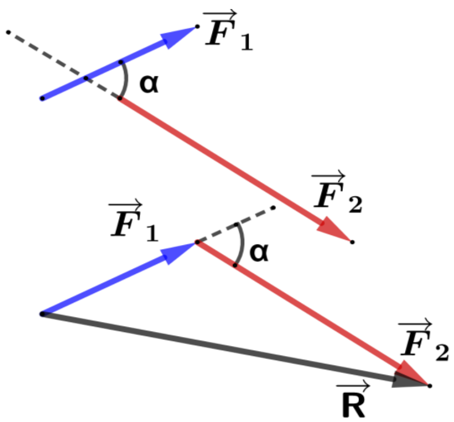
La résultante d'un ensemble de forces agissant sur un corps est une force unique ayant sur ce corps les mêmes effets que ces forces agissant simultanément.

On appelle force résultante, la force correspondant à la somme vectorielle de tous les vecteurs forces qui s'appliquent à un corps

4-1- Cas de deux forces concourantes

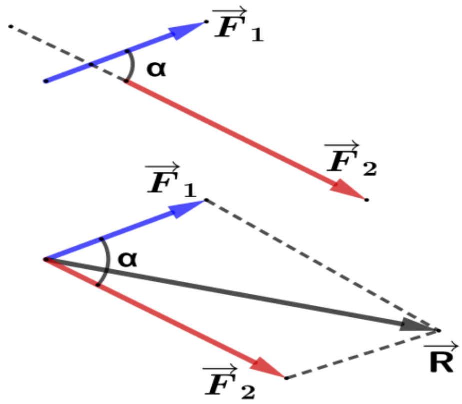
Pour représenter la résultante $\vec{R}$ de deux forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ faisant un angle α entre elles ; $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$, on peut :

- soit translater les vecteurs tel que l'origine du deuxième vecteur soit placée à l'extrémité du premier (ou inversement). Si on relier l'origine du premier vecteur à l'extrémité du deuxième vecteur, on obtient la résultante.



- soit tracer le parallélogramme des forces :
  c'est le parallélogramme qui a comme côtés les deux forces à additionner.
  La résultante correspond à la diagonale.

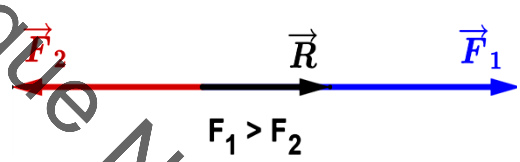
L'intensité da la force résultante est : $\boldsymbol{R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1.F_2.cos(\alpha)}.}$



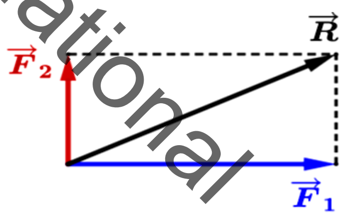
Cas particuliers

- Si $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ sont colinéaires de même sens ($\boldsymbol{\alpha = 0}$) alors la résultante $\vec{R}$ a le même sens et la même direction que $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$.
  Son intensité est égale à la somme des intensités de $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$; $\boldsymbol{R = F_1 + F_2}$.

- Si $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$ sont colinéaires de sens apposés ($\boldsymbol{\alpha = \pi}$) alors $\vec{R}$ a la même direction que $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$, son sens est celui de la force de plus grande intensité, son intensité est égale à la valeur absolue de la différence entre les intensités de $\vec{F}_1$ **et** $\vec{F}_2$ **;** $\boldsymbol{R = |F_1 - F_2|}$**.**



- Si $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$ sont perpendiculaires $\left(\boldsymbol{\alpha = \frac{\pi}{2} rd}\right)$ alors l'intensité de la résultante est alors : $\boldsymbol{R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}}$.



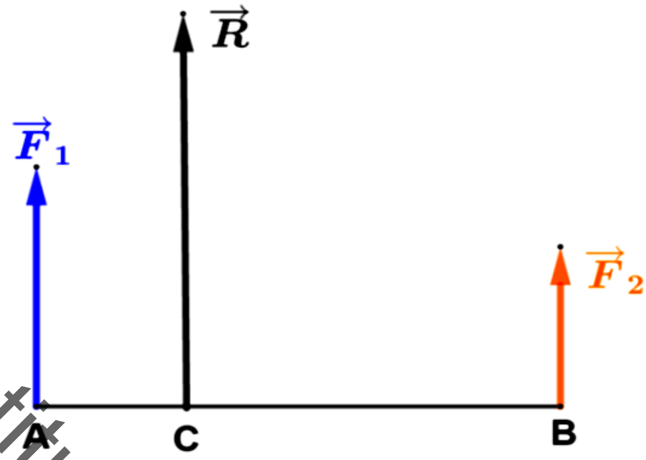
4-2- Cas de deux forces parallèles non concourantes

Pour trouver la résultante $\vec{R}$ de deux forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ parallèles et de droites d'action distantes de **AB** ; deux cas peuvent se présenter :

- *Cas de deux forces parallèles de même sens*

La résultante $\vec{R}$ de deux forces parallèles de même sens $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$ a les caractéristiques suivantes :

- la même direction que $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$
- le même sens que $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$
- son intensité est : **R = F_1+ F_2**
- son point d'application **(C)** se trouve sur le segment $[A\ ;\ B]$ tel que : $F_1.AC = F_2.CB$.

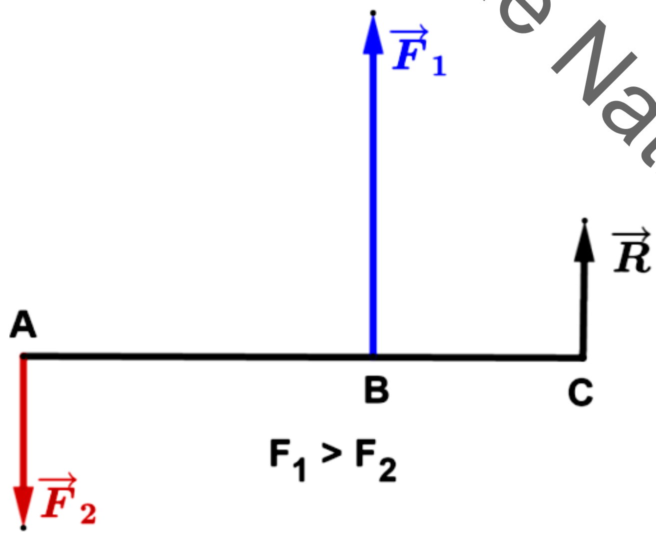


- *Cas de deux forces parallèles de sens opposés*

La résultante $\vec{R}$ de deux forces parallèles de sens opposés $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$ a les caractéristiques suivantes :

- la même direction que $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$
- son sens est celui de la force de plus grande intensité.
- Son intensité est $R = |F_1 - F_2|$.
- Son point d'application **(C)** se trouve sur la droite **(AB)** à l'extérieur du segment $[A\ ;\ B]$ et du côté de la force de plus grande intensité, tel que :

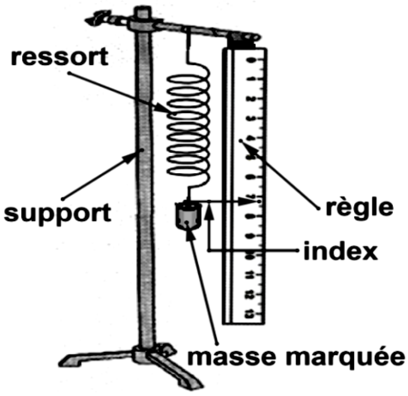
  $F_1.CB = F_2.CA \Rightarrow \frac{F_1}{CA} = \frac{F_2}{CB} = \frac{F_1 - F_2}{AC - CB} = \frac{R}{AB}$



III- ETALONNAGE D'UN RESSORT

1 - Définition

Étalonner un ressort c'est établir expérimentalement une relation entre l'intensité de la force de tension qu'il exerce et son allongement Δl.



2- Dispositif expérimental

Un ressort suspendu verticalement est accroché à un support muni d'une règle graduée. On suspend à son extrémité libre des charges de masse marquées différentes.

3- Manipulation

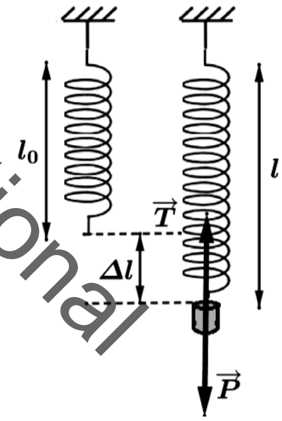
- Disposer la règle verticalement, l'index indique la longueur initiale du ressort ℓ_0 .
- Suspendre une "masse marquée m" au ressort et mesurer la longueur du ressort puis calculer l'allongement $\Delta l = l - l_0$ correspondant.
- Procéder à une dizaine de mesures de l'allongement Δl correspondant à diverses masses marquées **m.**
- Pour chaque masse marquée suspendue au ressort, les forces exercées sont :

$\vec{P}$: son poids

$\vec{T}$: la tension du ressort.

En appliquant la condition d'équilibre on trouve :

$$\vec{P} + \vec{T} = \vec{0} \Rightarrow \vec{P} = -\vec{T} \Rightarrow T = P = m.g$$



Les résultats des mesures sont consignés dans le tableau ci-dessous.

m(g)	**0**	**m_1**	**m_2**			**m_n**
Δl(cm)	**0**	$\Delta\ell_1$	$\Delta\ell_2$			$\Delta\ell_n$
T= mg(N)	**0**	**T_1**	**T_2**			**T_n**

Remarque :

Tout ressort possède une limite d'élasticité, sa longueur à l'équilibre ne doit pas dépasser une longueur limite, sous peine de le déformer.

Cette limite d'élasticité est déterminée par le fabriquant.

4- La loi de Hooke : Relation T = f (Δl)

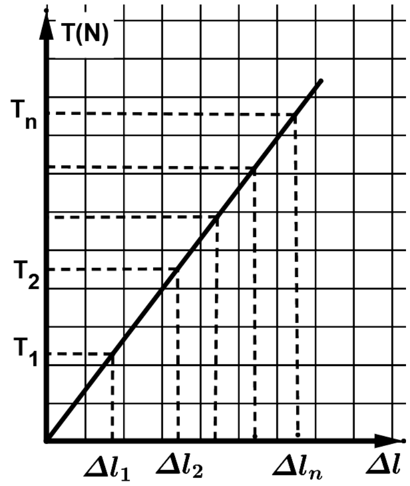
On tracer la courbe **T = f (Δl).** Elle représente les variations de la tension **T** du ressort en fonction de son allongement **Δl.**

L'allure de la courbe obtenue est une droite passant par l'origine du repère.

Donc **T = f(Δl)** est une équation de droite de la forme **T = k.Δl** (loi de Hooke)

Le coefficient directeur **k** de la droite **T = f (Δl)** s'appelle constante de raideur du ressort.

La constante **k** se mesure en **N/m**.



IV- APPLICATIONS

Dynamomètres mécaniques

Ce sont des ressorts munis d'un crochet et d'une graduation. La valeur de la force exercée sur le crochet se lit sur une graduation.

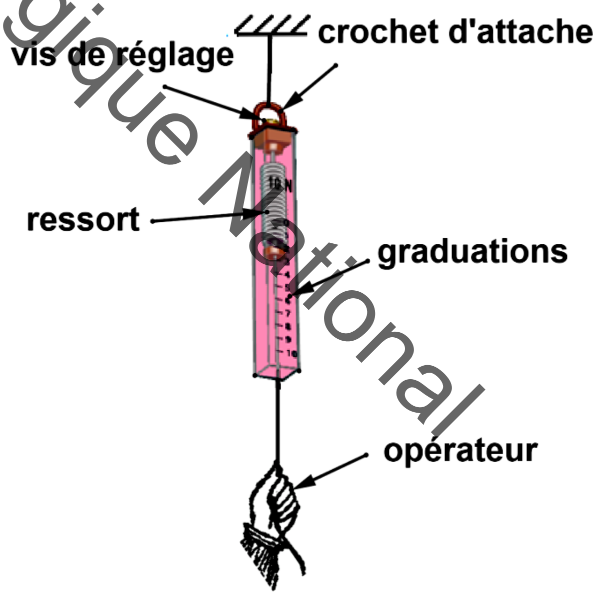
Il existe des dynamomètres circulaires et des dynamomètres à ressort (ou pesons).

Chaque dynamomètre est calibré.

L'intensité qui y est inscrite indique la force maximale qu'il peut mesurer.

Comme tout appareil de mesure à graduation, le dynamomètre impose des règles de mesures :

- Positionner le dynamomètre sur un support grâce au crochet d'attache.
- Vérifier le zéro de l'index ou positionner l'index sur le zéro grâce à la vis de réglage.
- Poser le crochet de mesure sur l'objet ou l'auteur qui exerce la force.
- Relever la position de l'index en positionnant son œil en face.
- Noter la mesure de la force en newton.



Exercices résolus

Exercice 1

Un ressort s'allonge de **x_1 = 5cm** lorsqu'on lui applique une force de valeur **F_1 = 10N.**
Calculer :
1- Son allongement pour une force appliquée de valeur **F_2 = 35N.**
2- La valeur de la force appliquée quand son allongement est de **x_3 = 12,5cm.**

Solution

1- $\begin{cases} F_1 = kx_1 \\ F_2 = Kx_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{x_1}{x_2} \Rightarrow \boxed{x_2 = \frac{F_2}{F_1}x_1}\ A.N: x_2 = 35\frac{5}{10} \Rightarrow \boxed{x_2 = 17,5cm}$

2- $\begin{cases} F_1 = kx_1 \\ F_3 = Kx_3 \end{cases} \Rightarrow \frac{F_1}{F_3} = \frac{x_1}{x_3} \Rightarrow \boxed{F_3 = \frac{F_1}{x_1}x_3}\ A.N: F_3 = 10\frac{12,5}{5} \Rightarrow \boxed{F_3 = 25N}$

Exercice 2

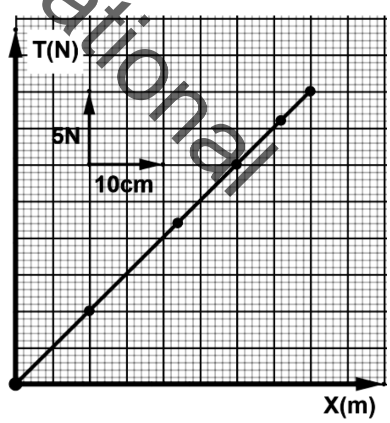
A l'extrémité d'un ressort à spires non jointives sont appliquées successivement différentes forces.
Soit **F** l'intensité de l'une de ces forces et **x** l'allongement correspondant du ressort.
Des mesures donnent les résultats suivants.

F(N)	0	5	11	15	18	20
X(m)	0	0,1	0,22	0,3	0,36	0,4

1- Tracer la courbe **F = f(X).**
1- En déduire la valeur de **K**.

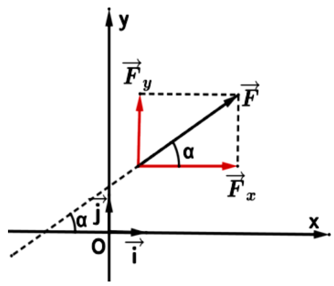
Solution

1- On prend comme échelle de représentation
$\begin{cases} \mathbf{2\ carreaux \rightarrow 10cm} \\ \mathbf{2\ carreaux \rightarrow 5N} \end{cases}$ on trouve la courbe ci-contre
2- La constante de raideur **K**:
On a $F = K.X \Rightarrow K = \frac{F}{X} A.N: K = 50N$

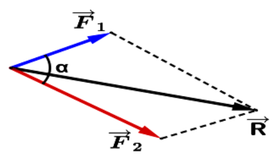


Essentiel

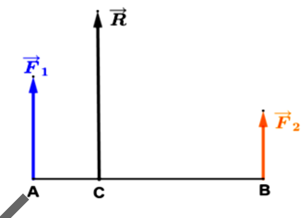
- Une force est une action mécanique qui peut être modélisée par un vecteur et caractérisée par :
  - son point d'application : point ou la force agit (force localisée) ou centre de l'objet (force repartie).
  - sa direction : droite d'action.
  - son Sens.
  - son intensité : valeur mesurée en Newton.
- Pour représenter une force on choisit une échelle de correspondance pour passer des intensités aux longueurs.



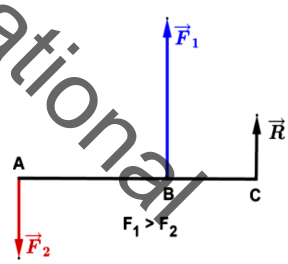
- Dans un repère $(O, \vec{\imath}, \vec{\jmath})$, une force $\vec{F}$ faisant un angle α avec l'axe des abscisses (**Ox**) admet deux composantes $\vec{F}_x et \vec{F}_y$ tel que $\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F} = F_x\vec{\imath} + F_y\vec{\jmath}$ **et** $\begin{cases} F_x = F.\cos(\alpha) \\ F_y = F.\sin(\alpha) \end{cases}$



- La résultante $\vec{R}$ de deux forces $\vec{F_1}$ *et* $\vec{F_2}$ concourantes en **O** et non parallèles est définie en direction et en sens par la diagonale issue de **O** du parallélogramme de côtés $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$.
  Sa valeur est donnée par la relation :
  $$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1.F_2.\cos(\alpha)}$$



- La résultante $\vec{R}$ de deux forces parallèles de même sens $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ a la même direction et le même sens que $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$, son intensité est **R = F_1 + F_2** et son point d'application (**C**) se trouve sur le segment $[A\,;\ B]$ tel que $F_1.AC = F_2.CB$.



- La résultante $\vec{R}$ de deux forces parallèles de sens opposés $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ a la même direction que $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$, son sens est celui de la force de plus grande intensité, son intensité est

$R = |F_1 - F_2|$ et son point d'application (**C**) se trouve sur la droite (**AB**) à l'extérieur du segment $[A\,;\ B]$ et du côté de la force de plus grande intensité, tel que :

$F_1.CB = F_2.CA \Rightarrow \frac{F_1}{CA} = \frac{F_2}{CB} = \frac{F_1 - F_2}{AC - CB} = \frac{R}{AB}$.

- L'allongement d'un ressort à spires non jointives est proportionnel à la tension du ressort correspondante : $T = k.x$.

T : tension du ressort (**N**).

x : allongement du ressort (**m**).

K : constante de raideur du ressort (**N/m**).

