REPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE
Honneur - Fraternité - Justice

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE
ET DE LA REFORME DU SYSTEME EDUCATIF
INSTITUT PEDAGOGIQUE NATIONAL

PHYSIQUE

5ème AS

2024

AVANT-PROPOS

Chers collègues Professeurs,

Chers élèves,

C'est dans le cadre des énormes efforts que fournit l'Institut Pédagogique National pour mettre à votre disposition, dans les meilleurs délais, un outil pouvant vous aider à accomplir respectivement votre tâche que s'inscrit l'élaboration de ce manuel intitulé : **physiques 5ème CD** pour la cinquième année du lycée.

Celui-ci est conçu conformément aux nouveaux programmes en vigueur. Il vise à offrir aussi bien au professeur qu'à l'élève une source d'informations pour aider le premier à préparer son cours et le second à mieux assimiler son programme de l'année et même à élargir son horizon. Il importe cependant qu'il ne peut en aucun cas être le seul support, ni pour l'un, ni pour l'autre et doit être renforcé et enrichi à travers la recherche d'autres sources d'informations.

Le contenu de ce manuel est réparti en huit chapitres

Chaque chapitre renferme tous les savoirs énoncés dans le programme dégagés à partir de l'étude d'exemples ou de situations décrites dans divers documents choisis pour leur adaptation à nos réalités.

Chaque chapitre est sanctionné par une **série d'exercices** pour évaluer les notions fondamentales abordées.

Nous attendons vos précieuses remarques et suggestions en vue d'améliorer ce manuel dans ces prochaines éditions.

Les auteurs

Dah O/ Mouhamed El Moctar
Inspecteur Pédagogique de
l'Enseignement Secondaire

Mohamed Abdou O/ Leffad
Inspecteur Pédagogique de
l'Enseignement Secondaire

Maquettistes

Oumry Ahmed Bebba

Maquettiste / I.P.N

Revisé par

Dah O/ Mouhamed El Moctar Inspecteur Pédagogique de l'Enseignement Secondaire

Baba Salahi Conseiller Pédagogique à L'I.P.N

CHAPITRE I : NOTION DE FORCE ET ETALONNAGE D'UN RESSORT

La caractéristique d'élasticité fait des ressorts des composants essentiels dans l'industrie de plusieurs machines et appareils

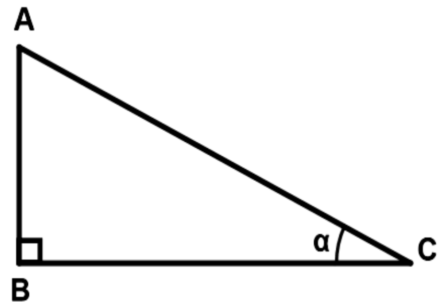
Objectifs

- ✓ 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.



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

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

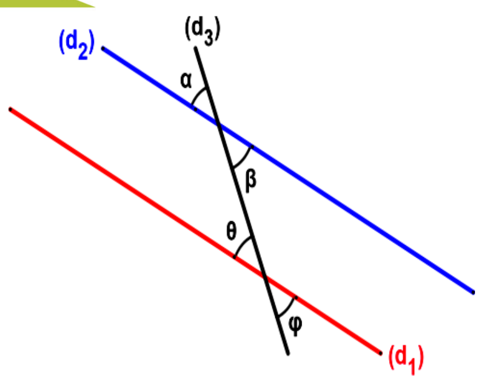
$$\tan\alpha = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \frac{opp}{adj} = \frac{AB}{BC}$$

$$\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1.$$

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



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

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 : effets dynamiques
- 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

- ➢ un corps, initialement immobile, est mis en mouvement.
  exemple : une pierre 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 tennis sur le sol.

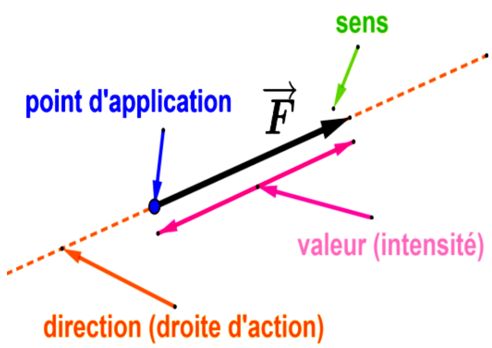
1-2- Effet statique

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 de 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 $\vec{F}$: $F = \|\vec{F}\|$

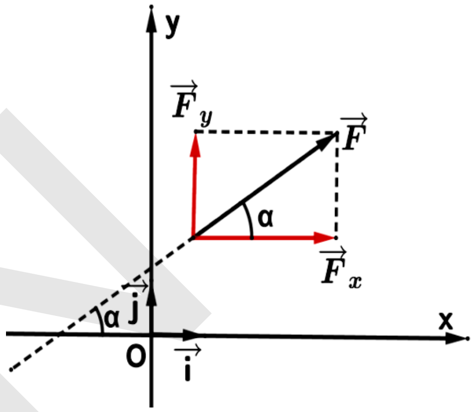
On peut donc bien écrire par exemple. **F = 1,3 N**, mais non $\vec{F}$ = **1, 3 N**

3- Décomposition d'une force dans un repère

Soit un repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$ 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 :

$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y = F_x\vec{i} + F_y\vec{j}$$



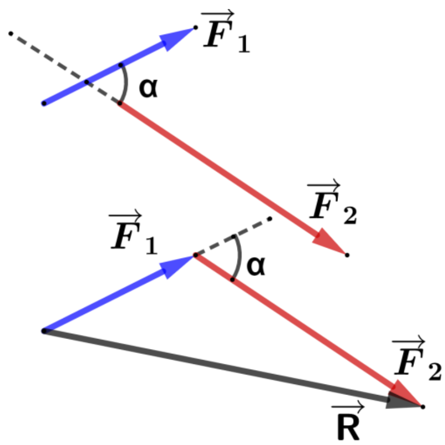
- La composante F_x représente la projection du vecteur force $\vec{F}$ sur l'axe des abscisses **(Ox)** et on a : $\cos\alpha = \frac{F_x}{F}$ soit $F_x = F.\cos\alpha$
- La composante F_y représente la projection du vecteur force $\vec{F}$ sur l'axe des ordonnées **(Oy)** et on a : $\sin\alpha = \frac{F_y}{F}$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

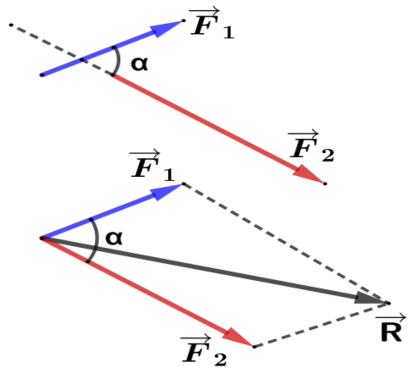
4-1- Cas de deux forces concourantes

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 relie 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.



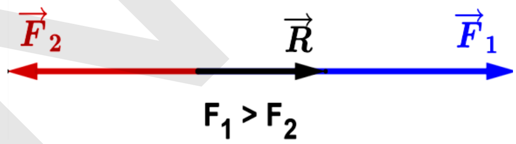
L'intensité da la force résultante est :

$$R=\sqrt{F_1^2+F_2^2+2F_1.F_2.\cos\ \alpha}\ .$$

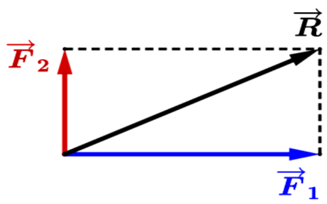
Cas particuliers

- Si $\vec{F}_1$ **et** $\vec{F}_2$ sont colinéaires de même sens $\alpha=0$ 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 $\vec{F}_2$; $R=F_1+F_2$.

- Si $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ sont colinéaires de sens apposés $\alpha=\pi$ 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 $\vec{F}_2$; $R=|F_1-F_2|$.



- Si $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ sont perpendiculaires $\alpha=\dfrac{\pi}{2}$ rd alors l'intensité de la résultante est alors :
  $R=\sqrt{F_1^2+F_2^2}$

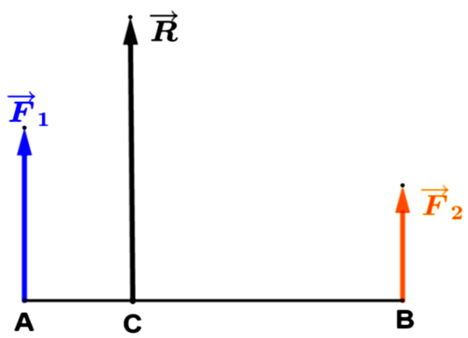


4-2- Cas de deux forces parallèles non concourantes

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*

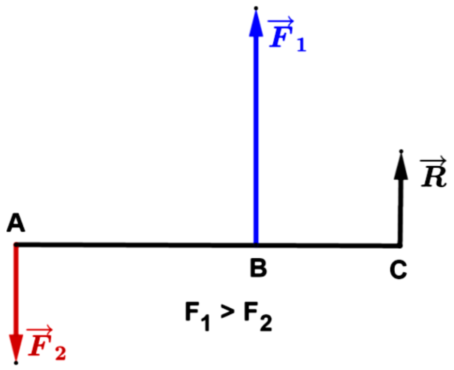
La résultante $\vec{R}$ de deux forces parallèles de même sens $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ a les caractéristiques suivantes :



- 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 :

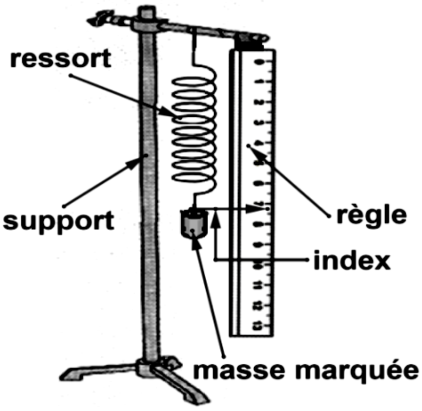


- La même direction que $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$
- son sens est celui de la force de plus grande intensité.
- Son intensité est $R = |F_1 - F_2|$.
- Son point d'application **(C)** se trouve sur la droite **(AB)** à l'extérieur du segment **A ; B** et du côté de la force de plus grande intensité, tel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



2- Dispositif expérimental

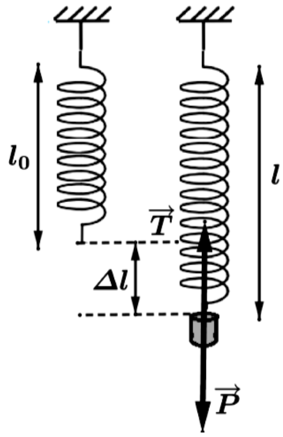
Un ressort suspendu verticalement est accroché à un support muni d'une règle graduée. On suspend à son extrémité libre des charges de masses marquées différentes.

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 $\Delta\ell = \ell - \ell_0$ correspondant.
- Procéder à une dizaine de mesures de l'allongement $\Delta\ell$ 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.

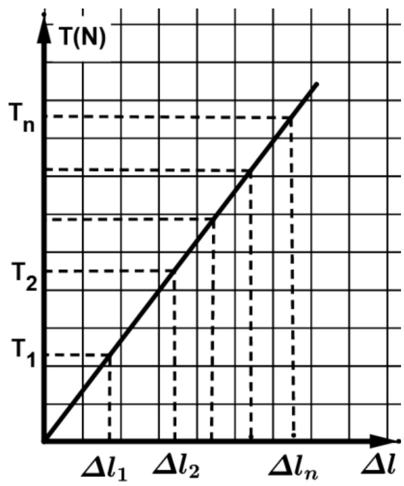
m(g)	0	m_1	m_2			m_n
Δl(cm)	0	$\Delta\ell_1$	$\Delta\ell_2$			$\Delta\ell_n$
T= mg(N)	0	T_1	T_2			T_n

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.

On trace 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**.

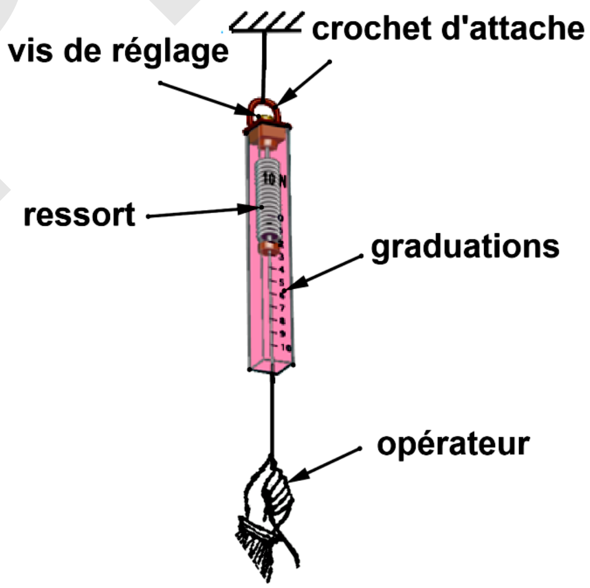


IV- APPLICATIONS

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

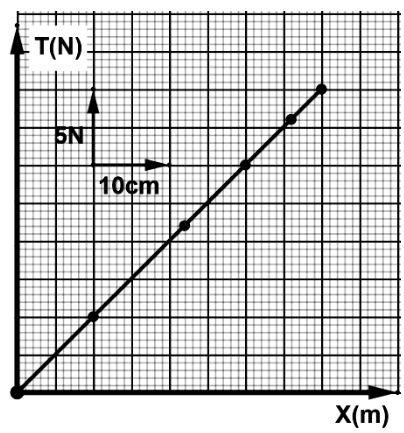
A l'extrémité d'un ressort à spires non jointives sont appliquées successivement différentes forces.
Soit F l'intensité de l'une de ces forces et x l'allongement correspondant du ressort.
Des mesures donnent les résultats suivants.

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 $\begin{cases} \text{2carreaux} \rightarrow \text{10cm} \\ \text{2carreaux} \rightarrow \text{5N} \end{cases}$ on trouve la courbe ci-contre

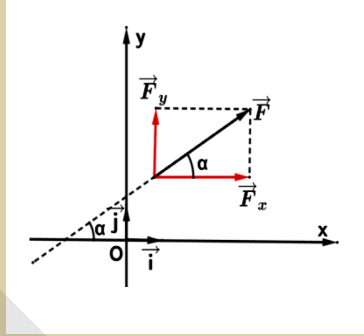


2- La constante de raideur K: On a

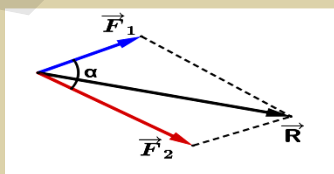
$F = K.X \Rightarrow K = \frac{F}{X}$ A.N: $K = 50N$

Essentiel

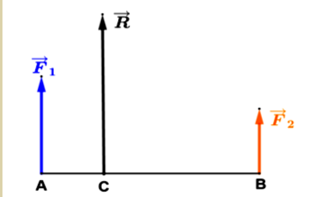
- Une force est une action mécanique qui peut être modélisée par un vecteur et caractérisée par :
  - son point d'application : point ou la force agit (force localisée) ou centre de l'objet (force repartie).
  - sa direction : droite d'action.
  - Son sens :
  - son intensité : valeur mesurée en Newton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



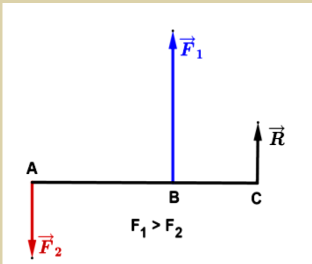
- Dans un repère $\left(O,\vec{i},\vec{j}\right)$, une force $\vec{F}$ faisant un angle α avec l'axe des abscisses (Ox) admet deux composantes $\vec{F}_x$ **et** $\vec{F}_y$ tel que $\vec{F}=\vec{F}_x+\vec{F}=F_x\vec{i}+F_y\vec{j}$ et $\begin{cases}F_x=F.\cos(\alpha)\\F_y=F.\sin(\alpha)\end{cases}$
- 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 cotés $\vec{F}_1$ *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 $R=\left|F_1-F_2\right|$ 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 $F_1.CB=F_2.CA\Rightarrow\dfrac{F_1}{CA}=\dfrac{F_2}{CB}=\dfrac{F_1-F_2}{AC-CB}=\dfrac{R}{AB}$.



- 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 le 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 $\beta = 60°$.

Déterminer leur intensité commune sachant que l'intensité de leur résultante $\vec{F}$ est de 17,3N. Répondre 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 $\left(O, \vec{i}, \vec{j}\right)$ l'unité de force étant le newton, on donne :

$\vec{F}_1 = 2\vec{i} - 3\vec{j}$ et $\vec{F}_2 = -\vec{i} - 2\vec{j}$

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

2- Calculer la norme de chaque force.

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

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

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

Exercice 5

Un ressort à spires non jointives a pour constante de raideur k et sa longueur à vide est l_o.
Calculer 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

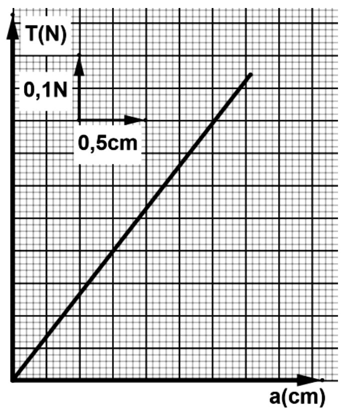
On accroche un dynamomètre à l'une des extrémités d'un ressort de longueur avide l_0 et de constante de raideur K, l'autre extrémité étant fixe. L'action du dynamomètre sur le ressort provoque l'allongement de ce dernier.
Pour différentes valeurs de l'intensité de la force exercée par le dynamomètre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

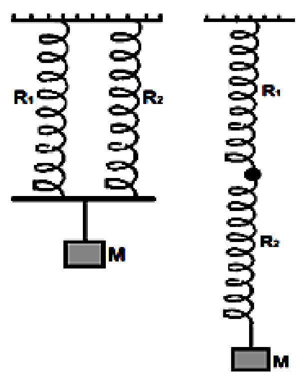
Exercice 7

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- Calculer les constantes de raideur k_1 et k_2 de R_1 et R_2.
2- Calculer la constante de raideur K du ressort R équivalent aux deux ressorts R_1 et R_2 lorsqu'ils sont montés en parallèle.
3- Calculer la constante de raideur K du ressort R équivalent aux deux ressorts R_1 et R_2 lorsqu'ils sont montés en série.



Exercice 9

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

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

1- Compléter le tableau précédent.

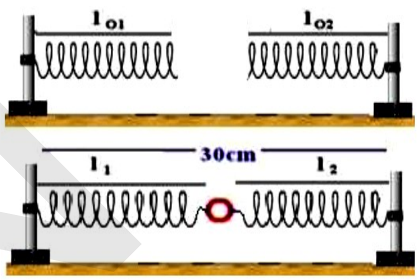
2- Représenter graphiquement P en fonction de l (abscisse : 1 cm pour 1 cm ; ordonnée : 1 cm pour 0,5 N) .

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

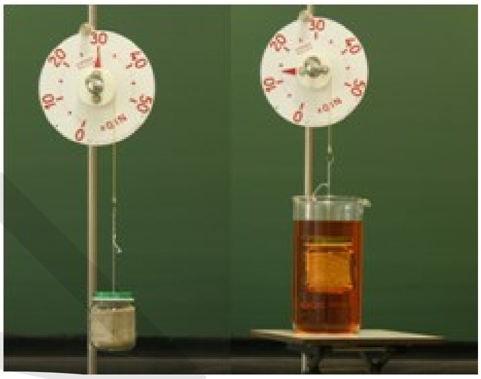
- ✓ Déterminer expérimentalement les caractéristiques de la poussée d'Archimède.
- ✓ Montrer expérimentalement que la valeur de la poussée d'Archimède est égale à la valeur du poids du liquide déplacé.
- ✓ Connaître quelques applications de la poussée d'Archimède

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 !).

Pourquoi ?

- 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 fit déborder de l'eau, c'est là qu'il s'écria « Eurêka ! ». En particulier, il avait compris ce qui se passait lorsqu'un objet était plongé dans un liquide (çà bien sûr, c'est la légende qui le dit !). Il énonça alors le principe, connu sous le nom du « principe d'Archimède »

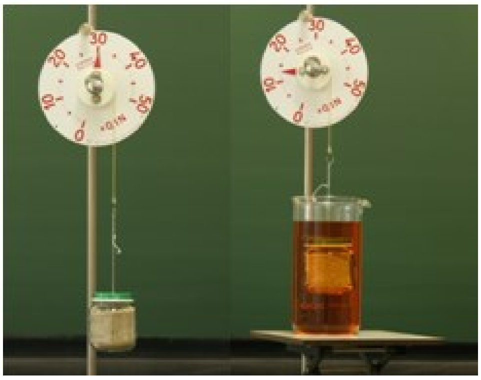
III- LE POIDS APPARENT ET LA POUSSEE D'ARCHIMEDE

Expérience 1

1- Matériel

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

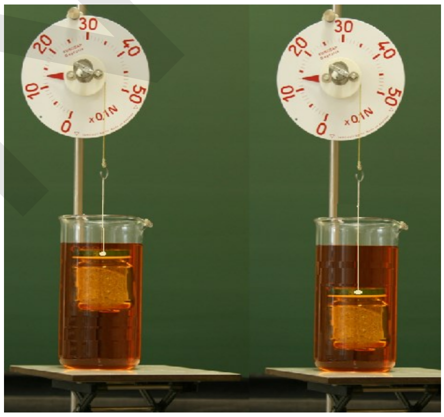
2- Manipulation



- 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



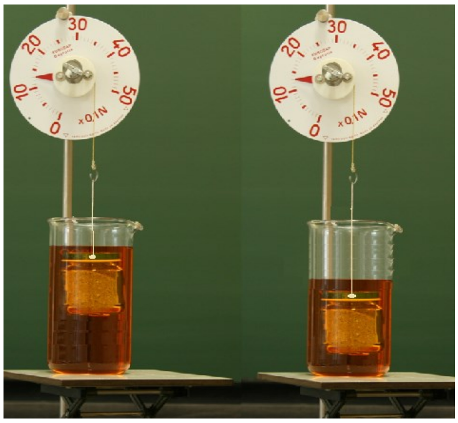
Expérience 2

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



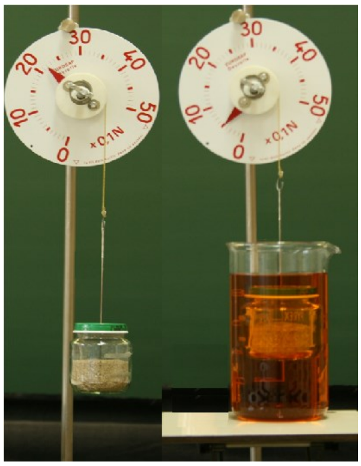
Expérience 3

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 poussé d'Archimède exercée par l'eau sur le pot rempli de sable

Conclusion :

La valeur de la poussé 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 de celui-ci (figure ci-contre).

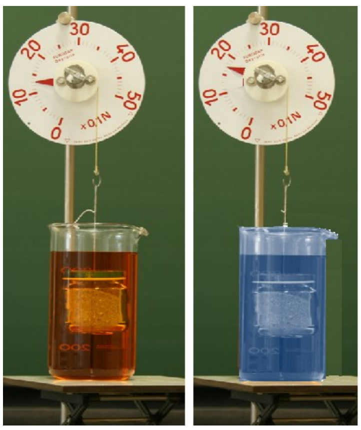
Le poids apparent de la masse marquée est **2,6N**

Donc la poussé d'Archimède exercée sur la masse marquée est **P_A = 0,4N** ce qui est différent que 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 :

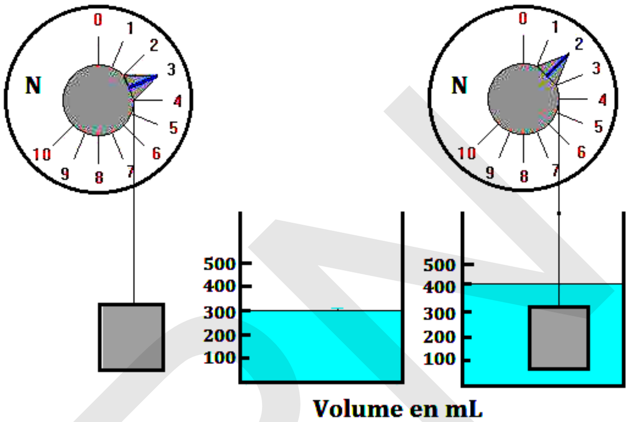
La nature du liquide a une influence sur l'intensité de la poussée d'Archimède exercée par ce liquide sur le corps

Expérience 7

1- Matériel

-Un dynamomètre
-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 poussé 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 $P_A = \rho_\ell.V_d.g$. Avec :

ρ_ℓ : la masse 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 :

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

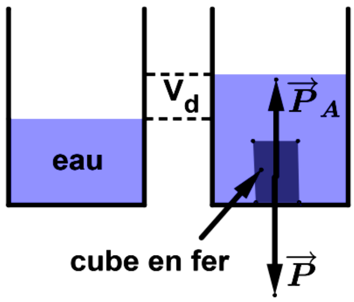
VI- FLOTTE OU COULE ?

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

1- Le corps précipite (coule)

Dans ce cas :

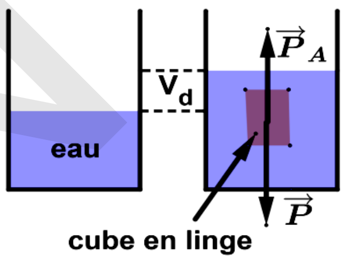
- Le corps est totalement immergé alors ; $V_i = V_t$
  V_t : le volume total du corps.
- Le corps a un poids apparent non nul ; $p_a > 0$.
  Donc $p > p_A$; $\Rightarrow mg > \rho_\ell.V_t.g \Rightarrow \rho_c.V_t.g > \rho_\ell.V_t.g$.
  Donc $\rho_c > \rho_\ell$



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

Dans ce cas :

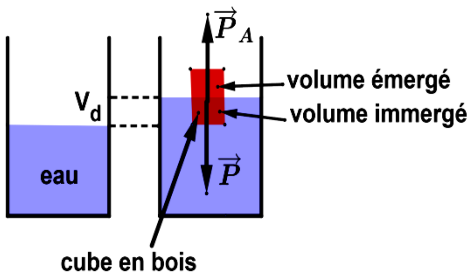
- Le corps est totalement immergé alors ; $V_i = V_t$
- Le poids apparent du corps est nul ; $p_a = 0$
  Donc $p = p_A$; $\Rightarrow mg = \rho_\ell.V_t.g \Rightarrow \rho_c.V_t.g = \rho_\ell.V_t.g$.
  Alors $\rho_c = \rho_\ell$



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 ; $p_a = 0$
  Donc $p = p_A$. Ce qui donne :
  $mg = \rho_\ell.V_i.g \Rightarrow \rho_c.V_t.g = \rho_\ell.V_i.g$



Donc $\frac{\rho_c}{\rho_\ell} = \frac{V_i}{V_t}$. Or $\frac{V_i}{V_t} < 1 \Rightarrow \frac{\rho_c}{\rho_\ell} < 1 \Rightarrow \rho_c < \rho_\ell$

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/ m^3 a un volume émergé de 600 m^3. L'eau salée de l'océan a une masse volumique de 1024 Kg/m^3 .

1- Quel est le volume total de l'iceberg

2- Quelle est sa masse

Solution :

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

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

ρ_e **: Masse volumique de l'eau salée**

ρ_i **: Masse volumique de l'iceberg**

v_i **: Volume immergé**

v_e **: Volume émergé**

v_t **: Volume Total**

$\mathbf{2 - La\ masse\ de\ l'iceberge :} \boxed{m_i = \rho_i v_t}$ $\quad \mathbf{A.N : m = 910 \times 5389,5}$ $\quad \boxed{\mathbf{m = 4904,4.10^3 Kg}}$

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. Calculer le rapport $\dfrac{V_1}{V}$

Solution :

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

$d_m(V - V_1) = d_b V \Rightarrow V(d_m - d_b) = V_1 d_m \Rightarrow \boxed{\dfrac{V_1}{V} = \dfrac{d_m - d_b}{d_m}}$ A.N : $\dfrac{v_1}{v} = \dfrac{13,7 - 7,25}{13,7} = 0,47.$

P_A : Poussée d'Archimède

P_b : Poids de la boule

ρ_m : Masse volumique du mercure

ρ_b : Masse volumique de la boule

d_m : Densité du mercure

d_b : Densité de la boule

v_i : Volume immergé de la boule

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 : $\mathbf{P_A = \rho_L.V_i.g = mg}$ et $\mathbf{P_A = P - P_a}$

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 :

*$\rho_c > \rho_\ell$ **:** le corps coule

*$\rho_c = \rho_\ell$ **:** le corps reste en équilibre au sein du liquide

*$\rho_c < \rho_\ell$ **:** 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 $1030 kg.m^{-3}$; calculer V

Exercice 3

On immerge, dans un liquide (masse volumique $\rho_\ell = 0,8 g/cm^3$), 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/Kg
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

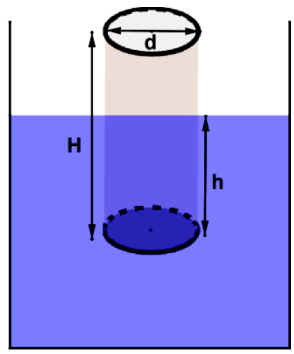
Un iceberg a un volume émergé V_e = 600m^3. Sa masse volumique est ρ_1 = 910kg.m^{-3} celle de l'eau de mer est ρ_2 = 1024kg.m^{-3} .

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

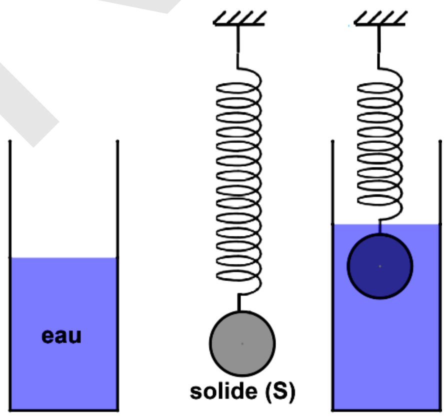


On plonge dans l'eau un cylindre de bois de diamètre d et de hauteur H.

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

4- Comparer 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 le plonge dans de l'eau, celui-ci indique 133 N. On attache le bloc de plomb au bloc de bois, ainsi ils sont tous les deux entièrement immergés.

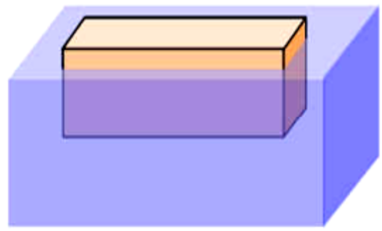
Le dynamomètre indique alors 97 N.

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.

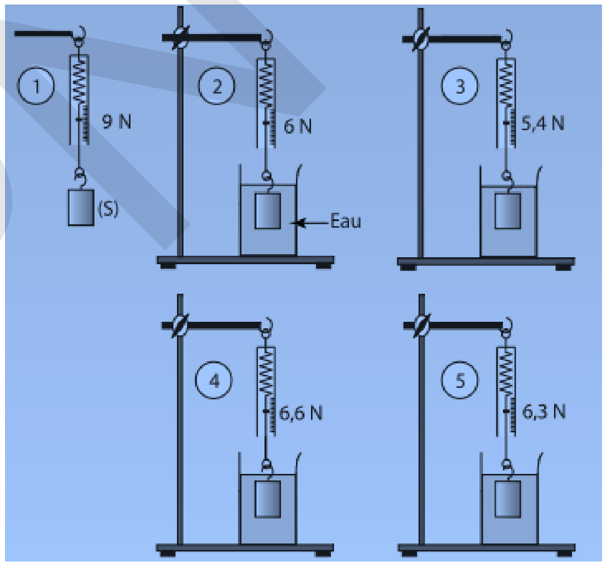
4) Calculer la masse du pavé.