Exercices

Exercice 1

Soient deux forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ d'intensité $F_1 = 2N$ et $F_2 = 4N$ faisant un angle $\alpha = 120°$.

1) Représenter $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$: échelle : 1 cm pour 1N.
2) Déterminer graphiquement puis par calcul l'intensité de la force $\vec{F}$ tel que :

$$\vec{F} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$$

3) On considère deux forces $\vec{F}_3$ et $\vec{F}_4$de même intensité et faisant un angle $\beta = 60°$.

Déterminez leur intensité commune sachant que l'intensité de leur résultante $\vec{F}$ est de 17,3N. Répondez à la question par la méthode géométrique et algébrique.

Exercice 2

On demande de déterminer l'intensité, le sens et la direction (angle avec Ox) de la force $\vec{F}$ définie par ses composantes F_x et F_y dans les cas suivants :

1er cas : F_x= 40 kN et F_y = 60 kN, ce que l'on note encore : $\vec{F}$ (40 ; 60)

2èmecas : $\vec{F}$ (- 50 ; 40)

Exercice 3

Décomposer une force F = 10N en deux forces concourantes de 7N chacune.

Exercice 4

Dans un repère orthonormé $(O,\vec{\imath},\vec{\jmath})$ l'unité de force étant le newton, on donne :

$\vec{F}_1 = 2\vec{\imath} - 3\vec{\jmath}$ et $\vec{F}_2 = -\vec{\imath} - 2\vec{\jmath}$

1- Représenter $\overrightarrow{F_1}\ et\ \overrightarrow{F_2}$.

2- Calculer la norme de chaque force.

3- Déterminer les angles$(\vec{\imath};\vec{F}_1)$ et $(\vec{F}_1;\vec{F}_2)$.

4- Représenter $\vec{F} = 2\overrightarrow{F_1} + 4\overrightarrow{F_2}$; déterminer l'angle $(\vec{\imath};\vec{F})$.

5- Représenter la force $\overrightarrow{F'}$ tel que $\overrightarrow{F}' + \overrightarrow{F_1} + \overrightarrow{F_2} = \vec{0}$.

Exercice 5

Un ressort à spires non jointives a pour constante de raideur k et sa longueur à vide est l_o.
Calculez son allongement quand la tension qu'il exerce a pour intensité T_1.
Quelle est l'intensité de la tension qu'il exerce quand sa longueur est l_2 ?
Données : $l_o = 22cm$; $k = 52,5N.m^{-1}$; $T_1 = 6,4N$; $l_2 = 28,7cm$.

Exercice 6

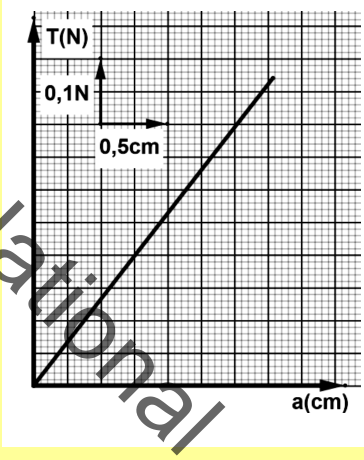
On accroche un dynamomètre à l'une des extrémités d'un ressort de longueur à vide l_0 et de constante de raideur K, l'autre extrémité étant fixe. L'action du dynamomètre sur le ressort provoque l'allongement de ce dernier.
Pour différentes valeurs de l'intensité de la force exercée par le dynamomètre on mesure la longueur l du ressort :

F(N)	3	5	8	10
l (cm)	11,2	12	13,2	14

1- Représenter sur un papier millimétré ces différents couples de mesure (F, l) avec F en ordonné et l en abscisse.
2- Déterminer la relation qui relie F à l, la longueur l_0 et la constante de raideur K du ressort.
3- En déduire les valeurs de l_0 et K.

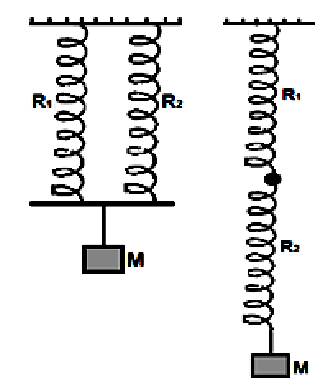
Exercice 7

La courbe d'étalonnage T = f(a) d'un ressort à spires non jointives est représentée sur la figure ci-contre.
T étant la tension du ressort et (a) son allongement.
1- Calculer la raideur K du ressort
2-Déduire de la courbe l'allongement a_1 du ressort lorsque la norme de la tension est $T_1 = 0,25N$.
Vérifier par le calcul la valeur trouvée pour a_1
3- Tracer la courbe d'étalonnage d'un ressort de raideur $K_2 = 2$ K



Exercice 8

Soit deux ressorts R_1 et R_2. R_1 s'allonge de 1cm sous l'action d'une force de 1N et R_2 s'allonge de 3cm sous l'action d'une force de 1,5N.
1- Calcule les constantes de raideur k_1 et k_2 de R_1 et R_2.
2- Calcule la constante de raideur K du ressort R équivalent au deux ressort R_1 et R_2 lorsqu'ils sont montés en parallèle.
3- Calcule la constante de raideur K du ressort R équivalent au deux ressort R_1 et R_2 lorsqu'ils sont montés en série



Exercice 9

On suspend différentes masses marquées à l'extrémité libre d'un ressort et on note la longueur l du ressort.

m(Kg)	0,1	0,2	0,3	0,4
l(cm)	12	14	16	18
P (N)				

1- Compléter le tableau précédent.

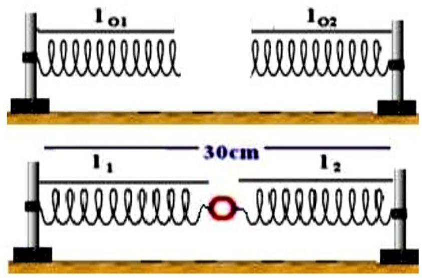
2- Représenter graphiquement P en fonction de l (abscisse : 1 cm pour 1 cm ; ordonnée : 1 cm pour 0,5 N) .

3- En déduire graphiquement la longueur à vide l_0 du ressort.

4- Calculer la constante de raideur k.

Exercice 10

On dispose de deux ressorts. Le ressort (R_1) a une longueur à vide l_{O1} de 10 cm et s'allonge de 1cm pour une force appliquée de 1N.



Le ressort (R_2) a une longueur à vide l_{O2}=15cm et s'allonge de 3cm pour une force appliquée de 1N.

On les réunit à un anneau de poids et de dimensions négligeables. Les deux autres extrémités des ressorts sont fixées à deux crochets distants de 30cm. Soient l_1 et l_2 les longueurs respectives des ressorts (R_1) et (R_2).

Calculer la longueur de chaque ressort l_1 et l_2 et les forces de tension T_1 et T_2 des ressorts.

CHAPITRE II : LA POUSSEE D'ARCHIMEDE

Pourquoi les bateaux flottent-ils malgré leurs poids ?

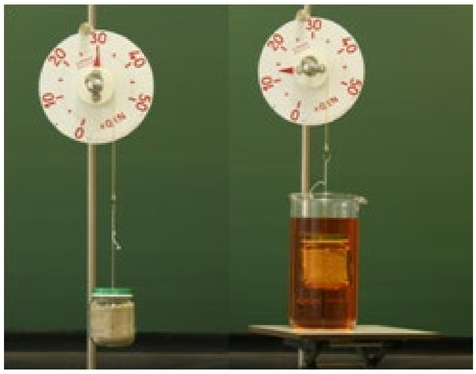
OBJECTIFS

- ✓ Déterminer expérimentalement les caractéristiques de la poussée d'Archimède.
- ✓ Montrer expérimentalement que la valeur de la poussée d'Archimède est égale à la valeur du poids du liquide déplacé.
- ✓ Connaître quelques applications de la poussée d'Archimède

I- MISE EN EVIDENCE

- Une pirogue dans le fleuve, même si elle est chargée ne coule pas. (il est évident qu'une charge maximale ne peut être dépassée !).

- Pour immerger un ballon gonflé d'air dans l'eau, il faut exercer verticalement une force vers le bas. Le ballon, abandonné à lui-même, remonte à la surface malgré son poids.



- Un dynamomètre auquel est suspendu un pot plein de sable indique 3N. Si le pot est plongé dans un liquide, le dynamomètre indique 1,3N.

A quoi est due la différence entre les deux indications ?

II- DEFINITION (PRINCIPE D'ARCHIMEDE)

Un corps solide de masse **m** immergé (entièrement ou partiellement) dans un liquide subit, de la part de ce liquide, une force exercée verticalement vers le haut, appelée **poussée d'Archimède.**

Archimède est un savant grec qui vécut à Syracuse (Sicile) de 287 à 212 avant JC. Il est connu pour ses multiples travaux scientifiques, théoriques ou pratiques. Un jour, alors qu'il entrait dans sa baignoire, il se fit déborder de l'eau, et s'écria « Eurêka ! » (j'ai trouvé). Il venaitde comprendre ce qui se passait lorsqu'un objet était plongé dans un liquide Il énonça alors le principe, connu sous le nom du « principe d'Archimède ». C'est ce que nous raconte la legende.

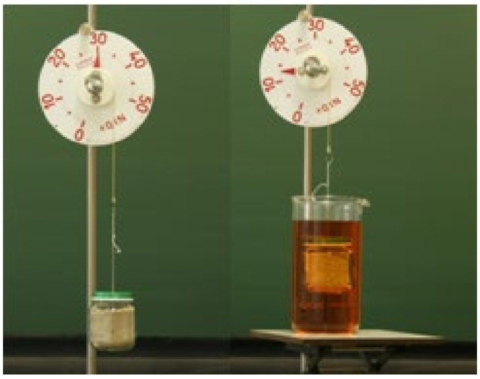
III- LE POIDS APPARENT ET LA POUSSEE D'ARCHIMEDE

Expérience 1

1- Matériel

- ✓ Un dynamometer.
- ✓ Un support.
- ✓ Un bécher contenant de l'eau colorée.
- ✓ Un solide insoluble dans l'eau (pot rempli de sable).

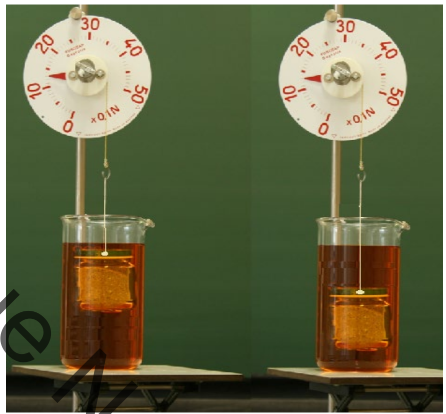
2- Manipulation



- Mesurons le poids du solide (pot rempli de sable) à l'aide du dynamomètre suspendu à un support fixe. Soit **P** la valeur indiquée. **P = 3N**
- Introduisons le solide (pot rempli de sable) toujours accroché au dynamomètre dans le bécher ; jusqu'à l'immersion totale.
  Soit $\mathbf{P_a}$ la nouvelle valeur indiquée.
  $\mathbf{P_a}$ **= 1,3N**. Cette valeur $\mathbf{P_a}$ est appelée le poids apparent de l'objet immergé
- La différence entre le poids réel et le poids apparent correspond à la valeur de la poussée d'Archimède $\mathbf{P_A}$. Alors ; $\mathbf{P_A = P - P_a = 1,7N}$.

IV - FACTEURS INFLUENÇANT LA POUSSEE D'ARCHIMEDE

1- Influence de la profondeur du liquide



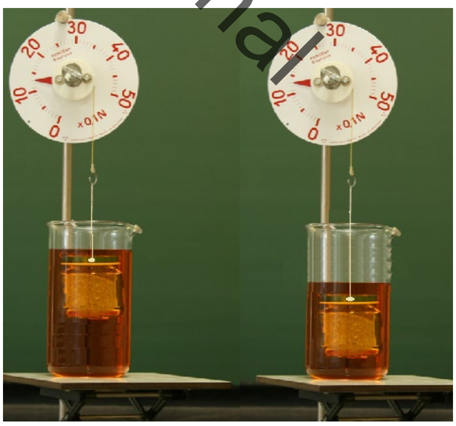
Expérience 2

On fait différentes lectures de l'indication du dynamomètre pour différentes positions en profondeur du pot rempli de sable. La valeur indiquée par le dynamomètre reste constante.

Conclusion :

La profondeur du corps n'a pas d'influence sur l'intensité de la poussée d'Archimède exercée par l'eau sur le corps.

2- Influence de la quantité du liquide



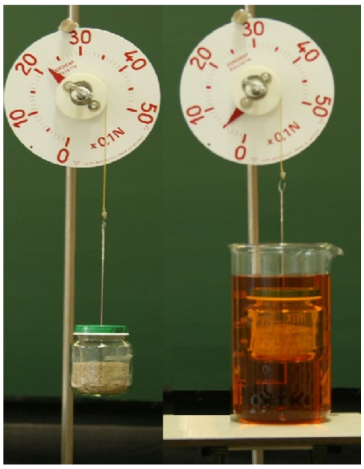
Expérience 3

On fait différentes lectures de l'indication du dynamomètre pour différentes quantités d'eau dans le bécher (le pot est toujours rempli de sable). La valeur indiquée par le dynamomètre reste constante.

Conclusion :

La quantité d'eau n'a pas d'influence sur l'intensité de la poussée d'Archimède exercée par l'eau sur le pot rempli de sable.

3- Influence du poids du corps



Expérience 4

On refait l'expérience en diminuant le sable dans le pot (en diminuant le poids du pot) et on détermine la valeur de la poussé d'Archimède (figure ci-contre), on lit :

$P = 2{,}2N$

$P_a = 0{,}5\ N$

Donc **$P_A = P - P_a = 1{,}7\ N$**. C'est la même valeur de la poussée d'Archimède exercée par l'eau sur le pot rempli de sable

Conclusion :

La valeur de la poussée d'Archimède est indépendante du poids du corps

4- Influence du volume du corps

Expérience 5

On refait l'expérience en remplaçant le pot rempli de sable par une petite masse marquée de **300 g** (de poids égal au poids du pot rempli de sable mais de volume différent à celui du pot (figure ci-contre).

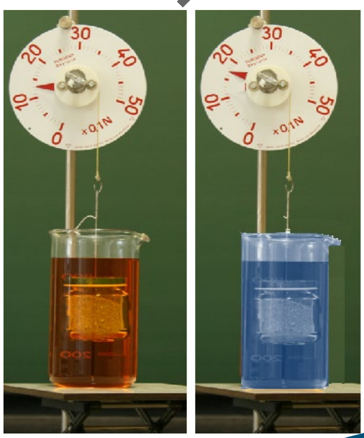
Le poids apparent de la masse marquée est **2,6N**

Donc la poussé d'Archimède exercée sur la masse marquée est **$P_A = 0{,}4N$** ce qui est différent de la poussé exercée sur le pot rempli de sable

Conclusion :

Le volume du corps a une influence sur l'intensité de la poussée d'Archimède exercée par l'eau sur le corps.

5- Influence de la nature du liquide



Expérience 6

Dans cette expérience on introduit le pot rempli de sable dans l'eau colorée puis dans l'alcool (figure ci-contre).

Le dynamomètre indique des valeurs différentes

Conclusion :

La nature du liquide a une influence sur l'intensité de la poussée d'Archimède exercée par ce liquide sur le corps.

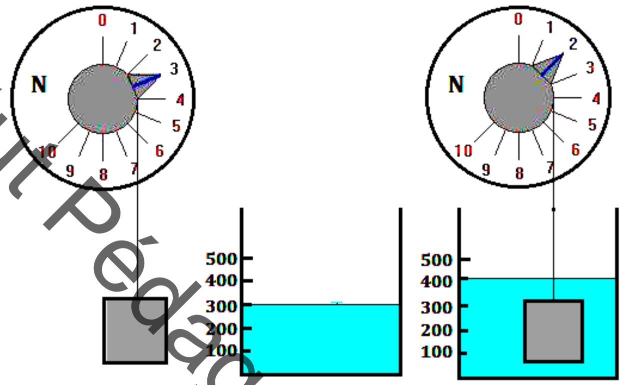
V- EXPRESSION DE LA POUSSEE D'ARCHIMEDE

Expérience 7

1- Matériel

- ✓ Un dynamometer
- ✓ Un bécher gradué contenant de l'eau
- ✓ Un petit cube en fer

2- Manipulation



- On mesure le poids du cube à l'aide du dynamomètre. **P = 3N**
- On introduit le cube toujours accroché au dynamomètre dans le bêcher ; jusqu'à l'immersion totale. **P_a = 2N**.
  La valeur de la poussé d'Archimède est **$P_A = P - P_a = 1N$**
- On Lit le volume d'eau déplacée **V_d = 100mL**
- On calcule le poids de cette eau déplacée : **$P_d = m_d.g = \rho_{eau}.V_d.g = 1N$**

Conclusion :

L'intensité de la poussée d'Archimède est égale à la valeur du poids du liquide dont l'objet prend la place (liquide déplacé).

Donc **$P_A = m_d.g$** tel que **m_d** : la masse du liquide déplacé donc $P_A = \rho_l.V_d.g$;

ρ_l : la messe volumique du liquide.

V_d : le volume du liquide déplacé.

Or le volume du liquide déplacé est égal au volume immergé de l'objet donc :

$P_A = \rho_l.V_i.g$ avec **V_i** : volume immergé de l'objet.

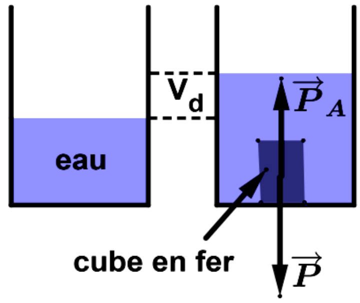
VI- FLOTTE OU COULE ?

Quand on plonge un corps solide dans un liquide, trois cas sont à envisager.

1- Le corps précipite (coule)

Dans ce cas :

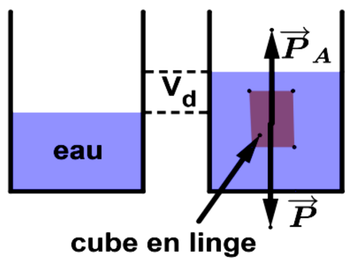
- Le corps est totalement immergé alors ; $\mathbf{V_i = V_t}$
  $\mathbf{V_t}$: le volume total du corps.
- Le corps a un poids apparent non nul ; $\mathbf{p_a > 0}$.
  Donc $\mathbf{p > p_A} \implies mg > \rho_l.V_t.g \Rightarrow$
  $\rho_C.V_t.g > \rho_l.V_t.g$. Donc $\rho_C > \rho_l$



2- Le corps est en équilibre au seindu liquide (entre deux liquides)

Dans ce cas :

- Le corps est totalement immergé alors ; $\mathbf{V_i = V_t}$
- Le poids apparent du corps est nul ; $\mathbf{p_a = 0}$
  Donc $\mathbf{p = p_A}$; $\implies mg = \rho_l.V_t.g \Rightarrow$
  $\rho_C.V_t.g = \rho_l.V_t.g$. Alors $\rho_C = \rho_l$

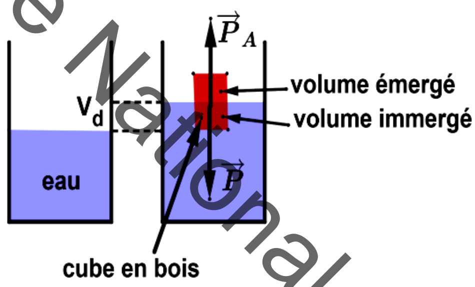


3- Le corps flotte à la surface du liquide

Dans ce cas :

- Le corps n'est pas totalement immergé alors
  $V_i < V_t \Rightarrow V_{total} = V_{immergé} + V_{émergé}$.
- Le poids apparent du corps est nul ; $\mathbf{p_a = 0}$
  Donc $\mathbf{p = p_A}$. Ce qui donne : $mg = \rho_l.V_i.g \Rightarrow$
  $\rho_C.V_t.g = \rho_l.V_i.g$

Donc $\frac{\rho_C}{\rho_l} = \frac{V_i}{V_t}$. Or $\frac{V_i}{V_t} < 1 \Rightarrow \frac{\rho_C}{\rho_l} < 1 \Rightarrow \rho_C < \rho_l$



VI- APPLICATIONS

1- Le sous-marin

Les bateaux qui sont pourtant en acier (masse volumique plus élevée que celle de l'eau) flottent : en fait la masse volumique globale moyenne est bien inférieure à celle de l'eau, car le bateau contient beaucoup d'air (seule la coque est en acier).
Les sous-marins contrôlent leur densité en utilisant **des ballasts** : ce sont des compartiments qui peuvent se remplir d'eau ou d'air.
Quand les ballasts sont remplis d'eau, le sous-marin plonge au fond, car il est trop lourd et la poussée d'Archimède ne compense pas son poids
Lorsqu'il souhaite remonter, de l'air comprimé est introduit dans les ballasts ce qui chasse l'eau. Quand le dosage air-eau est correct, le poids et la poussée d'Archimède se compensent et le sous-marin flotte entre deux eaux.
Avec les ballasts complètement remplis d'air, le sous-marin remonte à la surface.

2- Le plongeur sous-marin

Dans l'eau de mer, le plongeur doit s'alourdir à l'aide d'une ceinture de plomb. En effet, avec sa combinaison et son équipement (bouteilles d'air surtout), son poids est inférieur à la poussée d'Archimède quand il est complètement immergé. Le plomb, métal de densité élevée, permet une augmentation du poids total beaucoup plus importante que l'augmentation de la valeur de la poussée d'Archimède. Avec un poids supérieur à la poussée d'Archimède, le plongeur peut évoluer avec facilité à une certaine profondeur.

Exercices résolus

Exercice 1

Un iceberg de masse volumique **910 Kg/ m³** a un volume émergé de **600 m³**. L'eau salée de l'océan a une masse volumique de **1024 Kg/m³**.

1- Quel est le volume total de l'iceberg

2- Quelle est sa masse

Solution:

$1 - L'iceberg\ flotte\ alors\ ;\ \boldsymbol{P_A = P \Rightarrow \rho_e v_i g = \rho_i v_t g. Or, v_t = v_i + v_e \Rightarrow}$
$\boldsymbol{\rho_e(v_t - v_e) = \rho_i v_t}$.

$Ce\ qui\ donne\ :\ \boxed{\boldsymbol{v_t = \frac{\rho_e v_e}{\rho_e - \rho_i}}}\ \boldsymbol{A.N: v = \frac{1024 \times 600}{1024 - 910} \Rightarrow \boxed{v = 5389,5 m^3}}$

$\boldsymbol{\rho_e}$: $Masse\ volumique\ de\ l'eau\ salée.$ et $\boldsymbol{\rho_i}$: $Masse\ volumique\ de\ l'iceberg.$

$\boldsymbol{v_i}$: $Volume\ immergé,$ $\boldsymbol{v_e}$: $Volume\ émergé\ et$ $\boldsymbol{v_t}$: $Volume\ total$

$2 - La\ masse\ de\ l'iceberg\ :\ \boxed{\boldsymbol{m_i = \rho_i v_t}}$

$$\boldsymbol{A.N: m = 910 \times 5389,5 \Rightarrow \boxed{m = 4904,4.10^3 Kg.}}$$

Exercice 2

Une boule de densité **d_b = 7,25** et de volume **V** flotte à la surface du mercure. Seul le volume **v_1** émerge sur le mercure de densité **d_m = 13,7**. Calculez le rapport $\frac{V_1}{V}$

Solution :

$\boldsymbol{P_A = P_b \Rightarrow \rho_m.V_i.g = \rho_b.V.g. Or, V_i = V - V_1\ et\ d = \frac{\rho}{\rho_e} \Rightarrow \rho = d.\rho_e.}$

$\boldsymbol{d_m(V - V_1) = d_b V \Rightarrow V(d_m - d_b) = V_1 d_m \Rightarrow \boxed{\frac{V_1}{V} = \frac{d_m - d_b}{d_m}}}$

$$\boldsymbol{A.N\ :\ \frac{v_1}{v} = \frac{13,7 - 7,25}{13,7} = 0,47.}$$

$\boldsymbol{P_A}$: $Poussée\ d'Archimède$ et $\boldsymbol{P_b}$: $Poids\ de\ la\ boule.$

$\boldsymbol{\rho_m}$: $Masse\ volumique\ du\ mercure$ et $\boldsymbol{\rho_b}$: $Masse\ volumique\ de\ la\ boule.$

$\boldsymbol{d_m}$: $Densité\ du\ mercure$ et $\boldsymbol{d_b}$: $Densité\ de\ laboule.$

$\boldsymbol{v_i}$: $Volume\ immergé\ de\ laboule.$

Essentiel

- Un corps immergé (entièrement ou partiellement) dans un liquide reçoit de la part de ce liquide une force appelée poussée d'Archimède et notée $\vec{P}_A$
- Cette force agit verticalement, dirigée de bas vers le haut.
- La valeur de cette force dépend :
  - du volume du corps
  - de la nature du liquide
- La valeur de la force d'Archimède est égale à la valeur du poids du liquide déplacé et se calcule par les relations : $P_A = \rho_L . V_i . g$ et $P_A = P - P_a$.

ρ_l : Masse volumique du liquide **(Kg/m^3)**.

V$_i$: Volume immergé **(m^3)**.

g : Intensité du champ de pesanteur **(N/Kg).**

P : Poids du corps **(N)**.

P$_a$: Poids apparent du corps en **(N).**

Remarque :

$* \ \rho_C > \rho_l$: le corps coule.

$* \ \rho_C = \rho_l$: le corps reste en équilibre au sein du liquide.

$* \ \rho_C < \rho_l$: le corps flotte à la surface du liquide.

Exercices

Exercice 1

1- Recopier et compléter ce qui suit :
La poussée d'Archimède est une force de direction .... , de sens .... , dont l'intensité est égale (à ou au) .... du liquide déplacé.
2- Choisir la bonne réponse dans les parenthèses :
Un corps immergé dans l'eau (remonte / coule) si son poids est supérieur à la poussée d'Archimède ; un corps immergé dans l'eau remonte si la poussée d'Archimède est (supérieure /inférieure / égale) à son poids.
La densité d'un corps homogène qui flotte est (supérieure / inférieure / égale) à celle du liquide dans lequel il se trouve.
3- Répondre par VRAI ou FAUX et corriger ce qui est faux.
• Pour un corps complètement immergé, la poussée d'Archimède dépend du volume du corps.
• Lorsqu'un corps flotte, la poussée d'Archimède est supérieure au poids du corps.
• Pour des corps de même volume, complètement immergés dans le même liquide, la poussée d'Archimède est la même.
• La valeur de la poussée d'Archimède se mesure en kilogramme.
• Pour un corps homogène complètement immergé le point d'application de la poussée d'Archimède et le centre de gravité du solide ne coïncident pas.
• Le centre de poussée C correspond au centre de gravité du liquide déplacé quel que soit le volume immergé du corps.
• Quand un solide flotte dans l'eau, il peut flotter dans tous les autres liquides.

Exercice 2

Un navire de masse de 8000 tonnes est immobile dans un port.
1- On appelle $\vec{F}$ la résultante des forces exercée par l'eau sur le navire.
Exprimer l'intensité $\vec{F}$ en fonction du volume V de la partie immergée du navire et de la masse volumique de l'eau de mer.
2- La masse volumique de l'eau de mer vaut 1030kg.m^{-3} ; calculer V.

Exercice 3

On immerge, dans un liquide (masse volumique $\rho_l = 0{,}8 g/cm^3$), une sphère de cuivre (masse volumique $\rho = 8 g/cm^3$) de poids **P= 24,525 N**.
Calculer le poids apparent de la sphère.

Exercice 4

Un cylindre en cuivre a une masse de 565g.
1- Quel est son poids apparent lorsqu'il est complètement immergé dans l'alcool de masse volumique ρ = 0,82 10^3Kg/m^3. Le volume du cylindre est V = 63,4 cm^3 ; g = 10 N/K
2- Calculer la densité du cuivre.

Exercice 5

Une sphère en bois plongée dans l'eau de mer a un volume émergé V_e = 6 m^3. La masse volumique du bois est ρ_1 = 600 kg m^{-3} et celle de l'eau de mer est ρ_2 = 1024 kg m^{-3}.
1- Schématiser la sphère flottante et représenter les forces auxquelles elle est soumise à l'équilibre.
2- Déterminer une relation entre le volume émergé V_e, le volume totale V_t et les masses volumiques ρ_1 *et* ρ_2.
3- Calculer le volume V_t et la masse m de la sphère.
4- Calculer la force nécessaire à appliquer sur la sphère pour la maintenir sous l'eau. Préciser son sens.

Exercice 6

1- Déterminer le poids d'une sphère en bois de rayon r = 20cm. Faire de même pour une sphère creuse en acier, de rayon r = 20cm et d'épaisseur e = 8mm. On donne :
(masse volumique du bois700kg m^{-3}, masse volumique de l'eau 1000 kg m^{-3} ; masse volumique de l'acier 7800kg m^{-3})
2- Déterminer la poussée d'Archimède qui s'exercerait sur chacune de ces sphères si elles étaient totalement immergées dans l'eau.
3- Ces sphères pourraient-elles flotter à la surface de l'eau ? Si oui quelle est la fraction du volume immergé ?

Exercice 7

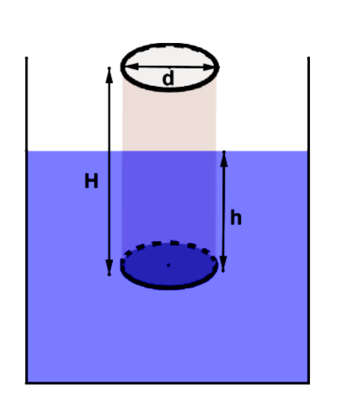
Un iceberg a un volume émergé V_e = 600m^3. Sa masse volumique est ρ_1 = 910kg.m^{-3} celle de l'eau de mer est ρ_2 = 1024kg.m^{-3} .

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

2- Trouver une relation entre le volume émergé V_e , le volume total V_t et les masses volumiques

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

Exercice 8

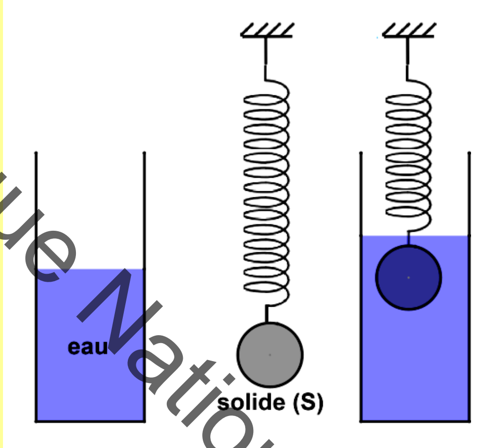


On plonge dans l'eau un cylindre de bois de diamètre d et de hauteur H.

A l'équilibre, calculer la hauteur de la partie immergée.

Données numériques : H = 20cm, densité du bois 0,65.

Exercice 9



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

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

Un bêcher contenant de l'eau, Le solide S est plongé dans l'eau du bêcher. Un nouvel équilibre est observé.

L'allongement du ressort devient égal à x_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, v, g et k.

3- Calculez x_1 et x_2. On donne v = 1.5dm^3 , m = 5kg , k = 100N/m et ρ_{eau} = 1kg/L.

4- Comparez x_1 et x_2 conclure.

Exercice 10

Un bloc de bois pèse 88 N. Si on suspend un morceau de plombe à un dynamomètre et qu'on 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.

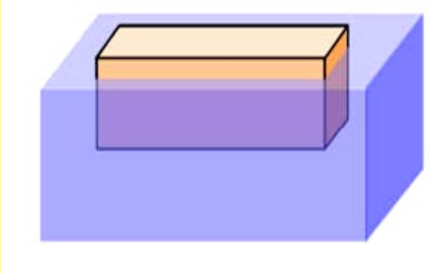
Le dynamomètre indique alors 97 N.

1- Quel est le volume du plomb ?

2- Calculer la masse volumique du bois.

3- Quel serait le volume immergé du bois si on le plongeait seul dans l'eau ?

Exercice 11



Un pavé flotte à la surface de l'eau. Ses dimensions sont :
hauteur : 20 cm ; longueur : 60 cm ; largeur 20 cm.

1- Le pavé émerge sur une hauteur de 3 cm. Calculer le volume de la partie immergée.

2- Calculer la masse d'eau déplacée.

3- Calculer le poids d'eau déplacé et en déduire la valeur du poids du pavé.

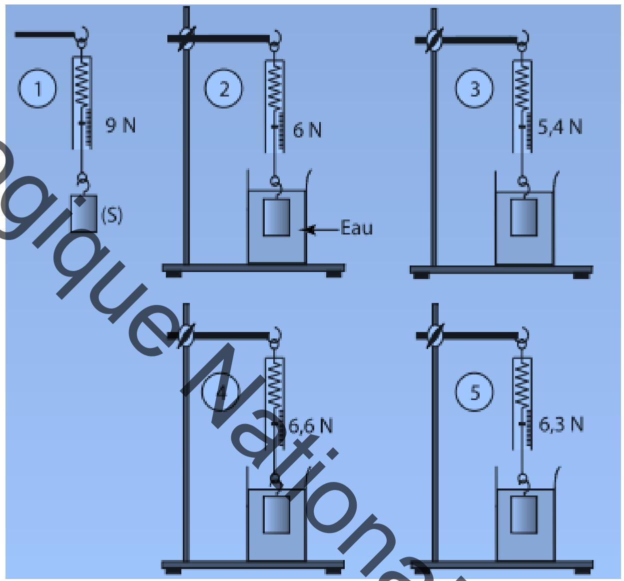
4- Calculer la masse du pavé.

5-1- Calculer le volume du pavé.

5-2- Préciser le matériau constituant ce pavé :

Matériau	Polystyrène	Bois	Glace	Aluminium	Fer
Masse volumique (Kg/m^3)	11	850	920	2700	8000

Exercice 12



On a réalisé les expériences présentées sur les figures ci-contre avec des liquides différents et le même solide (S).

1- Calculer, dans chaque cas, la poussée d'Archimède exercée par chaque liquide sur le solide.

2- Les liquides employés, autres que l'eau, sont de l'alcool, de l'eau salée et de l'huile. Leurs masses volumiques sont ainsi ordonnées : $\rho_{alcool} < \rho_{huile} < \rho_{eau} < \rho_{eau\ salée}$.
Attribuer aux expériences 3, 4 et 5 le liquide utilisé.

Activité documentaire

Quand ils sont dans l'eau, les poissons peuvent rester immobiles flottant entre deux eaux, sans bouger les nageoires... et sans monter ni descendre.
Les poissons sont équipés d'un organe appelé "vessie natatoire" ou "vessie gazeuse".
Comme son nom le laisse penser, il s'agit d'une poche, plus ou moins remplie de gaz, ce qui permet d'adapter la flottabilité.

Quand la vessie est remplie d'air, le poisson flotte à la surface de l'eau, car la présence de l'air diminue la densité moyenne du poisson par rapport à l'eau, la poussée d'Archimède devient plus grande que le poids du poisson.
Un poisson qui veut plonger au fond vide sa vessie de l'air ce qui diminue la poussée d'Archimède.
Lorsqu'un poisson veut rester en équilibre entre deux eaux, il ajuste la quantité d'air dans sa vessie de manière que sa densité soit égale à celle de l'eau.

Les requins, qui sont comme vous le savez des poissons "cartilagineux", adoptent un système comparable sur le principe. C'est leur foie qui produit une substance appelée "squalène", dont la densité est inférieure à celle de l'eau. Il suffit au requin d'ajuster la quantité de ce squalène dans son corps pour régler les questions de flottaison.

CHAPITRE III : EQUILIBRE D'UN SOLIDE

Objectifs

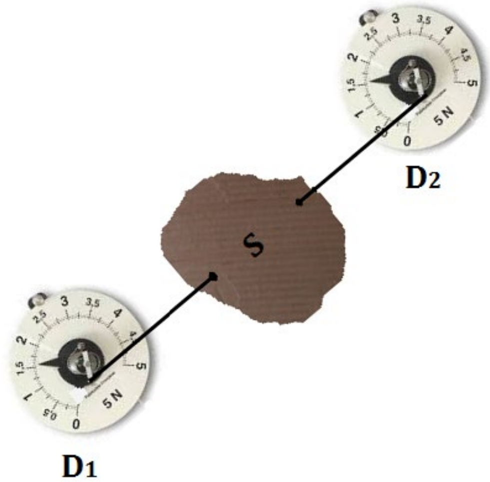
- ✓ Etablir expérimentalement la relation entre trois forces non parallèles auxquelles est soumis un solide en équilibre.
- ✓ Enoncer les conditions d'équilibre d'un solide soumis à trois forces.
- ✓ Résoudre un problème d'équilibre d'un solide soumis à trois forces.
- ✓ Reconnaître un solide mobile autour d'un axe fixe.
- ✓ Calculer le moment d'une force orthogonale à un axe.
- ✓ Calculer le moment d'un couple de forces.
- ✓ Appliquer le théorème des moments au solide mobile autour d'un axe fixe.
- ✓ Connaître quelques applications des conditions d'équilibre.