5) a) Calculer le volume du pavé.

b) 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

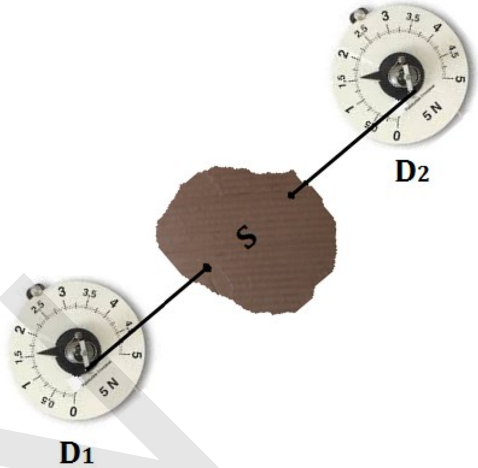
- ✓ Etablir expérimentalement la relation entre trois forces non parallèles auxquelles est soumis un solide en équilibre.
- ✓ Enoncer les conditions d'équilibre d'un solide soumis à trois forces.
- ✓ Résoudre un problème d'équilibre d'un solide soumis à trois forces.
- ✓ Reconnaître un solide mobile 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***
  - Un 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



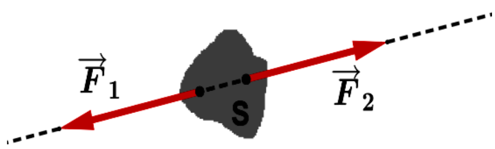
Remarque :
On choisit un solide **S** assez léger pour que son poids soit négligeable devant les forces exercées par les fils.

- ***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 deux forces

Lorsqu'un solide soumis à deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ est en équilibre, alors nécessairement :

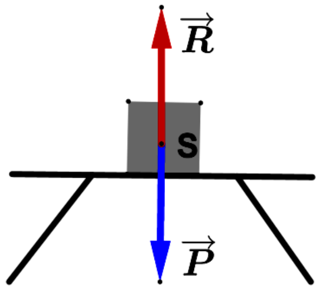
$$\begin{cases} \textbf{Les forces ont la même droite d'action} \\ \textbf{Les forces ont des sens oposés} \\ \textbf{Les forces ont la même intensité} \end{cases}$$



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

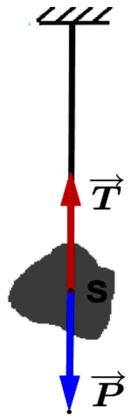


- ➢ Le poids $\vec{P}$
- ➢ La réaction $\vec{R}$ de la table

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 :

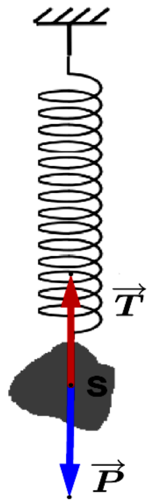


- ➢ Le poids $\vec{P}$
- ➢ La tension $\vec{T}$ du fil

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

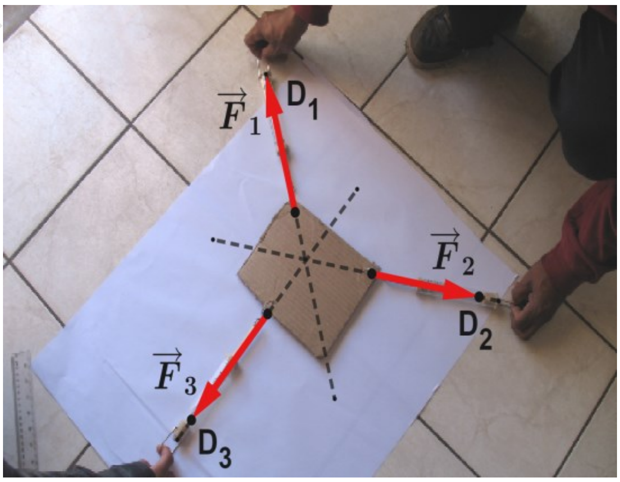
A l'équilibre : $\vec{T}+\vec{P}=\vec{0} \Rightarrow \vec{T}=-\vec{P}$

La tension $\vec{T}$ du ressort possède les caractéristiques suivantes :
* Direction : verticale
* Sens : dirigé vers le haut
* Intensité : **T = P**

1 - Expérience

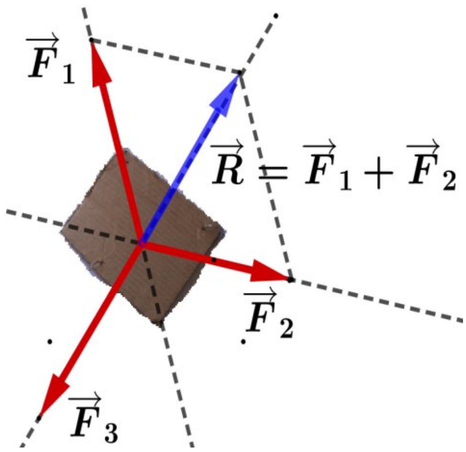
- ***Matériels***
  - Un solide **(S)** assez léger (Plaque de carton)
  - Trois dynamomètres **D_1, D_2 et D_3**
  - Une règle
  - Une feuille blanche
  - Un crayon
  - Un rapporteur
- **Manipulation**
  - On accroche le solide **(S)** aux trois dynamomètres
  - On écarte les dynamomètres, ils indiquent : $\begin{cases} D_1 \rightarrow F_1 = 2{,}51N \\ D_2 \rightarrow F_2 = 2N \\ D_3 \rightarrow F_3 = 2{,}41N \end{cases}$
  - 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 $\vec{F}_3$ respectivement par les dynamomètres **D_1, D_2 et D_3** sont concourantes (passe 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 $\mathbf{1cm \rightarrow 1N}$.



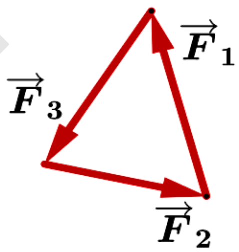
En appliquant la règle du parallélogramme, on représente la résultante $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$.

En utilisant cette 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.

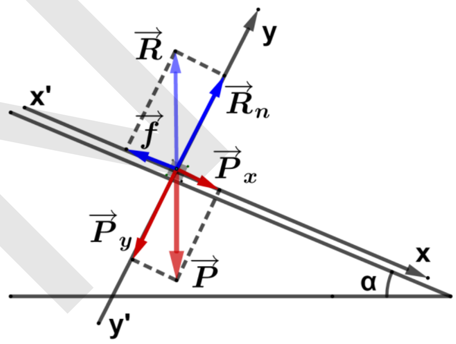
La condition d'équilibre énoncée est nécessaire mais pas suffisante. En effet pour que le solide reste en équilibre il faut qu'il soit placé sans vitesse dans une position tel que les trois forces qui lui sont appliquées soient concourantes et que leur somme vectorielle soit nulle.

4- Applications

3-1- 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 de frottement 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

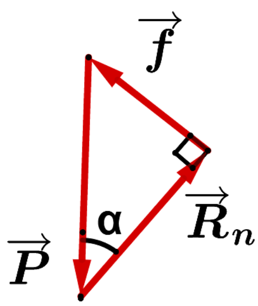
$$\vec{P}\begin{cases}P_x=P.\sin\alpha\\P_y=-P.\cos\alpha\end{cases} ;\ \vec{R}_n\begin{cases}R_x=0\\R_n=R_n\end{cases} ;\ \vec{f}\begin{cases}f_x=-f\\f_y=0\end{cases}.$$

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

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 :

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



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 :

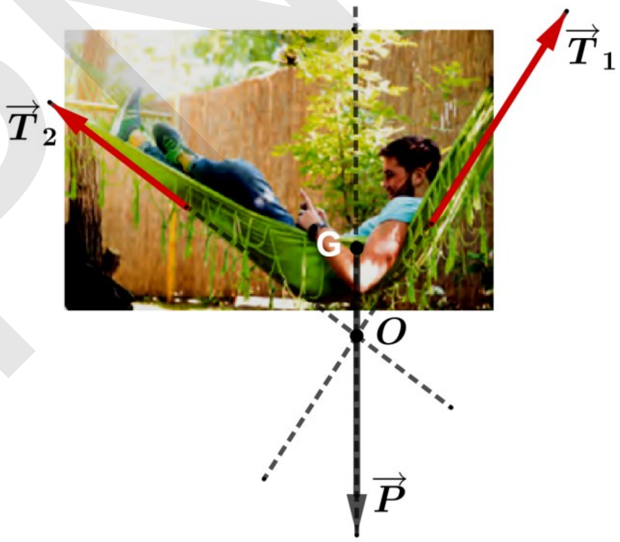
* Direction : verticale
* Sens : dirigé vers le haut
* Intensité : $R = \sqrt{R_n^2 + f^2} = P$.

3-2- 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 :

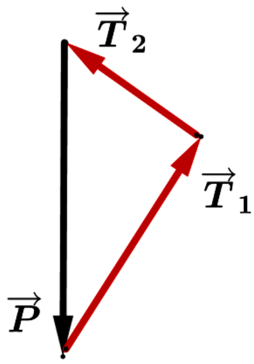
Les forces qui s'exercent sur la personne sont :

- son poids $\vec{P}$
- La tension du fil F_1 attachant l'extrémité de l'hamac ; $\vec{T}_1$
- La tension du fil F_2 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 a le polygone des forces.

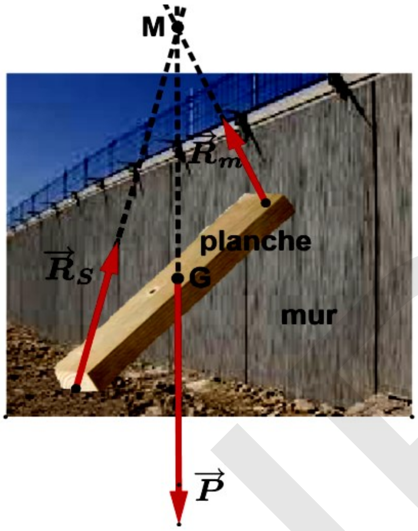


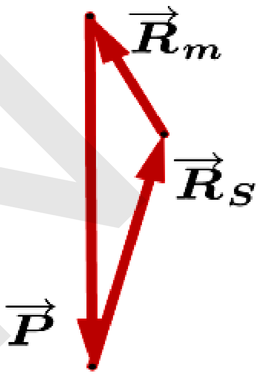
3-3- Equilibre d'une planche s'appuyant contre un mur

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





III- EQUILIBRE D'UN SOLIDE MOBILE AUTOUR D'UN AXE FIXE

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

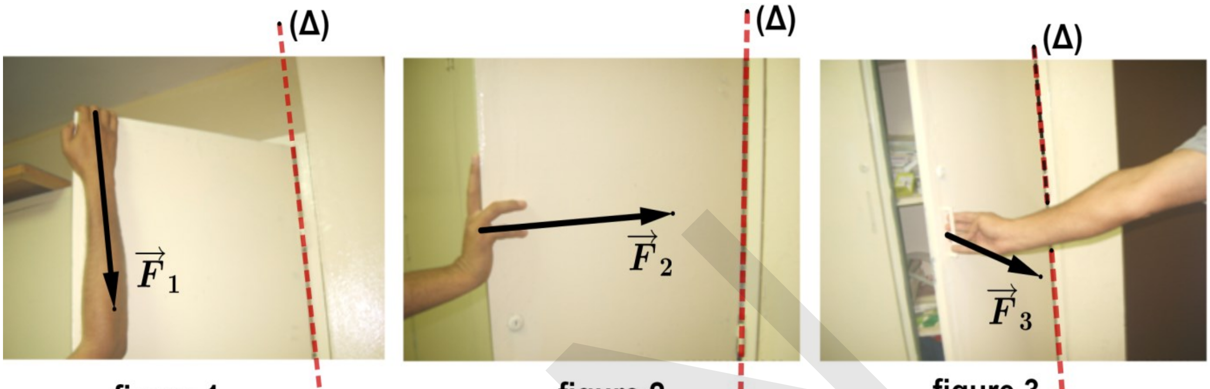


figure 1 figure 2 figure 3

- 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 à 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.

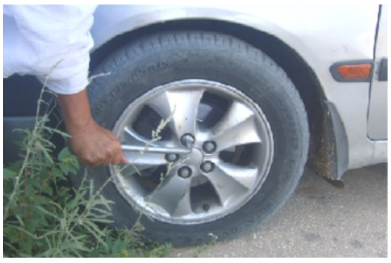


figure 1


figure 2

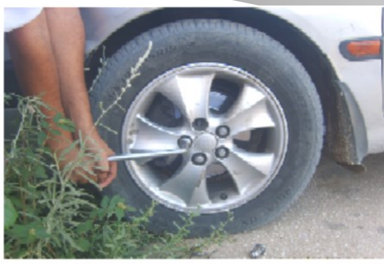


figure3


figure 4

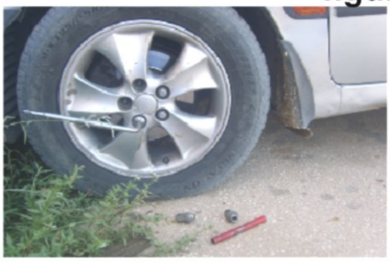


figure 5

- 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**

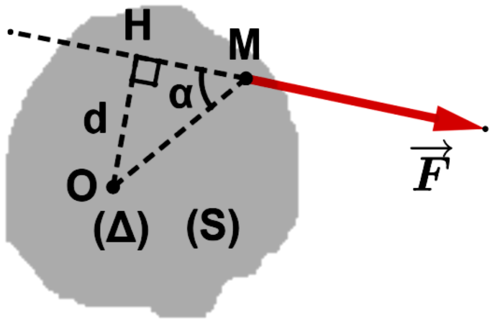
Dans la figure ci-après :

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

O : le point où passe l'axe de rotation

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 $\vec{F}$

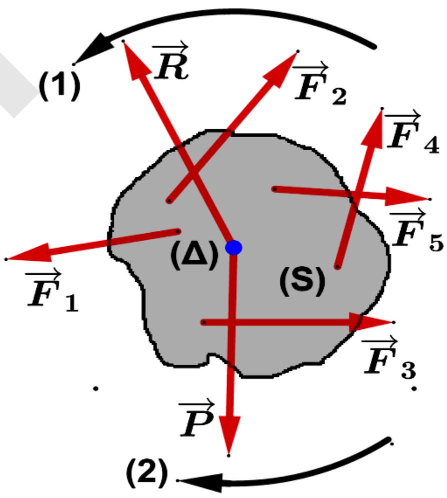
Le moment de la force $\vec{F}$ par rapport à (Δ) est : $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = F \times d = F \times OH = F \times OM \times \sin(\alpha)$.

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** π **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 d'effet sur la rotation de **(S)** (croise l'axe de rotation)
- $\vec{R}$ n'a pas d'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 :

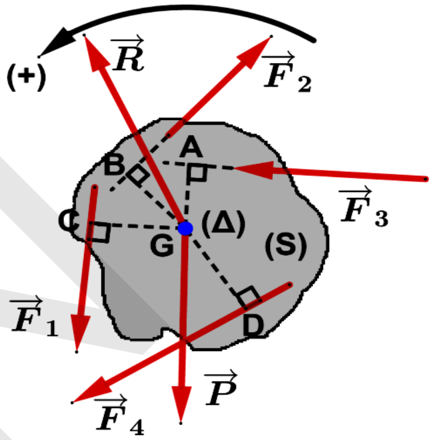
- il est positif si elle tend à faire tourner le solide dans un sens positif arbitrairement choisi
- il est négatif dans le cas contraire.

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. $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$.

Dans l'exemple ci-contre :

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



Le théorème des moments donne :

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

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

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 à 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** :

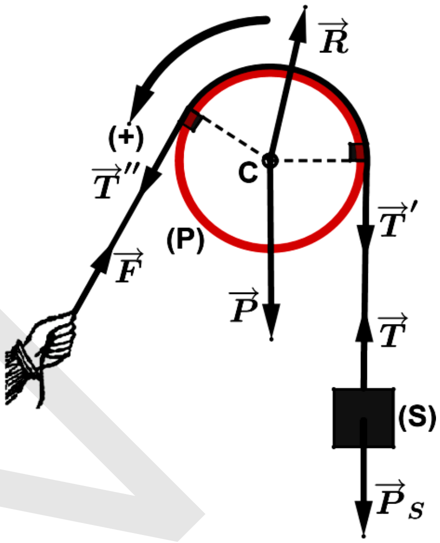
Les forces qui s'exercent sur la charge sont :

$\vec{P}_S$: son 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** $T = P_S$**...(1)**



- ➢ Equilibre de la poulie :

Les forces qui s'exercent sur la poulie sont :

$\vec{P}$: son poids

$\vec{T}'$ et $\vec{T}''$: tension 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 $F = P_S$

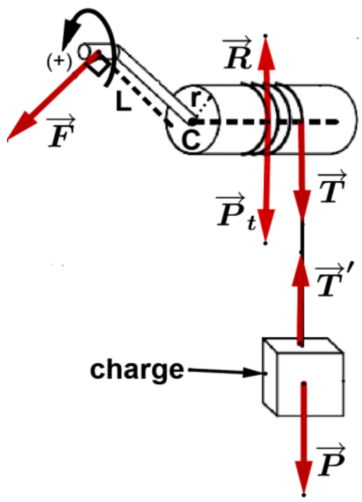
4-2- Equilibre d'un treuil

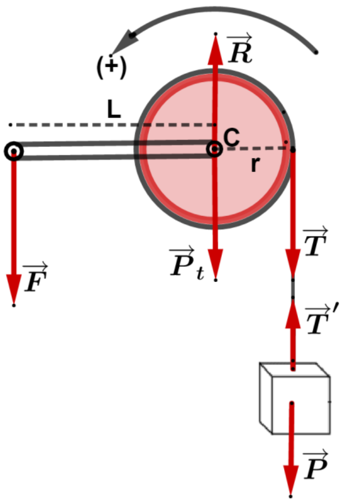
Le treuil est une machine simple utilisée pour faciliter le soulèvement ou la traction des charges comme l'extraction de l'eau d'un puits, le levage des charges dans les chantiers de construction… Il est constitué d'un tambour (cylindre) sur lequel s'enroule un câble fixé à une extrémité au cylindre et à l'autre extrémité, Il a la charge de soulever ou de 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 une 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 : $\sum \vec{F}_{ex} = \vec{0} \Rightarrow \vec{P} + \vec{T}' = \vec{0} \Rightarrow \vec{T}' = -\vec{P}$ **alors T' = P...(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 :

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

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 : $\mathbf{F.L - T.r = 0}$.

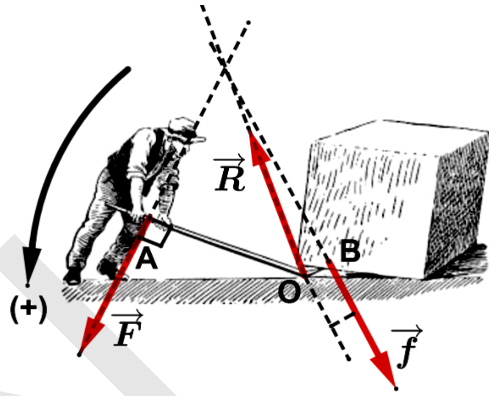
D'autre part le câble est inextensible alors $T' = T = P$, ce qui implique : $F = \frac{r.P}{L}$.

Plus la distance **L** est plus grande que le rayon **r**, plus 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,

$\vec{F}$ tend 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 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.

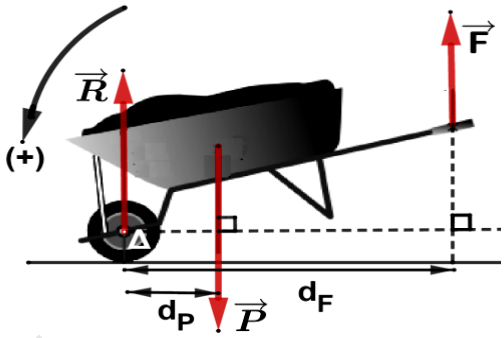
Pour déterminer la valeur de la force $\vec{F}$ à appliquer par le jardinier on étudie l'équilibre de la brouette.

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 :

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

Or $\mathcal{M}_{\vec{R}/O} = 0$ 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

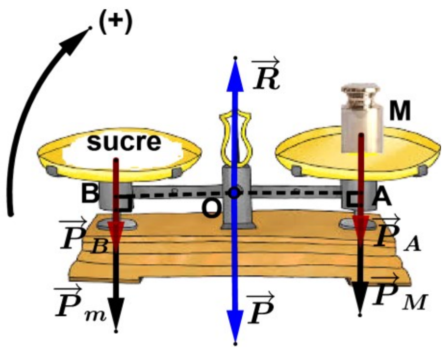
La balance est une machine simple permettant de comparer les masses de deux corps (assurer l'égalité entre une masse inconnue et une masse marquée).

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'un des plateaux et dans l'autre plateau on met du sucre qu'on ajuste sa quantité jusqu'à obtenir l'équilibre du fléau 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

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

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

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

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

En appliquant le théorème des moments au fléau on trouve :

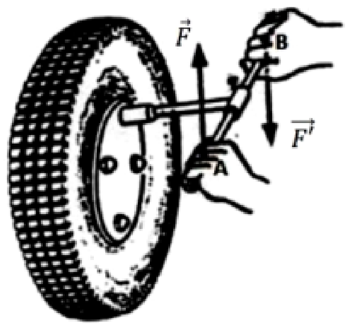
$$\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/O} = 0 \Rightarrow \mathcal{M}_{\vec{P}/O} + \mathcal{M}_{\vec{R}/O} + \mathcal{M}_{\vec{P}_M/O} + \mathcal{M}_{\vec{P}_m/O} + \mathcal{M}_{\vec{P}_A/O} + \mathcal{M}_{\vec{P}_B/O} = 0$$

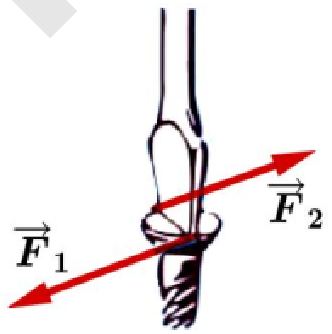
Or $\mathcal{M}_{\vec{R}/O} = \mathcal{M}_{\vec{P}/O} = 0$ car les deux forces rencontrent l'axe de rotation, tenant compte du sens de rotation choisi, $\vec{P}_M$ et $\vec{P}_A$ qui tendent à tourner le fléau dans le sens positif tandis que $\vec{P}_m$ et $\vec{P}_B$ tendent à le tourner dans le sens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

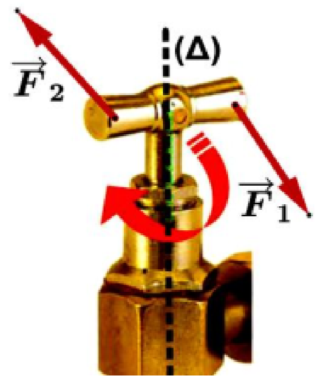
$P_M.AO + P_1.AO - P_m.OB - P_2.OB = 0$. Comme $P_1 = P_2$ et $AO = OB$ alors $P_M = P_m \Rightarrow m = M$.

5- Couple de forces

3-1- Définition





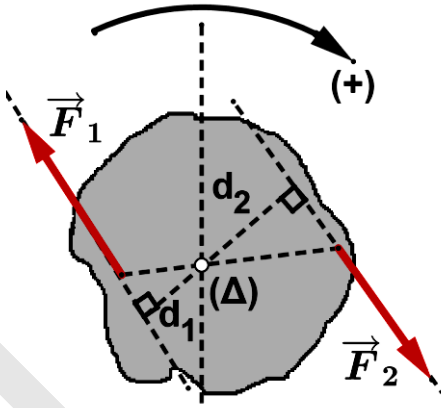


Certains solides et outils que l'on utilise dans notre vie quotidienne sont conçus pour être mis en rotation par l'utilisateur ou pour aider à mettre en rotation d'autres solides : clé croix, tournevis, robinet, guidon du vélo, roue de gouvernail du voilier…..

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

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

3-2- 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 $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ tendent à faire tourner le solide dans le même sens.

On calcule le moment résultant des forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ 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 $\mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} = F_1 . d_1$ et $\mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = F_2 . d_2$
- Le moment résultant $\mathcal{M}_{\mathcal{C}/\Delta} = F_1 . d_1 + F_2 . d_2$.

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

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

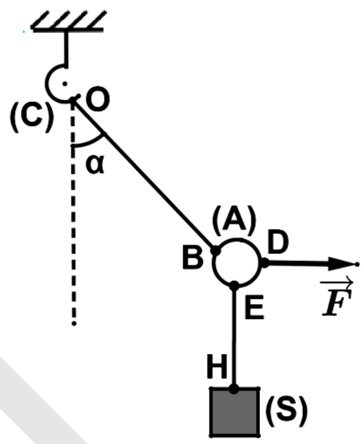
Si on inverse le choix du sens positif, on obtiendrait : $\mathcal{M}_{\mathcal{C}/\Delta} = - F. D$.

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. $\mathcal{M}_{\mathcal{C}/\Delta} = \mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = F.D$

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 $\vec{F}$

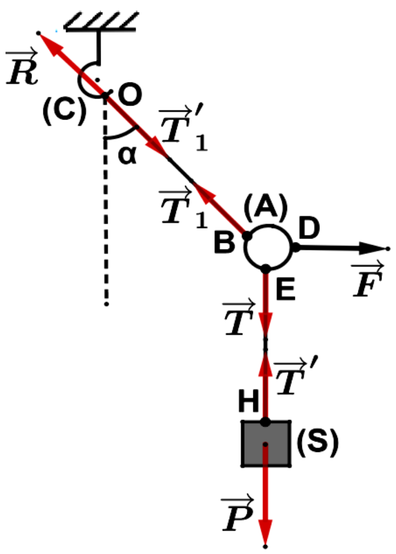
3- L'intensité de la réaction $\vec{R}$ du crochet.

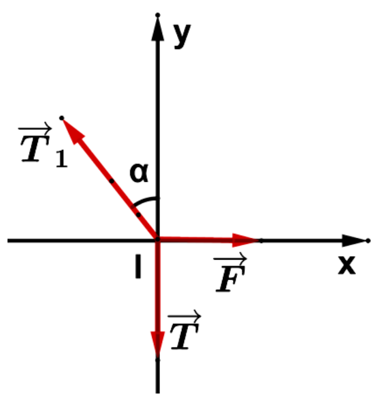
Données numériques : $\alpha = 45°$, m = 850g, g = 10N/Kg.

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 contre (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 $\vec{T}'$ (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 : $F = 8,5N$

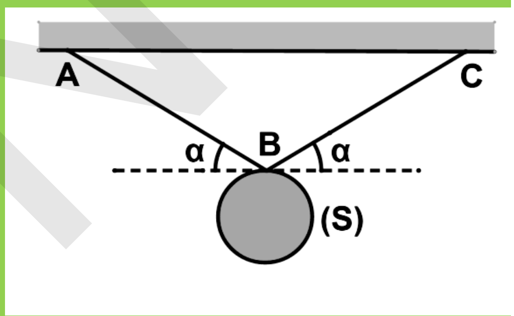
3- Le point (O) subit les forces : $\vec{T}'_1$ (tension du fil (OB) et $\vec{R}$ (réaction du crochet)

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 suivant 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.

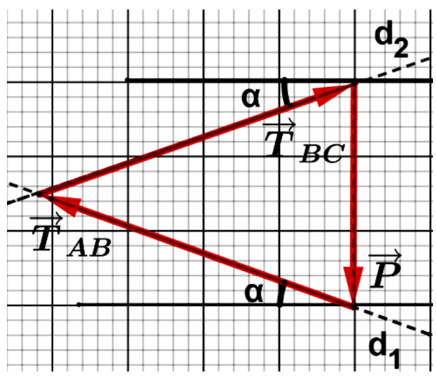


Solution

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 $\rightarrow$ 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

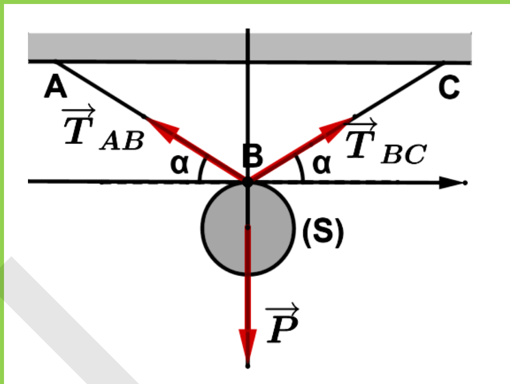


fermé donc l'extrémité de $\vec{T}_{BC}$ coïncide avec l'origine de $\vec{P}$. On trace alors une droite d_2 représentant la direction de $\vec{T}_{BC}$ passant par l'origine de $\vec{P}$ et inclinée de 20° sur l'horizontale.

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 : $\vec{P}+\vec{T}_{AB}+\vec{T}_{BC}=\vec{0}$

- 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) :

$$T_{AB}.\sin\alpha + T_{BC}.\sin\alpha - P = 0 \Rightarrow T_{AB} = T_{BC} = \frac{P}{2.\sin\alpha}$$

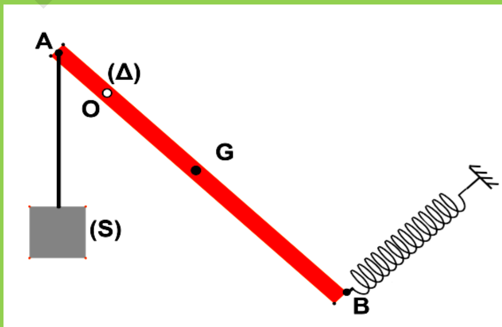
<u>A.N</u> : $T_1 = T_2 = 1096,4N$

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 par ressort Accroché au point B. Un fil inextensible supportant un solide (S) de masse m_1 = 1Kg est attaché au point A.



On néglige les frottements sur l'axe. Calculer T du ressort sachant que la direction de celui-ci est perpendiculaire à la barre et que cette dernière est inclinée d'un angle $\alpha = 60°$ par rapport à l'horizontale.

Solution :

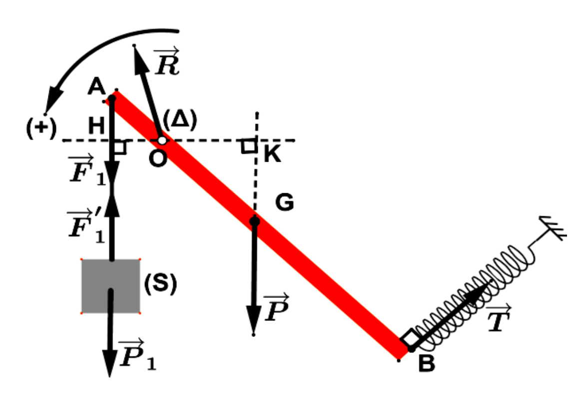
Les forces qui agissent sur la barre sont :

$\vec{P}$: son poids

$\vec{R}$: la réactin de l'axe de rotation (Δ)

$\vec{F}_1$: la tension du fil

$\vec{T}$: la 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 a :

$\mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = -mg.OK = -mg.OG\cos\alpha$

$\mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} = 0$ **(croise l'axe de rotation)**

$\mathcal{M}_{\vec{F}_{1/\Delta}} = F_1.OH = m_1 g.OA\cos\alpha$

$\mathcal{M}_{\vec{T}/\Delta} = T.OB$

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

Or $OG = AG - AO = 0{,}2m \Rightarrow T = \frac{10.0{,}5(4.0{,}2-1.0{,}1)}{0{,}5} \Rightarrow \boxed{T = 7N}$

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 opposés

➢ $\vec{F_1}$ **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** $\vec{F_3}$ son 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 du deux autres

➢ Si on représente les vecteurs forces en débutant chaque vecteur à 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 un axe (Δ) est sa capacité à faire tourner le solide auquel elle est exercée autour de cet axe.