I- EQUILIBRE D'UN SOLIDE SOUMIS A DEUX FORCES

Un solide est en équilibre lorsque tous ses points sont au repos (il ne bouge pas).

1 - Expérience

- ***Matériels***
  - Solide **(S)** assez léger (Plaque de carton).
  - Deux fils inextensibles.
  - Deux dynamomètres.
- ***Manipulation***
  - On accroche le solide **(S)** aux deux dynamomètres par l'intermédiaire des fils.
  - On écarte les dynamomètres afin que les fils soient tendus.



Remarque :

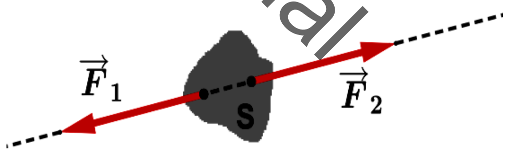
On choisit un solide **S** assez léger pour que son poids soit négligeable devant les forces exercées par les fils.

- ***Observations :*** A l'équilibre, nous constatons que :
  - Les deux fils sont dans le prolongent l'un de l'autre : Les forces $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$ ont la même droite d'action
  - Les forces $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$ ont des sens opposés.
  - Les dynamomètres indiquent la même valeur : Les deux forces ont la même intensité **$F_1 = F_2$.**

2- La condition d'équilibre d'un solide soumis à trois forces

Lorsqu'un solide soumis à deux forces $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$ est en équilibre, alors nécessairement :

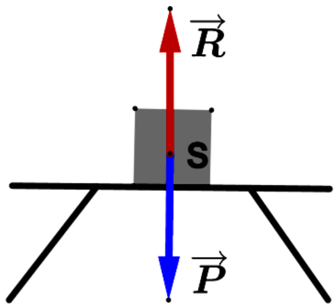
$$\begin{cases} \text{Les deux forces ont la même droite d'action.} \\ \text{Les deux forces ont des sens oposés.} \\ \text{Les deux forces ont la même intensité.} \end{cases}$$



Ce qui se traduit par $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$ *ou* $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$.

3- Applications

- ***Réaction d'un plan horizontal*** :
  Le solide **S** posé sur la table horizontale est en équilibre, donc soumis à deux forces opposées.



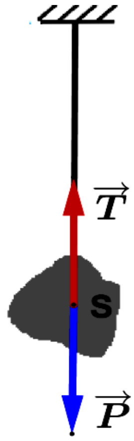
  ➢ Le poids $\vec{P}$.
  ➢ La réaction $\vec{R}$ de la table

A l'équilibre : $\vec{R} + \vec{P} = \vec{0} \Rightarrow \vec{R} = -\vec{P}$.

La réaction $\vec{R}$ de la table horizontale possède les caractéristiques suivantes :

* Direction : Verticale
* Sens : dirigé vers le haut
* Intensité : **R = P**

- ***Tension d'un fil :***
  Le solide **S** accroché à un fil est en équilibre, donc il est soumis à deux forces :



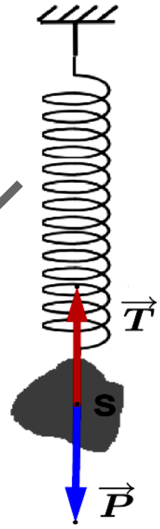
  ➢ Le poids $\vec{P}$
  ➢ La tension $\vec{T}$ du fil

A l'équilibre : $\vec{T} + \vec{P} = \vec{0} \Rightarrow \vec{T} = -\vec{P}$

La tension $\vec{T}$ du fil possède les caractéristiques suivantes :

* Direction : verticale
* Sens : dirigé vers le haut
* Intensité : **T = P**

- ***Tension d'un ressort :***
  Le solide **S** est maintenant accroché à un ressort vertical.
  S est en équilibre donc il est soumis à deux forces opposées :



  ➢ Le poids $\vec{P}$.
  ➢ La tension $\vec{T}$ du ressort.

A l'équilibre : $\vec{T} + \vec{P} = \vec{0} \Rightarrow \vec{T} = -\vec{P}$.

La tension $\vec{T}$ du ressort possède les caractéristiques suivantes :

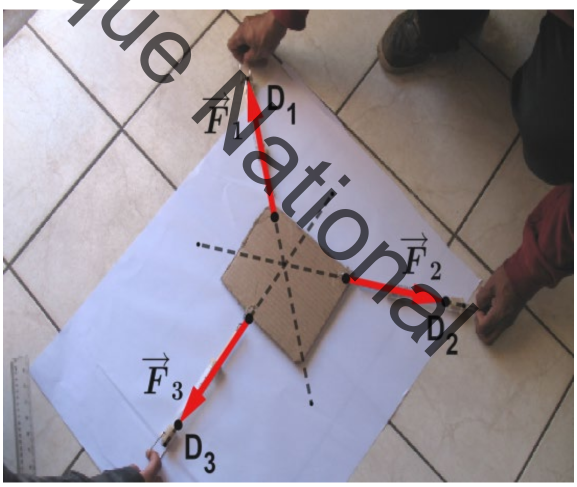
* Direction : verticale.
* Sens : dirigé vers le haut.
* Intensité : **T = P.**

II- EQUILIBRE D'UN SOLIDE SOUMIS A TROIS FORCES PARALLELES

1 - Expérience

- ***Matériels***
  - Solide **(S)** assez léger (Plaque de carton).
  - Trois dynamomètres **D_1, D_2 et D_3**.
  - Une règle.
  - Une feuille blanche.
  - Un crayon.
  - Rapporteur.
- **Manipulation**
  - On accroche le solide **(S)** aux trois dynamomètres
  - On écarte les dynamomètres, ils indiquent : $\begin{cases} \boldsymbol{D_1 \rightarrow F_1 = 2,51N.} \\ \boldsymbol{D_2 \rightarrow F_2 = 2N.} \\ \boldsymbol{D_3 \rightarrow F_3 = 2,41N.} \end{cases}$
  - En utilisant la règle et le crayon, on trace le prolongement des directions des dynamomètres
- **Observations**

À l'équilibre, nous constatons que les droites d'action des forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ *et* $\vec{F}_3$ exercées respectivement par les dynamomètres **D_1, D_2 et D_3** sont concourantes (passent par un même point)



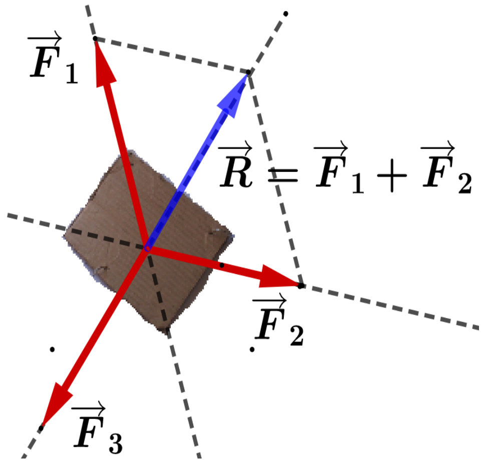
2- La condition d'équilibre d'un solide soumis à trois forces

On représente les forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$ à partir de leur point de concours avec l'échelle : $1cm \rightarrow 1N$.

En appliquant la règle du parallélogramme, on représente la résultante $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$.

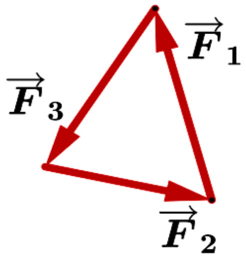
En utilisant la règle, on trouve que $\vec{R}$ et $\vec{F}_3$ ont la même direction et la même intensité et comme leurs sens sont opposés alors ; $\vec{R} = -\vec{F}_3 \Rightarrow \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = -\vec{F}_3$.

Ce qui donne $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$.



Pour qu'un solide soumis à trois forces soit en équilibre, la somme vectorielle de ces forces doit être nulle $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$ ou $\begin{cases} \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = -\vec{F}_3 \\ \vec{F}_1 + \vec{F}_3 = -\vec{F}_2 \\ \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = -\vec{F}_1 \end{cases}$

En utilisant la translation, on peut représenter les forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$ de façon que l'origine de chaque vecteur coïncide avec l'extrémité de l'un des autres. La figure géométrique obtenue est appelée **le polygone ou la dynamique des forces.**



3- Méthode de résolution d'un problème de statique à trois forces

Pour étudier l'équilibre d'un solide soumis à trois forces on peut procéder de la manière suivante :

- Définir le solide étudié.
- Faire l'inventaire des forces appliquées au solide.
- Faire un schéma clair où toutes les forces appliquées au solide sont représentées à l'échelle choisie.
- Appliquer la condition d'équilibre $\sum \vec{F}_{ex} = \vec{0} \Rightarrow \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$

On peut exploiter cette relation vectorielle de deux manières :

- ➢ Une méthode géométrique qui consiste à construire, à l'échelle choisie et avec les valeurs réelles des angles, le polygone des forces puis on mesure les longueurs des vecteurs représentant les forces et on en déduit d'après l'échelle leurs intensités.
- ➢ Une méthode algébrique qui consiste à projeter la relation vectorielle $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$ sur deux axes perpendiculaires de façon à obtenir des relations algébriques entre les intensités des forces.

Remarque :

La condition d'équilibre énoncée est nécessaire mais pas suffisante. En effet pour que le solide reste en équilibre il faut qu'il soit placé sans vitesse dans une position tel que les trois forces qui lui sont appliquées soient concourantes et que leur somme vectorielle soit nulle.

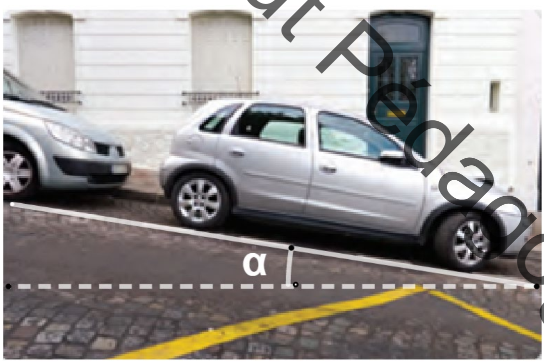
4- Applications

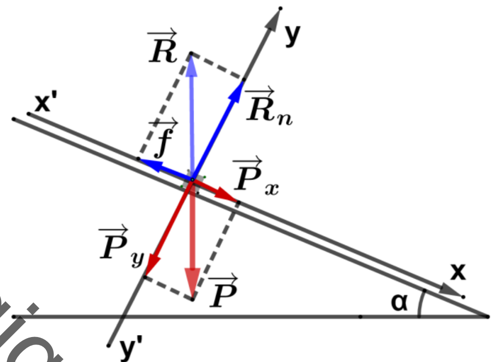
4-1- Equilibre d'un solide sur un plan incliné

Une voiture de masse **m** et de centre de gravité **G**, peut rester en équilibre sur une route inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontal.

Les forces qui s'exercent sur la voiture sont :

- son poids $\vec{P}$
- La réaction normale de la route ; $\vec{R}_n$ (la force qui empêche la voiture de percer la route)
- La force des frottements de la route ou réaction tangentielle ; $\vec{f}$ (La force qui empêche la voiture de glisser vers le bas)





Pour déterminer l'intensité de la réaction normale $\vec{R}_n$ et celle de la force des frottements $\vec{f}$, on représente les forces à partir du centre de gravité de la voiture et on applique la condition d'équilibre $\sum\vec{F}_{ex} = \vec{0} \Rightarrow \vec{P} + \vec{R}_n + \vec{f} = \vec{0}$

On choisit le repère **(x'x) ; (y'y)** tel que **(x'x)** est parallèle à la ligne de plus grande pente du plan incliné et **(y'y)** est normale au plan incliné ascendant, donc :

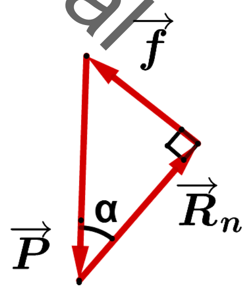
$\vec{P}\begin{cases} P_x = P.\sin\alpha \\ P_y = -P.\cos\alpha \end{cases} ; \vec{R}_n\begin{cases} R_x = 0 \\ R_n = R_n \end{cases}$ et $\vec{f}\begin{cases} f_x = -f \\ f_y = 0 \end{cases}.$

Ce qui donne : $\begin{cases} P_x + R_{nx} + f_x = 0 \ (sur\ Gx) \\ P_y + R_{ny} + f_y = 0 \ (sur\ Gy) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_n - P.\cos\alpha = 0 \\ -f + P.\sin\alpha = 0 \end{cases}.$

Donc : $\begin{cases} R_n = m.g.\cos\alpha \\ f = m.g.\sin\alpha \end{cases}.$

Autrement, en traçant le polygone des forces on trouve :

$$\sin\alpha = \frac{f}{P} \ et \cos\alpha = \frac{R_n}{P} \Rightarrow \begin{cases} R_n = m.g.\cos\alpha \\ f = m.g.\sin\alpha \end{cases}$$



Remarque :

Les deux forces $\vec{R}_n$ et $\vec{f}$ sont exercées par la route sur la voiture ; la résultante de ces deux forces $\vec{R} = \vec{R}_n + \vec{f}$ est appelée réaction totale du plan.

A l'équilibre ; $\vec{P} + \vec{R}_n + \vec{f} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$.

La réaction $\vec{R}$ du plan possède les caractéristiques suivantes :

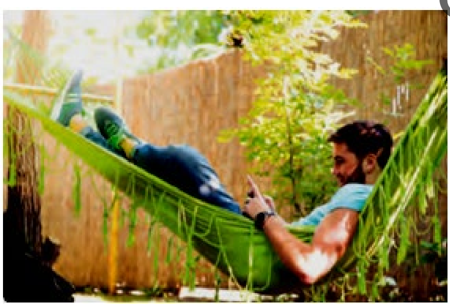
* Direction : verticale.
* Sens : dirigé vers le haut.
* Intensité : $R = \sqrt{R_n^2 + f^2} = P$.

4-2- Equilibre d'un solide pesant suspendu par deux fils

Quand une personne se repose, couchée dans un hamac, cette personne subit l'action de trois forces concourantes :

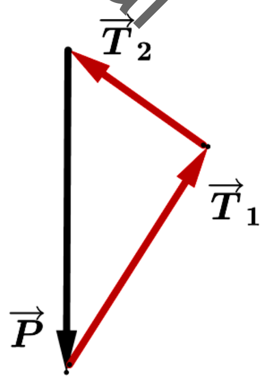
Les forces qui s'exercent sur la personne sont :

- son poids $\vec{P}$.
- La tension du fil **F₁** attachant l'une des extrémités de l'hamac, $\vec{T}_1$.
- La tension du fil **F₂** attachant l'autre extrémité de l'hamac, $\vec{T}_2$.



- La condition d'équilibre
  - $\sum \vec{F}_{ex} = \vec{0} \Rightarrow \vec{P} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = \vec{0}$
  - Les trois forces se croisent au point **O**.

En représentant les vecteurs forces de façon que l'origine de chaque vecteur soit l'extrémité de l'une des autres on obtient le polygone des forces.

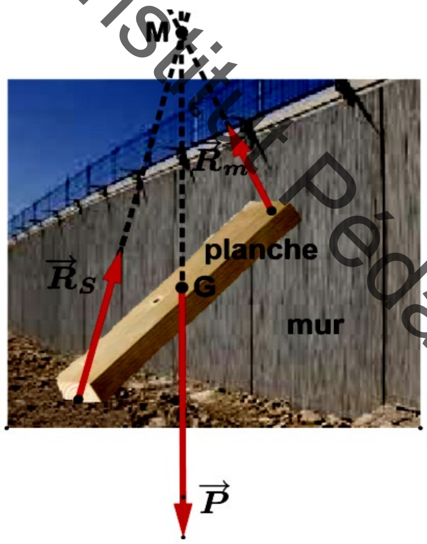


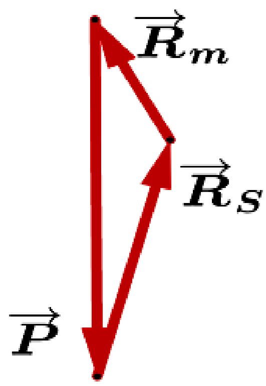
4-3- Equilibre d'une planche s'appuyant conte un mur

Une planche de masse **m** et de centre de gravité **G** repose sur le sol et s'appuie contre un mur

- Les forces qui s'exercent sur la planche sont :
  - son poids $\vec{P}$.
  - La réaction du mur $\vec{R}_m$.
  - La réaction du sol $\vec{R}_S$.
- La condition d'équilibre
  - $\sum\vec{F}_{ex} = \vec{0} \Rightarrow \vec{P} + \vec{R}_m + \vec{R}_S = \vec{0}$.
  - Les trois forces se croisent au point **M.**

Les vecteurs de trois forces forment un polygone.





1 - L'effet d'une force sur la rotation d'un solide.