➢ $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = \mathbf{F \times d}$ tel que d est la distance entre l'axe (Δ) est 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

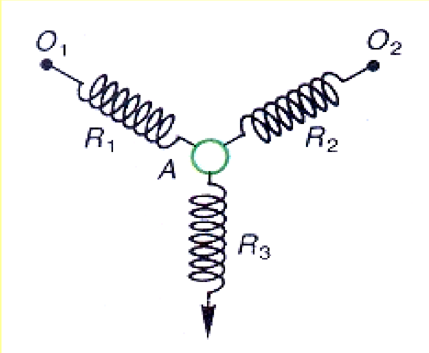
➢ de même intensités $F_1 = F_2 = F$.

- Le moment d'un couple de force $\mathcal{C}(\vec{F_1} ; \vec{F_2})$ autour d'un axe (Δ) est $\mathcal{M}_{\mathcal{C}/\Delta} = \mathbf{F.D}$ 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 qui s'allonge de 1cm pour 1N ; R_3 a une longueur de 15cm qui 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 à ce 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.

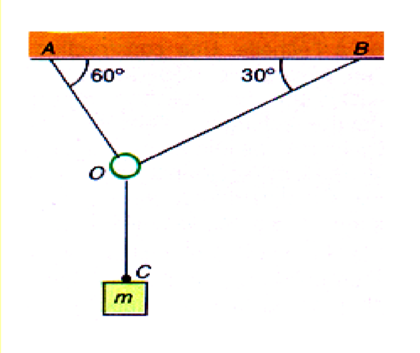
2- Quelles sont leurs tensions.

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.

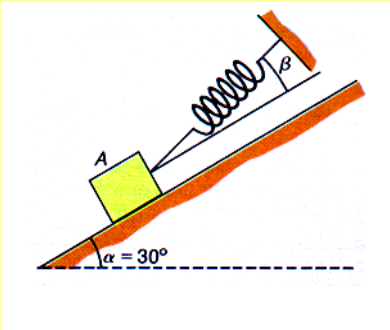


1- Déterminer graphiquement les tensions des fils.

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.



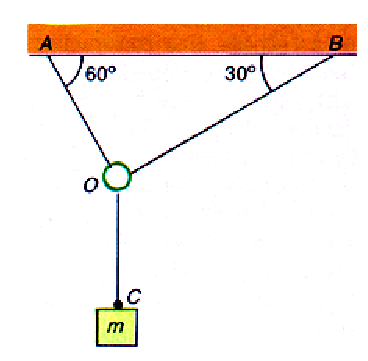
1- Faire le bilan des forces qui s'exercent sur le corps A.

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 $\boldsymbol{\beta = 0}$ **;** $\boldsymbol{\beta = 30°}$ **et** $\boldsymbol{\beta = 60°}$

4- 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.

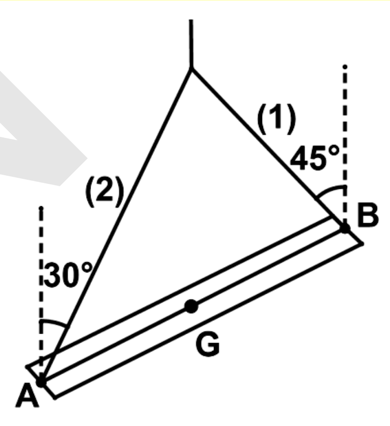
3- En déduire :

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.

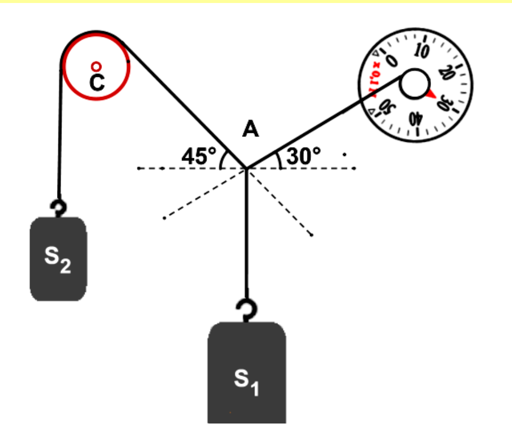
On désigne par $\vec{T}_1$ **et** $\vec{T}_2$ les forces exercées respectivement par les élingues 1 et 2. La droite d'action de $\vec{T}_1$ fait un angle de 45° avec la verticale. La droite d'action de $\vec{T}_2$ fait un angle de 30° avec la verticale.

1- Quelle est la relation qui lie $\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$ **et** $\vec{P}$ pour que la poutre soit en équilibre.

2- Calculer les intensités de $\vec{T}_1$ **et** $\vec{T}_2$ dans cette condition.

3- Calculer les longueurs l_1 *et* l_2 des élingues sachant que la poutre lait un angle 30° avec l'horizontal de longueur AB = 10m.

Exercice 6



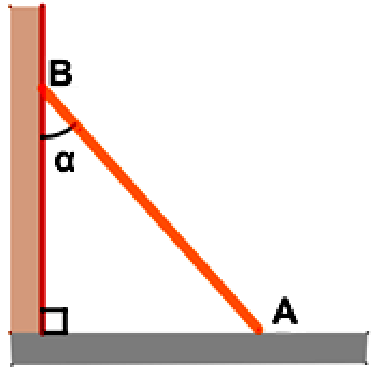
On considère deux corps S_1 et S_2 de masses respectivement m_1 et m_2 montés comme suit: Les fils utilisés sont inextensibles, de masses négligeables et la poulie C est de masse négligeable.

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.

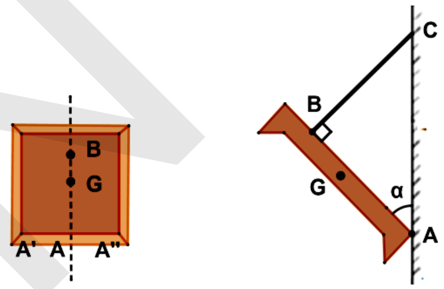
1- Montrer qu'à l'équilibre la force de contact en A ne peut être normale au sol.

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

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

4- Décrire ce qui se passe-sur 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.

Avec les 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 $\alpha = \mathbf{BAC} = 20°$.

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

2- En 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

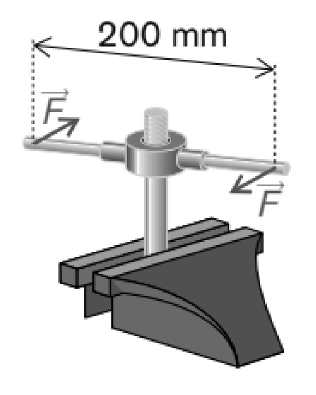
- la distance entre la droite d'action de la force et l'axe de rotation est très grande
- l'intensité de la force est trop importante

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 :

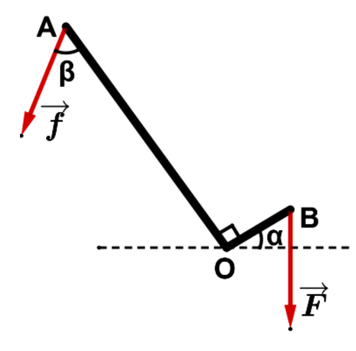


- **$\mathcal{M}$ (C) = 10 N.m**
- **$\mathcal{M}$ (C) = 10 000 N.m**
- **$\mathcal{M}$ (C) = 250 N.m**
- **$\mathcal{M}$ (C) = 0,25 N.m**

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 par le point 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.



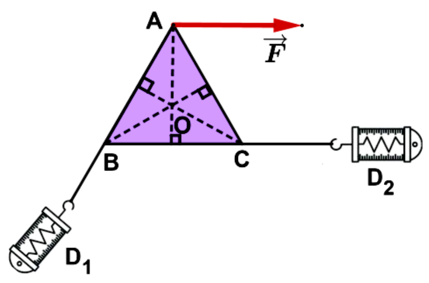
1- En appliquant le théorème des moments :

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 sur lesquels il doit agir pour aboutir à ce résultat.

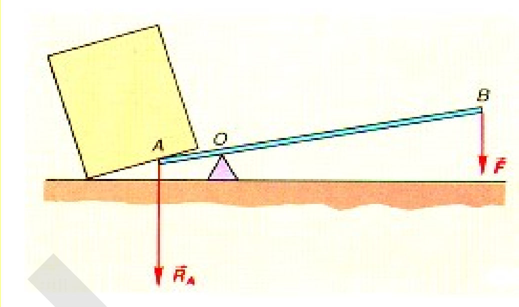
Exercice 11



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 pierre de grosse 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.

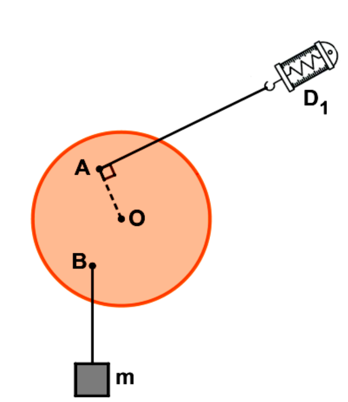


1- On se place dans le cas particulier où l'action de la pierre $\vec{R}_A$ sur la barre et celle du carrier $\vec{F}$ sont parallèles. Montrer qu'à l'équilibre, la réaction du point d'appui O sur la barre est parallèle à $\vec{R}_A$ **et** $\vec{F}$.

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.

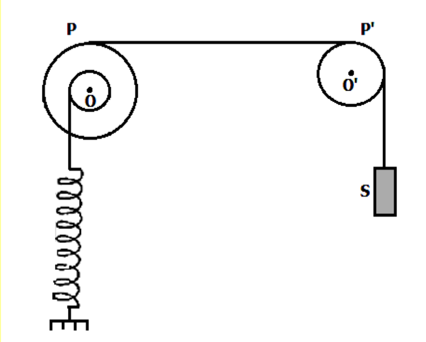
Exercice 13

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 su r la gorge d'une poulie à axe fixe et dont l'autre extrémité est reliée à une poulie de masse négligeable 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).

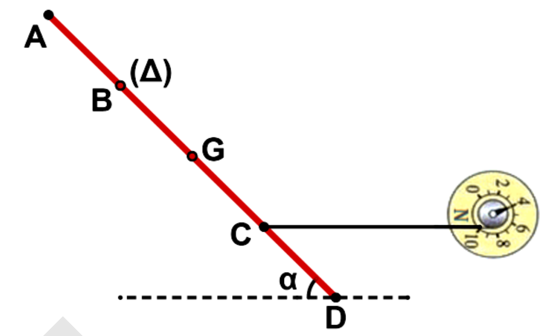
4- Déterminer les valeurs des tensions

des fils 1 et 2 exercées sur (P).

5- Le ressort s'allonge à l'équilibre de $\Delta L = 4cm$. 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.

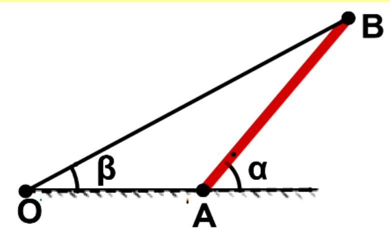
3-2- Retrouver à partir de cette condition d'équilibre la valeur indiquée par le dynamomètre.

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.

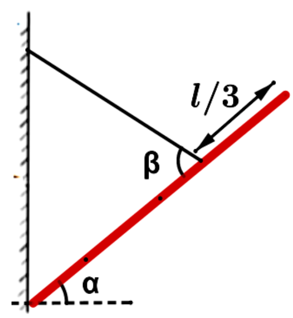
2- Calculer l'intensité de la tension T du câble.

3- Calculer les intensités de la réaction normale et du 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 la poutre Une poutre de masse m = 15kg et de longueur ℓ = 2 m en équilibre (voir figure ci-contre).



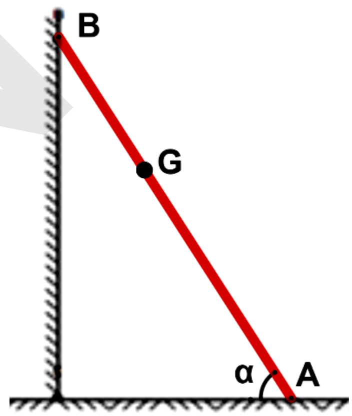
1- Faire le bilan des forces qui s'exercent sur la poutre.

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

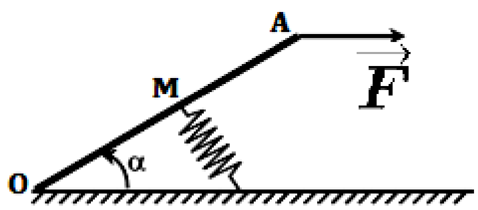
2-3- Calculer l'intensité de la réaction du sol et en déduire la force de frottement et la réaction normale du sol

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'horizontal à l'équilibre (α = 30°)



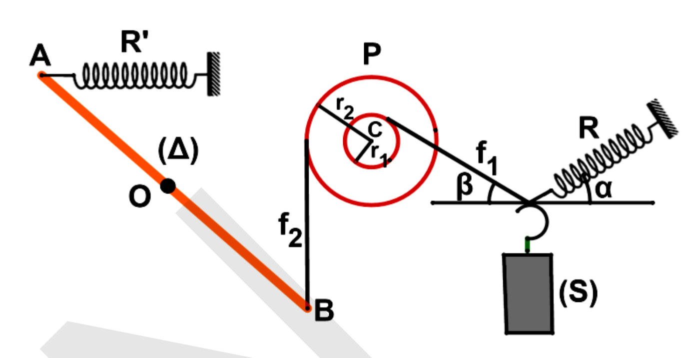
1- Déterminer la force exercée par le ressort sur la pédale. L'intensité de cette force dépend-t elle de la longueur ℓ de la pédale ? Justifier votre réponse. On prendra F = 30N.

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 = 30cm sur la deuxième gorge de P est enroulé un deuxième fil f_2 dont l'extrémité inférieur est attachée au point B à une barre homogène de longueur AB = 2m qui peut tourner autour 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 lorsque 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.

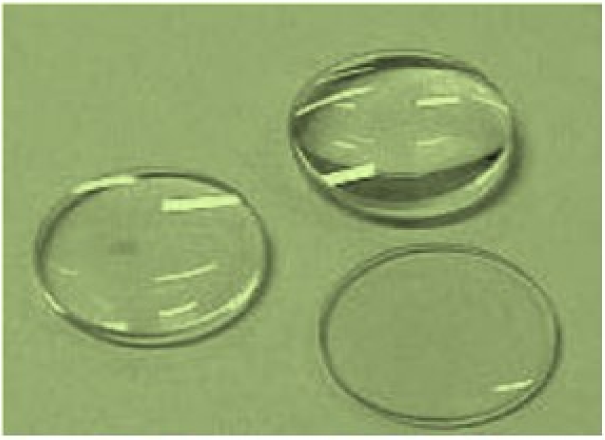
2-1- Etablir la condition d'équilibre de la poulie P.

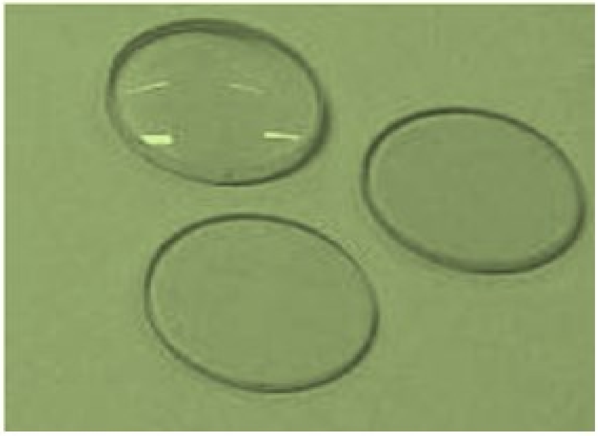
2-2- Calculer la tension du fil f_2.

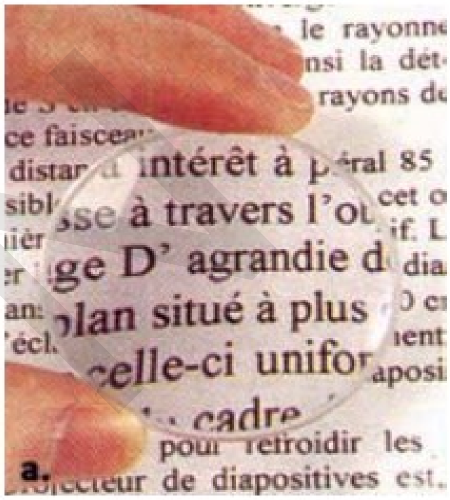
3-1- Etablir la condition d'équilibre de la barre.

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

CHAPITRE IV : LENTILLES MINCES





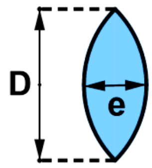


Objectifs

- ✓ Classer les lentilles en lentilles convergentes et lentilles divergentes.
- ✓ Déterminer graphiquement la position de l'image d'un objet, donnée par une lentille.
- ✓ Appliquer la relation de conjugaison des lentilles minces.

I- GENERALITES SUR LES LENTILLES

1-Définition



Une lentille est un milieu transparent en verre ou en plastique limité par deux dioptres sphériques ou par un dioptre sphérique et un dioptre plan. Lorsque l'épaisseur e de la lentille en son centre est petite par rapport à son diamètre **D**, elle est dite lentille mince.

Plusieurs instruments optiques : loupe, lunette astronomique, objectif photographique, microscope;… s'obtiennent par l'association plus ou moins complexe de lentilles. Les verres correcteurs des lunettes portées par de nombreuses personnes sont aussi des lentilles.

Ces lentilles permettent d'obtenir des images d'objets éloignés, proches, petits ou grands.

2- Les types des lentilles minces

Il existe deux sortes de lentilles minces :

- Lentilles convergentes : ce sont des lentilles dont le centre est plus épais que les bords

Lentilles convergentes

biconvexe | **plan convexe** | **Ménisique convergent** | **symbole**

- lentilles divergentes : ce sont des lentilles dont les bords sont plus épais que le centre

Lentilles divergentes

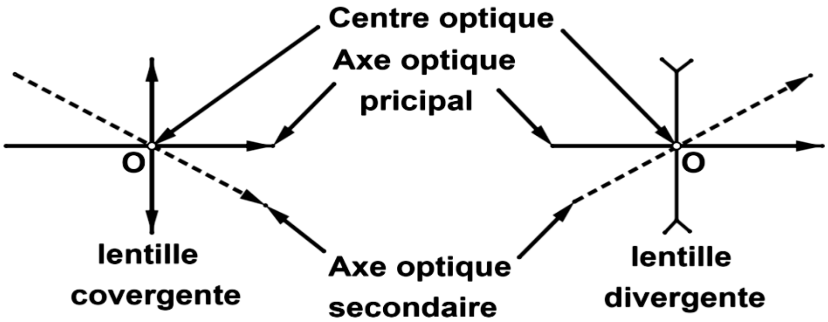
biconcave | **plan concave** | **ménisique divergent** | **symbole**

3- Propriétés des lentilles

3-1- Centre optique et axes optiques d'une lentille

- **Centre optique :** Toute lentille possède un centre optique O.
  Tout rayon passant par le centre O de la lentille n'est pas dévié.

- **L'axe optique**
  - L'axe optique principal : C'est l'axe joignant les centres de courbures des faces de la lentille.
    Par convention l'origine de l'axe optique est le centre optique de la lentille et l'axe est dirigé de la gauche vers la droite
  - L'axe optique secondaire : C'est toute autre droite passant par le centre optique de la lentille

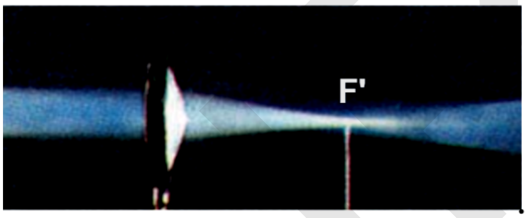


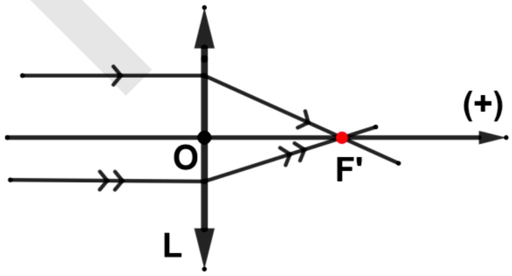
3-2- Foyers et plans focaux d'une lentille

- **Foyer image et plan focal image**

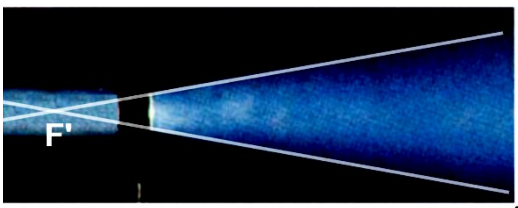
Expérience

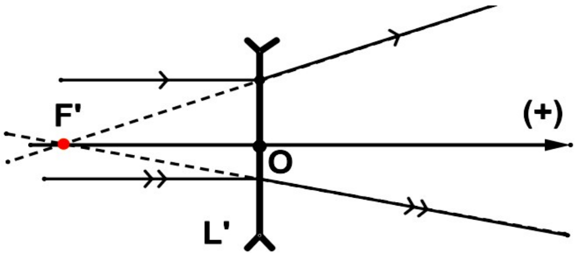
- On éclaire une lentille **(**L**)** convergente avec un faisceau lumineux parallèle à son axe optique principal. Le faisceau lumineux émergent converge vers un point **F'**, située sur l'axe optique principal de la lentille. **F'** est appelé foyer principal image.





- On éclaire une lentille **(**L'**)** divergente avec un faisceau lumineux parallèle à son axe optique principal. Le faisceau lumineux émergent semble provenir d'un point **F'** située sur l'axe optique principal de la lentille. **F'** est appelé foyer principal image





Le plan perpendiculaire à l'axe optique d'une lentille et passant par le foyer image principal **F'** est appelé plan focal image **(P')**. Chaque point de ce plan constitue un foyer image secondaire.
Les rayons incidents parallèlement à un axe optique secondaire d'une lentille convergente convergent vers un foyer image secondaire (figure 1).
Les rayons incidents parallèlement à un axe optique secondaire d'une lentille divergente émergent de la lentille en semblant provenir d'un foyer image secondaire (figure 2).

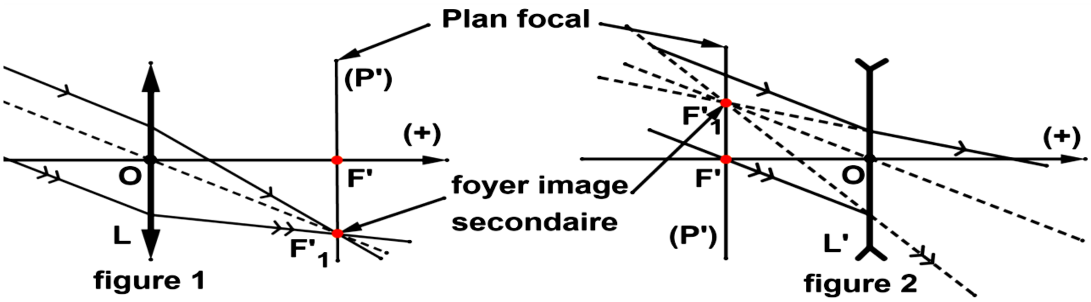


figure 1 figure 2

- Foyer objet et plan focal objet
  - On éclaire la lentille convergente **(L)** par une source ponctuelle placée en un point **F** de l'axe principal, symétrique de **F'** par rapport au centre optique de la lentille. Le faisceau émerge parallèlement à l'axe principal (figure 3). **F** est appelé foyer objet principal.
  - On éclaire la lentille divergente **(L')** par un faisceau de lumière dont les prolongements des rayons convergent en un point **F** de l'axe principal, symétrique de **F'** par rapport au centre optique de la lentille. Le faisceau émerge parallèlement à l'axe principal (figure 4). **F** est le foyer objet principal

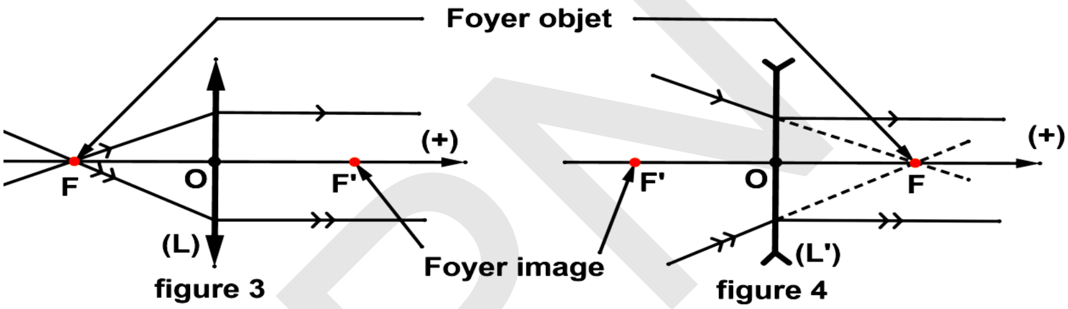


figure 3 figure 4

Le plan perpendiculaire à l'axe optique d'une lentille et passant par le foyer objet principal **F** est appelé plan focal objet **(P).** Chaque point de ce plan constitue un foyer objet secondaire. Les rayons incidents passant par un foyer objet secondaire d'une lentille convergente émergent parallèlement à l'axe optique secondaire passant par ce foyer secondaire (figure 5). Les prolongements des rayons incidents qui émergent parallèlement à un axe optique secondaire d'une lentille divergent convergent vers un foyer objet secondaire se trouvant sur l'axe secondaire (figure 6).

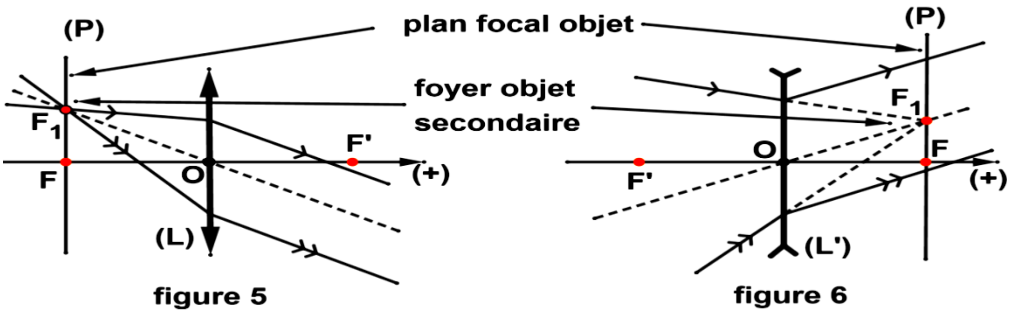


figure 5 figure 6

3 - 3 Distance focale et vergence d'une lentille

- **Distance focale :** On appelle distance focale f d'une lentille, la grandeur scalaire correspondant à la distance qui sépare le centre optique de la lentille et son foyer principal image **F'**. Alors $f' = \overline{OF'}$, elle s'exprime en mètre **(m)**
  La distance focale est positive pour les lentilles convergentes car **OF'** est comptée positive et elle est négative pour les lentilles divergentes car **OF'** est comptée négative.

- Vergence : La vergence **C** d'une lentille est définie par la relation : $C = \frac{1}{f'}$
  C s'exprime en *dioptries* de symbole (δ) .

Remarque : la vergence s'appelle aussi la convergence.

II- IMAGES ET OBJETS

1- Généralités

1-1- Qu'est-ce qu'un objet ?

On appelle objet ponctuel le point d'intersection des rayons incidents ou de leur prolongement.
Un objet est réel si tous les rayons qui lui parviennent sont réels (il n'est pas nécessaire de les prolonger jusqu'à l'objet).
Si un objet **A** est réel, le faisceau incident issu de celui-ci est divergent et de ce fait (un objet réel est situé à gauche de la lentille).
Un objet est virtuel si au moins un des rayons qui lui parviennent est virtuel (il est nécessaire de le prolonger jusqu'à l'objet).
Si un objet **A** est virtuel, le faisceau incident issu de celui-ci est convergent et de ce fait (un objet virtuel est situé à droite de la lentille).

1-2- Qu'est-ce qu'une image ?

On appelle image ponctuelle le point d'intersection des rayons émergents ou de leur prolongement.
Une image est réelle si tous les rayons qui lui parviennent sont réels (il n'est pas nécessaire de les prolonger jusqu'à l'image).
Si une image **A'** est réelle, le faisceau émergent converge vers l'image et de ce fait (une image réelle est située à droite de la lentille).
Une image est virtuelle si au moins un des rayons qui lui parviennent est virtuel (il est nécessaire de le prolonger jusqu'à l'image).

Si une image **A'** est virtuelle, le faisceau émergent diverge à partir de l'image et de ce fait une image virtuelle est située à gauche de la lentille

1-3- Qualité des images

Les lentilles présentent des défauts (aberrations géométriques, aberrations chromatiques). Pour obtenir des images de bonne qualité, on doit se placer dans les conditions de Gauss.

1-4- Conditions de Gauss

- Le faisceau doit traverser la lentille au voisinage du centre optique.
- Les rayons incidents doivent faire un angle faible avec l'axe optique de la lentille.

Pour réaliser ces conditions, il faut :

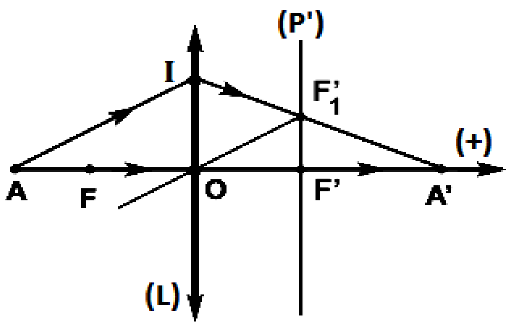
- ✓ Diaphragmer la lentille.
- ✓ Observer des objets de petite dimension au voisinage du centre optique.

2- Construction de l'image d'un objet ponctuel situé sur l'axe

Pour construire l'image **A'** d'un objet ponctuel **A** situant sur l'axe principal on construit le point de concours de deux rayons émergents provenant de cet objet ou de leurs prolongement

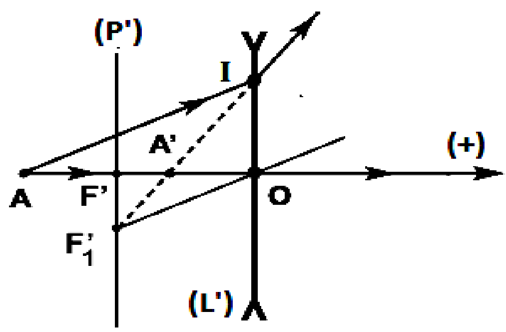
2-1- Objet réel

Un objet est réel s'il se trouve dans le demi-espace d'incidence de la lentille (à gauche de la lentille). C'est le point de concours des rayons incidents.



- Pour une lentille convergente (figure ci-contre)
  - ✓ le rayon incident **(AO),** ne subissant pas de déviation (passe par le contre optique)
  - ✓ Le rayon incident **(AI**), parallèle à l'axe secondaire **(OF'$_1$),** émerge de sorte que le rayon sortant passe par le foyer secondaire image **F'$_1$**.

A', point de concours des deux rayons émergents est un point image réelle de **A**



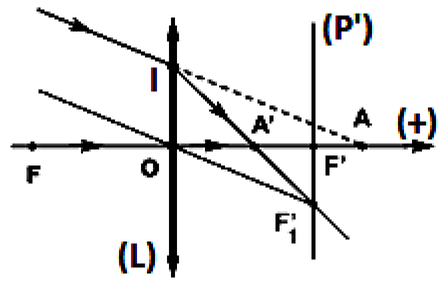
- Pour une lentille divergente (figure ci-contre)
  - ✓ le rayon incident **(AO),** ne subissant pas de déviation (passe par le contre optique)
  - ✓ Le rayon incident **(AI),** parallèle à l'axe secondaire **(OF'$_1$),** émerge de sorte que le rayon sortant passe par le foyer secondaire image **F'$_1$**.

A', point de concours des prolongements des rayons émergents est un point image virtuelle de **A**

2-2- Objet virtuel

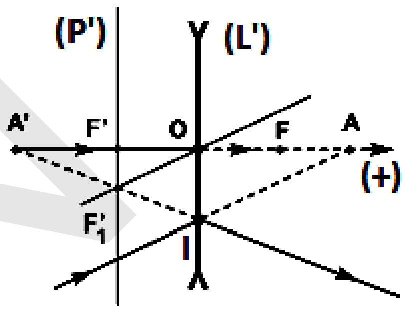
Un objet est virtuel s'il se trouve dans le demi-espace d'émergence de la lentille (à droite de la lentille). C'est le point de concours des prolongements des rayons incidents.

- Pour une lentille convergente (figure ci-contre)
  - ✓ L'objet virtuel **A** est au point de concours des prolongements de deux rayons incidents : le rayon incident porté par l'axe principal qui ne subit pas de déviation
  - ✓ le rayon incident en I parallèlement à l'axe secondaire **(OF'_1),** qui émerge selon la direction **(IF'_1)**.



Le point **A'**, point de concours des rayons émergents **(IF'_1)** et **(OF')** est un point image réelle de **A**

- Pour une lentille divergente (figure ci-contre)
  - ✓ L'objet virtuel **A** est au point de concours des prolongements de deux rayons incidents : le rayon incident porté par l'axe principal qui ne subit pas de déviation
  - ✓ le rayon incident en I parallèlement à l'axe secondaire **(OF'_1)**, qui émerge selon la direction **(IF'_1)**.



Le point **A'**, point de concours des rayons émergents **(IF'_1)** et **(OF')** est un point image virtuelle de **A**

3- Construction de l'image d'un objet étendu

Pour construire l'image **A'B'** d'un objet **AB** plan perpendiculaire à l'axe optique principal, on utilise le fait que son image est plane et lui est parallèle. En particulier, si **A** se trouve sur l'axe, il suffit de construire **B'**. **A'** est la projection orthogonale de **B'** sur l'axe optique principal.

- Pour une lentille convergente, on trace la marche de deux rayons issus de **B** parmi les trois rayons particuliers (rayon passant par le centre optique, rayon incident parallèlement à l'axe optique et rayon incident passant par le foyer principal objet)
- Pour une lentille divergente, on trace la marche du rayon incident parallèlement à l'axe principal et celui qui passe par le centre optique.

3-1- Objet réel

Un objet lumineux en forme de **F** est placé à une distance **d** d'une lentille **(L)** de distance focale ***f*** connue.

Pour certaines valeurs de la distance **d**, une lentille convergente donne de cet objet une image réelle, recueillie sur un écran placé convenablement dans le demi-espace d'émergence de la lentille.

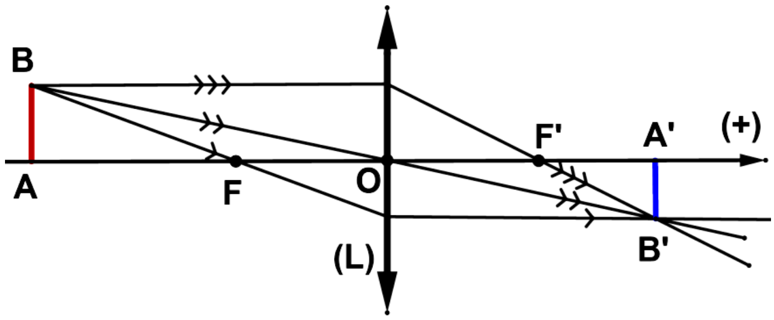
Une lentille divergente donne du même objet une image virtuelle qui se forme dans le demi-espace d'incidence de la lentille ; elle est observée par l'œil en regardant à travers la lentille.

❖ Construction de l'image donnée par une lentille convergente d'un objet réel étendu

Selon la distance entre l'objet et le centre optique de la lentille, on peut visualiser les cas suivants :

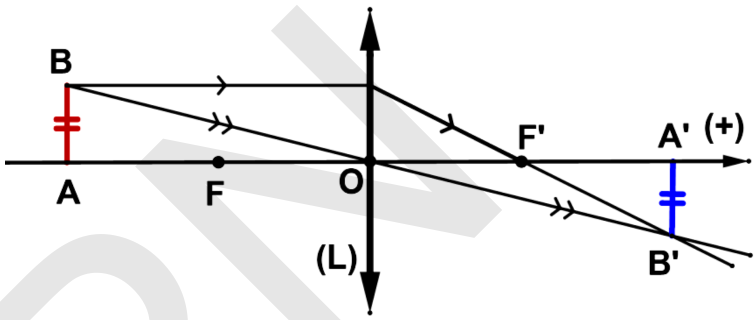
- Distance **d = OA > 2OF**

  L'image **A'B'** est :
  - réelle
  - renversée
  - de taille plus petite que la taille de l'objet **AB**
  - peut être observée sur un écran placé en **A'**



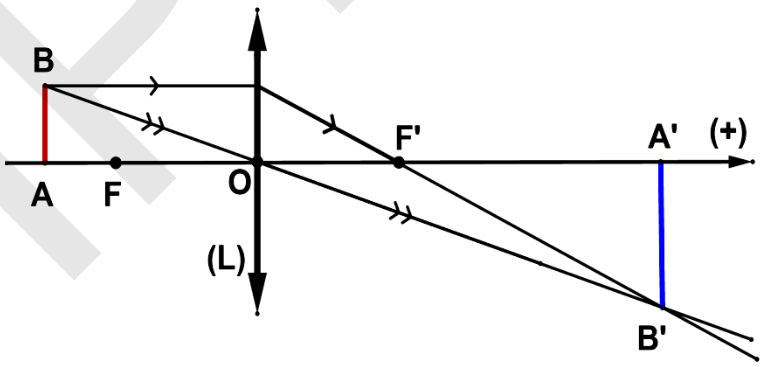
- Distance **d = OA = 2OF**

  L'image **A'B'** est :
  - réelle
  - renversée
  - de taille égale à la taille de l'objet **AB**
  - peut être observée sur un écran placé en **A'**



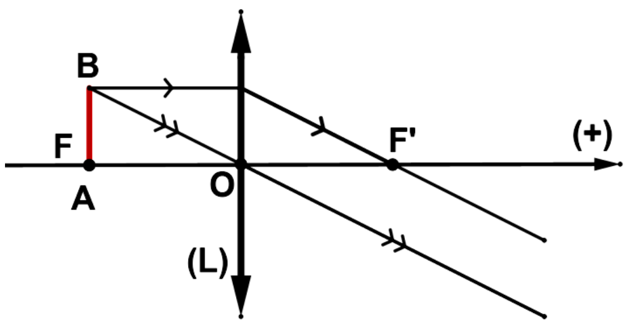
- Distance **d = OF < OA < 2OF**

  L'image **A'B'** est :
  - réelle
  - renversée
  - de taille plus grande que la taille de l'objet **AB**
  - peut être observée sur un écran placé en **A'**

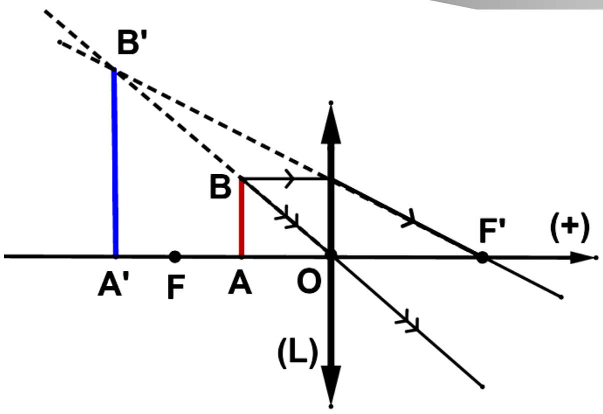


- Distance **d = OA = OF**

  L'image **A'B'** se forme à l'infini donc elle n'est pas observable

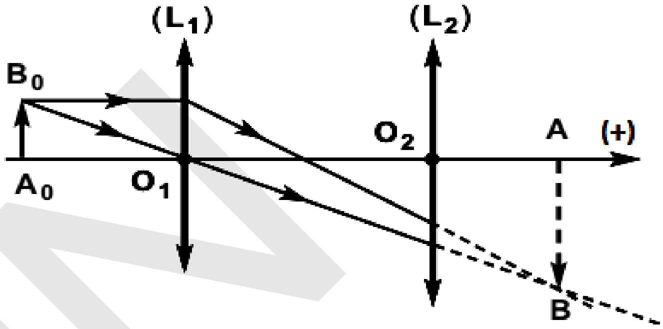


- Distance **d = OA < OF**
  L'image **A'B'** est :
  - virtuelle
  - droite
  - de taille plus grande que la taille de l'objet **AB**
  - ne peut pas être observée sur un écran mais elle peut être observée par l'œil en regardant à travers la lentille



❖ Construction de l'image donnée par une lentille divergente d'un objet réel étendu

Quelle que soit la distance **d = OA**, l'image **A'B'** est :
- virtuelle
- droite
- de taille plus petite que la taille de l'objet **AB**
- ne peut pas être observée sur un écran mais elle peut être observée par l'œil en regardant à travers la lentille

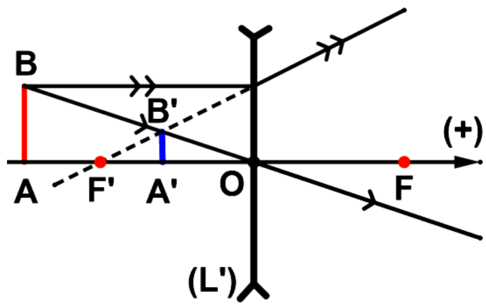


3-2- Objet virtuel

Comment obtenir un objet virtuel ?

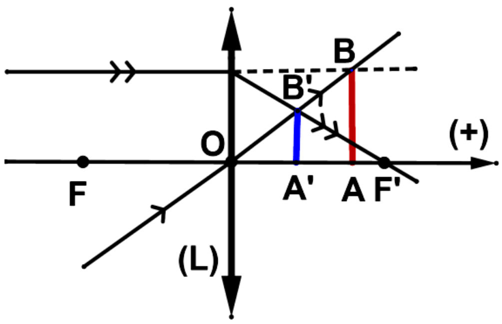
Une lentille **(L₁)** donne d'un objet réel **(A_0B_0)** une image réelle **(AB).**

(AB) est un objet virtuel pour une lentille **(L_2)** placée entre **(L_1)** et **(AB)**



❖ Construction de l'image donnée par une lentille convergente d'un objet virtuel étendu

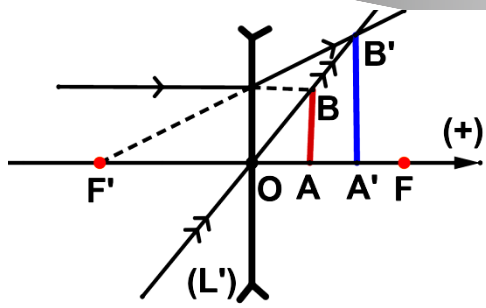
Quelle que soit la distance entre l'objet virtuel et la lentille convergente elle donne de cet objet une image réelle, droite et plus petite que l'objet. Figure ci-contre



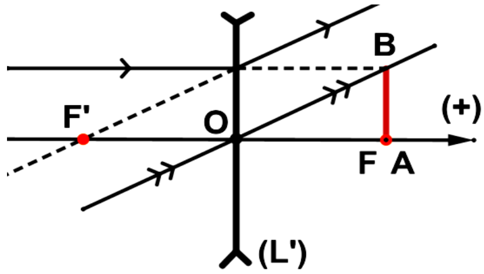
❖ Construction de l'image donnée par une lentille divergente d'un objet virtuel étendu

Selon la distance d'un objet virtuel et une lentille divergente on peut visualiser les cas suivants :

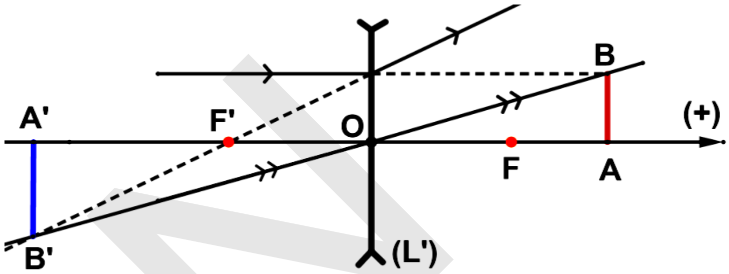
- Distance **d = OA < OF**
  L'image **A'B'** est :
  - ➢ réelle
  - ➢ droite
  - ➢ plus petite que l'objet AB



- Distance **d = OA = OF**
  L'image A'B' se forme à l'infini donc pas d'image



- Distance **d = OA > OF**
  L'image **A'B'** est :
  - ➢ virtuelle
  - ➢ renversée
  - ➢ plus grande que l'objet **AB**

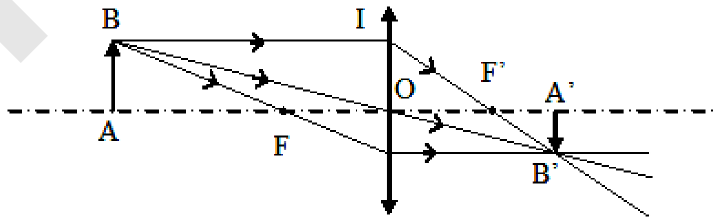


III- RELATIONS DE CONJUGAISON ET DE GRANDISSEMENT

1- Relation de conjugaison

Soit une lentille de centre optique **O, AB** un objet plan perpendiculaire à l'axe principal et **A'B'** son image donnée par la lentille.

Les points **A** et **A'** sont situés sur l'axe principal.



Les deux triangles **F'A'B'** et **F'OI** sont rectangles et ont un angle aigu commun ; ils sont donc semblables. Ce qui donne : $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{OI}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}}$. Or $\overline{OI} = \overline{AB}$, donc $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}}$ ....(1) .

De même, les triangles **OA'B'** et **OAB** sont rectangles et ont un angle aigu commun ; ils sont donc semblables. Ce qui donne: $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$ ....(2) .

par identification de (1) et (2) on trouve : $\frac{\overline{F'A'}}{\overline{FO}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$.

D'autre part $\overline{F'A'} = \overline{OA'} - \overline{OF'}$ et $\overline{F'O} = -\overline{OF'}$.

Ce qui implique : $\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{OA'} - \overline{OF'}}{-\overline{OF'}} \Rightarrow \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = -\frac{\overline{OA'}}{\overline{OF'}} + 1$.

En divisant par $\overline{OA'}$, on trouve : $\frac{1}{\overline{OA}} = -\frac{1}{\overline{OF'}} + \frac{1}{\overline{OA'}}$. Ce qui permet d'écrire $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$.

Cette relation est appelée la relation de conjugaison de la lentille.

2- Grandissement

Pour caractériser une image **A'B'** donnée par une lentille d'un objet **AB** par rapport à cet objet, on introduit le grandissement $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$.

Les deux triangles **OAB** et **OA'B'** sont rectangles et ont un angle aigu commun ; ils sont donc semblables. Ce qui donne : $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

- Si $\gamma > 0$; l'image est droite (même sens que l'objet).
- Si $\gamma < 0$; l'image est renversée (objet et image de même sens).
- Si $|\gamma| > 0$; l'image est plus grande que l'objet.
- Si $|\gamma| < 0$; l'image est plus petite que l'objet.

3- Association de deux lentilles minces accolées

L'utilisation d'associations de lentilles minces accolées ou non est fréquente lorsqu'il s'agit d'atténuer les aberrations ou d'augmenter une convergence (oculaires).

Nous considérerons dans cette association que les lentilles $\mathbf{L_1}$ et $\mathbf{L_2}$ sont amenées aussi près que le permet leur géométrie et qu'ainsi l'épaisseur résultante totale est faible. On admettra alors que les centres optiques des lentilles sont confondus et que l'ensemble est équivalent à une lentille mince unique de centre optique **O**.

Pour un objet **AB**, la lentille $\mathbf{L_1}$ donne une image $\mathbf{A_1B_1}$ qui constitue un objet pour la lentille $\mathbf{L_2}$

La lentille $\mathbf{L_2}$ donne l'image définitive **A'B'**

- Pour déterminer la vergence de la lentille équivalente on applique les formules des lentilles minces à chacune des lentilles $\mathbf{L_1}$ et $\mathbf{L_2}$:

  - Pour la lentille $\mathbf{L_1}$: $\frac{1}{\overline{OA_1}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'_1}}$ ....(1)
  - Pour la lentille $\mathbf{L_2}$: $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA_1}} = \frac{1}{\overline{OF'_2}}$ ....(2)

En additionnant (1) à (2) terme par terme on trouve : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'_1}} + \frac{1}{\overline{OF'_2}}$ ....(3)

➢ Pour la lentille **L** : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$ ....(4)

En identifiant les relations (3) et (4) on trouve : $\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OF'_1}} + \frac{1}{\overline{OF'_2}}$.

Ce qui permet d'en déduire que $C = C_1 + C_2$ (formule de Gullstrand)

La vergence d'un système de deux lentilles minces accolées est la somme des vergences de chacune des lentilles minces constituant le système.

- Pour déterminer le grandissement du système formé par les deux lentilles L_1 et L_2 on utilise les formules de grandissement pour chacune des lentilles minces et on montre :

➢ Pour la lentille L_1 : $\gamma_1 = \frac{\overline{OA_1}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}}$ ....(5)

➢ Pour la lentille L_2 : $\gamma_2 = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA_1}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}}$ ....(6)

En multipliant (5) par (6) terme par terme on trouve : $\gamma_1.\gamma_2 = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \gamma$

Le grandissement linéaire du système des deux lentilles minces accolées est égal au produit des grandissements linéaires de chacune des lentilles minces. $\gamma = \gamma_1.\gamma_2$

IV- APPLICATIONS

1- Correction des anomalies de la vision

1-1- Description simplifiée de l'œil

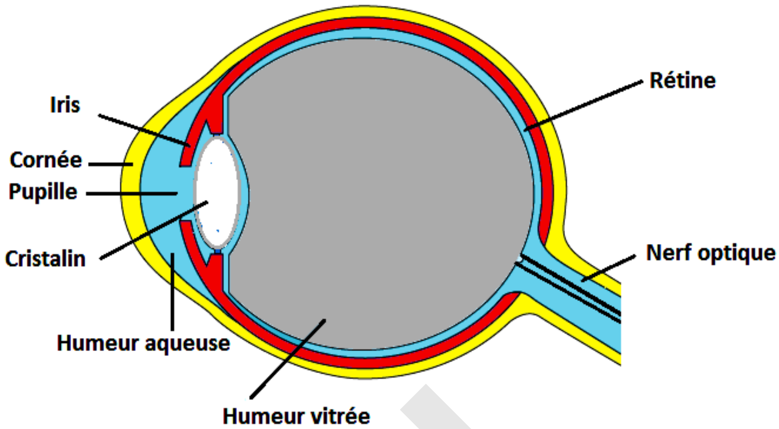
L'œil est un globe d'un diamètre de l'ordre de **2,5cm** ; il comprend :

- la cornée : c'est une membrane transparente, elle est directement en contact avec l'air ambiant ;
- l'humeur aqueuse : c'est un liquide transparent ; avec l'humeur vitrée, elle maintient la pression et donc la forme du globe oculaire ;
- l'iris : c'est un diaphragme qui permet de faire varier la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil ;
- le cristallin : c'est la lentille de l'œil ; il s'agit d'une lentille convergente souple, maintenue par des ligaments (zonules) qui sont liés à des muscles (corps ciliaire) ;
- le corps ciliaire : c'est un muscle qui permet de modifier la courbure du cristallin afin d'obtenir un objectif à distance focale variable ;
- l'humeur vitrée (corps vitré) : c'est un corps gélatineux et transparent dont l'indice est égal à **1,336** ; il maintient la rétine contre les parois de l'œil ;
- la rétine : c'est une membrane nerveuse tapissant le fond de l'œil ; épaisse de quelques dixièmes de millimètre, d'une surface voisine de quelques centimètres carrées, elle est

constituée de plus de 130 millions de cellules nerveuses et transforme la lumière en signaux électriques qui sont acheminés par le nerf optique vers le cerveau ;

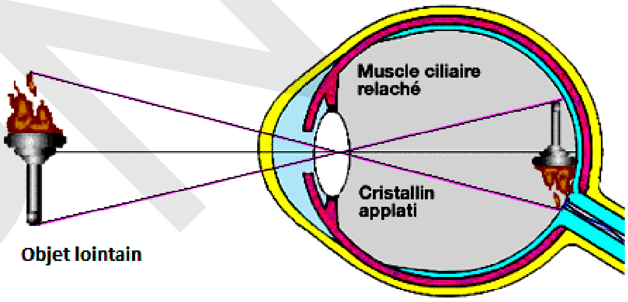
- la pupille : c'est l'orifice central de l'iris.

La lumière pénètre dans l'œil par la cornée, traverse l'humeur aqueuse, le cristallin et l'humeur vitrée. La convergence de l'œil est donc assurée à la fois par le cristallin, la cornée et l'humeur vitrée.



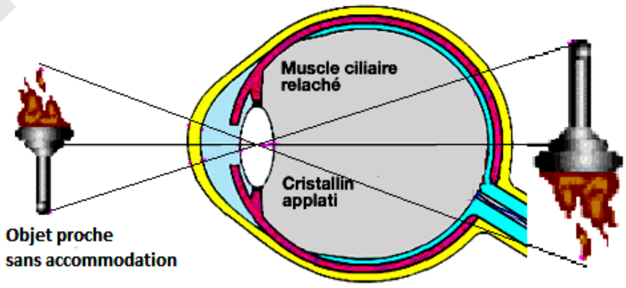
1-2- Vision des objets et accommodation

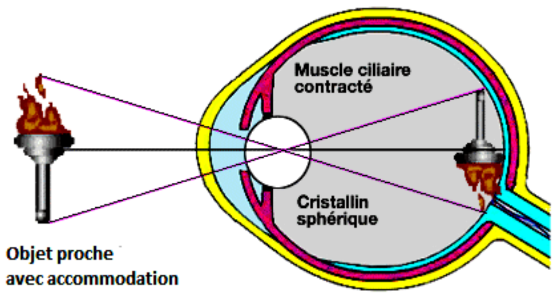
- **OBJET TRES ELOIGNE**



Pour un œil normal, lorsque l'objet observé est à l'infini (très éloigné de l'œil), le corps ciliaire (qui est une muscle) est relâché, le cristallin est peu bombé (aplati) donc peu convergent. L'image de l'objet se forme exactement sur la rétine. L'œil est dit au repos, il n'y a pas de fatigue.

- **OBJET RAPPROCHE**





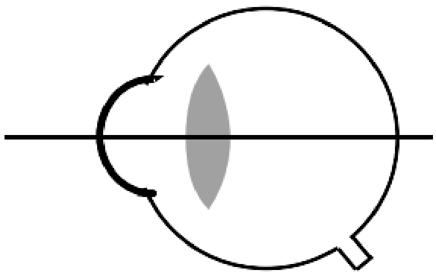
En regardant un objet rapproché par l'œil au repos (la convergence de l'œil n'est pas modifiée), l'image se forme alors derrière la lentille et l'objet observé paraît flou. Or l'œil a la faculté de modifier à volonté sa vergence afin que l'image se forme sur la rétine.

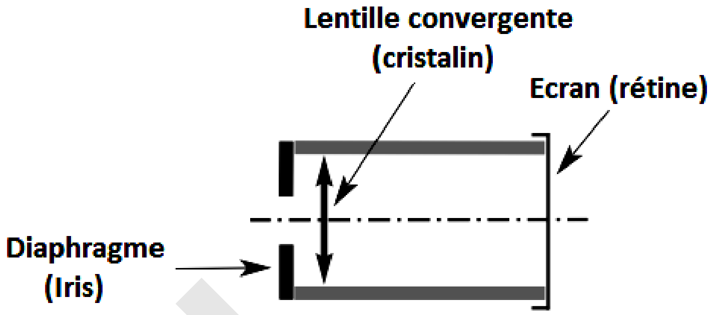
Cette faculté s'appelle l'accommodation. Pendant l'accommodation, le cristallin est soumis à la pression des ligaments qui le rattachent au corps ciliaire. Il change de forme et sa courbure augmente, il devient plus convergent. L'image de l'objet se forme sur la rétine.

L'accommodation prolongée provoque la fatigue.

1-3- Modélisation de l'œil

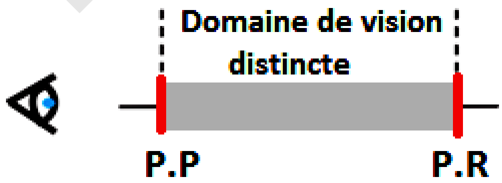
Pour l'étude de la formation des images et pour la compréhension des anomalies visuelles, on modélise (représente) l'œil par un œil réduit.
Dans ce modèle l'ensemble des milieux transparents de l'œil est assimilé à un système optique simple constitué d'une lentille convergente de distance focale variable, et d'un écran sphérique ou plan (la rétine) à distance fixe de cette lentille





1-4- Défauts de l'œil

Un œil peut voir nettement des objets situés dans un domaine de vision limité par deux positions extrêmes appelées respectivement le punctum proximum **(P.P)** et le punctum remotum **(P.R)** .
Le punctum proximum **P.P** correspond à la position la plus proche de l'objet pour laquelle la vision est nette ; le punctum remotum **P.R** correspond à la position la plus éloignée de l'objet pour laquelle la vision est nette

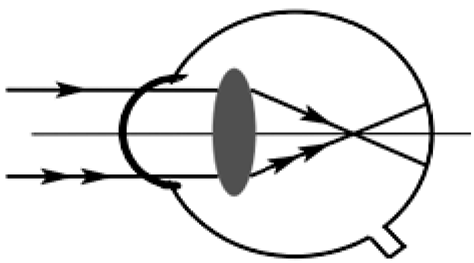


Pour un œil normal :
- le **P.R**. est rejeté à l'infini, sans accommodation ; l'image d'un objet éloigné (à l'infini) se forme sur la rétine.
- le **P.P**. est situé à environ **25 cm** de l'œil.

S'il n'en est pas ainsi, l'œil présente les défauts de myopie, d'hypermétropie ou de presbytie ; ils peuvent être corrigés par des lunettes de vue ou des lentilles de contact.

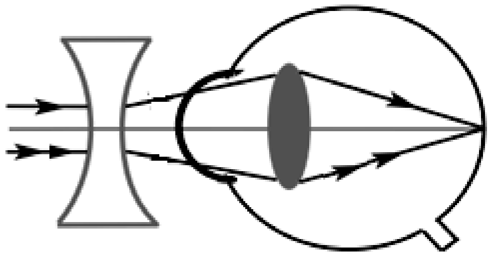
- **LA MYOPIE**

Un myope voit flou les objets éloignés car son œil est trop convergent (l'image d'un objet éloigné se forme en avant de la rétine).
Ce défaut est dû essentiellement à un allongement du globe oculaire suivant l'axe principal.
La position de son punctum remotum n'est plus à l'infini.



Pour une myopie moyenne, le **P.R** est voisin de **30 cm** et le **P.P** est situé très près de l'œil.

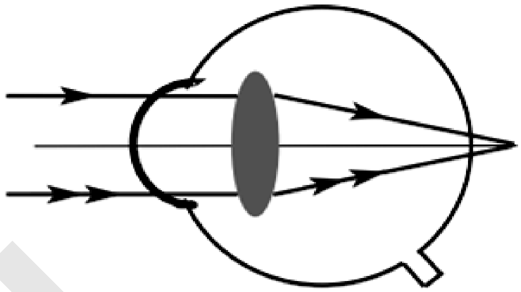
Corriger la myopie revient à rejeter le **P.R** à l'infini.
Pour cela un verre correcteur divergent est placé en avant de l'œil.



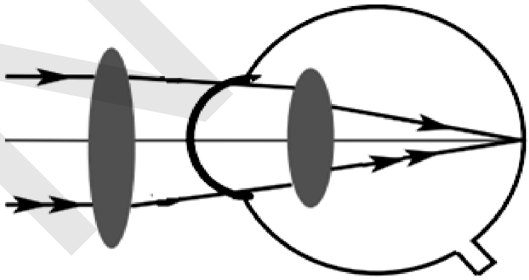
L'œil corrigé devient moins convergent et l'image d'un objet à l'infini se forme sur la rétine, ce qui correspond à une vision de loin nette.
A cause de la correction, il faut accommoder davantage en vision de près. Un myope retire ses lunettes pour lire avec moins de fatigue.

- **L'HYPERMÉTROPIE**

L'hypermétropie est une anomalie de l'œil dans laquelle l'image d'un objet éloigné se forme en arrière de la rétine. L'œil n'est pas assez convergent (il est trop court), son **P.R** est en arrière de l'œil (il est virtuel) et son **P.P** est plus grand que pour un œil normal.



Pour corriger l'hypermétropie, un verre correcteur convergent (lentille de contact ou lunettes de vue) est placé devant l'œil.
La vergence du système {verre correcteur + œil hypermétrope} doit permettre de voir net un objet situé à l'infini (l'image se forme sur la rétine).



- **LA PRESBYTIE**

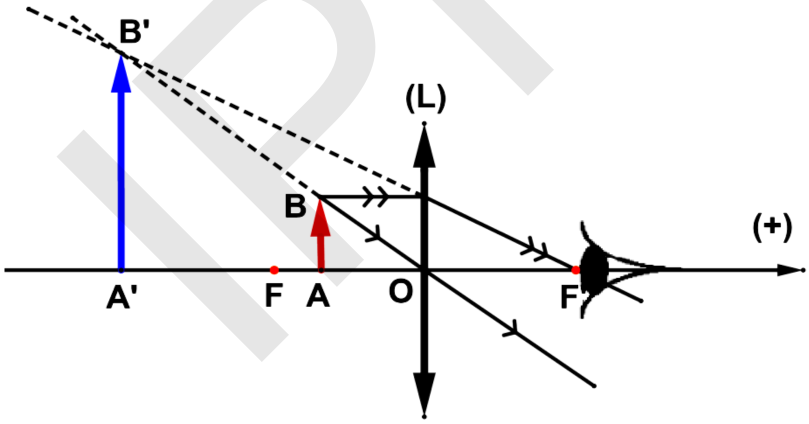
Avec le temps, le cristallin devient beaucoup moins souple ; il perd progressivement sa capacité à modifier sa courbure. L'accommodation est alors moins efficace, la vision d'objets très rapprochés n'est plus possible.
Ce vieillissement du cristallin, inévitable, et qui survient généralement entre quarante et cinquante ans, porte le nom de presbytie.
La correction de la presbytie est simple, puisque le cristallin n'est plus assez convergent pour la vision rapprochée, il suffit de porter des verres correcteurs convergents pour la lecture par exemple. Cette correction est proche de celle utilisée dans le cas d'un œil hypermétrope, à ceci près qu'elle concerne la vision rapprochée et non pas la vision éloignée.

2- La loupe

Une loupe est un instrument d'optique constitué d'une lentille convergente de courte distance focale (quelques centimètres) permettant d'obtenir d'un objet réel de petites dimensions une image virtuelle et droite, plus grande que l'objet. C'est l'instrument d'optique le plus simple qui permet d'augmenter le pouvoir séparateur de l'œil.
Les plus anciennes loupes retrouvées semblent être des cailloux de verre arrondis et soigneusement polis datant du XV^{e} siècle av. J.-C. Ils sont exposés au musée archéologique d'Héraklion, en Grèce.
Pour ce qui est de l'invention de la loupe comme objet d'optique avec des applications modernes, on l'attribue généralement à Roger Bacon qui était un savant anglais du XIII^{ème} siècle (1214-1294). Il a été moine et a étudié la réflexion et la réfraction de la lumière. Il fut accusé de sorcellerie.