1-1- Activité 1

La porte d'une chambre ne fait pas de translation mais elle peut tourner autour d'un axe **(Δ)** vertical passant par ses paumelles

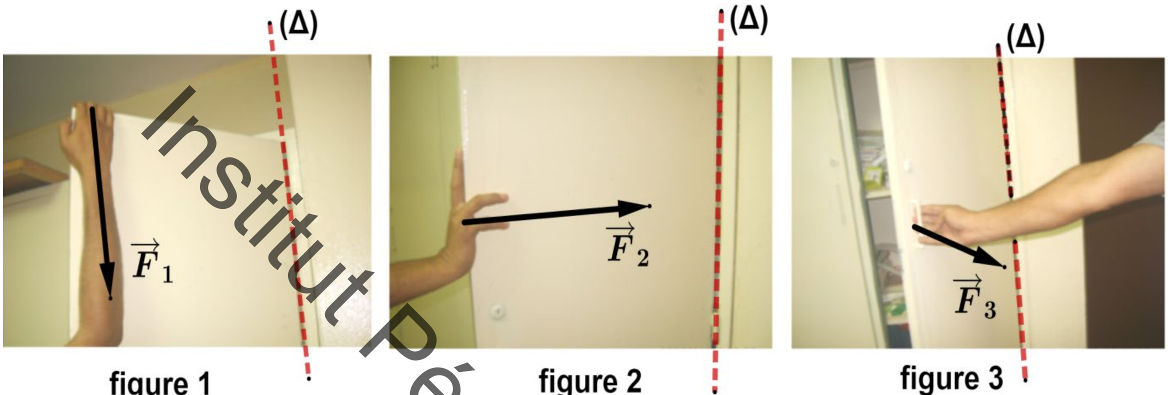


figure 1 figure 2 figure 3

- Dans la **figure 1**, Ahmed exerce sur la porte de son armoire une force $\vec{F}_1$ verticale. (La droite d'action de la force $\vec{F}_1$ est parallèle avec l'axe de rotation).
  Cette force n'a aucun effet sur la rotation de la porte.
- Dans la **figure 2**, Ahmed exerce sur la porte une force $\vec{F}_2$ dans la direction de l'axe de rotation (La droite d'action de la force $\vec{F}_2$ rencontre l'axe de rotation).
  Cette force n'a aucun effet sur la rotation de la porte.
- Dans la **figure 3**, Ahmed exerce sur la porte une force $\vec{F}_3$ qui ne rencontre pas l'axe de rotation et ne lui est pas parallèle.
  Cette force peut pivoter (tourner) la porte autour de son axe de rotation **(Δ)**.

Conclusion :

Pour provoquer la rotation d'un solide autour d'un axe fixe, on applique à ce solide une force dont la direction ne rencontre pas l'axe de rotation et ne lui est pas parallèle.

1-2- Activité 2

Pour démonter la roue de sa voiture (desserrer les boulons qui la fixent), Sidi utilise une clé à manche télescopique. Il exerce une force sur le manche de la clé afin d'entraîner le boulon dans un mouvement de rotation autour de son axe.

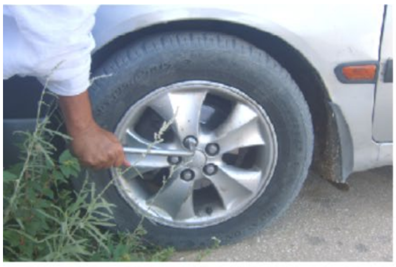


figure 1

figure 2

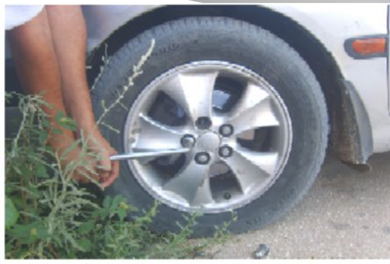


figure3

figure 4

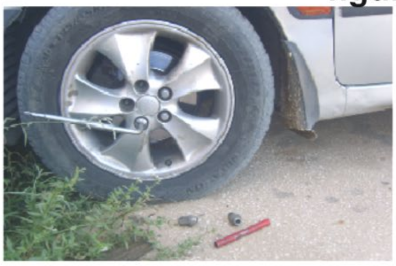


figure 5

- Dans un premier temps, Sidi appuie sur le manche de la clé par une seule main **(figure 1)**, mais le premier boulon ne se desserre pas (l'effet de rotation de la force exercée sur le manche de la clé est insuffisant).
- Il utilise ses deux mains **(figure 2)** et appuie plus fortement sur le manche (il augmente l'intensité de la force exercée sur le manche de la clé).
  Le premier boulon se desserre (tourne).
- Pour le deuxième boulon même en appuyant avec ses deux mains, il ne se desserre pas **(figure 3)**. Sidi prolonge suffisamment le manche de la clé**. (figure 4)** (il augmente la distance entre l'axe de rotation du boulon et le point d'application de la force).
  Le boulon se desserre (tourne) **(figure 5).**

Conclusion :

L'effet de rotation d'une force dépend de deux facteurs :

- l'intensité de la force.
- la distance entre l'axe de rotation et la droite d'action de cette force.

2- Le moment d'une force par rapport à un axe fixe

2-1- Définition

On appelle moment d'une force $\vec{F}$ par rapport à un axe (Δ) passant en un point **O**, sa capacité à faire tourner un solide autour de cet axe.

Il est égal au produit de l'intensité de $\vec{F}$ par la distance **d** de l'axe de rotation à la droite d'action de cette force (bras de levier de la force $\vec{F}$).

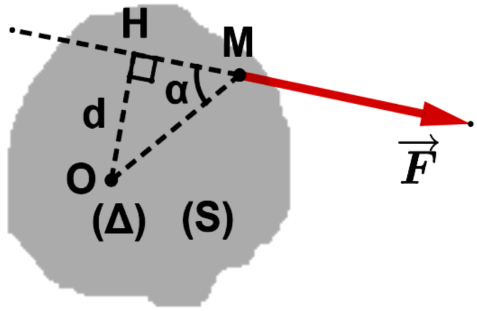
Il se désigne par le symbole $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta}$.L'unité du moment est : **N.m**

Dans la figure ci-après :

M : le point d'application de la force $\vec{F}$

H : le projeté orthogonale de **O** sur la droite d'action de $\vec{F}$

α : l'angle entre (OM) et la droite d'action de la force $\vec{F}$.



La distance de l'axe de rotation à la droite d'action de la force $\vec{F}$ est :

$d = OH = OM \times sin(\alpha)$.

Cette distance est appelée le bras de levier de la force $\vec{F}$

Le moment de la force $\vec{F}$ par rapport à (Δ) est :

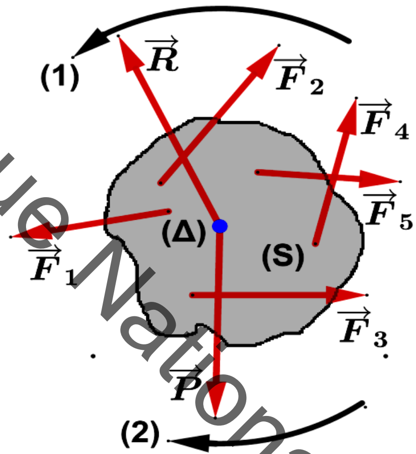
$\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = F \times d = F \times OH = F \times OM \times sin(\alpha)$.

Cas particuliers :

- Si la droite d'action de la force est parallèle à l'axe de rotation, le moment de la force est nul ; $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$.
- Si la droite d'action de la force rencontre l'axe de rotation (**d = 0** ou $\alpha = 0 \; ou \; \pi \; rad$), le moment de la force est nul ; $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$.

2-2- Le moment comme grandeur algébrique

Dans la figure ci-contre, le solide subit plusieurs forces qu'on peut classer selon leurs effets de rotation comme suit :



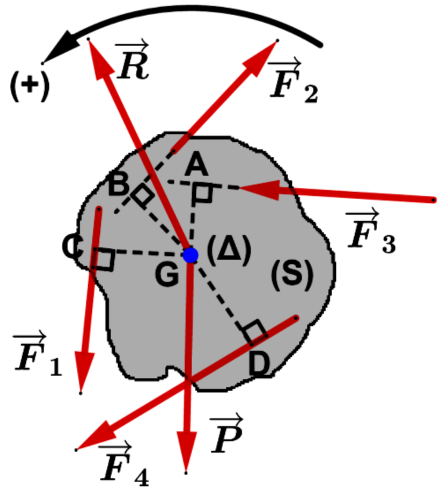
- $\vec{F}_1$ a tendance de tourner **(S)** dans le sens **(1)**
- $\vec{F}_2$ a tendance de tourner **(S)** dans le sens **(2)**
- $\vec{F}_3$ a tendance de tourner **(S)** dans le sens **(1)**
- $\vec{F}_4$ a tendance de tourner **(S)** dans le sens **(1)**
- $\vec{F}_5$ a tendance de tourner **(S)** dans le sens **(2)**
- $\vec{P}$ n'a pas de effet sur la rotation de **(S)** (croise l'axe de rotation)
- $\vec{R}$ n'a pas de effet sur la rotation de **(S)** (croise l'axe de rotation)

- Une force peut faire tourner un solide dans un sens ou dans l'autre.

  Pour décrire l'effet de rotation d'une force $\vec{F}$, il faut déterminer :
  - le produit **F.d** (**d** est le bras de levier de la force $\vec{F}$)
  - le sens dans lequel elle fait tourner le solide.
- Le moment d'une force sera considéré donc comme étant une grandeur algébrique :
  - il est positif si elle tend à faire tourner le solide dans un sens positif arbitrairement choisi.
  - il est négatif dans le cas contraire.

3- Condition d'équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe (Théorème des moments)

Lorsqu'un solide, susceptible de tourner autour d'un axe fixe **(Δ)** est en équilibre, la somme algébrique des moments, par rapport à cet axe, de toutes les forces extérieures appliquées à ce solide est nulle. $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = \mathbf{0}$.



Dans l'exemple ci-contre :

- $\vec{F}_1$ tourner **(S)** dans le sens **(+)** ; $\mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} = F_1.GA$.
- $\vec{F}_2$ tourner **(S)** dans le sens **(-)** ; $\mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = -F_2.GB$.
- $\vec{F}_3$ tourner **(S)** dans le sens **(+)** ; $\mathcal{M}_{\vec{F}_3/\Delta} = F_3.GC$.
- $\vec{F}_4$ tourner **(S)** dans le sens **(-)** ; $\mathcal{M}_{\vec{F}_4/\Delta} = -F_4.GD$.
- $\vec{P}$ croise l'axe de rotation ; $\mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = \mathbf{0}$.
- $\vec{R}$ croise l'axe de rotation ; $\mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} = \mathbf{0}$.

Le théorème des moments donne :

$$\mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_3/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_4/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} = \mathbf{0}.$$

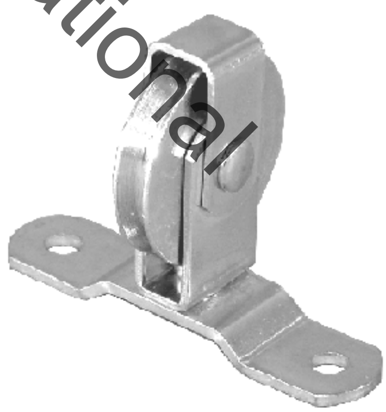
Donc : $F_1.GA - F_2.GB + F_3.GC - F_4.GAD = \mathbf{0}$.

4- Applications

La poulie, le pied de biche (arrache-clou), la pédale, la brouette, les tenailles, les pinces, les cisailles… sont des machines simples. Beaucoup de ces machines simples sont connues des hommes depuis l'antiquité et utilisées dans leurs activités quotidiennes ; ces machines simples ont permis à l'Homme de réaliser ce que la force musculaire seule n'aurait pu réaliser. Archimède le disait si bien : «Donnez-moi un point d'appui et je soulèverai le monde». Il parlait des leviers.

4-1- Equilibre d'une poulie

Dans la figure ci-après, un manœuvre tente de soulever une charge **(S)** de poids $\vec{P}_S$ par l'intermédiaire d'un câble inextensible et de masse négligeable passant dans la gorge d'une poulie **(P)** de centre **(C)** et de rayon **(r).**



Pour ce faire, il exerce sur l'extrémité du câble une force $\vec{F}$ mais le système reste en équilibre.

Pour déterminer la valeur de $\vec{F}$ on étudie l'équilibre de chaque élément du système

- Equilibre de la charge **S** :

Les forces qui s'exercent sur la charge sont :

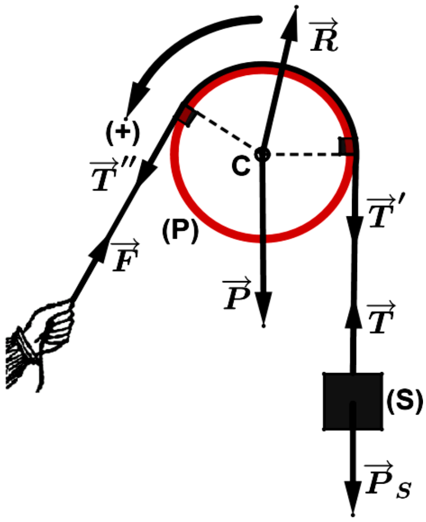
$\vec{P}_S$: sont poids.

$\vec{T}$: la tension du câble.

La condition d'équilibre donne :

$\sum \vec{F}_{ex} = \vec{0} \Rightarrow \vec{P}_S + \vec{T} = \vec{0} \Rightarrow$

$\vec{T} = -\vec{P}_S \ alors \ T = P_S \ldots (1).$



- Equilibre de la poulie :

Les forces qui s'exercent sur la poulie sont :

$\vec{P}$: sont poids.

$\vec{T}' et \ \vec{T}''$: tensions du câble.

$\vec{R}$: réaction de son axe de rotation passant par **(C)**

La poulie est susceptible de tourner autour de l'axe de rotation passant en **(C).**

Le théorème des moments appliqué à la poulie donne :

$\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/C} = 0 \Rightarrow \mathcal{M}_{\vec{P}/C} + \mathcal{M}_{\vec{R}/C} + \mathcal{M}_{\vec{T}'/C} + \mathcal{M}_{\vec{T}''/C} = 0.$

Or $\mathcal{M}_{\vec{P}/C} = \mathcal{M}_{\vec{R}/C} = 0$ car les deux forces rencontrent l'axe de rotation, $\vec{T}'$ tend à tourner la poulie dans le sens négatif tandis que $\vec{T}''$ tend à la tourner dans le sens positif, ce qui donne

$T''.r - T'.r = 0 \Rightarrow T'' = T'$

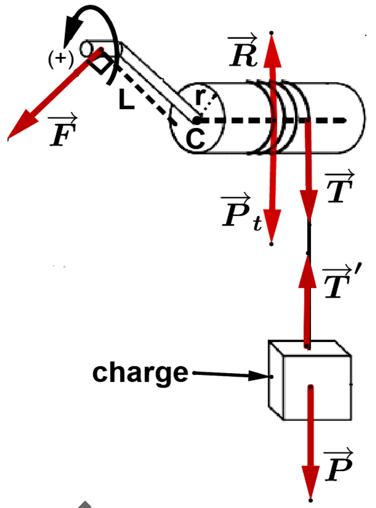
D'autre part le câble est inextensible alors : $T = T' \ et \ F = T''$, ce qui implique que $F = P_S$

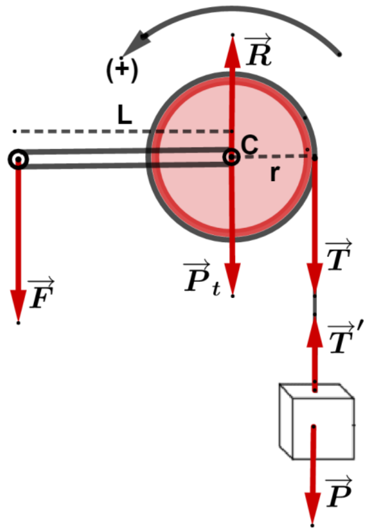
4-2- Equilibre d'un treuil

Le treuil est une machine simple utilisée pour faciliter le soulèvement ou traction des charges comme l'extraction de l'eau d'un puits, le levage des charges dans les chantiers de construction… Il est constitué d'un tambour (cylindre) sur lequel s'enroule un câble fixé à une extrémité au cylindre et à l'autre extrémité à la charge à soulever ou à tracter.

Sur l'axe du cylindre est fixée :

- soit une manivelle si l'utilisation du treuil est manuelle ;
- soit une roue dentée ou une poulie avec courroie si on utilise un moteur.





Soit **L** la longueur de la manivelle et **r** le rayon du cylindre ; avec une force motrice $\vec{F}$ appliquée à la manivelle, on remonte très lentement une charge de poids $\vec{P}$. Le mouvement est suffisamment lent pour considérer que l'on a un équilibre à chaque instant. Pour déterminer la valeur de la force $\vec{F}$ appliquée sur la manivelle on étudie l'équilibre de chaque élément du système.

- Equilibre de la charge :

Les forces qui s'exercent sur la charge sont :

$\vec{P}$: son poids.

$\vec{T}'$: la tension du câble.

La condition d'équilibre donne : $\sum\vec{F}_{ex} = \vec{0} \Rightarrow \vec{P} + \vec{T}' = \vec{0} \Rightarrow \vec{T}' = -\vec{P}$ $\boldsymbol{alors}$ $T' = P \ldots (1)$.

- Equilibre du treuil.

Les forces qui s'exercent sur le treuil sont :

$\vec{F}$: la force motrice exercée sur la manivelle.

$\vec{P}_t$: le poids du treuil.

$\vec{R}$: la réaction de l'axe de rotation.

$\vec{T}$: la tension du câble.

Par application du théorème des moments au treuil on trouve :

$$\sum\mathcal{M}_{\vec{F}/O} = 0 \Rightarrow \mathcal{M}_{\vec{F}/O} + \mathcal{M}_{\vec{P}_t/O} + \mathcal{M}_{\vec{R}/O} + \mathcal{M}_{\vec{T}/O} = 0.$$

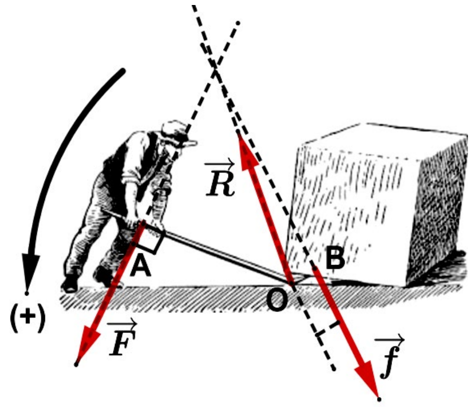
Or $\mathcal{M}_{\vec{R}/O} = \mathcal{M}_{\vec{P}_t/O} = 0$ car les deux forces rencontrent l'axe de rotation, $\vec{F}$ tend à tourner le treuil dans le sens positif tandis que $\vec{T}$ tend à le tourner dans le sens négatif, ce qui donne : $F.L - T.r = 0$.

D'autre part le câble est inextensible alors $T' = T = P$, ce qui implique que : $F = \frac{r.P}{L}$.

Puisque la distance **L** est plus grande que le rayon **r**, la force motrice est plus petite que le poids de la charge, d'où l'intérêt du treuil.

Le treuil est l'organe essentiel des grues de chantiers ou portuaires où il est traîné par des moteurs électriques puissants ; c'est encore le treuil associé au moteur électrique qui fait monter et descendre tous les ascenseurs, les téléphériques,…..