2-2- Formation de l'image

Pour un objet **AB** placé entre la loupe et son foyer objet **F**, se forme une image **A'B'** virtuelle, droite et plus grande que l'objet voir la figure ci-dessous



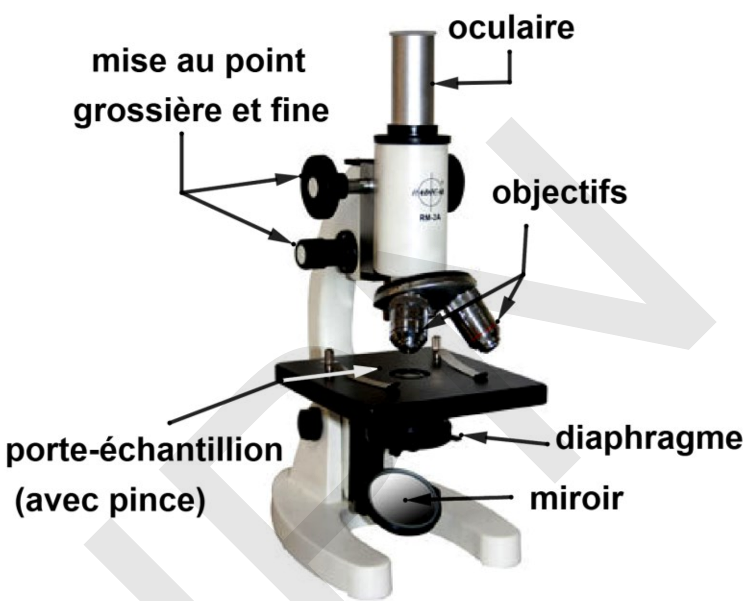
Pour un usage optimal de la loupe, l'œil doit travailler sans accommodation.
L'image virtuelle doit donc être vue à l'infini.
Si l'œil est normal (emmétrope) il faudra placer l'objet dans le plan focal objet pour que l'image se forme à l'infini et que l'œil puisse l'observer sans accommodation.
Nous pouvons dire que la loupe rend l'œil normal très fortement myope tout en lui permettant une vision sans accommodation
L'usage le plus efficace de la loupe pour un œil emmétrope consiste à placer dans la mesure du possible l'objet dans le plan focal objet et l'œil dans le plan focal image.

3-1- Description simplifiée du microscope

Le microscope est composé de deux systèmes optiques convergents :

- l'objectif, assimilable à une lentille convergente de courte distance focale (de l'ordre du millimètre) est placé près de l'objet ;
- l'oculaire, placé devant l'œil de l'observateur, est modélisé par une lentille convergente de courte distance focale (de l'ordre du centimètre).

Ces deux systèmes convergents (l'objectif et l'oculaire) sont maintenus à une distance constante l'un de l'autre. L'ensemble peut être déplacé à l'aide d'une vis de mise au point rapide et d'une vis micrométrique

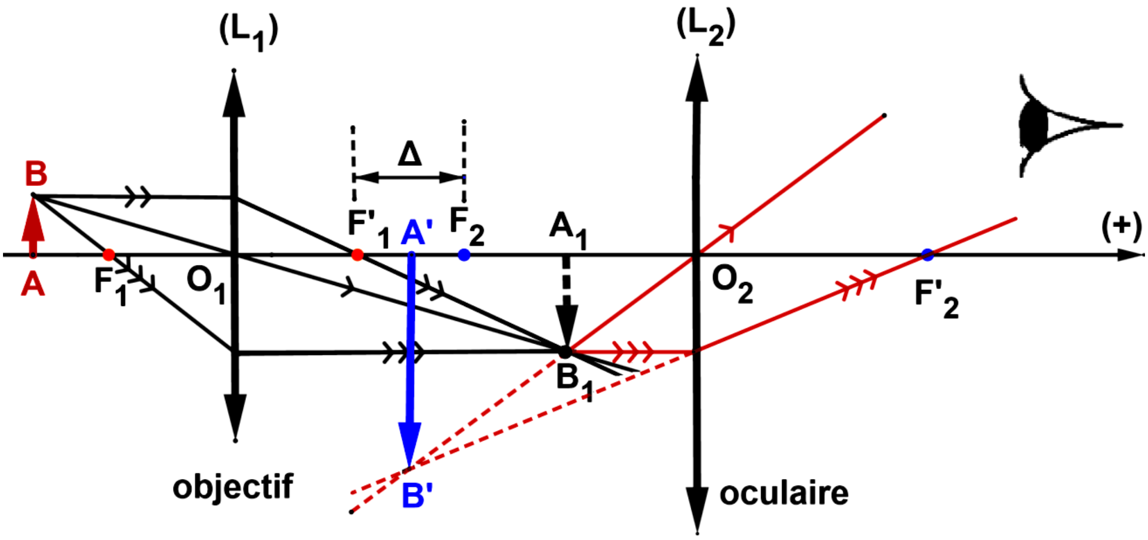


3-2- Modélisation du microscope.

On modélise le microscope en considérant l'objectif et l'oculaire comme des lentilles convergentes.
La distance entre le foyer image **F'_1** de l'objectif et le foyer objet **F_2** de l'oculaire est appelée intervalle optique $\Delta = \overline{F'_1F_2}$. Cet intervalle optique est de l'ordre de **16 à 18 cm**.

3-3- Formation des images

L'objectif **L_1** donne, de l'objet **AB**, une image intermédiaire **A_1B_1** réelle et renversée, proche de l'oculaire. On peut déterminer sa position par construction.
Cette image intermédiaire A_1B_1 devient objet pour l'oculaire qui donne une image définitive **A'B'** virtuelle, renversée et agrandie.



En utilisation normale, sans accommodation pour l'œil, l'image définitive **A'B'** observée à travers l'oculaire doit être rejetée à l'infini.
L'image intermédiaire **A_1B_1** doit donc se trouver dans le plan focal objet de l'oculaire.

4- Les lunettes astronomiques

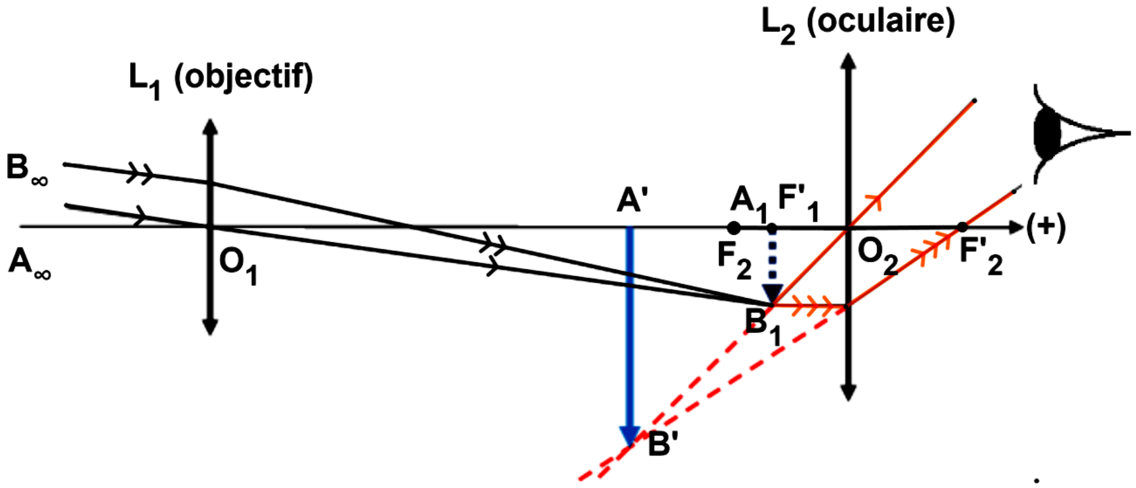
4-1- Définition

Une lunette astronomique est un instrument optique qui permet d'observer des objets très éloignés en augmentant leur taille apparente et leur luminosité. Elle comporte deux systèmes optiques convergents de même axe, placés dans un long tube :

- Objectif : assimilable à une lentille mince convergente de grande distance focale et de grand diamètre appelée diamètre d'ouverture.
- Oculaire : lentille mince convergente de courte distance focale jouant le rôle de loupe dans l'observation de l'image donnée par l'objectif.

4-2- Construction des images

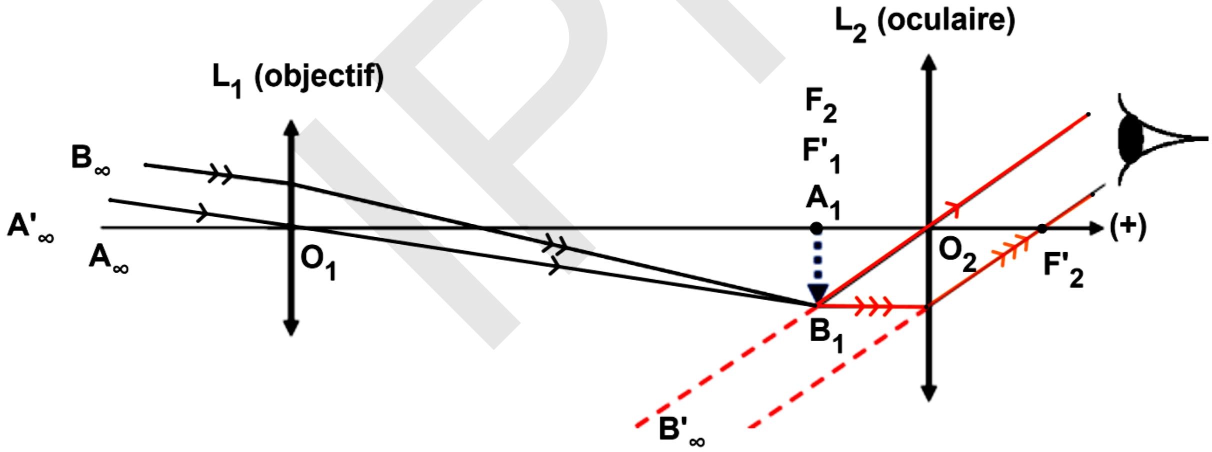
- L'objet est situé à l'infini, par conséquent, l'objectif en donne une image intermédiaire située dans son plan focal image et renversée.
- L'oculaire, disposé de façon à ce que l'image intermédiaire formée par l'objectif soit située entre **O_2** et **F_2**, donne, de **A_1B_1**, une image **A'B'** droite par rapport `a l'image intermédiaire (donc renversée par rapport à **AB**, que l'œil peut observer).
  On utilise les règles habituelles de construction



Remarque : pour que l'image finale **A'B'** se trouve dans les limites du champ de vision de l'observateur, on effectue une mise au point. On l'effectue en déplaçant l'oculaire par rapport à l'objectif.

4-3- Cas particulier

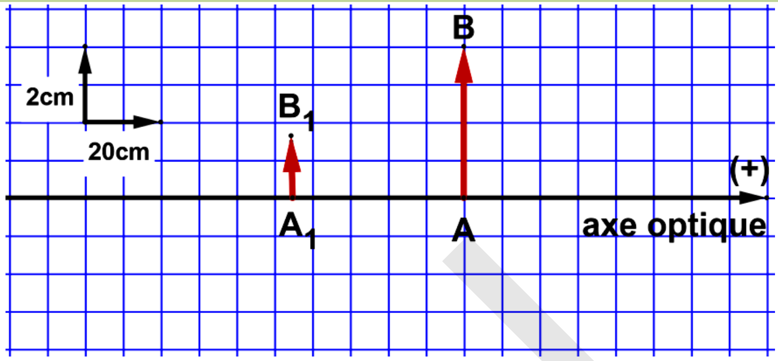
Pour que l'œil observe sans fatigue, c'est-à-dire sans accommoder, il faut que l'image finale coïncide avec le punctum proximum qui se trouve à l'infini.
L'image finale est à l'infini si **F'_1** et **F_2** sont confondus, la lunette est alors afocale.



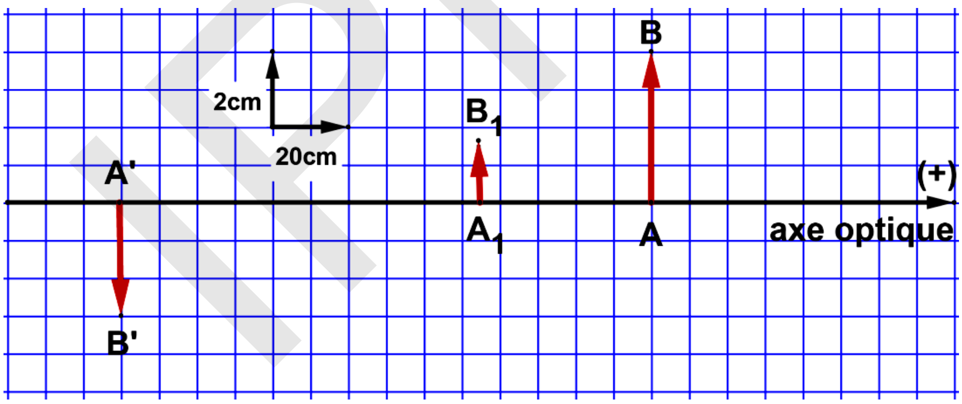
Exercices résolus

Exercice 1

1- Une lentille (L_1) donne d'un objet virtuel AB, une image A_1B_1
Déterminer graphiquement la position du centre optique O_1, la nature (convergente ou divergente) et la vergence C_1 de la lentille (L_1).



2- Une deuxième lentille (L_2) de centre optique O_2 est accolée derrière (L_1) (les deux axes principaux coïncident et les deux centres optiques O_1 et O_2 sont pratiquement confondus en un même point O). De l'objet AB, le système formé par les deux lentilles accolées, donne l'image A'B'



Déterminer graphiquement la nature (convergente ou divergente) et la vergence C_2 de la lentille (L_2).

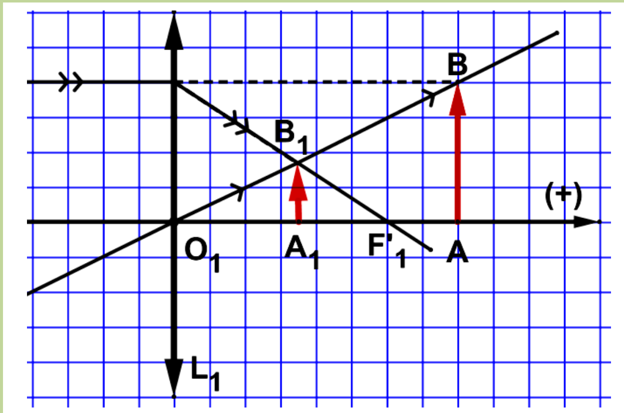
Solution

1-

- Le rayon incident passant par le centre optique O_1 et B émerge sans déviation en passant par B_1.

Le centre optique O_1 est alors le point d'intersection entre la droite (BB_1) et l'axe optique

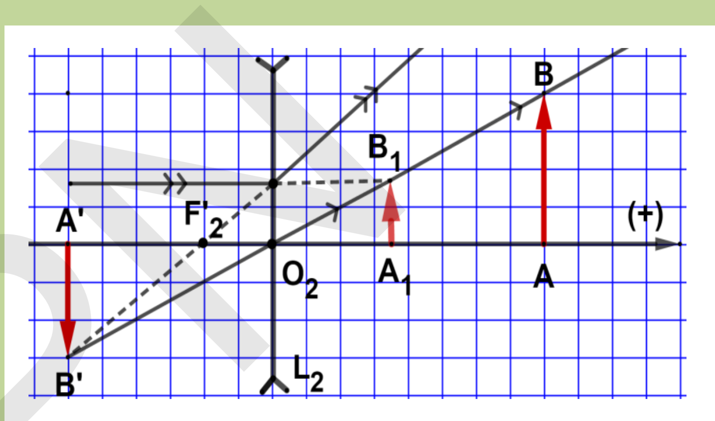
- Le rayon incident parallèlement à l'axe optique dont le prolongement passe par B converge vers le foyer image principal F'_1



D'après la construction, le foyer principal image se met à droite par rapport à la lentille donc la lentille est convergente et $\overline{O_1F'_1} = 60cm$ alors sa vergence est $C_1 = 1{,}67\delta$

2- A'B' est l'image de AB à travers le système $\{L_1, L_2\}$ et image de A_1B_1 à travers la lentille L_2.

- Le rayon incident parallèlement à l'axe optique émerge de façon à ce que son prolongement passe par le foyer principal objet et passe par B'.



D'après la construction F'_2 se met à gauche par rapport à la lentille L_2 alors elle est divergente et $\overline{O_2F'_2} = -20cm$ alors sa vergence $C_2 = -5\delta$

Exercice 2

On dispose de deux lentilles (L_1) et (L_2) accolées, de vergence respectives $C_1 = 2{,}5\ \delta$ et $C_2 = -5\ \delta$ et d'un objet AB. ((L_1) et (L_2) ont le même axe optique et leurs centres optiques O_1 et O_2 sont confondus en un point O).

D'un objet AB, virtuel, situé à 1,2 m de O, le système formé par les deux lentilles accolées, donne une image A'B' (On supposera que A est sur l'axe optique).

1- Etablir l'expression de la différence $\dfrac{1}{\overline{OA'}} - \dfrac{1}{\overline{OA}}$ en fonction de C_1 et C_2.

2- En déduire la position et la nature (réelle ou virtuelle) de l'image A'B' ainsi que le grandissement du système formé par les deux lentilles.

3- Déterminer graphiquement la vergence C de la lentille (L) qui, placée au point O, donne de l'objet AB la même image A'B'.

4- Comparer C à $C_1 + C_2$. Conclure.

Solution

1- De l'objet AB, la lentille L_1 donne une image intermédiaire A_1B_1 qui constitue un objet pour la lentille L_2. La lentille L_2 donne l'image définitive A'B'

Les relations de conjugaison donnent :

- Pour la lentille L_1 : $\frac{1}{\overline{OA_1}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'_1}} = C_1$ ....(1)
- Pour la lentille L_2 : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA_1}} = \frac{1}{\overline{OF'_2}} = C_2$ ....(2)

En additionnant (1) à (2) terme par terme on trouve : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'_1}} + \frac{1}{\overline{OF'_2}} = C_1 + C_2$.

2- La position, la nature de l'image A'B' et le grandissement.

- La position de l'image A'B' :

D'après la relation précédente on trouve : $\frac{1}{\overline{OA'}} = C_1 + C_2 + \frac{1}{\overline{OA}}$.

Alors $\overline{OA'} = \frac{1}{C_1 + C_2 + \frac{1}{\overline{OA}}}$. D'autre part, l'objet AB est virtuel alors $\overline{OA} = 1{,}2\text{m}$.

Ce qui donne $\overline{OA'} = -\,0{,}6\text{m}$

- Nature de l'image A'B' :

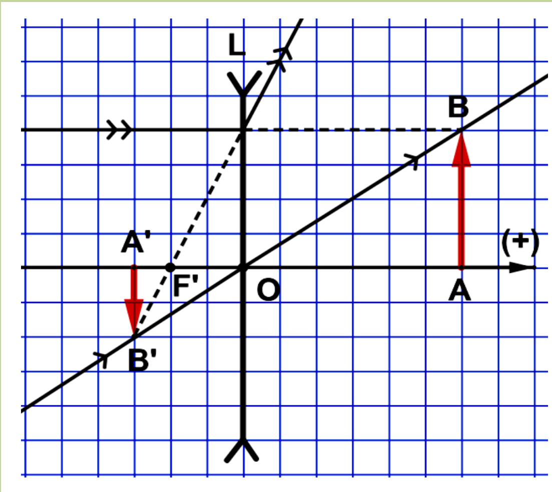
$\overline{OA'} < 0$ alors l'image A'B' est virtuelle.

- Le grandissement du système formé par les deux lentilles $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$:

Le grandissement de la lentille L_1 est $\gamma_1 = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA_1}}{\overline{OA}}$

Le grandissement de la lentille L_2 est

$\gamma_2 = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA_1}}$



Ce qui donne : $\gamma_1 . \gamma_2 = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \gamma$. Ce qui donne $\gamma = -\,0{,}5 < 0$

L'image est alors renversée et de taille égale à la moitié de celle de l'image.

3- On choisit, sur l'axe optique, l'échelle $1\text{ div} \rightarrow 0{,}2\text{cm}$ et on tient compte que le rayon incident parallèlement à l'axe optique dont le prolongement passe par B émerge de façon à ce que le prolongement du rayon émergent passe par le foyer principal image et passe par B'.

D’après la construction $\overline{OF'} = -0,4cm$ alors la vergence de la lentille L est $C = -2,5\delta$.

Par comparaison on trouve que $C = C_1 + C_2$.

Conclusion : La lentille équivalente à deux lentilles L_1 et L_2 a une vergence égale à la somme de deux vergences des deux lentilles

Exercice 3

Le système optique de l’œil est assimilable à une lentille convergente. La rétine se trouve à 17 mm du cristallin.

Lorsque l’œil est au repos, il voit des objets éloignés. On considère l’œil normal dans son domaine d’accommodation.

1- Où se trouve l’image quelle que soit la position de l’objet ?

2- Comment s’appelle la partie de l’œil modélisable par une lentille mince convergente ?

3- Quelle est la valeur de sa distance focale lorsque l’œil n’accommode pas ?

4- Calculer sa vergence.

5- Pour observer un objet proche, l’œil doit accommoder, que cela signifie-t-il ?

6- Une personne voit nettement un objet situé à 15 cm de son œil. Calculer la distance focale de l’œil dans cette condition d’observation.

Solution

1- En considérant que l’œil normal est dans son domaine d’accommodation. L’image se forme sur la rétine.

2- La partie de l’œil modélisable par une lentille mince convergente est Le cristallin.

3- Sans accommodation sa distance focale de l’œil normal représente la distance cristallin-rétine soit f ’ = 17 mm.

4- La vergence $C = \frac{1}{f'} = 58,8\delta$.

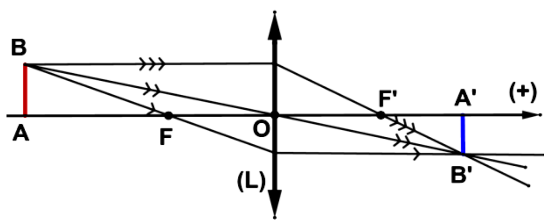
5- Pour observer un objet proche, l’œil doit accommoder, c’est à dire que son cristallin se déforme pour augmenter sa vergence.

6- On applique la relation de conjugaison avec $\overline{OA} = 17mm$ et $\overline{OA'} = -150mm$

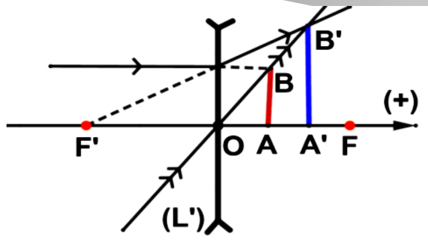
$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$, ce qui donne : $f' = 1,52.10^{-2} m = 15,2mm$

Essentiel

- Il existe deux sortes de lentilles minces :
  - lentilles convergentes : ce sont des lentilles dont le centre est plus épais que les bords
  - lentilles divergentes : ce sont des lentilles dont les bords sont plus épais que le centre
- Toute lentille possède un centre optique O. Tout rayon incident passant par le centre O de la lentille n'est pas dévié.
- Toute lentille possède un axe optique principal qui est l'axe qui passe par le centre optique de la lentille et qui est perpendiculaire à celle-ci. toute autre droite passant par le centre optique est appelée axe optique secondaire
- Le foyer image principal :
  - pour une lentille convergente : c'est le point de l'axe optique vers lequel convergent les rayons incidents arrivant parallèlement à l'axe optique
  - pour une lentille divergente : c'est le point de l'axe optique duquel semblent provenir les rayons émergents correspondant aux rayons incidents arrivant parallèlement à l'axe optique
  - Le plan perpendiculaire à l'axe optique d'une lentille et passant par son foyer image principal F' est appelé plan focal image (P'). Chaque point de ce plan constitue un foyer image secondaire.
- Le foyer image principal :
  - pour une lentille convergente : c'est le point de l'axe optique duquel proviennent les rayons incidents correspondant aux rayons émergents parallèlement à l'axe optique
  - pour une lentille divergente : c'est le point de l'axe optique vers lequel convergent les prolongements des rayons incidents correspondant aux rayons émergents parallèlement à l'axe optique
  - Le plan perpendiculaire à l'axe optique d'une lentille et passant par son foyer image principal F' est appelé plan focal image (P'). Chaque point de ce plan constitue un foyer image secondaire.
  - Le plan perpendiculaire à l'axe optique d'une lentille et passant par le foyer objet principal F est appelé plan focal objet (P). Chaque point de ce plan constitue un foyer objet secondaire
- La distance focale d'une lentille est $f' = \overline{OF'}$
- La vergence d'une lentille est $C = \frac{1}{f'}$. (unité dioptrie δ). $\begin{cases} C > 0 \rightarrow \text{lentille convergente} \\ C < 0 \rightarrow \text{lentille divergente} \end{cases}$
- Objets et images
  - Un objet est réel s'il est situé à gauche de la lentille sinon il est alors virtuel
  - Une image est réelle si elle est située à droite de la lentille sinon elle est alors virtuelle
- Construction de l'image A'B' d'un objet AB plan perpendiculaire à l'axe optique principal
  - Pour une lentille convergente, on trace la marche de deux rayons issus de B parmi les trois rayons particuliers (rayon passant par le centre optique, rayon incident parallèlement à l'axe optique et rayon incident passant par le foyer principal objet)



- ➢ Pour une lentille divergente, on trace la marche du rayon incident parallèlement à l'axe principal et de celui qui passe par le centre optique



- Une lentille convergente donne d'un objet :

  - une image réelle et renversée si l'objet est réel et placé avant le plan focal image

  - une image virtuelle et droite si l'objet est réel et placé entre le centre optique et le plan focal image

  - une image réelle et droite si l'objet est virtuel.

- Une lentille divergente donne d'un objet une image réelle, si et seulement si, il est situé entre le centre optique et le plan focal objet.
- Si A'B' est l'image d'un objet AB donnée par une lentille de centre optique O ; (A et A' se situent sur l'axe optique) alors :
- ➢ la relation $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} = C$ est appelée relation de conjugaison
- ➢ la grandeur $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$ est appelée grandissement
- L'œil est modélisé par une lentille convergente, la faculté de l'œil de former une image nette sur la rétine due à une modification de la courbure des faces de la pupille s'appelle l'accommodation.
- Un myope voit flou les objets éloignés car son œil est trop convergent (l'image d'un objet éloigné se forme en avant de la rétine).

Pour corriger la myopie, un verre correcteur divergent est placé en avant de l'œil.
L'hypermétropie est une anomalie de l'œil dans laquelle l'image d'un objet éloigné se forme en arrière de la rétine. L'œil n'est pas assez convergent (il est trop court).
Pour corriger l'hypermétropie, un verre correcteur convergent est placé en avant de l'œil.

- Une loupe est un instrument d'optique constitué d'une lentille convergente de courte distance focale (quelques centimètres) permettant d'obtenir d'un objet réel de petites dimensions une image virtuelle et droite, plus grande que l'objet
- Le microscope est un instrument optique qui permet d'observer des objets très petit en augmentant leur taille apparente. Il est composé de deux systèmes optiques convergents « l'objectif et l'oculaire ». On modélise le microscope en considérant l'objectif et l'oculaire comme des lentilles convergentes.
- Une lunette astronomique est un instrument optique qui permet d'observer des objets très éloignés en augmentant leur taille apparente et leur luminosité. Elle comporte deux systèmes optiques convergents de même axe, placés dans un long tube : objectif et oculaire. On modélise le microscope en considérant l'objectif et l'oculaire comme des lentilles convergentes.

Exercices

Exercice 1

Entourer pour chaque proposition la ou les réponse(s) exacte(s). Aucune justification n’est demandée.

1- Une lentille peut être en :

a) Fer b) Bois c) Verre

2- Une lentille à bord épais est :

a) À faces parallèles b) Convergente c) Divergente

3- La distance qui sépare le foyer objet d’une lentille de son foyer image est de 20 cm. La distance qui sépare l’un de ses foyers de son centre optique O est :

a) 20 cm b) 40 cm c) 10 cm

4- La distance focale d’une lentille divergente ne peut jamais prendre la valeur :

a) -2,5 cm b) -10 cm c) 50 cm

5- Une lentille donne d’un objet une image droite. L’objet est à une distance de la lentille :

a) Supérieure à f. b) Egale à 2f. c) Inférieure à f.

6- Une lentille convergente (L) donne d’un objet AB, situé à la distance d de (L), une image réelle A’B’ située à la distance d’ de (L). Si on diminue d, la distance d’ :

a) Ne change pas b) diminue c) augmente

7- Une lentille convergente (L), de distance focale 25 cm, donne d’un objet AB situé à 50 cm de (L) une image A’B’ :

a) Virtuelle, située à 25 cm de (L)

b) Virtuelle, située à 50 cm de (L)

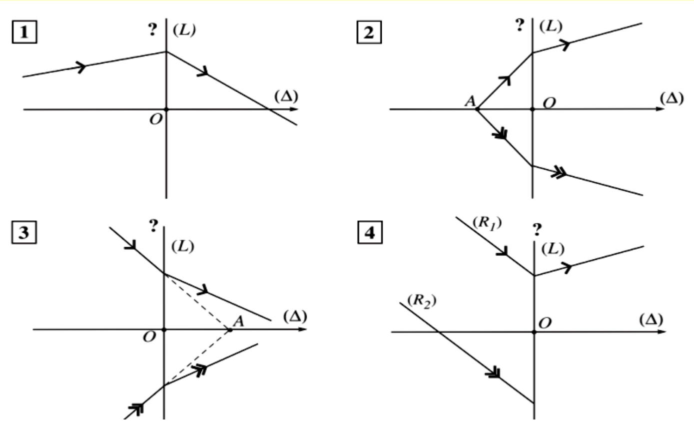
c) Réelle, située à 50 cm de (L)

Exercice 2

1- Dans les quatre situations représentées ci-dessus, à l’aide d’une série de constructions graphiques qu’il faudra justifier :

- déterminer la position du foyer objet F et du foyer image F_0 de chaque lentille
- conclure quant à la nature de chaque lentille (et compléter sa représentation graphique).

2- Sur la figure 2, quelle est la nature et la position de l’image A_0 de A à travers (L) ?



3- Même question pour la figure 3.
4- Compléter la figure 4 en représentant le rayon émergent provenant du rayon incident (R2) (sur le schéma (R2) est parallèle à (R1).

Exercice 3

1- Un objet lumineux AB est situé à 250 mm du centre optique d'une lentille convergente de distance focale f' = +150 mm.
1-1- A quelle distance du centre optique se trouve l'image A'B' ?
1-2- L'image A'B' est-elle réelle ou virtuelle ?
2- Un objet lumineux AB est situé à 150 mm du centre optique d'une lentille divergente de vergence $C = -10\delta$.
2-1- A quelle distance du centre optique se trouve l'image A'B' ?
2-2- L'image A'B' est-elle réelle ou virtuelle ?

Exercice 4

Un objet AB est placé perpendiculairement à l'axe optique d'une lentille (L) à une distance de 30 cm du centre optique. L'image A'B' de AB est obtenue sur un écran (E) placé à une distance 15 cm derrière la lentille (L).
1- Construire le système : l'objet, la lentille, l'écran et l'image A'B' de AB à l'échelle 1/5.
2- Déduire la nature et le sens de l'image A'B'.
3- Construire le foyer image et le foyer objet de la lentille (L).
4- Déduire la distance focale de (L).
5- La loupe est un instrument qui donne pour un petit objet une image droite, virtuelle et plus grande que l'objet.
5-1- Cette situation étudiée correspond-elle à une loupe ? Justifier.
5-2- Colorier la partie de l'axe optique où il faut placer l'objet pour que la lentille joue le rôle d'une loupe.