4-3- Equilibre d'un levier



Un levier est un solide de forme allongée rectiligne ou non mobile autour d'un axe fixe qui lui est perpendiculaire en un point appelé point d'appui.

- **Le pied de biche ou l'arrache-clou**

Un homme appuie en **A** sur un pied de biche de poids négligeable avec une force motrice $\vec{F}$ pour soulever une lourde charge exerçant en B une résistance $\vec{f}$. L'outil tourne très lentement autour d'un axe passant par le point d'appui **O** et perpendiculaire au plan de figure. A un certain moment la charge cesse de se lever et le système sera en équilibre.

Pour déterminer la valeur de la force $\vec{F}$ à appliquer par l'homme on étudie l'équilibre du pied de biche.

Les forces qui s'exercent sur le pied de biche sont :

$\vec{F}$: la force motrice exercée par l'homme.

$\vec{f}$: la force de résistance exercée par la charge.

$\vec{R}$: la réaction du plan horizontal.

En appliquant le théorème des moments : $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/O} = 0 \Rightarrow \mathcal{M}_{\vec{F}/O} + \mathcal{M}_{\vec{R}/O} + \mathcal{M}_{\vec{f}/O} = 0$

Or $\mathcal{M}_{\vec{R}/O} = 0$ car cette force rencontre l'axe de rotation, $\vec{F}$ rend à tourner le pied de biche dans le sens positif tandis que $\vec{f}$ tend à le tourner dans le sens négatif, ce qui donne :

$F.OA - f.OB = 0 \Rightarrow F = \frac{OB}{OA}.f$.

Donc plus que le rapport $\frac{OB}{OA}$ est faible, plus il sera facile avec une faible force motrice F de soulever une charge lourde

- **La brouette**

La brouette est un outil simple très utilisé dans les chantiers de construction.

Pour déplacer une brouette chargée, un jardinier soulève ses brancards par une force $\vec{F}$. Un équilibre s'établit avant qu'il commence à se déplacer.

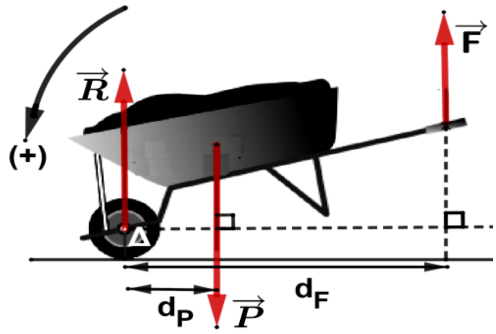
Pour déterminer la valeur de la force $\vec{F}$ à appliquer par le jardinier on étudie l'équilibre de la brouette.

Les forces qui s'exercent sur la brouette sont :

$\vec{F}$: la force motrice exercée par l'homme

$\vec{P}$: son poids

$\vec{R}$: la réaction de l'axe de rotation passant par le centre **(O)** de la roue



En appliquant le théorème des moments :

$\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/O} = 0 \Rightarrow \mathcal{M}_{\vec{F}/O} + \mathcal{M}_{\vec{R}/O} + \mathcal{M}_{\vec{P}/O} = 0$.

Or $M_{\vec{R}/O} = 0$ car cette force rencontre l'axe de rotation, $\vec{F}$ tend à tourner la brouette dans le sens négatif tandis que $\vec{P}$ tend à la tourner dans le sens positif, ce qui donne : $P.d_P - F.d_F = 0 \Rightarrow F = \frac{d_P}{d_F}.P$.

Plus les brancards de la brouette sont longues plus il est plus facile de la soulever.

4-4- Equilibre d'une balance

La balance est une machine simple permettant de comparer les masses de deux corps (assurer l'égalité entre une masse inconnue et une masse marquée).

Elle comporte :

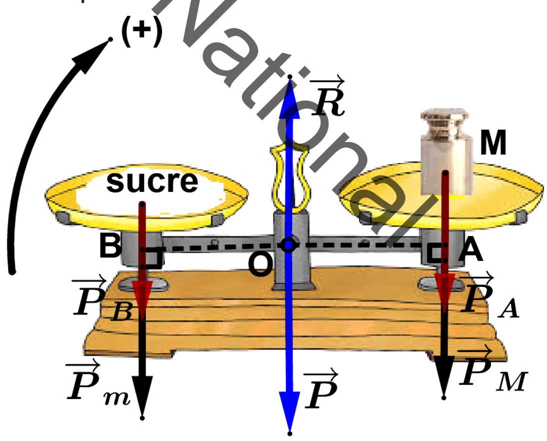
- un fléau, bras rigide mobile autour d'un axe horizontal fixe **(Δ)** passant par **O**.
- deux plateaux de même masses fixés aux extrémités **A** et **B** du fléau.

Le fléau repose en son milieu **O** sur l'arête d'un couteau ayant la forme d'un petit prisme dont l'arête très fine est parfaitement rectiligne.

Au cours de la pesée d'une masse **m** de sucre en utilisant une masse marquée **M**, on pose la masse marquée sur l'une des plateaux et dans l'autre plateau on met du sucre et on ajuste sa quantité jusqu'à obtenir l'équilibre du fléau dans une position horizontale.

A l'équilibre, le fléau de la balance est un solide mobile autour d'un axe (Δ).

Pour montrer que la masse mesurée **m** est égale à la masse marquée **M** on étudie l'équilibre du fléau.



Les forces qui s'exercent sur le fléau sont :

$\vec{P}$: son poids.

$\vec{R}$: la réaction du couteau.

$\vec{P}_M$: poids de la masse marquée.

$\vec{P}_m$: poids de la masse à mesurer.

$\vec{P}_A$: poids du plateau **(A)**

$\vec{P}_B$: poids du plateau **(B)**

En appliquant le théorème des moments au fléau on trouve :

$\sum\mathcal{M}_{\vec{F}/O} = 0 \Rightarrow \mathcal{M}_{\vec{P}/O} + \mathcal{M}_{\vec{R}/O} + \mathcal{M}_{\vec{P}_M/O} + \mathcal{M}_{\vec{P}_m/O} + \mathcal{M}_{\vec{P}_A/O} + \mathcal{M}_{\vec{P}_B/O} = 0$

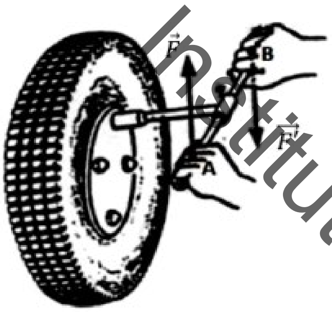
Or $\mathcal{M}_{\vec{R}/O} = \mathcal{M}_{\vec{P}/O} = 0$ car les deux forces rencontrent l'axe de rotation, tenant compte du sens de rotation choisi, $\vec{P}_M$ *et* $\vec{P}_A$ et tendent à tourner le fléau dans le sens positif tandis que $\vec{P}_m$ *et* $\vec{P}_B$ tendent à le tourner dans le sens négatif, ce qui donne :

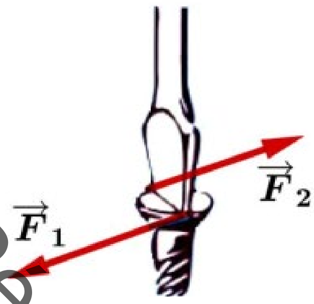
$P_M.AO + P_1.AO - P_m.OB - P_2.OB = 0$. Comme $P_1 = P_2 et AO = OB$

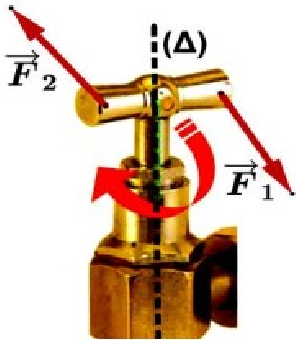
alors $P_M = P_m \Rightarrow m = M$.

5- Couple de forces

5-1- Définition







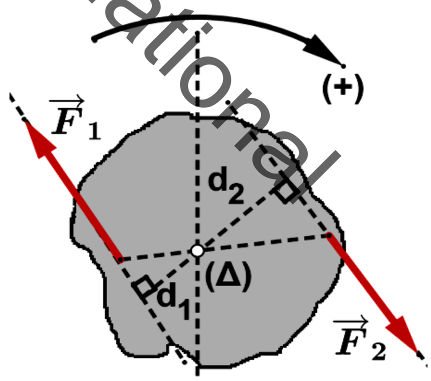
Certains solides et outils que l'on utilise dans notre vie quotidienne sont conçus pour être mis en rotation par l'utilisateur ou pour aider à mettre en rotation d'autres solides : clé croix, tournevis, robinet, guidon du vélo, roue de gouverne du voilier…..

On appelle couple de force un ensemble de deux forces $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$:

- de supports parallèles et différents.
- de sens opposés.
- de même intensités **$F_1 = F_2 = F$.**

5-2- Moment d'un couple de forces

Considérons un couple de forces $\mathcal{C}(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ appliqué à un solide **(S)** mobile autour d'un axe (Δ) passant en **(O).**



On constate que $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$ tendent à faire tourner lesolide dans le même sens.

On calcule le moment résultant des forces $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$ par rapport à l'axe de rotation.

- On choisit un sens arbitraire positif (par exemple, celui dans lequel le couple tend à faire tourner le solide).

- On détermine les bras de levier **d_1** et **d_2** pour chaque force.
- On aura $\mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} = \boldsymbol{F_1.d_1}$ et $\mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = \boldsymbol{F_2.d_2}$
- Le moment résultant $\mathcal{M}_{C/\Delta} = \boldsymbol{F_1.d_1 + F_2.d_2}$.

  Or $\boldsymbol{F_1 = F_2 = F}$, donc $\mathcal{M}_{C/\Delta} = \boldsymbol{F.(d_1 + d_2) = F.D}$

  Avec, **$D = d_1 + d_2$** est la distance des droites d'action des deux forces.

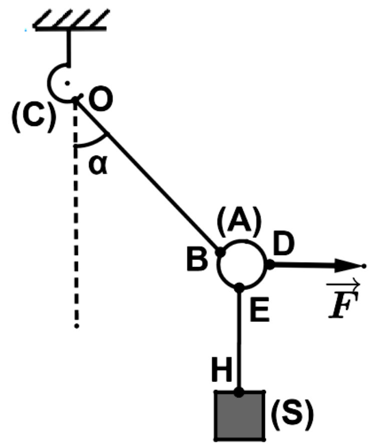
Si on inverse le choix du sens positif, on obtiendrait : $\mathcal{M}_{C/\Delta} = \boldsymbol{-F.D}$.

Le moment d'un couple de forces $\mathcal{C}(\vec{F}_1; \vec{F}_2)$ est égal à la somme des moments de ces deux forces. Il est égal au produit de l'intensité de l'une des deux forces par la distance **D** séparant les lignes d'action de ces forces. $\mathcal{M}_{C/\Delta} = \mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = \boldsymbol{F.D}$

Exercices résolus

Exercice 1

Un solide **S** de masse **m** est suspendu à un anneau **A** par l'intermédiaire d'un fil **EH**. L'anneau est relié à un crochet **C** par l'intermédiaire d'un fil **OB**. A l'aide d'un fil accroché en **D** à l'anneau, on exerce une force $\vec{F}$ horizontale.



Les fils sont inextensibles et on néglige la masse des fils, de l'anneau et du crochet. A l'équilibre le fil **OB** fait un angle α avec la verticale.

Déterminer :

1- La tension du fil **OB**.

2- L'intensité de la force $\vec{F}$.

3- L'intensité de la réaction $\vec{R}$ du crochet.

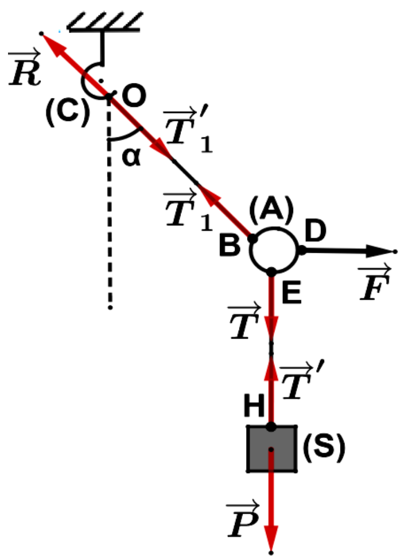
Données numériques : α **= 45°, m = 850g, g = 10N/Kg.**

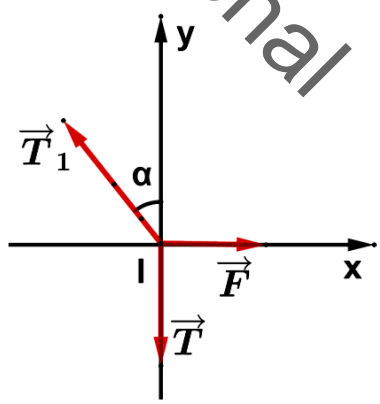
Solution :

1- tension du fil **OB**

Les forces qui s'exercent sur l'anneau sont : $\vec{F}$ (la force qui écarte le fil), $\vec{T}_1$ (tension du fil **OB**) et $\vec{T}$ (tension du fil **EH**). A l'équilibre ces forces se rencontrent.

On représente ces forces à partir du centre **(I)** de l'anneau et on choisit un repère **(I, x, y)** voir figures ci-dessous.





La condition d'équilibre de l'anneau donne : $\sum \vec{F}_{ex} = \vec{0} \Rightarrow \vec{F} + \vec{T} + \vec{T}_1 = \vec{0}$.

En projetant sur l'axe **(I, x)** on trouve : $T_1 . cos - T = 0$.

D'autre par le solide subit les forces : $\vec{P}$ (son poids) et $\vec{T}'$ (la tension du fil **EH**). Sa condition d'équilibre est $\sum \vec{F}_{ex} = \vec{0} \Rightarrow \vec{P} + \vec{T}' = \vec{0} \Rightarrow \vec{T}' = -\vec{P}$, alors **T' = P**.

Or le fil est inextensible, donc **T = T' = P**. Ce qui donne $T_1 = \frac{m.g}{cos\,\alpha}$. **A.N :** $T_1 \approx 12N$

2- L'intensité de la force $\vec{F}$:

On projette la condition d'équilibre de l'anneau sur l'axe **(I, x)** on trouve :

$F - T_1 . sin\,\alpha \Rightarrow F = T_1 . sin\,\alpha$ **AN :** $F = 8,5N$

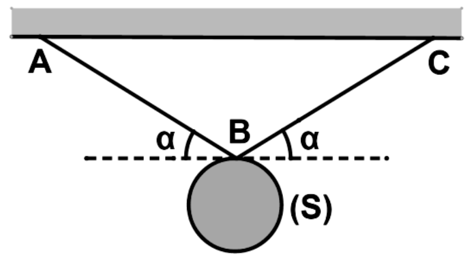
3- Le point **(O)** subit les forces : $\vec{T}'_1$ (tension du fil (**OB**) et $\vec{R}$ (réaction du crochet)

A l'équilibre $\sum \vec{F}_{ex} = \vec{0} \Rightarrow \vec{R} + \vec{T}'_1 = \vec{0} \Rightarrow \vec{R} = -\vec{T}'_1$, ce qui implique $R = T'_1$.

Or le fil est inextensible alors $T'_1 = T_1$. Donc $R = T_1 \approx 12N$

Exercice 2

On considère le dispositif ci-contre où **BA** et **BC** sont deux câbles qui soutiennent un solide **S** de masse **m = 75Kg**. Déterminer, à l'équilibre, la tension de deux câbles sachant que leur longueur est la même et qu'ils sont inclinés d'un angle **α = 20°** sur l'horizontale. **g = 10N/Kg**.



Solution

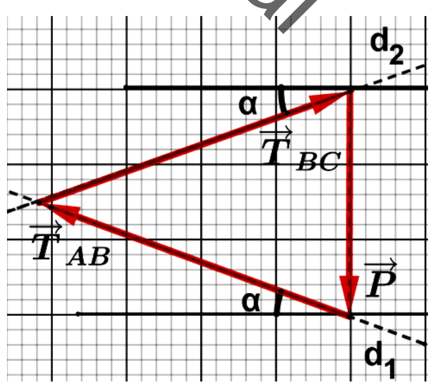
Les forces appliquées au solide **S** sont : le poids $\vec{P}$**,** la tension $\vec{T}_{AB}$ appliquée par le câble **AB** et la tension $\vec{T}_{BC}$ appliquée par le câble **BC**.

La condition d'équilibre donne : $\vec{P} + \vec{T}_{AB} + \vec{T}_{BC} = \vec{0}$

- Méthode géométrique :

On construit le polygone de forces, pour ce faire

- On calcule l'intensité du poids : **P =mg** <u>**A.N**</u> **: P = 75 x 10 = 750 N**
- On choisit une échelle **(1cm →250N)**
- On trace le vecteur représentant $\vec{P}$ (vertical, dirigé vers le bas et de longueur **4cm**)
- Pour additionner $\vec{T}_{AB}$ à $\vec{P}$ on trace une droite d_1 passant par l'extrémité de $\vec{P}$ et inclinée de **20°** sur l'horizontale représentant la direction de $\vec{T}_{AB}$
- Comme $\vec{P} + \vec{T}_{AB} + \vec{T}_{BC} = \vec{0}$, le polygone des force est fermé donc l'extrémité de $\vec{T}_{BC}$ coïncide avec

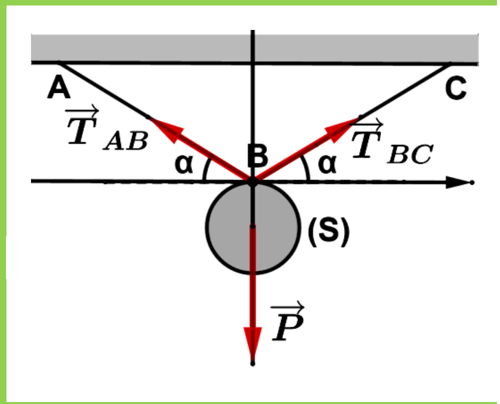


l'origine de $\vec{P}$. On trace alors une droite d_2 représentant la direction de $\vec{T}_{BC}$ passant par l'origine de $\vec{P}$ et inclinée de **20°** sur l'horizontale.

Le point de concours de d_1 *et* d_2 déterminent l'extrémité de $\vec{T}_{AB}$ et l'origine de $\vec{T}_{BC}$.

On obtient alors le polygone des forces ci-contre

En mesurant les longueurs des vecteurs qui représentent $\vec{T}_{AB}$ *et* $\vec{T}_{BC}$ on trouve **4,4cm** pour les deux. D'après l'échelle les intensités des forces $\vec{T}_{AB}$ *et* $\vec{T}_{BC}$ sont **$T_1 = T_2 = 1100N$**.



- Méthode algébrique :

La condition d'équilibre : $\vec{P} + \vec{T}_{AB} + \vec{T}_{BC} = \vec{0} \ldots\ldots (1)$

- On projette la relation **(1)** sur **(Bx)** :

$$-T_{AB}.\cos\alpha + T_{BC}.\cos\alpha = 0 \Rightarrow T_{AB} = T_{BC}$$

- On projette la relation **(1)** sur **(By)** :

$$T_{AB}.\sin\alpha + T_{BC}.\sin\alpha - P = 0 \Rightarrow$$

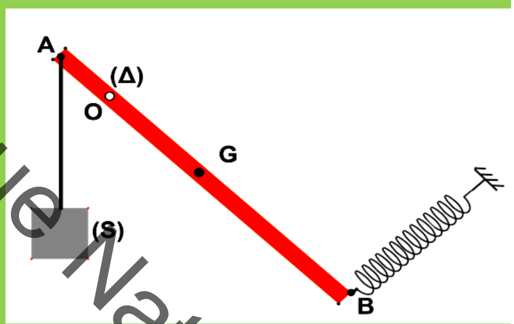
$$T_{AB} = T_{BC} = \frac{P}{2.\sin\alpha}$$

<u>A.N</u> : $T_1 = T_2 = 1096,4N$

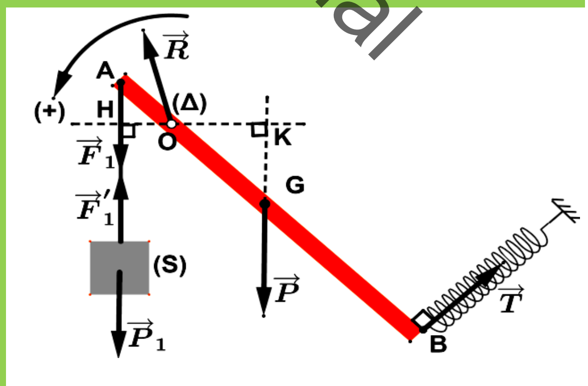
Nous retrouvons algébriquement les résultats précédents obtenus géométriquement. Les deux méthodes sont donc équivalentes.

Exercice 3 :

Une barre homogène **AB** de masse **m = 4Kg**, de longueur **60cm** est mobile autour d'un axe horizontal (Δ) passant par le point **O** tel que **OA = 10cm**. Cette barre est maintenue en équilibre un ressort accroché au point **B** un fil inextensible supportant un solide **(S)** de masse **m_1 = 1Kg** et attaché au point **A**. On néglige les frottements sur l'axe. Calculer **T** du ressort sachant que la direction celui-ci est perpendiculaire à la barre et que cette dernière est inclinée d'un angle $\alpha = 60°$ par rapport à l'horizontale.



Solution :



Les forces qui agissent sur la barre sont :

$\vec{P}$: *son poids.*

$\vec{R}$: *réaction de l'axe de rotation* (Δ).

$\vec{F}_1$: *tension du fil.*

$\vec{T}$: *tension du ressort.*

La condition nécessaire de l'équilibre de la barre s'écrit : $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}_{ext/\Delta}} = 0 \Rightarrow \mathcal{M}_{\vec{P}_{/\Delta}} + \mathcal{M}_{\vec{R}_{/\Delta}} + \mathcal{M}_{\vec{F_1}_{/\Delta}} + \mathcal{M}_{\vec{T}_{/\Delta}} = 0$. tenant compte du sens positif choisi on trouve :

$$\mathcal{M}_{\vec{P}_{/\Delta}} = -mg.OK = -mg.OG\cos\alpha$$
$$\mathcal{M}_{\vec{R}_{/\Delta}} = 0\ (rencontre\ l'axe\ de\ rotation)$$
$$\mathcal{M}_{\vec{F_1}_{/\Delta}} = F_1.OH = m_1g.OA\cos\alpha$$
$$\mathcal{M}_{\vec{T}_{/\Delta}} = T.OB.$$

Ce qui donne : $-mg.OG\cos\alpha + F_1.OA\cos\alpha + T.OB = 0$.

D'autre part, le solide **(S)** subit : son poids $\vec{P}_1$ et la tension du fil $\vec{F'}_1$. Sa condition d'équilibre donne : $\vec{P}_1 + \vec{F'}_1 = \vec{0} \Rightarrow \vec{F'}_1 = -\vec{P}_1 \Rightarrow F'_1 = P_1 = m_1.g$.

Comme le fil est inextensible alors, $F_1 = F'_1 = m_1.g$.

Donc $\boxed{T = \frac{g\cos\alpha(m.OG - m_1.OA)}{OB}}$.

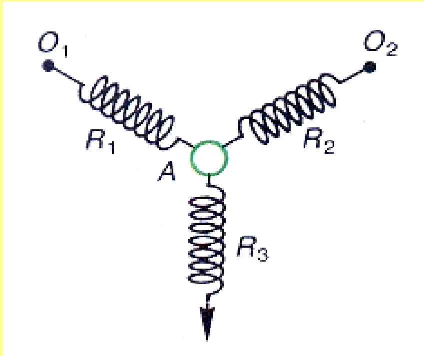
Or $OG = AG - AO = 0,2m \Rightarrow T = \frac{10.0,87(4.0,2-1.0,1)}{0,5} \Rightarrow \boxed{T = 12,2N}$.

Essentiel

- Conditions d'équilibre d'un solide soumis à deux forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$.
  - $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$.
  - $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ ont la même droite d'action.
  - $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ ont des sens opposé.
  - $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ ont la même intensité.
- Conditions d'équilibre d'un solide soumis à trois forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$.
  - $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$.
  - $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$ sont coplanaires (se trouvent dans le même plan.
  - $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$ sont concourantes (leurs droites d'action se coupent en un même point).
  - Le vecteur de chacune des forces est égal à l'opposé de la somme vectorielle de deux autres.
  - Si on représente les vecteurs forces en débutant chaque vecteur de la fin de l'un des autres, on trouve le polygone des forces.
  - En projetant la relation de la condition d'équilibre sur les axes d'un repère choisi, on trouve des relations algébriques entre les intensités des forces.
- Le moment d'une force $\vec{F}$ par rapport à axe (Δ) est sa capacité à faire tourner le solide sur lequel cette force est exercée autour de cet axe.
  - $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = F \times d$ tel que d est la distance entre l'axe(Δ) et la droite d'action de la force $\vec{F}$.
  - Une force qui croise l'axe de rotation, son moment autour de cet axe est nul.
  - Une force dont la droite d'action est parallèle à l'axe de rotation, son moment autour de cet axe est nul.
- Un couple de forces est un ensemble de deux forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$:
  - de supports parallèles et différents.
  - de sens opposés.
  - de même intensités **$F_1 = F_2 = F$**.
- Le moment d'un couple de force $\mathcal{C}(\vec{F}_1; \vec{F}_2)$ autour d'un axe (Δ) est $\mathcal{M}_{C/\Delta} = F.D$ tel que **D** est la distance séparant les deux forces.

Exercices

Exercice 1



Les ressorts R_1, R_2, R_3 et l'anneau A ont une masse négligeable . R_1 et R_2 ont une longueur de 10cm et s'allongent de 1cm pour 1N ; R_3 a une longueur de 15cm et s'allonge de 3cm pour 1N.

Les trois ressorts sont attachés à un même anneau A ; les autres extrémités de R_1 et R_2 sont attachées en O_1 et O_2 distant de 20cm. On tire sur l'extrémité libre de R_3 de façon que les angles des trois ressorts soient égaux à 120°.

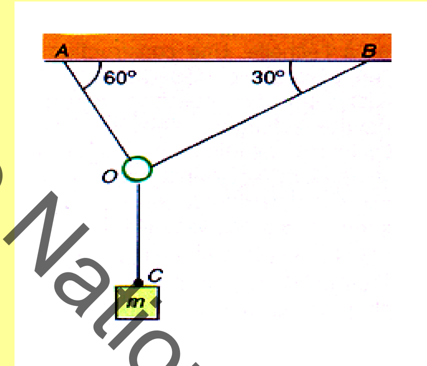
1- Quelles sont les longueurs des ressorts R_1 et R_2 à l'équilibre.

2- Quelles sont leurs tensions.

3- Quelle est la tension de R_3.

4- En quel point faut-il fixer l'extrémité libre de R_3. pour que l'équilibre de A soit réalisé.

Exercice 2



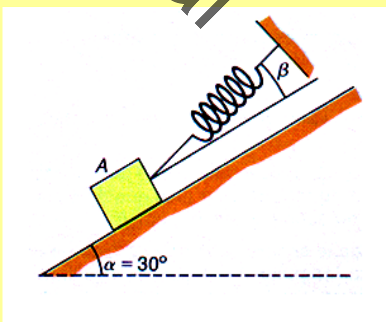
On considère le dispositif ci-contre où OA, OB, OC sont des fils inextensibles et de masse négligeable. Le poids de la masse m est égal à 10N.

1- Déterminer graphiquement les tensions des fils.

2- Calculer les tensions des fils.

Exercice 3

Un corps A de poids 3N repose sans frottement sur un plan incliné d'un angle $\alpha = 30°$ avec l'horizontale. La réaction du plan sur le corps A est perpendiculaire au plan. Ce corps est maintenu sur le plan incliné par l'intermédiaire d'un ressort faisant un angle β avec la ligne de plus grande pente du plan.



1- Faire le bilan des forces qui s'exercent sur le corps A.

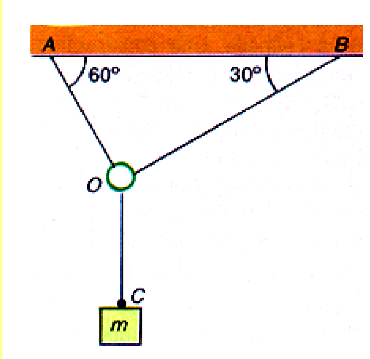
2- En déduire l'intensité de la force $\vec{T}$ exercée par le ressort sur A en fonction de l'angle β.

3- Calculer T pour $\beta = 0; \beta = 30° et\ \beta = 60°$

4- En déduire dans chaque cas précédent l'allongement de ce ressort de raideur K = 50N/m.

Exercice 4

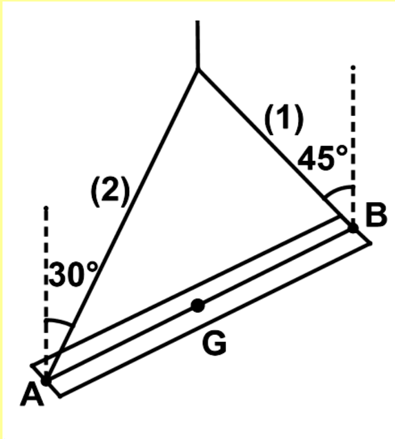
Une barre AB de poids négligeable est disposée horizontalement contre un mur. En A est fixé un petit anneau de masse négligeable. A cet anneau sont accrochés un corps de masse M et un filin OA.



1- Indiquer la direction des forces s'exerçant sur la barre.
2- Indiquer la direction des forces s'exerçant sur l'anneau.
3- En déduire :
3-1- La tension du filin
3-2- La force exercée en B par le mur sur la barre.
Données numériques : M = 15Kg, g = 10N/Kg

Exercice 5

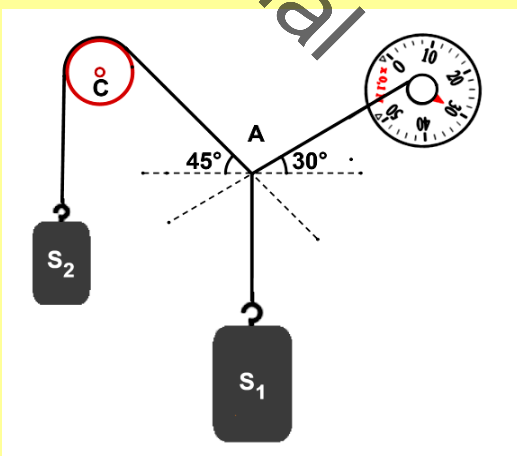
Une poutre AB a un poids $\vec{P}$ de valeur 7000 N. Elle est maintenue en équilibre à l'aide des élingues 1 et 2.



On désigne par $\vec{T}_1$ et $\vec{T}_2$ les forces exercées respectivement par les élingues 1 et 2. La droite d'action de $\vec{T}_1$ fait un angle de 45° avec la verticale. La droite d'action de $\vec{T}_2$ fait un angle de 30° avec la verticale.
1- Quelle est la relation qui lie $\vec{T}_1, \vec{T}_2$ et $\vec{P}$ pour que la poutre soit en équilibre.
2- Calcule les intensités de $\vec{T}_1$ et $\vec{T}_2$ dans cette condition.
3- Calcule les longueurs l_1 et l_2 des élingues sachant que la poutre fait un angle 30° avec l'horizontal et de longueur AB = 10m.

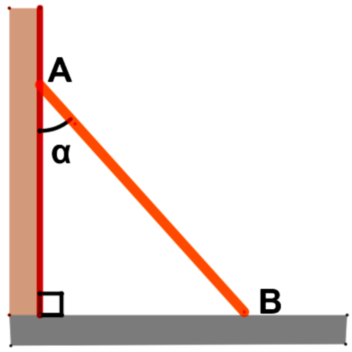
Exercice 6

On considère deux corps S_1 et S_2 de masses respectivement m_1 et m_2 montés dans le montage suivant. Les fils utilisés sont inextensibles et de masses négligeables et la poulie C est de passe négligeable.



1- Lire l'indication du dynamomètre.
2- donner l'inventaire des forces appliquées sur chaque élément du système (y compris le nœud A)
3- Calculer les masses m_1 et m_2 pour que le système soit en équilibre.

Exercice 7



Une échelle de longueur l = 2m et de poids P = 400N est appuyée sur un mur en B et sur
le sol en A. On suppose que la force de contact en B est normale au mur et d'intensité 300N.

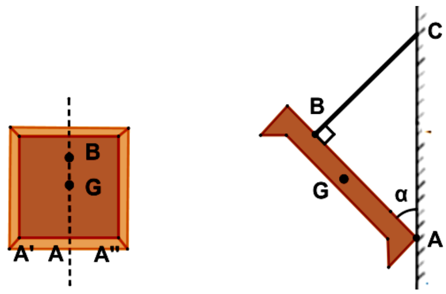
1- Montrer qu'à l'équilibre la force de contact en A ne peut être normale au sol.

2- En étudiant l'équilibre de l'échelle, trouver les caractéristiques de la force de contact en A.

3- Calculer l'angle αque fait l'échelle avec le mur.

4- Décrire ce qui se passe à l'échelle, en justifiant votre réponse dans le cas où les frottements sont négligeables au niveau du sol.

Exercice 8



Un tableau T, de masse m = 2 kg, est accroché à un mur vertical rugueux par un fil BC.
Par suite des frottements agissant sur la base A'A'', la base du tableau ne glisse pas.
On donne : AG = 30 cm (G est le centre de masse);
AB = 50 cm et $\alpha = B\hat{A}C = 20°$.

1- Déterminer à l'équilibre la tension du fil BC et la réaction du mur en A.

2- E déduire la valeur des frottements exercés sur l'arrête A'A''.

3- Déterminer la force exercée sur le crochet C.

Exercice 9

Choisir, en le justifiant, la bonne réponse pour chacune des questions suivantes :

1- Un solide est mobile autour de l'axe Δ, une force appliquée au solide est parallèle à Δ. Alors, la force :

- s'oppose à la rotation du solide autour de son axe.
- favorise la rotation du solide autour de son axe.
- n'a aucun effet de rotation sur le solide.

2- Une poignée de porte n'est jamais placée au voisinage de l'axe de rotation formé par les gonds pour :

- raccourcir le bras de levier.
- allonger le bras de levier.
- des raisons d'esthétique.

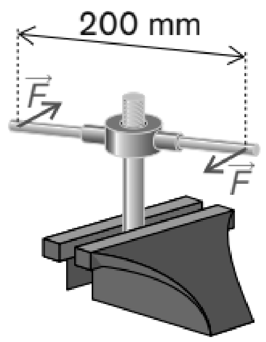
3- Le moment d’une force par rapport à un axe est nul si :

- la droite d’action de la force coupe l’axe de rotation.
- la distance entre la droite d’action de la force et l’axe de rotation est très grande.
- l’intensité de la force est trop importante.

4- Un couple de forces est un ensemble de deux forces :

- *de même direction, de même sens et de même intensité.*
- *de même direction, de sens contraire et de même intensité.*
- *de même direction, de même sens et d’intensités différentes.*

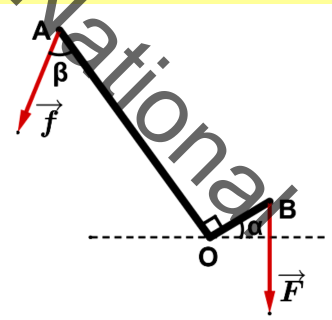
4- Une filière est utilisée pour fileter une tige métallique.
On applique des forces de même intensité aux extrémités de la tige comme indiqué sur le schéma (F = 50 N). La distance entre les droites d’action des forces est 200 mm. Le moment du couple de force est égal à :



- **$\mathcal{M}$ (C) = 10 N.m.**
- **$\mathcal{M}$ (C) = 10 000 N.m.**
- **$\mathcal{M}$ (C) = 250 N.m.**
- **$\mathcal{M}$ (C) = 0,25 N.m.**

Exercice 10

Un arrache clou (S) de masse m = 2 kg est constitué par deux tiges rigides : OA = L et OB $=\frac{L}{5}$ soudée au point (O)de façon qu’elles soient perpendiculaires. (S) est mobile autour d’un axe (Δ) perpendiculaire au plan de la figure
et passant parlepoint d’appui O. Le centre de gravité G du système est situé à une distance OG $=\frac{L}{5}$ Pour arracher un clou, un opérateur exerce une force $\vec{f}$ à l’extrémité A, inclinée d’un angle β = 45° par rapport à OA.
La tige OB est alors inclinée d’un angle α = 30° par rapport à l’horizontale. Le clou exerce une force $\vec{F}$ supposée verticale et de valeur F= 200 N, comme l’indique la figure ci-contre.