Exercice 5

On représente très simplement l'œil comme un système constitué d'une lentille convergente de centre optique O (le cristallin) et d'un écran (la rétine).
La distance lentille-rétine reste constante.
1- Construire l'image d'un objet AB à l'infini dans le cas d'un œil myope, d'un œil normal, d'un œil hypermétrope. Où se situe l'image A'B' dans chaque cas ?
2- Construire très simplement ces mêmes images pour un œil myope et un œil hypermétrope corrigés par une lentille L adéquate.
3- Quelle est l'augmentation de vergence entre le PR et le PP ?

Exercice 6

Une lentille mince convergente a pour distance focale f égale à 4,0 mm. Un objet AB mesurant 0,2 mm est placé à 4,1 mm de son centre optique.

1- Quels sont la nature, le sens et la taille de l'image A'B' de l'objet AB ?

2- À 18 cm de cette lentille, on place une seconde lentille convergente, de distance focale f' égale à 16 mm. L'image A'B' de AB formée par la première lentille joue le rôle d'objet pour la seconde.

2-1- Quels sont la nature, le sens et la taille de l'image A''B'' de A'B' ?

2-2- Quel appareil repose sur ce principe ?

Exercice 7

Une lentille L donne d'un petit objet plan AB, placé sur l'axe optique et perpendiculaire à celui-ci, une image A'B' de même taille que l'objet.

1- A partir du schéma, déterminer graphiquement la position du centre optique O de la lentille ainsi que les foyers F et F'.

Mesures graphiques :

AB = A'B' = 7 mm

AA' = 5,7 cm

2- En déduire la distance focale f ' et la vergence de la lentille, sachant que l'objet mesure 3 cm et que l'échelle du schéma est identique sur l'axe vertical et sur l'axe horizontal.

3- Quel est le grandissement de la lentille ?

4- En déduire une méthode expérimentale de détermination de la distance focale d'une lentille. Quelle est la relation entre f ' et la distance objet image AA' lorsque l'objet et l'image ont la même dimension ?

Exercice 8

Une lentille de vergence C = 5 δ, donne d'un objet réel une image quatre fois plus grande.

1- De quel type est la lentille ? Déterminer sa distance focale.

2- L'image est réelle. Quelles sont les positions de l'objet et de l'image ?

3- L'image est virtuelle. Quelles sont les positions de l'objet et de l'image ?

Exercice 9

Une lentille L donne d'un objet AB réel une image A'B' de grandissement $\gamma = 0,5$.

1- Quelle est la nature de l'image A'B' ?

2- Montrer que la lentille est divergente.

3- La distance entre cet objet et son image est d = 6 cm.

3-1- Déterminer la position de cet objet par rapport à la lentille.

3-2- Calculer la vergence de la lentille. En déduire sa distance focale.

4- Faire une construction géométrique.

Exercice 10

L'objectif d'un microscope est assimilé à une lentille mince de vergence égale à 200 dioptries.

1- Rappeler le rôle de l'objectif.

2- La grandeur de l'objet à mesurer est de 0,3 mm ; il est situé à 6 mm du centre optique O_1 de l'objectif.

2-1- Donner les caractéristiques de l'image intermédiaire A'B', fournie par l'objectif.

2-2- Calculer le grandissement de l'objectif.

2-3- Réaliser la construction de cette image A_1B_1 en utilisant : pour l'échelle horizontale : 1 mm représente 5 mm, pour l'échelle verticale : 1 mm représente 50 mm.

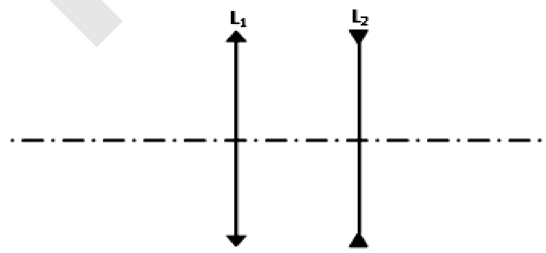
Exercice 11

Une lentille convergente L_1 est placée à 5 cm d'un objet réel AB de hauteur 1 cm. L_1 donne de AB une image réelle A_1B_1 située à 7,5 cm de L_1.

1- Calculer la vergence de la lentille L_1.

2- A 1 cm de L_1, on place une lentille L_2, de distance focale égale à 5 cm.

2-1- Déterminer, par le calcul, la nature, la position, le sens et la grandeur de l'image A_2B_2 de l'objet AB à travers le système optique $\{L_1 ; L_2\}$.



2-2- Construire l'image définitive A_2B_2 (choisir une échelle convenable).

3- Les positions des deux lentilles ne sont pas modifiées, l'objet est maintenant suffisamment éloigné pour le considérer pratiquement à l'infini. Déterminer la nature et la position de l'image A_2B_2 à travers le système optique $\{L_1 ; L_2\}$.

Exercice 12

Le grandissement d'une lentille de vergence C inconnue est égal à $\gamma = -2$ pour un objet réel placé à une distance IxI = 1,2 m devant le centre optique de la lentille.

1 - Donner l'expression littérale exprimant la distance focale f de la lentille en fonction du grandissement γ et de x.

2 - Calculer la distance focale f de la lentille.

3 - Calculer la mesure algébrique OA' = y à laquelle se forme l'image de l'objet.

4 - En déduire la distance AA' séparant l'objet et son image.

5 - Peut-on affirmer qu'en doublant la distance **OA**, on double le grandissement γ ?

CHAPITRE V : FORCE ET CHAMP ELECTROSTATIQUE

Après une course par temps sec et ensoleillé, **pour**quoi en touchant la poignée de la porte de la voiture Sid Ahmed a senti une décharge électrique ?

OBJECTIFS

- ✓ **Savoir électriser un corps par : frottement-influence-contact.**
- ✓ **Savoir les deux types d'électricité.**
- ✓ **Savoir appliquer la loi de Coulomb**
- ✓ **Connaître les caractéristiques du champ électrostatique.**

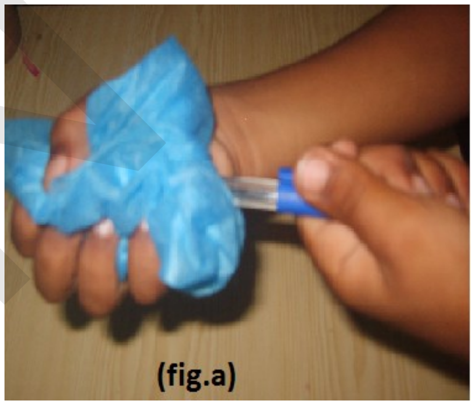
I- PHENOMENE D'ELECTRISATION

Expérience 1

1 - Matériel

- un stylo en matière plastique
- une règle en plexiglas
- de petits morceaux de papier légers
- un morceau de tissu

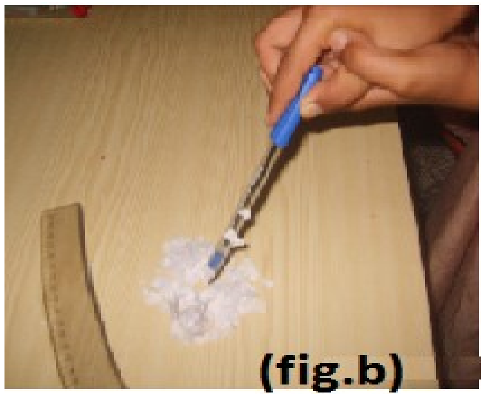
2- Manipulation



Approchons un stylo en matière plastique ou une règle en plexiglas des petits morceaux de papier légers.

Observation :
Rien ne se produit.

Frottons le stylo avec un tissu (figure. a) ou sur nos cheveux, puis approchons-le des petits morceaux de papier.



Observation :
Les petits morceaux sont attirés par la partie frottée du stylo (figure b).

Conclusion :

Le stylo frotté, acquiert des propriétés nouvelles qui lui permettent d'attirer des objets légers : on dit qu'il est électrisé (ou chargé d'électricité) . (Figure. b).

II- DIFFERENTS TYPES D'ELECTRISATION

1 - Electrisation Par Frottement

Expérience 2

- Frotter un bâton de verre avec un morceau de tissu bien sec et l'approcher des petits morceaux de papier disposés sur la table
- Frotter un bâton d'ébonite avec une fourrure et l'approcher des petits morceaux de papier disposés sur la table

Observation

Le verre frotté et l'ébonite frottée attirent les morceaux de papier.

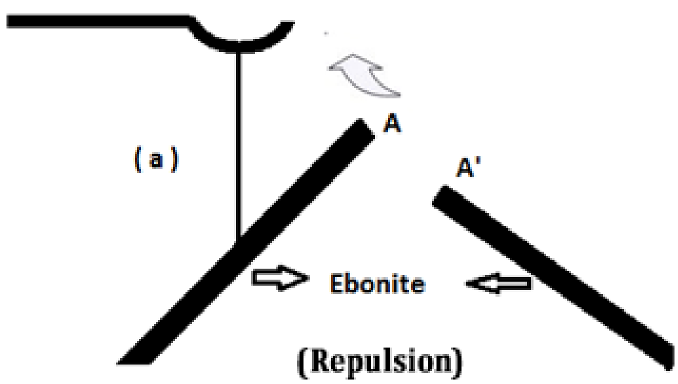
Conclusion

On dit que le verre et l'ébonite sont électrisés par frottement. Des charges électriques apparaissent sur le verre et l'ébonite.

2- Les Deux Types D'electricites

Expérience 3

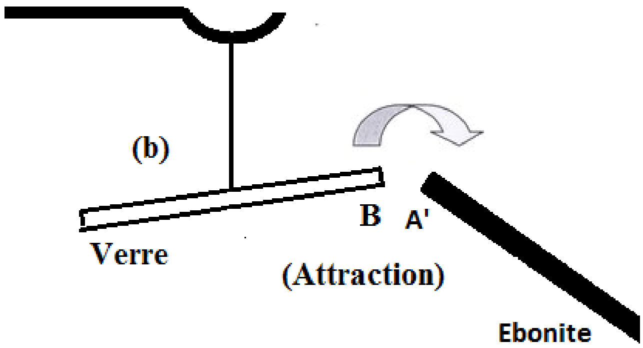
- Après avoir électrisé par frottement les extrémités **A** et **A'** de deux bâtons d'ébonite, plaçons l'un de ces bâtons sur un étrier léger suspendu à un fil fin. Approchons de l'extrémité électrisée **A** du bâton suspendu l'extrémité **A'** (fig. a).



Observation :

Les deux bâtons d'ébonite électrisés se repoussent

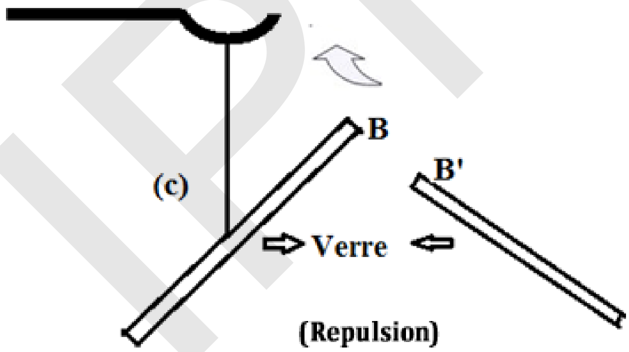
- Remplaçons sur l'étrier le bâton d'ébonite par un bâton de verre dont la partie **B** a été électrisé par frottement avec du drap puis approchons de **B** l'extrémité **A'** du bâton d'ébonite tenu à la main (figure-b).



Observation :

Les deux extrémités des deux bâtons s'attirent .

- Remplaçons maintenant le bâton d'ébonite dans la figure (b) par un bâton de verre frotté (figure. c)



Observation

Les deux bâtons se repoussent

Conclusions

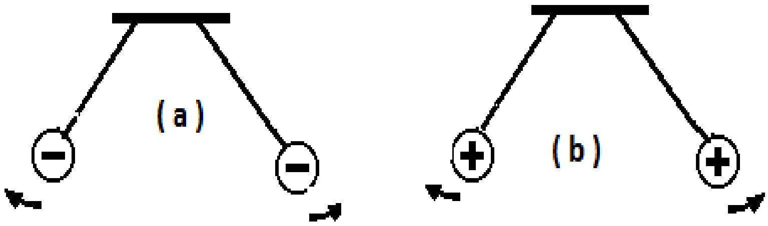
Ces expériences faciles à répéter avec d'autres corps électrisés conduisent aux résultats suivants :

- Les charges électriques que les frottements font apparaître sur l'ébonite et sur le verre sont d'espèces différentes. Il n'existe d'ailleurs que deux sortes d'électricité car l'expérience montre que tout corps électrisé se comporte soit, comme le bâton d'ébonite frotté avec une fourrure, soit comme le bâton de verre frotté avec du drap.

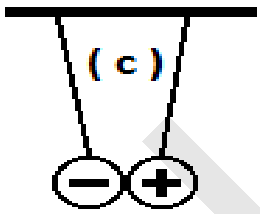
Par convention, on les désigne par :

- ➢ électricité positive notée **(+)**, celle qui apparaît sur le verre.
- ➢ électricité négative notée **(-)**, celle qui apparaît sur l'ébonite.

- Deux corps chargés d'électricité de signe de même nature se repoussent.



- Deux corps chargés d'électricité de signe différents s'attirent.



3- La Charge Electrique

La charge électrique d'un porteur de charges électriques pouvant être positive **(Q > 0)** ou négative **(Q < 0),** est un multiple entier de la charge élémentaire **(e)** **Q = n. e**
Lorsqu'un matériau isolant est frotté par un autre matériau isolant, des électrons sont arrachés par le frottement aux atomes superficiels. L'équilibre des charges proton électron est alors rompu dans les atomes concernés qui se retrouvent alors chargés positivement (défaut d'électrons). D'un autre côté, le corps qui a arraché les électrons les a emportés à sa surface et se trouve à son tour chargé négativement (excès d'électrons).
Dans le système international, les charges électriques s'expriment en coulomb, symbole **C**.
Dans la nature, la plus petite particule chargée d'électricité a une importance fondamentale : c'est l'électron, portant une électricité (-). Ainsi, on note la charge d'un électron :

$$q_e = -e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$$

4- L'electrisation Par Contact

Expérience 4

Matériel

- Un petit morceau de polystyrène
- Une feuille d'aluminium

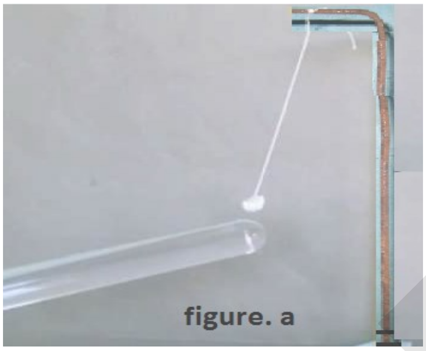
- Un fil isolant
- Un support isolant
- Un bâton de verre électrisé

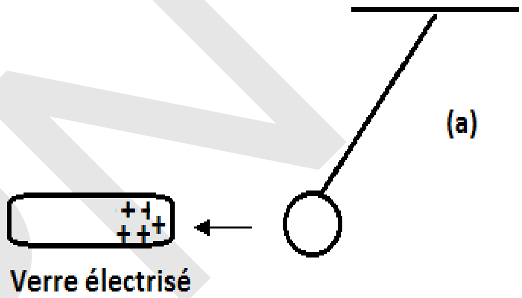
Manipulation

- Envelopper un petit morceau de polystyrène avec une feuille d'aluminium pour former une boule que l'on fixe par un fil isolant à un support isolant. On constitue alors un pendule électrique
- Approchons le bâton de verre électrisé de la balle du pendule.

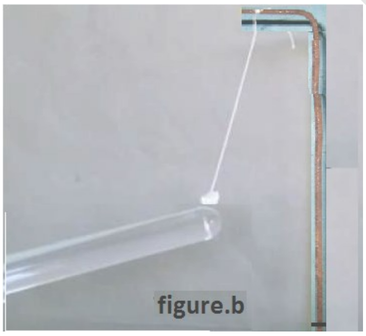
Observons :

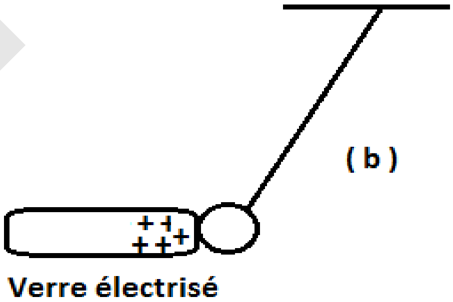
➢ la balle du pendule est attirée (figure a).



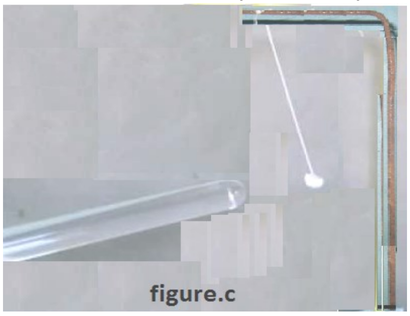


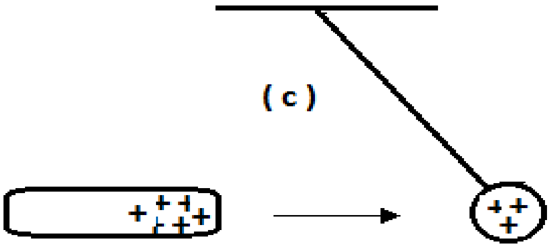
➢ elle vient en contact avec le bâton de verre (figure b),





➢ elle est ensuite repoussée par ce même bâton (figure c).



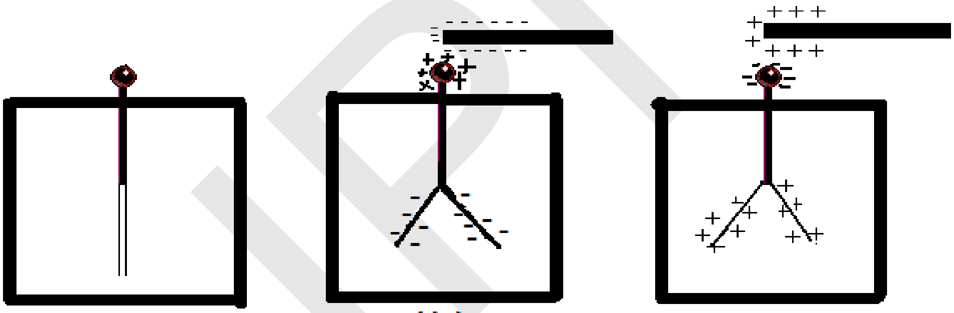


Interprétation

La balle du pendule était à l'état neutre au départ de l'expérience. Après le contact avec le bâton, elle s'éloigne de celui-ci.
Alors la balle s'est électrisée au contact du bâton de verre. **Il y a électrisation par contact** (fig. b).

5- L'electrisation Par Influence

Utilisons un électroscope (figure .a). C'est un dispositif constitué d'une tige métallique supportant deux feuilles étroites et très fines d'or ou d'aluminium. L'ensemble est placé dans une enceinte transparente et isolante (verre).



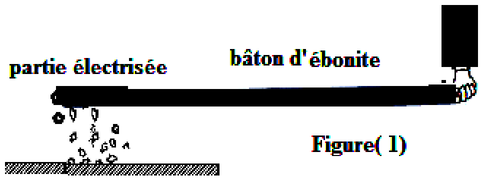
Lorsqu'on approche une baguette électrisée de l'électroscope (sans le toucher), les feuilles de l'électroscope s'écartent (figure. b -c). Si on éloigne la baguette, les feuilles retombent.

Interprétation :

Dans l'expérience précédente l'électroscope, sans contact avec la baguette, n'a pas pu se charger. Il est globalement neutre. Si les lamelles se sont écartées, c'est qu'elles portent des charges de même nature.
Si la baguette est chargée négativement elle pousse les électrons libres de l'électroscope. Ces électrons se retrouvent en excès dans les lamelles qui deviennent négatives et se repoussent. (figure. b).
Si la baguette est chargée positivement, elle attire les électrons libres de l'électroscope. Ces électrons se retrouvent en défaut dans les lamelles qui deviennent positives et se repoussent (figure. c).

Expérience 5

Electrisons l'extrémité de deux bâtons, un de cuivre et l'autre d'ébonite.
Approchons-les des petits morceaux de papiers répandus sur la table.



Figure(1)

Figure (2)

Observations :

- L'ébonite n'attire pas les petits morceaux de papier que sur l'extrémité chargée figure (1):

C'est un isolant électrique.

- Le bâton de cuivre attire les petits morceaux de papier sur tout son corps même en dehors de l'extrémité initialement chargée figure (2):

C'est un conducteur électrique.

Conclusion

-Les isolants conservent les charges électriques là ou elles sont apparues: elles restent localisées.

-Les conducteurs, au contraire repartissent leurs charges électriques sur toute la surface: elles ne restent pas localisées.

Expérience 6

Prenons deux sphères métalliques, l'une chargée et l'autre neutre

- Lorsqu'on met une tige de fer en contact avec les deux

sphères métalliques, on constate que la sphère neutre se charge rapidement figure (1).

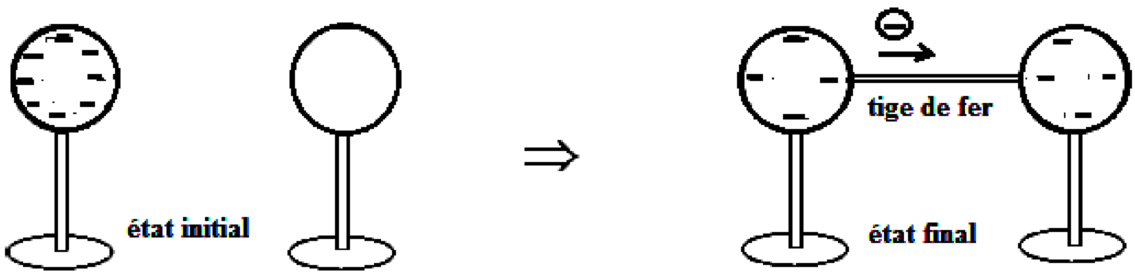


Figure (1)

- Par contre, si on relie les deux sphères par une baguette en bois, la sphère neutre reste neutre et la sphère électrisée, garde sa charge. figure(2).

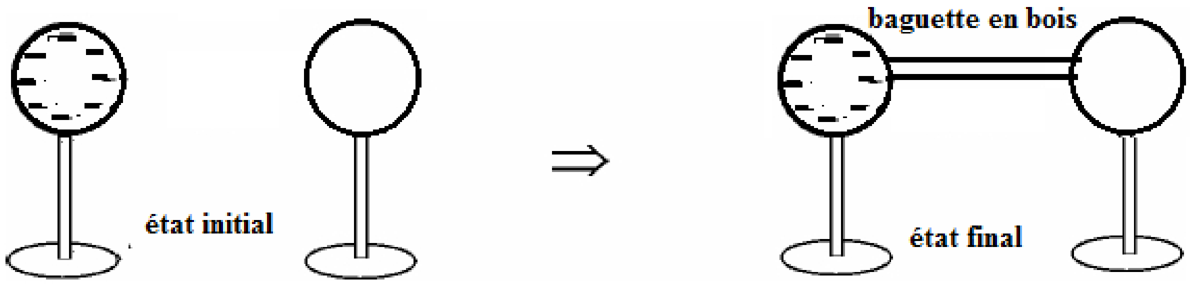


Figure (2)

On dit que les matériaux comme le fer, le cuivre ou les métaux en général sont des conducteurs d'électricité tandis que ceux comme le bois, l'ébonite ou le caoutchouc sont des

V - ACTION MUTUELLE DE DEUX CHARGES PONCTUELLES : (LOI DE COULOMB)

Considérons deux charges ponctuelles $\mathbf{q_1}$ et $\mathbf{q_2}$, (de dimensions négligeables par rapport à la distance qui les sépare), placées dans le vide, au repos et séparées par une distance **r**.

Nous savons que deux charges peuvent s'attirer ou se repousser selon leurs signes.

La loi de Coulomb précise les caractéristiques de ces forces électrostatiques entre deux charges.

Les forces d'attraction ou de répulsion qui existent entre deux charges ponctuelles $\mathbf{q_1}$ et $\mathbf{q_2}$ placées respectivement aux points ***A*** et ***B***, ont :

- la même droite d'action, la droite **(AB)**
- des sens opposés
- la même intensité.

Cette intensité est proportionnelle à $|q_1|$ et $|q_2|$ et inversement proportionnelle au carré de la distance ***r = AB*** qui sépare les deux charges. $F_{1/2} = F_{2/1} = K\dfrac{|q_1| \times |q_2|}{r^2}$

Avec :

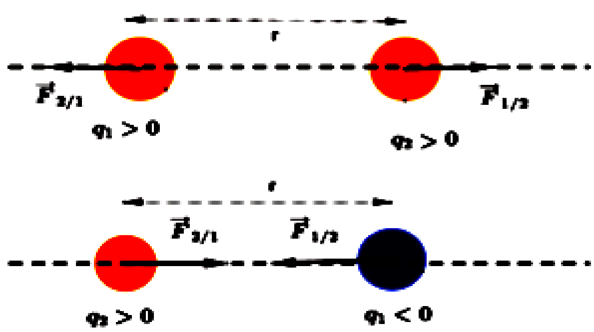
$|q1|$ et $|q2|$: Valeurs absolues des charges en coulomb **[C]**

r en mètre **[m]**

$\mathbf{K = 9 \times 10^9}$ en unités SI, constante de proportionnalité;

F en newton **[N].**

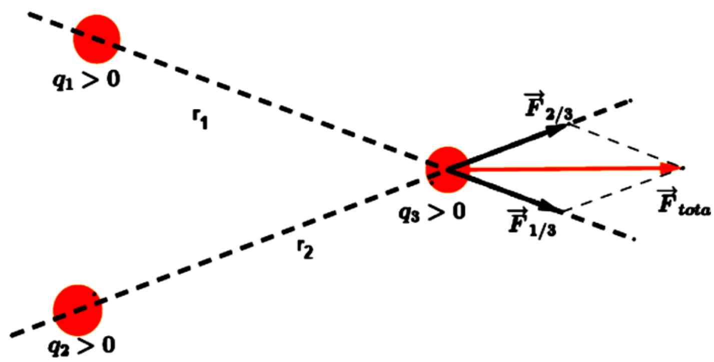
La constante **K** peut être exprimée à l'aide d'une autre constante appelée permittivité du vide,



notée ε_0 : $K = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ avec $\varepsilon_0 = 8{,}85410^{-12}$ unités S.I .

Principe de superposition des forces

Considérons trois charges ponctuelles **q_1, q_2 et q_3** fixées respectivement en **O_1, O_2 et M** (voir figure), on veut déterminer la force totale subie par la particule de charge **q_3**



La loi de Coulomb décrit uniquement l'interaction entre deux charges. Mais l'expérience montre que lorsque deux charges exercent simultanément une force sur une troisième charge, la fo totale sur cette dernière est la somme vectorielle des forces que les deux charges exercent. Individuellement. On a donc simplement $\vec{F_1} + \vec{F_2} = \vec{F}_{totale}$. Ce résultat se généralise à une Distribution quelconque de plusieurs charges.

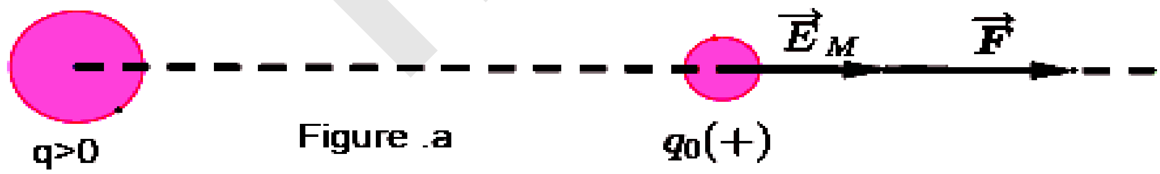
Il s'agit du principe de superposition qui joue un rôle très important dans l'étude de l'électromagnétisme.

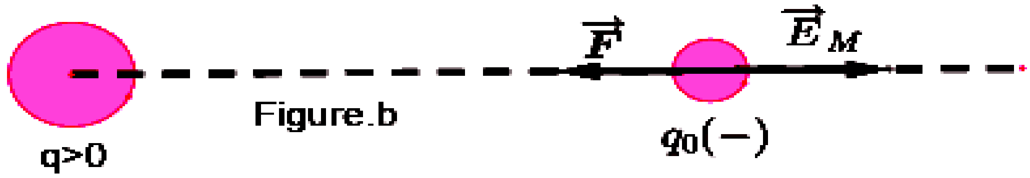
VI- CHAMP ELECTROSTATIQUE

Par définition, on dit qu'il existe un champ électrique $\vec{E}$en un point donné de l'espace où se trouve une charge **q_0** si cette charge est soumise à une force $\vec{F_e}$ telle que : $\vec{E} = \frac{\vec{F_e}}{q_0}$.

Dans le système international l'unité de **E** est **($V.m^{-1}$)** $\vec{E}$ est colinéaire à $\overrightarrow{F_e}$

Le sens $\vec{E}$ et $\vec{F_e}$ dépend de signe de q_0 :





Si **q_0 >0** ; $\vec{E}$ et $\vec{F_e}$ sont de même sens (figure. a).

Si **q_0<0** ; $\vec{E}$ et $\vec{F_e}$ sont de sens opposés (figure. b).

1 - Champ crée par une charge ponctuelle

Lorsqu'une charge **q** se trouve au point **O**, elle crée alors, en tout point **M** de l'espace qui l'entoure un champ vectoriel, appelé champ électrostatique exprimé par la relation :

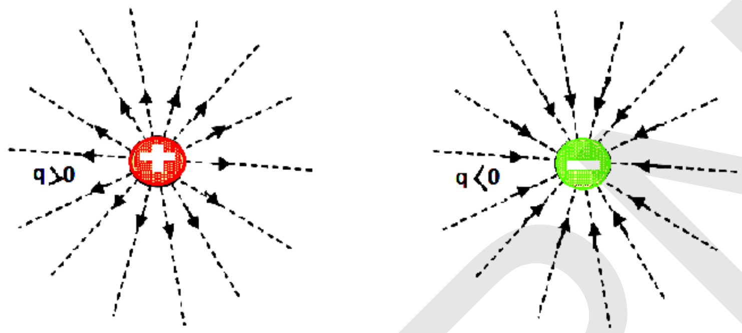
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q_0} = \frac{1}{4\pi\mathcal{E}_0} \cdot \frac{q}{r^2}\vec{u}$$

q : la charge présente au point **O**.

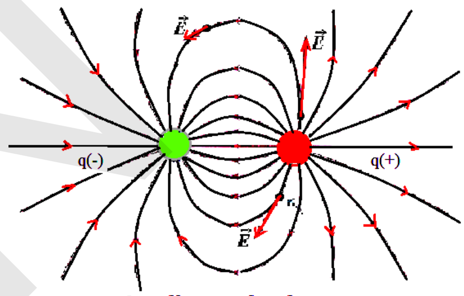
q_0 : une charge test placée au point **M**, subit l'action de la force électrostatique.

2- Lignes de champ

Une ligne de champ électrostatique est une courbe tangente en chaque point au vecteur champ électrostatique   défini en ce point.
L'ensemble des lignes de champ définit une cartographie du champ.