1- En appliquant le théorème des moments :

1-1- Déterminer l’expression de la valeur de la force $\vec{f}$ exercée par l’opérateur en fonction de m, g, F, α et β.

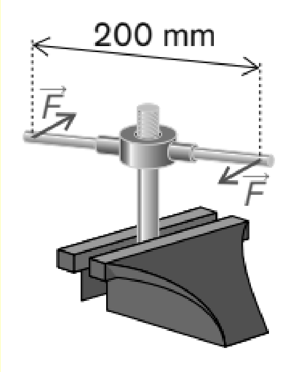
1-2- Calculer f.

2- L’opérateur souhaite exercer le minimum d’effort pour arracher le clou. Préciser les paramètres surlesquels il doit agir pour aboutir à ce résultat.

3- Le moment d'une force par rapport à un axe est nul si :
- la droite d'action de la force coupe l'axe de rotation.
- la distance entre la droite d'action de la force et l'axe de rotation est très grande.
- l'intensité de la force est trop importante.

4- Un couple de forces est un ensemble de deux forces :
- *de même direction, de même sens et de même intensité.*
- *de même direction, de sens contraire et de même intensité.*
- *de même direction, de même sens et d'intensités différentes.*

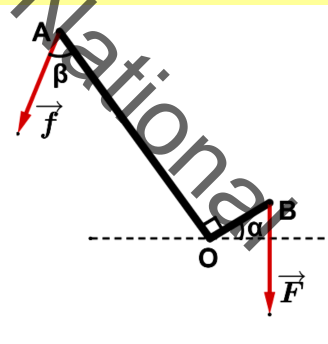
4- Une filière est utilisée pour fileter une tige métallique.
On applique des forces de même intensité aux extrémités de la tige comme indiqué sur le schéma (F = 50 N). La distance entre les droites d'action des forces est 200 mm. Le moment du couple de force est égal à :



- **$\mathcal{M}$ (C) = 10 N.m.**
- **$\mathcal{M}$ (C) = 10 000 N.m.**
- **$\mathcal{M}$ (C) = 250 N.m.**
- **$\mathcal{M}$ (C) = 0,25 N.m.**

Exercice 10

Un arrache clou (S) de masse m = 2 kg est constitué par deux tiges rigides : OA = L et OB = $\frac{L}{5}$ soudée au point (O)de façon qu'elles soient perpendiculaires. (S) est mobile autour d'un axe (Δ) perpendiculaire au plan de la figure et passant parlepoint d'appui O. Le centre de gravité G du système est situé à une distance OG = $\frac{L}{5}$ Pour arracher un clou, un opérateur exerce une force $\vec{f}$ à l'extrémité A, inclinée d'un angle β = 45° par rapport à OA. La tige OB est alors inclinée d'un angle α = 30° par rapport à l'horizontale. Le clou exerce une force $\vec{F}$ supposée verticale et de valeur F= 200 N, comme l'indique la figure ci-contre.



1- En appliquant le théorème des moments :

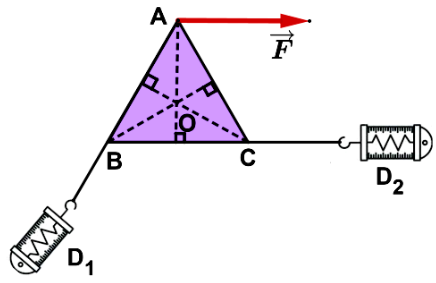
1-1- Déterminer l'expression de la valeur de la force $\vec{f}$ exercée par l'opérateur en fonction de m, g, F, α et β.

1-2- Calculer f.

2- L'opérateur souhaite exercer le minimum d'effort pour arracher le clou. Préciser les paramètres surlesquels il doit agir pour aboutir à ce résultat.

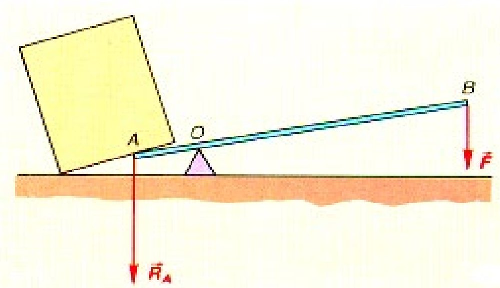
Exercice 11

Une plaque homogène ayant la forme d'un triangle équilatéral est mobile autour d'un axe horizontal perpendiculaire au plan de la plaque et passant par O point de concours des médianes. A l'aide des dynamomètres D_1 et D_2 on exerce respectivement en B et C des forces dirigées suivant $\overrightarrow{AB}$ *et* $\overrightarrow{BC}$. D_1 indique 4 N et D_2 indique 6N . Calculer l'intensité de la force $\vec{F}$ qu'il faut exercer en A de direction orthogonale à AO pour maintenir la plaque en équilibre.



Exercice 12

Lorsqu'un carrier soulève une grosse pierre de taille, il prend une barre de fer très rigide appelée pince de carrier, glisse la partie biseautée A sous la pierre, passe sous la barre un point d'appui très solide O et appuie sur l'extrémité B. La barre AB et le point d'appui O constituent un levier. OA et OB s'appellent les bras de levier. On néglige le poids de la barre.

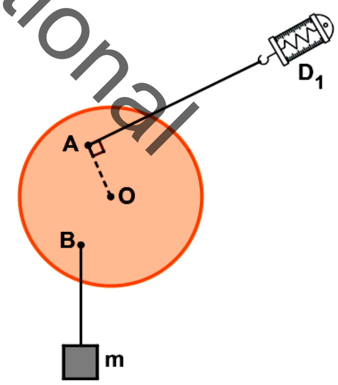


1- On se place dans le cas particulier où l'action de la pierre $\vec{R}_A$ sur la barre et celle du carrier $\vec{F}$ sont parallèles. Montrer qu'à l'équilibre, la réaction du point d'appui O sur la barre est parallèle à $\vec{R}_A$ *et* $\vec{F}$.

2- En appliquant le théorème des moments à la barre, trouver la relation qui existe entre R_A, F, OA et OB. Mettre en évidence l'intérêt de ce dispositif.

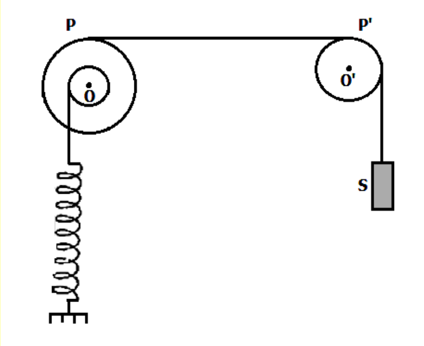
Exercice 13

Un disque de poids 8N est mobile autour d'un axe fixe horizontal passant par son centre de gravité O. Dans le plan du disque, on dispose d'un dynamomètre D_1 accroché en A tel que OA = 15cm. En B, on suspend une masse m. La distance de O à la verticale passant par B est de 12cm. A l'équilibre le dynamomètre indique 5N. Calculer le poids de la masse m.



Exercice 14

Un solide de masse m = 200g est maintenu en équilibre par l'intermédiaire d'un fil passant sur la gorge d'une poulie à axe fixe et dont l'autre extrémité est reliée à une poulie à deux gorges de rayons $r_2 = 2r_1$.



1-Représenter les forces qui s'exercent sur (S) et déterminer leur valeur.

2- Représenter les forces qui s'exercent sur la poulie (P).

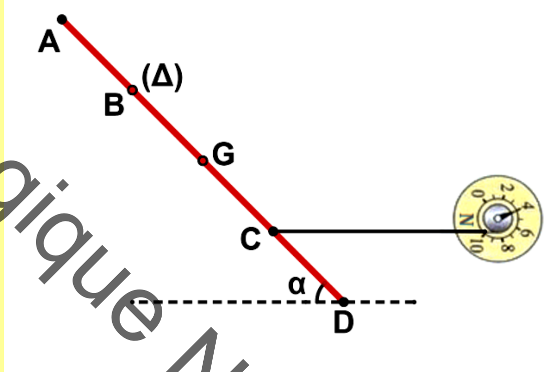
3- Donner la condition de l'équilibre de (P).

4- Déterminer les valeurs des tensions des fils 1 et 2 exercées sur (P).

5- Le ressort s'allonge à l'équilibre de ΔL = 4cm. Déterminer la valeur de sa constante de raideur K. On donne : $g = 10N.kg^{-1}$.

Exercice 15

On dispose d'une tige homogène de section constante, de masse m = 460 g, de longueur AD = L = 80 cm et pouvant tourner autour d'un axe (Δ) passant par B. Cette tige est attachée en C à un dynamomètre qui la maintient dans une position d'équilibre faisant un angle $\alpha = 30°$ par rapport à l'horizontale.



AB = BG = GC = CD = $\frac{L}{4}$. g = 10 N/kg.

1-1- Faire le bilan de toutes les forces qui s'exercent sur la tige.

1-2- Représenter ces forces en utilisant l'échelle suivante : 1 N → 1 cm.

1-3- Déduire graphiquement la valeur de la réaction R de l'axe (Δ)

2-On se propose de déterminer les caractéristiques de la réaction $\vec{R}$ de l'axe (Δ).

2-1- Ecrire la condition d'équilibre de la tige.

2-2- Choisir un système d'axes orthonormés, et écrire les composantes des forces exercées sur la tige suivant ces deux axes.

2-3-Déduire alors les caractéristiques de $\vec{R}$.

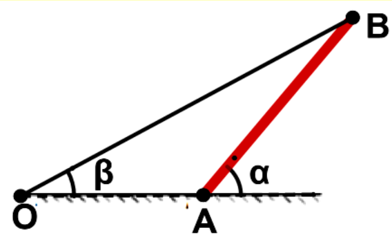
3- On se propose maintenant de vérifier l'indication du dynamomètre.

3-1- Ecrire la condition d'équilibre du solide par application du théorème des moments.

3-2- Retrouver à partir de cette condition d'équilibre la valeur indiquée par le dynamomètre.

Exercice 16

Une planche homogène de longueur L = 10m a pour masse m = 100 kg. Elle est en contact avec le sol par son extrémité A et peut tourner autour d'un axe Δ horizontal passant par ce point. L'autre extrémité B est attachée à un câble de masse négligeable qui maintient la planche à l'équilibre comme le montre la figure.



On donne: $\alpha = 60°$; $\beta = 30°$; g = 10 N/kg ;

OA = AB = L = 10 m

1- Faire l'inventaire des forces qui s'appliquent sur la planche.

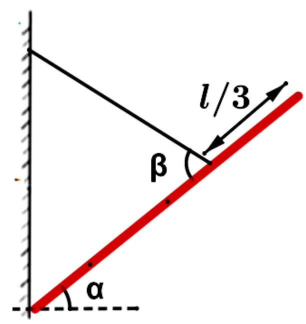
2- Calculer l'intensité de la tension T du câble.

3- Calculer les intensités de la réaction normale et frottement du sol.

4- Déterminer les caractéristiques de la réaction totale du sol sur la planche

Exercice 17

Un câble relié à un mur maintient une poutre de masse m = 15kget de longueur est ℓ = 2 m en équilibre (voir figure ci-contre).



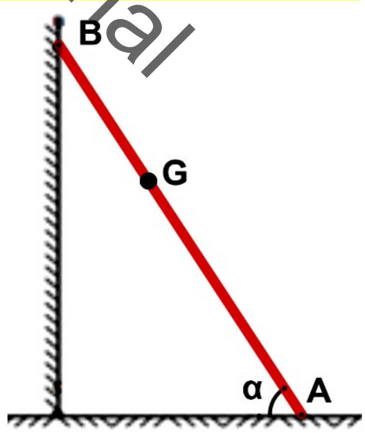
1-Faire le bilan des forces qui s'exercent sur la poutre.

2-Quelle doit être la tension du câble pour assurer l'équilibre de la poutre ?

3- Préciser les caractéristiques de la réaction totale du mur sur la poutre. On donne $\alpha = 30° \; et \; \beta = 60°$

Exercice 18

Un peintre effectue le ravalement d'une façade d'une maison. On note m_1 la masse du peintre et du bidon de peinture. m_1 = 80 kg. Il appuie contre le mur son échelle de longueur AB = 4 m, de masse m_2 = 20 kg et monte sur celle-ci pour travailler. Le centre de gravité de l'ensemble est le point G tel que AG = 2,768m. L'angle aigu que fait le plan de l'échelle (AB) avec le sol, a pour mesure 60°.



1- Calculer l'intensité du poids total P de l'ensemble (peintre et échelle).

2- Le mur est parfaitement lisse

2-1- donner un bilan des forces qui agissent sur l'échelle en les représentant.

2-2- Calculer l'angle que fait la réaction du sol sur l'échelle avec l'horizontale.

2-3- Calculer l'intensité de la réaction du sol en déduire la force des frottements et la réaction normale du sol

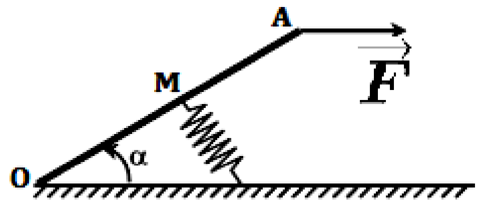
3- Calculer l'intensité de la réaction du mur sur l'échelle.

Exercice 19

Une pédale OA de poids négligeable de longueur ℓ est mobile autour d'un axe horizontal O.

On exerce une force horizontale F à l'extrémité A de la pédale.

La pédale est en équilibre quand le ressort fixé en son milieu M prend une direction qui lui est perpendiculaire ; la pédale fait un angle α avec l'horizontale à l'équilibre (α = 30°)



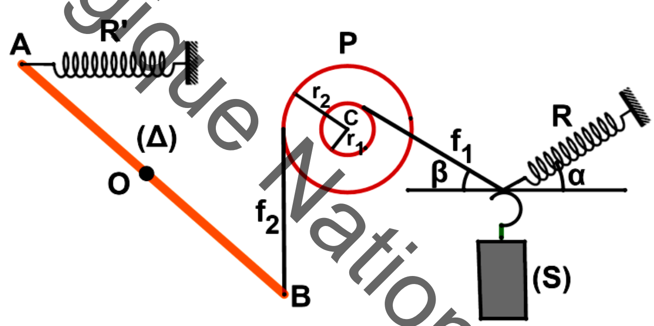
1- Déterminer la force exercée par le ressort sur la pédale. L'intensité de cette force dépend-t-elle de la longueur ℓ de la pédale ? Justifier. On prendra F = 30N.

2- Déterminer les caractéristiques de la réaction de l'axe sur la pédale.

Exercice 20

Le système de la figure comporte un solide S de masse m = 5kg attaché à un ressort R, de longueur à vide l_0 = 15cm et de constante de raideur k = 100N/m faisant un angle $\alpha = 30°$ avec l'horizontale et un fil f_1 faisant un angle β = 45° avec l'horizontale.

Le fil f_1 est enroulé sur la gorge d'une poulie P à deux gorges de rayons r_1 = 15cm et r_2 =15cm sur la deuxième gorge de P est enroulé un deuxième fil f_2 dont l'extrémité inférieure est attachée au point B à une barre homogène de longueur AB = 2m qui peut tourner au tour d'un axe (Δ) passant par son centre O . L'autre extrémité A de la barre est attachée à un deuxième ressort R' de longueur à vide l'_0 = 10cm et de constante de raideur k' = 50N/m. l'équilibre s'établit lors que le ressort R' est horizontal et fait un angle φ = 60° avec la barre et le fil f_2 est vertical.



1-1- Etablir la condition d'équilibre du solide S.

1-2- Calculer la tension du ressort R. En déduire sa longueur.

1-3- Calculer la tension du fil f_1.

2-1- Etablir la condition d'équilibre de la poulie P.

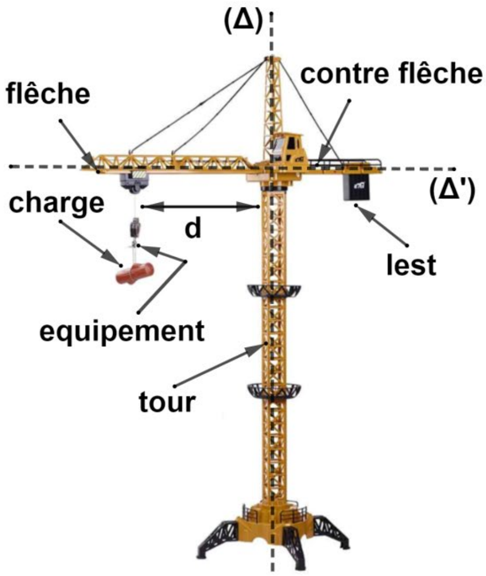
2-2- Calculer la tension du fil f_2.

3-1- Etablir la condition d'équilibre de la barre.

3-2- Calculer la tension du ressort R'. En déduire sa longueur.

ACTIVITE DOCUMENTAIRE

Les grues



Toujours considérées comme le symbole de la bonne activité économique d'une ville, les grues modernes sont les descendantes d'une longue lignée d'engins de levage qui remonte à l'Antiquité. Il en existe une grande diversité, répartie selon deux catégories principales, les grues mobiles et les grues à tour. Les premières, montées sur pneumatiques ou sur chenilles, se déplient de façon autonome. Les secondes, plus connues, sont fixes, montées et démontées élément par élément. Rien ne leur semble trop haut ni trop lourd.

Dans les gares de marchandises ou dans les ports, on recourt à la grue pivotante fixe ou potence. A cette catégorie appartiennent les grues de bord équipant les navires.

Dans les ports, on utilise de puissantes grues, à flèche courte (fléchette), montées sur portique.

Pour assurer l'équilibre de la grue, c'est toute la configuration de cette balance géante qui est déterminante. Fixée au sol, la grue à tour est souvent lestée à sa base par des contrepoids en béton pour, entre autres, asseoir son emprise. Le mât (tour) en acier est constitué de plus ou moins d'éléments en fonction de la hauteur voulue et la cabine de pilotage installée à son extrémité. C'est de là que part la partie horizontale avec, à l'avant, la flèche, sur laquelle se déplace le chariot relié au crochet de levage et, à l'arrière, la contre-flèche, également équipée de contrepoids. La circulation du câble de levage entre plusieurs poulies permet de répartir l'effort de traction et donc de limiter la puissance du moteur nécessaire à la levée de la charge.

La charge et son équipement peuvent se déplacer le long de la flèche. Ces mouvements sont commandés par des moteurs électriques pilotés par le conducteur de la grue.

La grue est soumise à différentes forces :