Champ radial crée par une charge ponctuelle



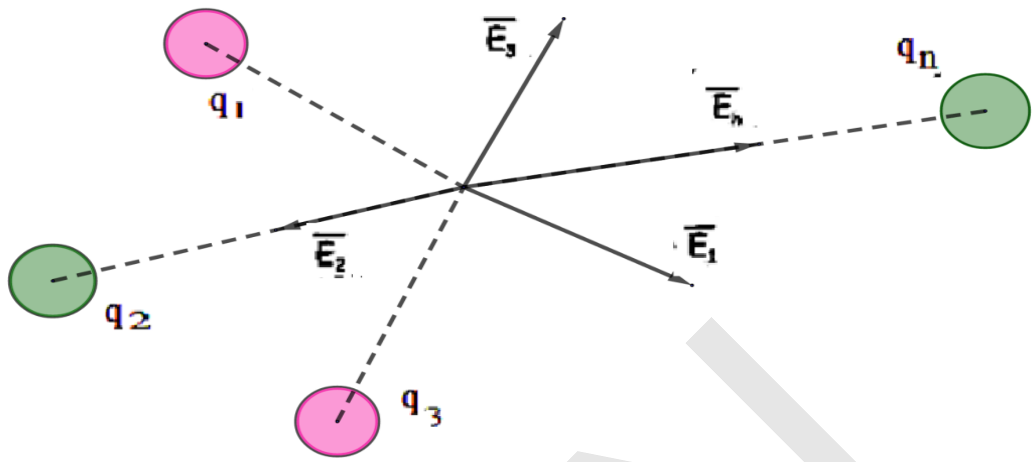
Les lignes du champ

Propriétés :

- Deux lignes de champ ne se croisent jamais en un point **M** sauf si le champ $\vec{E}$ est nul en **M**.
- Une ligne de champ électrostatique n'est pas fermée.
  Elle part d'une charge **q(+)** et se termine sur une charge de signe opposé.
- Pour savoir quelle est la direction du champ en un point **M** d'une ligne de champ, il faut y placer une charge positive et regarder la direction et le sens de la force électrostatique qu'elle subit. Sa direction et son sens sont les mêmes que celle du champ.
- Dans le cas d'une charge ponctuelle, les lignes de champ sont des demi-droites qui se coupent au point où se trouve la charge.
  Si la charge est positive, le champ est dirigé vers l'extérieur, on dit qu'il est partant, il en va de même pour les lignes de champ. Le contraire est vrai pour la charge négative, les lignes de champ convergent vers la charge, le champ dans ce cas est dirigé vers la charge. (Figures précédentes)

3- Superposition des champs électrostatiques

Le principe de superposition qui s'applique aux forces électrostatiques s'applique également au champ électrique. Pour calculer le champ créé en un point par un ensemble de **n** charges qi, on détermine d'abord séparément le champ $\vec{E}_1$ dû à q_1, le champ $\vec{E}_2$ dû à q_2, etc… Le champ résultant $\vec{E}$ est égal à la somme vectorielle des champs individuels $\vec{E}_i$. $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots . \vec{E}_n$



Exercices resolus

Exercice1 :

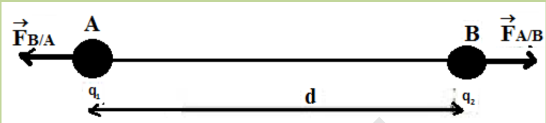
Deux charges ponctuelles de même signe ayant pour valeurs 10^{-8} C et 10^{-9}C sont distantes de 3cm.

1) Représenter les forces qu'elles exercent l'une sur l'autre

2) Calculer leur intensité.

Solution.

1)



2)

$$\boxed{F_{A/B} = F_{B/A} = K\frac{|q_A|.|q_B|}{d^2}}$$

$$A.N : F_{A/B} = F_{B/A} = 9.10^9 \frac{10^{-8}.10^{-9}}{(3.10^{-2})^2}$$

$$\boxed{F_{A/B} = F_{B/A} = 10^{-4} N}$$

Exercice 2 :

Deux charges ponctuelles égales placées à 10cm l'une de l'autre se repoussent avec une force d'intensité 0,05N. De combien faudrait il les rapprocher pour que la force de répulsion prenne une intensité de 0,1N.

Solution :

$$\left.\begin{array}{l} F_1 = K\dfrac{|q_A|.|q_B|}{d_1^2} \\ F_2 = K\dfrac{|q_A|.|q_B|}{d_2^2} \end{array}\right) \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$$

$$\boxed{d_2 = d_1\sqrt{\frac{F_1}{F_2}}}$$

$A.N$

$$d_2 = 10\sqrt{\frac{0,05}{0,1}}$$

$$\boxed{d_2 = 7cm}$$

Exercice 3

Quatre charges ponctuelles identiques –q (q > 0) sont fixées aux sommets A, B, C et D d'un carré de côté a. Une cinquième charge $q_0 > 0$ est maintenue fixe au centre O du carré. Déterminer la valeur de q0 en fonction de q pour que la force électrostatique totale qui s'exerce sur chacune des cinq charges soit nulle.

Solution.

force électrostatique $\vec{F}$ (o) exercée par les quatre charges identiques –q sur la charge q0 est nulle quelle que soit la valeur de q0. Il reste à évaluer la force totale exercée sur chacune des charges –q, par exemple la charge placée en A (figure 1).

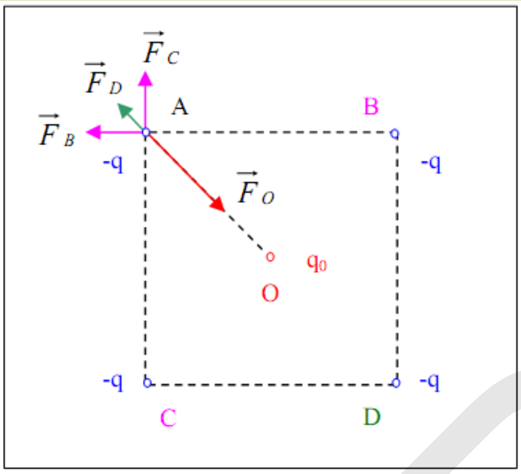


Figure 1

Puisque e : $\overrightarrow{BO}=-\overrightarrow{CO}$

$\overrightarrow{BA}+\overrightarrow{CA}=(\overrightarrow{BO}+\overrightarrow{OA})+(\overrightarrow{CO}+\overrightarrow{OA})=2\overrightarrow{OA}$; $\overrightarrow{DA}=2\overrightarrow{OA}$;

$$= \frac{q}{4\pi\mathcal{E}_0 a^3}\left\lfloor q\left(2+\frac{2\sqrt{2}}{4}\right) - q_0 2\sqrt{2}\right\rfloor \overrightarrow{OA} = \frac{q}{4\pi\mathcal{E}_0 a^3}\left\lfloor q\left(2+\frac{\sqrt{2}}{2}\right) - q_0 2\sqrt{2}\right\rfloor \overrightarrow{OA}$$

La force $\vec{F}$(A) est nulle lorsque :

$$q\left(2+\frac{\sqrt{2}}{2}\right) - q_0 2\sqrt{2} = 0$$

Ainsi,

$$q_0 = q\left(\frac{2+\frac{\sqrt{2}}{2}}{2\sqrt{2}}\right) = q\left(\frac{1+2\sqrt{2}}{4}\right)$$

Essentiel

● En frottant un isolant comme l'ébonite ou le verre on l'électrise, c'est-à-dire que l'on fait apparaitre des charges électriques sur les parties frottées. Par contre, un conducteur ne peut être électrisé que s'il est tenu par l'intermédiaire d'un manche isolant.
● Il existe deux sortes d'électricité : l'électricité qui apparait sur le verre et celle qui apparait sur le bâton d'ébonite.
● Par convention, l'électricité qui apparait sur le bâton de verre frotté est notée positivement (+) et celle qui apparait sur le bâton d'ébonite frotté est notée négativement (-).
Deux corps qui portent des charges électriques de même signe se repoussent.
♦ Deux corps qui portent des charges électriques de signes contraires s'attirent.
● Un corps initialement neutre, amené au contact d'un corps électrisé, prend une charge de même signe que celle de ce corps. On peut aussi l'électriser par l'influence.
● Deux charges électriques ponctuelles exercent l'une sur l'autre des forces opposées dont l'intensité commune est proportionnelle aux valeurs absolues des deux charges et à l'inverse du carré de leur distance : $F = K\dfrac{|q_1|\cdot|q_2|}{r^2}$ (Formule de coulomb).
● Dans le système d'unités SI ou les unités de force, de longueur et de charge électrique sont respectivement le Newton ,le mètre et le coulomb, la constante de proportionnalité K vaut $K = 9\cdot 10^9$
● La valeur absolue de la charge de l'électron est : $|q_e| = 1{,}6.10^{-19}\,C$

• Une charge ponctuelle placée en O crée en un point M de l'espace caractérisé par le vecteur $\overrightarrow{OM} = r\vec{u}$ ($\vec{u}$ vecteur unitaire de $\overrightarrow{OM}$),un champ électrostatique $\vec{E}$ donné par. :

$$\vec{E} = 9.10^9.\frac{q}{r^2}\vec{u}$$

• En un point M le champ électrostatique crée par deux charges ponctuelles A et B est égal à la somme vectoriel des champs crées séparément par chacune des charges en ce point.

$$\vec{E}(M) = \overrightarrow{E_A}(M) + \vec{E}_B(M)\ .$$

Exercices

Expérience 1

Une charge Q est placée aux deux coins opposés d'un carré de coté a. Une charge q est placée aux deux autres coins. Si la résultante de la force électrique agissant sur Q est nulle, comment Q et q sont - elles liées.

Exercice 2

Au sommet A , B et C d'un triangle équilatéral dont le coté a pour longueur 10cm, on place respectivement des charges électriques ponctuelles de valeurs : 10^{-7}C, 10^{-7}C et -10^{-7}C.
On demande de déterminer les forces électriques résultantes s'exerçant sur chacune de ces trois charges.

Exercice 3

Deux charges ponctuelles égales placées à 10cm l'une de l'autre se repoussent avec une force de 0,05N.
1) Calculer la valeur commune q de ces charges.
2) De combien faudrait il les rapprocher pour que la force de répulsion prenne une intensité de 0,1N.

Exercice 4

Deux petites sphères identiques métallisées, ayant chacune une masse m = 50mg, sont suspendues au même point d'un support par des fils de soie de même longueur l = 50cm. Après électrisation par contact sur le même pôle d'une machine électrostatique, les deux sphères portent des charges égales. Elles s'écartent alors de 5cm. On demande de calculer la valeur de ces charges en Coulomb.

Exercice 5

Deux pendules électriques identiques sont formés d'une petite sphère légère et métallisée, de masse 0,2g, suspendue à un fil de soie de longueur 1m. On les attache à une barre horizontale en des points distants de 2 cm. Après avoir électrisé les deux sphères par contact sur un même conducteur électrisé, on constate que le fil de l'un des pendules accuse par rapport à la verticale une déviation de 10°. On demande
1-La déviation du fil de l'autre pendule
2-L'intensité des forces électriques s'exerçant sur les sphères
3-La valeur absolue des charges q et q' des deux sphères dans les deux cas suivants :
a)Q = q'
b)Q = 3q'

Exercice6

1) Quelle est la valeur du champ électrique créé par un proton à une distance de celui-ci égale à 10^{-10} m ?
2) Une charge ponctuelle q crée un champ dont la valeur est 10 N/C à 1 cm de la charge.
a) Quelle est la valeur de q ?
b) Quel est le champ créé aux distances (en cm) égales à 2, 3, 4, 5 ? Représenter graphiquement la variation du champ en fonction de la distance à la charge q.

Exercice7

1) Deux charges électriques +q et –q sont respectivement en A et B telles que AB=2a.
a) Déterminer, en fonction de q, ε_0 et a, les caractéristiques du champ électrostatique au milieu O de AB.
b) Déterminer l'intensité E_M du champ électrostatique au point M tel que MA=MB=2a.
2) Deux charges +q sont situées en deux sommets opposés d'un carré de côté a. Le troisième sommet porte la charge –q. Quel est le champ électrique créé par ces trois charges au quatrième sommet du carré ?

Exercice8

1) Aux sommets ABCD d'un carré de côté a = 5 cm sont placées les charges +q, +q, +3q, +3q (q = 1,0 nC). Déterminer les caractéristiques du vecteur champ électrique créé au centre du carré.
2) Un pendule électrostatique dont la boule a une masse m = 1,0 g et porte une charge q est placée dans un champ électrique horizontal et uniforme E =2.10^5N/C.
Sachant qu'à l'équilibre le fil est incliné de 12° par rapport à la verticale, calculer q.

Exercices 9

Trois charges ponctuelles +q, -q et -q sont placées aux sommets d'un triangle équilatéral de côté a. Déterminer les caractéristiques du champ électrostatique régnant au centre du triangle. Application numérique : q = 0,1 nC et a = 10 cm.

CHAPITRE VI : INTENSITE ET TENSION ELECTRIQUE

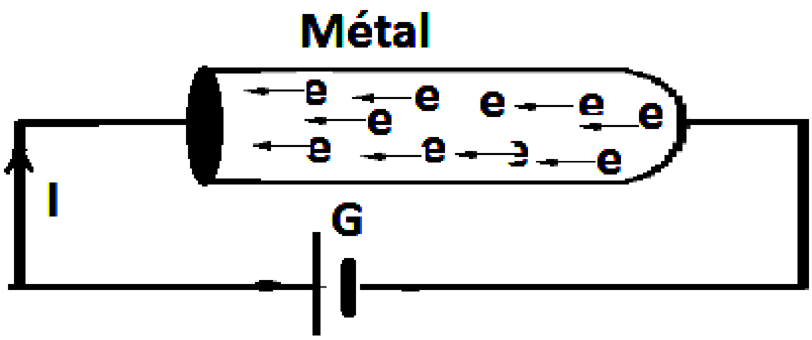
OBJECTIFS :

- ✓ Savoir mesurer une tension
- ✓ Savoir appliquer les lois des tensions
- ✓ Savoir exprimer une tension sous forme d'une différence de potentiel et la représenter par une flèche
- ✓ Savoir mesurer l'intensité d'un courant
- ✓ Connaître la nature du courant dans les métaux et dans les électrolytes
- ✓ Savoir appliquer les lois relatives à l'intensité : loi d'unicité et loi des nœuds.

I- LE COURANT ELECTRIQUE

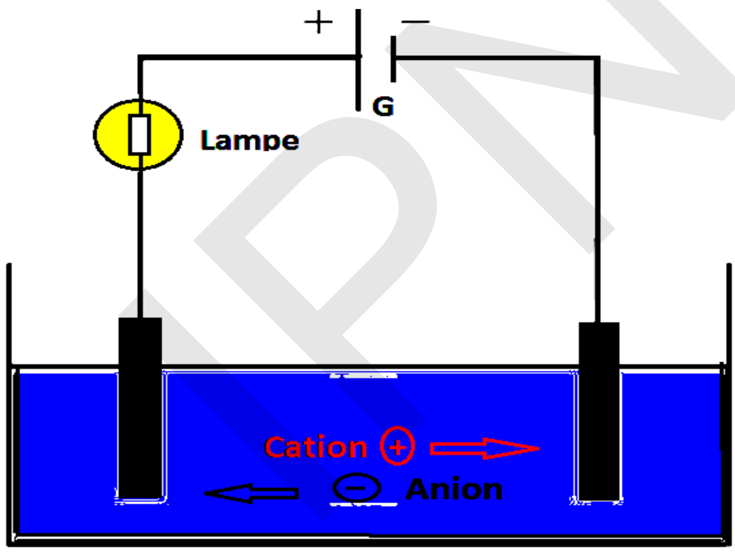
Le courant électrique est dû à un déplacement collectif et organisé des porteurs de charges.

- Dans un métal, ces porteurs de charge sont des électrons (particules chargées négativement $q_e = -e$ où $e = 1,6.10^{-19}C$ est la charge élémentaire)



Le passage du courant dans un solide

- Dans un électrolyte, ce sont des ions (les cations et les anions).



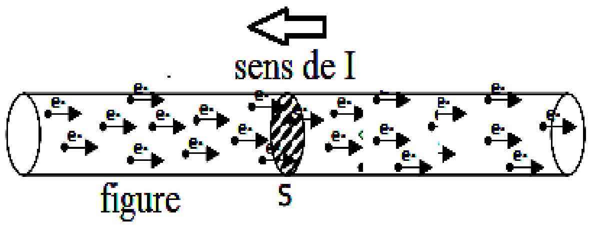
Le courant dans un electrolyte

1 - Quantité d'électricité

La quantité d'électricité transportée par un électron ou par un ion est la valeur absolue de sa charge. L'unité de quantité d'électricité est le coulomb : symbole **C**.

- La charge d'un électron est en valeur absolue la plus petite charge connue. On la note q_e.
- **La charge d'un ion** :
  - Pour un ion négatif (anion), qui s'obtient lorsqu'un atome ou un groupe d'atomes gagne un ou plusieurs électrons, la charge est un multiple négatif de celle d'un électron.
  - Pour un ion positif (cation), qui s'obtient lorsqu'un atome ou un groupe d'atomes perd un ou plusieurs électrons, la charge est un multiple positif de celle d'un électron.

2- Intensité d'un courant électrique



Soit une section **(S)** d'un conducteur métallique parcouru par un courant électrique.

Pendant une durée Δt donnée, cette section est traversée par **n** électrons (figure ci-contre).

La quantité d'électricité associée à ce transport de charges est : $\mathbf{Q = n|q_e| = ne}$.

Par définition, l'intensité **I** d'un courant électrique est la quantité d'électricité qui traverse une section du conducteur en une seconde.

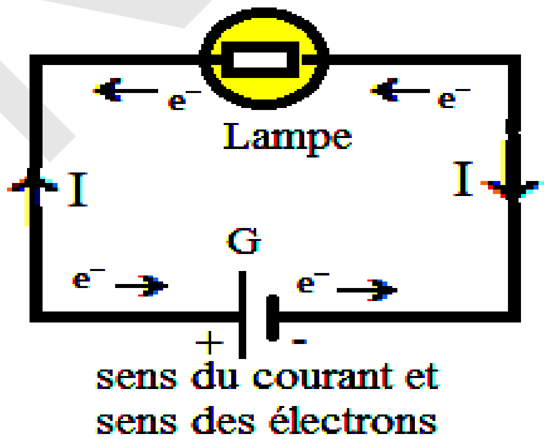
Soit $\mathbf{I = \frac{Q}{t}}$ donc $\mathbf{Q = It}$. Cette définition n'est valable que pour un courant continu.

Q est exprimée en Coulomb **(C)**

$\mathbf{\Delta t}$ exprimé en seconde **(S)**

I est exprimée en ampère **(A)**.

3- Sens conventionnel du courant



Par convention, le sens du courant va de la borne positive **(+)** vers la borne négative **(-)** à l'extérieur du générateur. Le sens de déplacement des électrons est opposé car les électrons sont des particules chargées négativement.

Remarque :

- ✓ ***Dans un conducteur métallique, le sens du déplacement des électrons est opposé au sens du courant***
- ✓ ***Dans une solution ionique, les ions positifs se déplacent dans le sens du courant, les ions négatifs dans le sens contraire.***

II- MESURE DE L'INTENSITE

On mesure l'intensité d'un courant électrique à l'aide d'un ampèremètre dont le symbole est : 

L'ampèremètre est toujours branché en série dans la partie du circuit dont on veut connaître l'intensité du courant circulant. Il doit être branché tel que le courant entre par sa prise marquée **A** ou **mA** ou **+** et qu'il sorte par la prise **COM**.

Si le courant entre par la borne **COM** et sort par la borne **A**, le signe **(–)** s'affiche.

Avant de mesurer une intensité de courant, il faut se rassurer d'avoir adapté l'ampèremètre à la nature du courant **(DC/AC)** :

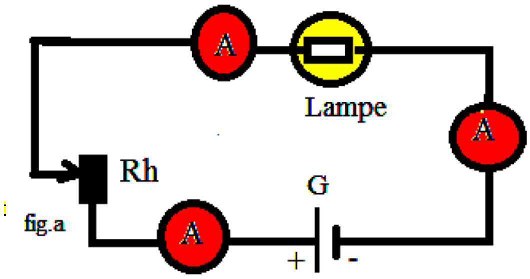
- **DC (-)** : courant continu ; un courant qui a toujours le même sens
- **AC (~)** : courant alternatif ; un courant dont le sens alterne plusieurs fois par seconde

Il faut aussi choisir un calibre de mesure supérieur à l'intensité maximale que l'on veut mesurer. Si on mesure un courant dont on ne connaît pas l'intensité approximative, on commence par le calibre le plus grand, ensuite on descend, si c'est possible, vers les calibres inférieurs (ce qui permet une meilleure précision de mesure).

III - LOIS RELATIVES A L'INTENSITE

1- Circuit en série : Unicité de l'intensité

Réalisons le montage du circuit de la figure a. branchons trois ampèremètres dans le circuit (entre le générateur et la lampe, entre la lampe et le rhéostat et entre le rhéostat et le générateur) ,on constate que les trois ampèremètres indiquent la même intensité.



Pour mesurer l'intensité du courant dans un circuit série,on peut placer l'amprmétre à n'importe quel point du circuit.

Conclusion :

Dans un circuit en série, le courant circulant dans tous les dipôle a la même intensité.

Remarque :

Lorsque l'un des appareils d'un circuit en série tombe en panne, le circuit est ouvert et le courant ne passe plus. Les autres appareils ne fonctionnent plus.

2- Circuit en dérivation : loi des nœuds

Réalisons le montage du circuit de la figure (**b**) qui présente deux nœuds, en **B** et en **C**, et trois branches :

- ✓ la branche principale qui contient le générateur ;
- ✓ une branche dérivée qui contient la lampe
- ✓ une autre branche dérivée qui contient le moteur.

La mesure de l'intensité du courant dans chaque branche montre que : $I = I_1 + I_2$. Cette relation traduit la loi des nœuds.

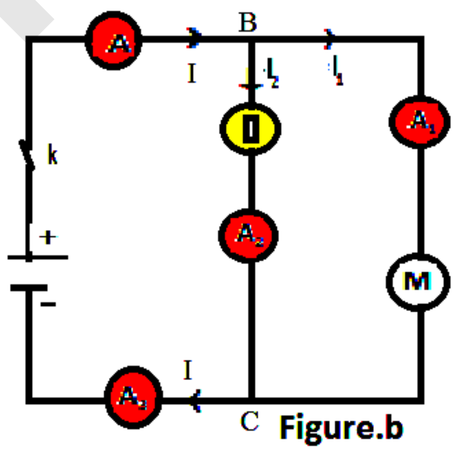


Figure.b

Conclusion :

Dans un circuit en dérivation, l'intensité du courant dans la branche principale est égale à la somme des intensités des courants dans les branches dérivées.

Remarque

- ✓ ***Nœud : point de raccordement de trois fils au moins.***
- ✓ ***Branche : une série de dipôles alignés entre deux nœuds.***
- ✓ ***Dans un montage en dérivation, si l'un des appareils électriques tombe en panne, les autres continuent à fonctionner.***

IV – LA TENSION ELECTRIQUE

1- Définition

La tension électrique U_{AB} entre deux points d'un circuit est la différence de potentiel électrique entre ces deux points : $U_{AB} = V_A - V_B$.

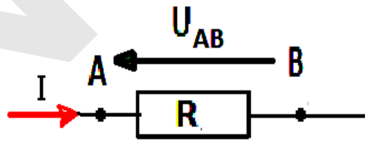
La tension électrique est une grandeur algébrique : elle peut prendre des valeurs positives ou négatives. Son unité est le volt de symbole **(V).**

2- Mesure

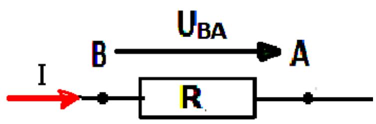
La tension électrique aux bornes d'un dipôle électrique se mesure à l'aide d'un voltmètre que l'on branche en parallèle avec le dipôle :

3- Convention récepteur et convention générateur

- Soit un dipôle **AB** pour lequel une intensité **I** a été fléchée, par exemple, de **A** vers **B**. On peut considérer deux tensions aux bornes de ce dipôle : U_{AB} ou bien U_{BA}.
  Si on considère la tension U_{AB}, (représentée par une flèche de **B** vers **A)**, on dit que le dipôle est orienté (ou fléché) en convention récepteur : les flèches de **I** et de **U** sont en sens inverse.



  - Si on considère la tension U_{BA}, (représentée par une flèche de **A** vers **B**), on dit que le dipôle est orienté (ou fléché) en convention générateur : les flèches de **I** et de U sont dans le même sens.



Ces deux manières de flécher la tension ou l'intensité n'ont rien à voir avec le signe de U_{AB} ni de **I** ; cela dépend du type de dipôle dont il s'agit.
En général, une pile est représentée en convention générateur.

4- lois des tensions

4-1- Loi d'additivité de la tension dans un circuit en série

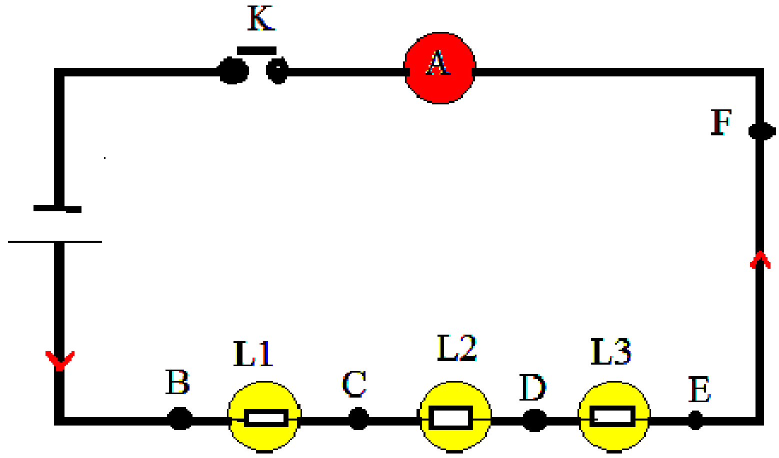
Expérience 1

Matériel

- Un générateur
- Trois lampes
- Un ampèremètre
- Un interrupteur

Manipulation

Réalisons le circuit en série ci-dessus (figure ci-dessous)



Mesurons à l'aide d'un voltmètre les tensions : **U_{BC} , U_{CD} , U_{DE} , U_{BE} et U_{BF}**.

Résultats

Les résultats des mesures sont regroupés dans le tableau suivant :

Tensions	U_{BC}	U_{CD}	U_{DE}	U_{BE}	U_{BF}
Valeurs(V)	3,3	2,4	2,1	7,8	7,8

Conclusion :

Les résultats des mesures montrent que :

- ✓ **Le long d'un circuit en série, les tensions s'ajoutent.**
- ✓ **En circuit série la tension entre les bornes du générateur est égale à la somme des tensions entre les bornes des autres dipôles.**

$$U_{BE} = U_{BC} + U_{CD} + U_{DE}$$

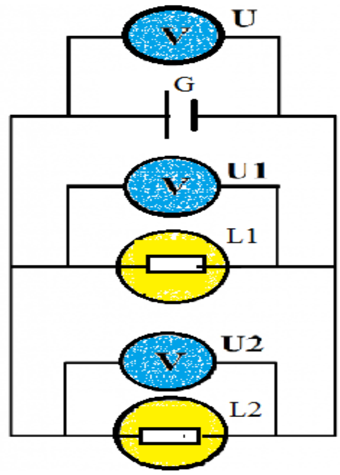
Cette loi est valable quelque soient le nombre, l'ordre et le type des dipôles.

Remarque :

- *La tension aux bornes d'un fil de jonction est nulle.*
- *La tension aux bornes d'un ampèremètre est nulle.*

4-2- Loi d'unicité de la tension dans un circuit en dérivation

Expérience 2



Matériel

- Un générateur
- Deux lampes
- Deux voltmètres

Manipulation

Réalisons un circuit en dérivation figure ci-contre
Mesurons à l'aide d'un voltmètre les tensions :
U : aux bornes du générateur
U_1 : aux bornes de la lampe L_1
U_2 : aux bornes de la lampe L_2

Résultats

Les résultats des mesures sont regroupés dans le tableau suivant :

Tensions	U1	U2	U
Valeurs(V)	4,5	4,5	4,5

Conclusion :

Les résultats des mesures montrent que :

- ✓ **La tension aux bornes de dipôles branchés en dérivation est la même.**
- ✓ **Dans un circuit où tous les dipôles sont en dérivation toutes les tensions sont alors égales à celle du générateur.** $U_1 = U_2 = U$

MESURE DE LA TENSION

Les étapes suivantes montrent comment mesurer la tension par un multimètre utilisé en mode voltmètre.

1- brancher le voltmètre aux bornes du dipôle dont on veut mesurer la tension à ses bornes.

Pour que la mesure donnée par le voltmètre soit positive, il faut que :

- ✓ la borne du dipôle reliée à la borne **« + »** du générateur soit connectée à la borne **V** du multimètre.
- ✓ la borne **COM** du multimètre doit être reliée à la borne du dipôle qui est connectée au pôle **« - »** du générateur
- ✓ Si les branchements sont à l' envers, le voltmètre affiche le signe **« - »** devant la valeur.

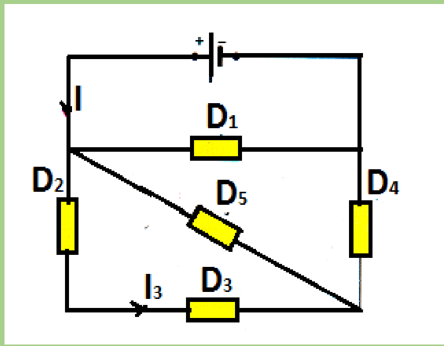
2- placer le sélecteur dans la zone de mesure de tension continue (V ⎓)
et sur le calibre le plus élevé.

- ✓ Pour que la mesure soit la plus précise, il faut que le calibre du multimètre soit immédiatement supérieur à la valeur mesurée.
- ✓ Si la valeur mesurée est supérieure au calibre utilisé, le multimètre affiche 1 et il risque d'être endommagé.

Exercices resolus

Exercice1 :

Soit le montage de la figure ci-contre.
Trouver les sens et les intensités des courants dans les conducteurs D_2, D_4 et D_5.
On done: I = 4,8A ; I_1 = 2A ; I_3 = 1,5A.



Solution :

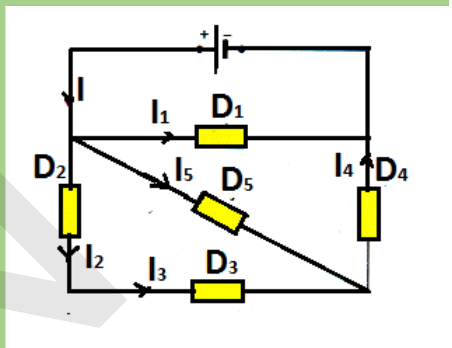
$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad \Rightarrow \boxed{I_2 = I - (I_1 + I_3)}$

$A.N \quad I_2 = 4,8 - (2 + 1,5) = 1,3A$

$I = I_1 + I_4 \quad \boxed{I_4 = I - I_1}$

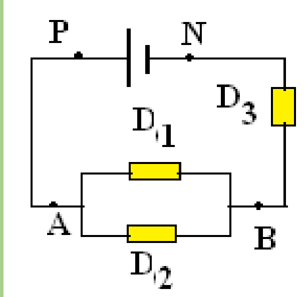
$A.N : \ I_4 = 4,8 - 2 = 2,8A$

Sens des courants



Exercice2 :

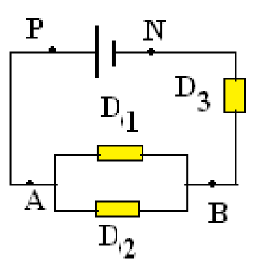
On considère le montage ci-dessous :
Le générateur maintient entre ses bornes une tension constante U_{PN} = 6V.



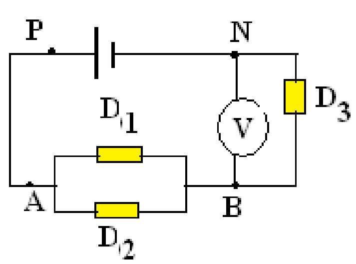
1)Représenter les tensions U_{PN}, U_{AB} et U_{BN} sur le schéma.
2)Représenter sur le schéma l'appareil permettant de mesurer la tension U_{BN}
3)On mesure la tension U_{BN} = 2,5V. Déterminer la tension U_{AB}.

Solution

1)



2)



3)

$$U_{PN} = U_{AB} + U_{BN} \quad \Rightarrow \boxed{U_{AB} = U_{PN} - U_{BN}}$$

$$\text{A.N:} \ U_{AB} = 6 - 2,5 = 3,5V$$

Essentiel

Le courant électrique

Le courant électrique est un déplacement d'un ensemble de porteur de charges-

-Dans un métal, les porteurs de charges sont des électrons.

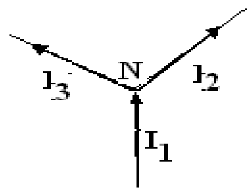
-Dans une solution conductrice, les porteurs de charges sont des ions positifs ou négatifs.

-La quantité d'électricité transportée par un électron ou par un ion est égal à la valeur absolue de sa charge électrique.

-L'unité de quantité d'électricité est le coulomb(C).

-Charge d'un électron q_e =- $1{,}6.10^{-19}$ C.

-Un courant constant transporte une quantité d'électricité Q proportionnelle à la durée t de ce courant ;son intensité a pour valeur : $I=\frac{Q}{t}$, Q :en Coulomb (C), t : en seconde (s) I : en ampère (A).



-Dans un circuit ne contenant qu'un seul générateur, le courant va de la borne positive(+) vers la borne négative (-) à l'extérieur du générateur.

-Dans un circuit en série, l'intensité du courant est la même dans tous les dipôles.

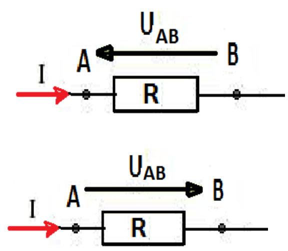
-Dans un circuit en dérivation, l'intensité du courant dans la branche principale est égale à la somme des intensités des courants dans les branches dérivées : $I=I_1+I_2+...$

La tension électrique

-La tension électrique U_{AB} entre deux points d'un circuit est la différence de potentiel électrique entre ces deux points : $U_{AB}=V_A-V_B$.

-La tension électrique est une grandeur algébrique : elle peut prendre des valeurs positives ou négatives. Son unité est le volt de symbole(V).

-La tension électrique se mesure à l'aide d'un voltmètre que l'on branche en dérivation aux bornes du dipôle considéré.



Le dipôle est orienté en convention récepteur : si les flèches de I et de U sont en sens inverse.

Le dipôle est orienté en convention générateur : si les flèches de I et de U sont dans le même sens.

-En circuit série, la tension entre les bornes du générateur est égale à la somme des tensions entre les bornes des autres dipôles. $U_{BE}=U_{BC}+U_{CD}+U_{DE}$

-Des dipôles branchés en dérivation aux bornes d'un générateur sont soumis à la même tension qui est celle du générateur. $U_1=U_2=U$

Exercices

Exercice 1

Complète le texte suivant.

La tension électrique est une grandeur qui s'exprime en ………… , en l'honneur d'Alessandro Volta, inventeur de la première pile en 1800. La lettre associée à la tension est ……….. On mesure une tension à l'aide d'un …….. qui se branche toujours en ……………. aux bornes du dipôle.

Exercice 2

Complète le texte suivant.

L' …. du courant électrique en un point du circuit représente le ……….. du courant électrique en ce point. L'unité est l' .... (symbole ….), choisie en l'honneur du physicien français André-Marie Ampère. Pour mesurer l'intensité du courant électrique en un point du circuit, on utilise un …………….. que l'on branche en ………………… au point considéré. La lettre …… désigne l'intensité du courant électrique.

Exercice 3

Une lampe à incandescence alimentée par une batterie d'accumulateurs est parcourue par un courant d'intensité 0,25A. Elle fonctionne 1h30min par jour. Calculer en Coulomb et en Ampère- Heure la quantité d'électricité qui la traverse en une semaine.

Exercice 4

Dans un tube de télévision, le spot lumineux est dû à l'impact du faisceau d'électrons sur l'écran fluorescent, sachant que ce faisceau a une intensité de 1 mA, combien d'électrons arrivent par minute sur l'écran.

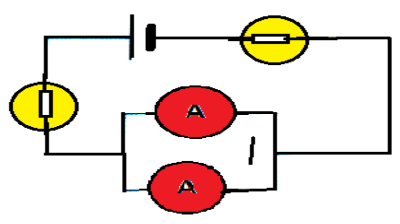
Exercice 5

Un circuit série est parcouru par un courant de 0,8A

1) On branche en série dans le circuit deux ampèremètres identiques.

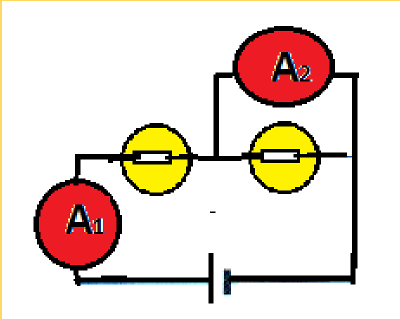
Que vaut l'intensité mesurée par chacun des appareils

2) On branche les deux ampèremètres identiques en parallèle comme l'indique le schéma.



Quelle est l'intensité mesurée par chaque ampèremètre

Exercice 6

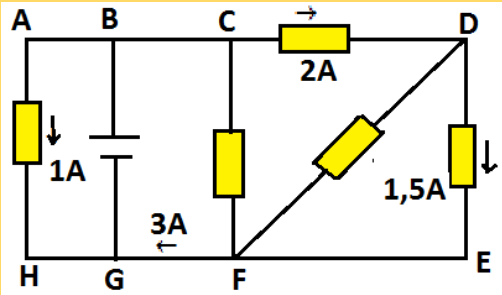


Dans le montage ci-contre l'ampèremètre A_1 indique un courant d'intensité 0,3A. Quelle est l'ordre de grandeur de l'intensité mesurée par l'ampèremètre A_2 (Ampèremètre de bonne qualité)

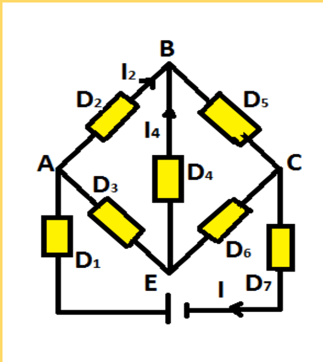
Exercice 7

On considère le montage ci-dessous :

Déterminer les intensités des courants dans les branches BC, GB, DF et CF



Exercice 8



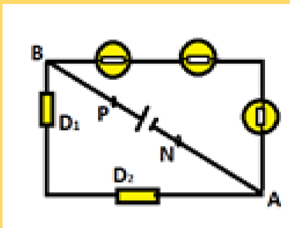
Un montage électrique comprend sept dipôles récepteurs.

L'intensité I qui traverse la pile est de 500mA. Les intensités qui traversent les dipôles D_2 et D_4 sont respectivement égales à 300mA et 100mA.

1)Déterminer le sens et l'intensité du courant dans tous les dipôles.

2)Placer trois ampèremètres qui permettraient de mesurer les intensités I, I_2 et I_4.

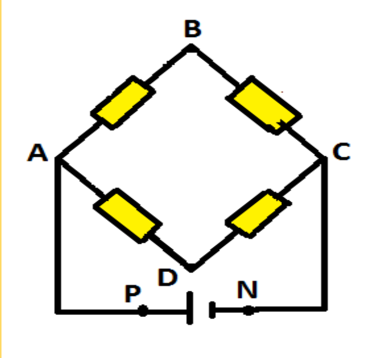
Exercice 9



Dans le montage ci-dessous les lampes sont identiques ainsi que les deux dipôles D_1 et D_2 .

Chaque lampe fonctionne normalement sous une tension de 3,5V. Quelle est la tension U_{PN} aux bornes du générateur. Quelle est la tension aux bornes de chacun des dipôles D_1 et D_2.

Exercice 10

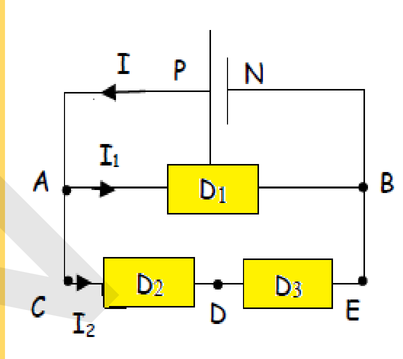


G est une alimentation stabilisée ; la tension U_{PN} à ses bornes est constante quelque soit l'intensité débitée. Cette tension est réglée sur la valeur 24V.

1) Quelle est la tension aux bornes de chacun des dipôles s'ils sont tous identiques.

2) On met en cours circuit les bornes B et D à l'aide d'un fil parfaitement conducteur. Quelle est la tension aux bornes de chacun des dipôles

Exercice11



1) Représenter les tensions U_{PN}, U_{AB}, U_{DC} ,UPN, et U_{DE}.

2) Quelle est la valeur de U_{AB} ?

3) En déduire la valeur de I_1.

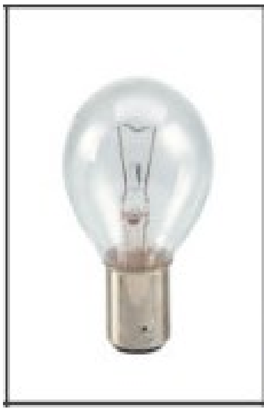
4) Quelle est la valeur d'U_{DC} ?

5) Quelle est la valeur de U_{DE} ?

U_{PN}=20V; I=300mA; I_2=200mA

Les dipôles D3 et D2 sont identiques

CHAPITRE VII : DIPOLES PASSIFS

OBJECTIFS

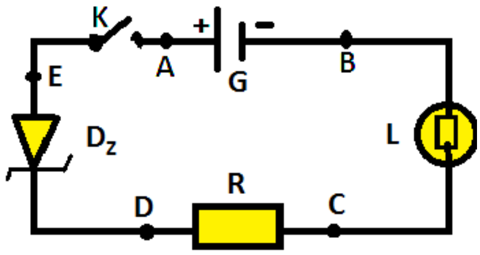
- ✓ Pouvoir déterminer expérimentalement la caractéristique d'un dipôle passif
- ✓ Savoir appliquer la loi d'Ohm
- ✓ Savoir appliquer les lois d'association des résistances

I - DEFITION

Activité :

-Réaliser le montage du circuit de la figure

-Mesurer la tension aux bornes de chaque dipôle en l'absence de courant électrique (circuit ouvert).



Résultats des mesures

Dipôles	Lampe (L)	Diode (D_Z)	Dipôle Ohmique (R)	Générateur (G)
Tensions	$\mathbf{U_{BC} = 0}$	$\mathbf{U_{CD} = 0}$	$\mathbf{U_{DE} = 0}$	$\mathbf{U_{AB} = 12V}$

On appelle dipôle, un élément de circuit présentant deux bornes ou deux pôles (figure)

Les dipôles dont la tension **U** entre leurs bornes est nulle en circuit ouvert est nulle

(**I** = **0** $\boldsymbol{et}$ **U** = 0) sont appelés **dipôles passifs** .

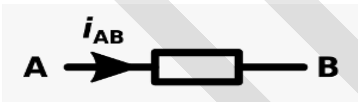
II- CONVENTION DE SIGNE

Les conventions générateur et récepteur sont des notions importantes en électronique, il s'agit d'une convention de signe, qui parle de l'orientation du courant et de la tension.

1- Le courant

Le courant correspond à un flux de charges électriques. Comme tout flux, il circule dans une certaine direction, c'est-à-dire qu'il est orienté.

Dans un dipôle, on désigne le sens d'un courant par une petite flèche inscrite sur la branche.



Flèche montrant le courant circulant de **A** vers **B** dans un dipôle quelconque.

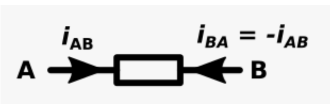
Comme il a une orientation, le courant a aussi un signe : il peut être positif ou négatif.

Un courant positif signifie que des charges positives se déplacent dans le sens de la flèche qui définit le sens du courant.

Un courant négatif signifie que des charges positives se déplacent en sens inverse de la flèche.

Pour un flux de charges électriques donné, changer le sens de la flèche changera uniquement son signe, pas le phénomène physique. Le sens de la flèche n'est rien d'autre qu'une convention de signe, pas un schéma de la réalité physique. Par exemple, si un dipôle est traversé par un courant $\mathbf{i_{AB}}$, et qu'on change la flèche de sens, alors cette nouvelle notation $\mathbf{i_{BA}}$ sera liée à l'ancienne par la relation $\mathbf{i_{BA}=-i_{AB}}$.

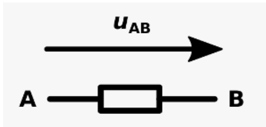
Le schéma ci-dessous illustre cette relation.



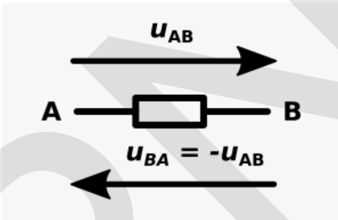
Relation entre un courant et son opposé.

2- La Tension

Entre deux points d'un circuit électrique, on peut définir une tension.
La tension entre deux points d'un circuit électrique correspond à la différence de potentiel électrique (ddp) entre ces deux points.
Le potentiel électrique étant une grandeur qu'on peut associer à tout point du circuit.
La tension a aussi une orientation : La tension U_{AB} est la différence de potentiel entre le point A et le point B ($U_{AB} = V_A - V_B$), cette tension se représente par une flèche orientée de B vers A .



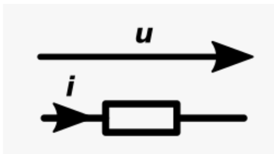
Comme elle est orientée, la tension a un signe : elle peut être positive ou négative.
La tension est positive quand le potentiel du point A est supérieur à celui du point B et elle est négative dans le cas contraire.
Comme pour le courant, il s'agit d'une convention de signe : changer le sens de la tension ne change pas la différence de potentiel présente physiquement. La tension « retournée » sera l'opposée de la tension normale.



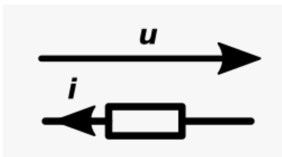
3- Orientation relative de la tension et du courant

On a vu que le courant et la tension sont tous les deux orientés. Quand on les définit pour un dipôle, il faut aussi orienter l'un par rapport à l'autre. Autrement dit, il faut choisir une convention pour le sens relatif des flèches.
Il y a seulement deux possibilités :

- les flèches sont dans le même sens, et on dit qu'il s'agit de la convention générateur ;
- les flèches sont de sens opposés, et on dit qu'il s'agit de la convention récepteur.



Convention génératrice, les deux flèches sont dans le même sens.



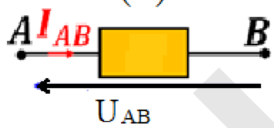
Convention réceptrice, les deux flèches sont de sens opposés.

III- CARACTERISTIQUE D'UN DIPOLE

On appelle caractéristique d'un dipôle, la courbe représentant la variation du courant **I** traversant un dipôle en fonction de la tension appliquée à ses bornes : $\mathbf{I = f(U_{AB})}$ ou la variation de la tension $\mathbf{U_{AB}}$ à ces bornes en fonction de l'intensité du courant qui le traverse : $\mathbf{U_{AB} = f(I)}$.
Pour un dipôle en bon état de fonctionnement, la relation entre la tension à ses bornes et l'intensité du courant qui le traverse est bijective.
Au cours de l'étude d'un dipôle nous nommons arbitrairement **A**, un des pôles, et **B** l'autre.
Pour savoir si le comportement du dipôle dépend du sens du courant qui le traverse, de **A** vers **B** ou de **B** vers **A**, on va tracer deux caractéristiques :

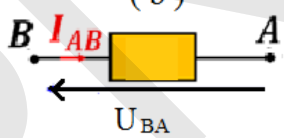
- celle du dipôle **AB**, le courant passant de **A** vers **B**, le dipôle est utilisé en direct (figure .a)

(a)



- celle du dipôle **BA**, le courant passant de **B** vers **A**, le dipôle est utilisé en inverse (figure b).

(b)

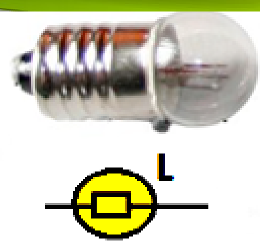


Remarque

Un dipôle ne peut pas être utilisé dans n'importe quelle condition sans être endommagé et rendu hors usage. Le constructeur indique en général les valeurs limites de la tension, de l'intensité ou de la puissance à ne pas dépasser. ***(valeurs nominales)***

IV- CARACTÉRISTIQUES INTENSITE -TENSION DE QUELQUES DIPÔLES PASSIFS

1- Caractéristique de la lampe



une lampe

Etudions comme dipôle, une ampoule type lampe de poche. (figure ci-contre)

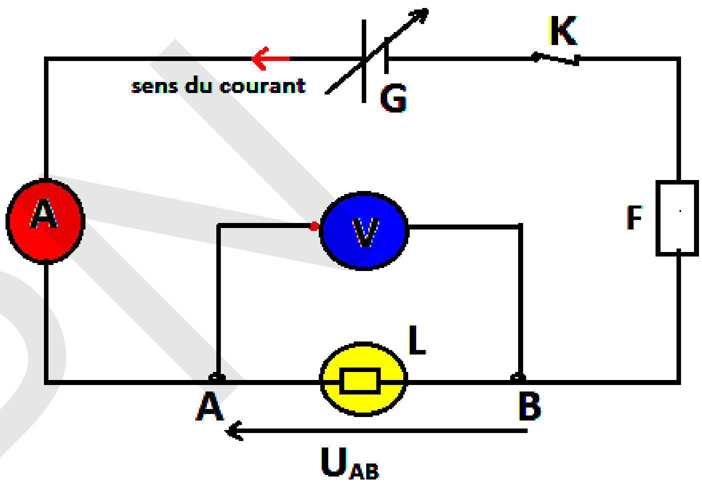
Expérience

Matériel

- Une lampe **(L)** : placée de telle sorte que le courant y circule de **A** vers **B**.
- Un générateur de tension variable **(G)**
- Un interrupteur **(K)**
- Un ampèremètre **(A)**
- Un fusible **(F)** : qui permet de ne pas dépasser l'intensité supportée par le dipôle.
- Un voltmètre **(V)**

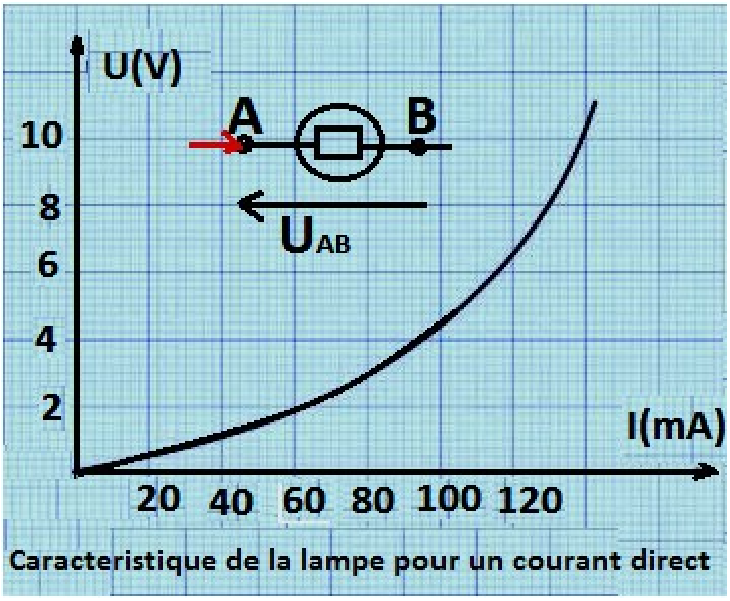
Manipulation

Réalisons le montage de la figure ci-contre :
Faisons varier la tension aux bornes de la lampe et notons pour chaque valeur de U_{AB} l'intensité **I** du courant correspondant.
Les résultats de mesures sont regroupés dans le tableau suivant :

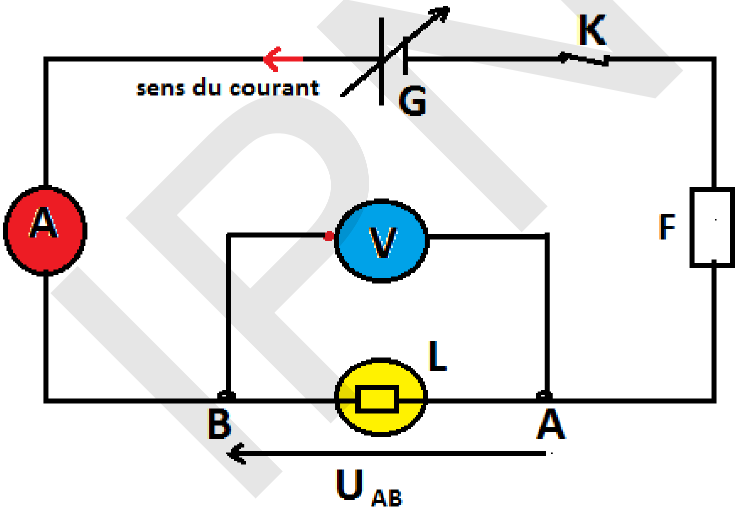


U(V)	0	0,5	1,2	1,8	3,0	4,5	6,5	8,0
I(mA)	0	20	40	60	80	100	120	130

Représentation graphique de la caractéristique U_{AB} **= f (I)** de la lampe



Changeons le sens du courant dans le dipôle **(L)** en inversant le branchement entre ses pôles comme l'indique le montage suivant :



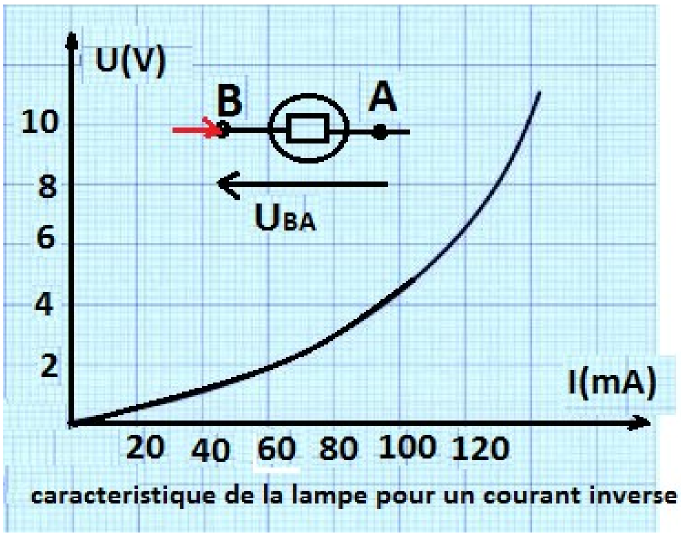
Le courant traverse alors le dipôle de **B** vers **A** ; l'intensité est notée $\mathbf{I_{BA}}$ et le voltmètre indique la mesure de $\mathbf{U_{AB}}$.

Relevons une nouvelle série de couples de mesures **(U_{BA}, I_{BA})** correspondant à différents états de fonctionnement.

Les résultats de mesures sont regroupés dans le tableau suivant :

U (V)	0	0,5	1,2	1,8	3,0	4,5	6,5	8,0
I (mA)	0	20	40	60	80	100	120	130

Représentation graphique de la caractéristique $\mathbf{U_{BA} = f (I)}$ de la lampe

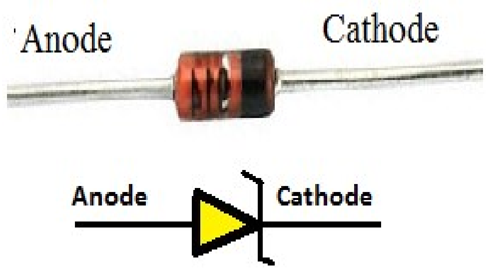


Exploitation de la caractéristique

- Les deux caractéristiques intensité – tension **U_{AB} = f(I)** **et U_{AB} = f(I)** passent par le point de coordonnées **(U = 0 ;I = 0) :** Le dipôle est un dipôle passif **.**
- Les bornes **A** et **B** de la lampe sont identiques : ils jouent le même rôle
- La lampe à incandescence est un dipôle passif, non linéaire et symétrique

2- Caractéristique de la diode Zener

La diode Zener est un composant électrique dont les propriétés sont semblables à une diode conventionnelle, à la différence que la diode Zener laisse passer le courant inverse lorsque celui-ci dépasse le seuil de l'effet d'avalanche**.**



Expérience

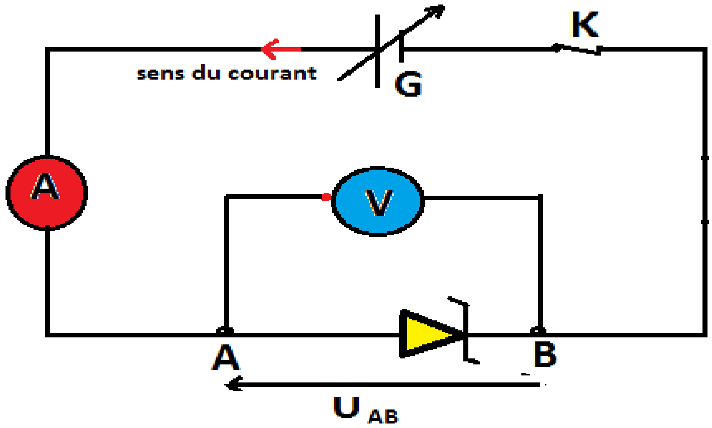
Matériel

- Une diode zener : placée de telle sorte que le courant y circule de **A** vers **B**.
- Un générateur de tension variable **(G)**
- Un interrupteur **(K)**
- Un ampèremètre **(A)**
- Un fusible **(F)** : qui permet de ne pas dépasser l'intensité supportée par le dipôle.
- Un voltmètre **(V)**

Manipulation

Réalisons le montage de la figure suivante

Dans le montage, on remplace le dipôle récepteur par la diode Zener.



Nous relevons une série de couples de mesures **(U_{AB}, I_{AB})**, le courant traversant le dipôle de **A** vers **B** puis de **B** vers **A**. Les différentes mesures sont regroupées dans les deux tableaux suivants :

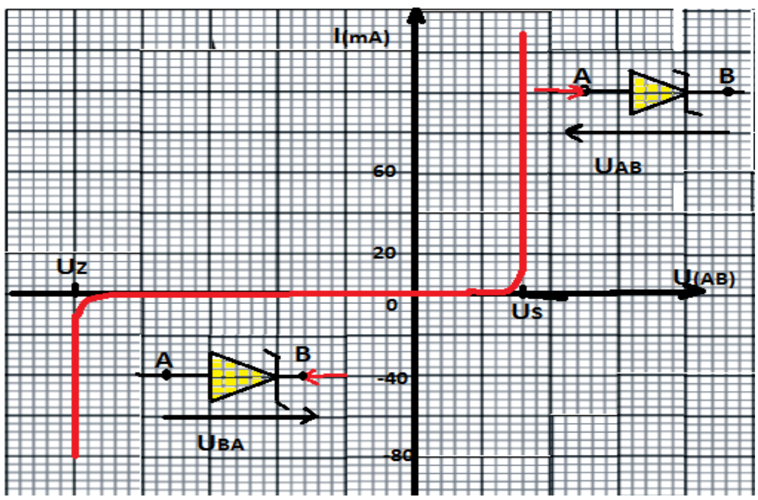
Polarisation en sens direct :

U(V)	**0**	**6**	**1,0**	**1,2**	**1,4**	**1,6**
I(mA)	**0**	**0**	**8,0**	**24**	**44,0**	**72**

Polarisation en sens inverse :

U(V)	**0**	**- 4**	**- 4,8**	**- 5**	**- 5,2**	**- 5,2**
I(mA)	**0**	**0**	**0**	**- 4**	**- 20**	**- 20**

Représentation des résultats de mesures : I = f (U)



Exploitation de la caractéristique :

- **La diode Zener est bloquante et se comporte comme Interrupteur ouvert pour $U_z < U < 0$**
- **La diode Zener conduit dans le sens direct si $U > U_s$ et dans le sens inverse si $U < U_z$**
- **La diode Zener est un dipôle passif, sa caractéristique n'est ni linéaire ni symétrique**

3- Caractéristique d'un dipôle ohmique

Un dipôle ohmique est caractérisé par une grandeur électrique appelée résistance. Cette grandeur se note **R** et son unité est l'ohm de symbole **Ω.**

Pour tracer sa caractéristique nous réalisons l'expérience suivante

Expérience

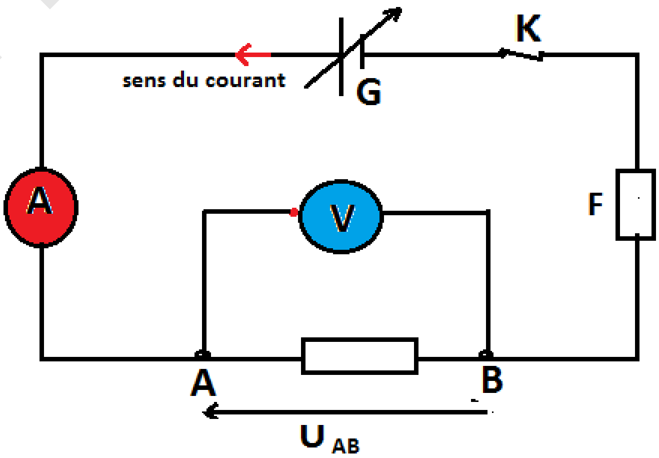
- Un dipôle Ohmique placé de telle sorte que le courant y circule de **A** vers **B**.
- Un générateur de tension variable **(G)**
- Un interrupteur **(K)**
- Un ampèremètre **(A)**
- Un fusible **(F)** : qui permet de ne pas dépasser l'intensité supportée par le dipôle.
- Un voltmètre **(V)**

Manipulation

Réalisons le montage de la figure ci-contre

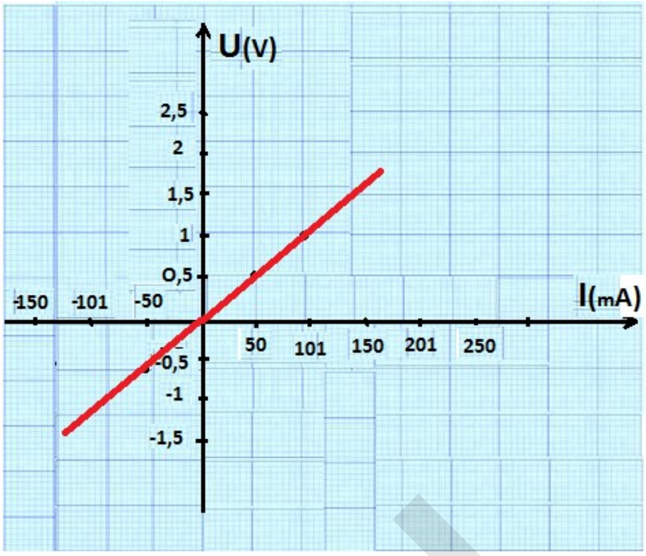
Relevons une série de couples de mesures **(U_{AB}, I_{AB})**, le courant traversant le dipôle de **A** vers **B** puis de **B** vers **A**.

Les différentes mesures sont regroupées dans le tableau suivant :



U_{AB}(V)	0	0,5	1	1,5	2	2,5
I(mA)	0	50	101	150	201	250
U_{BA}(V)	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5
I(mA)	0	-50	-101	-150	-201	-250

La représentation de ces résultats donne la caractéristique suivante **:**



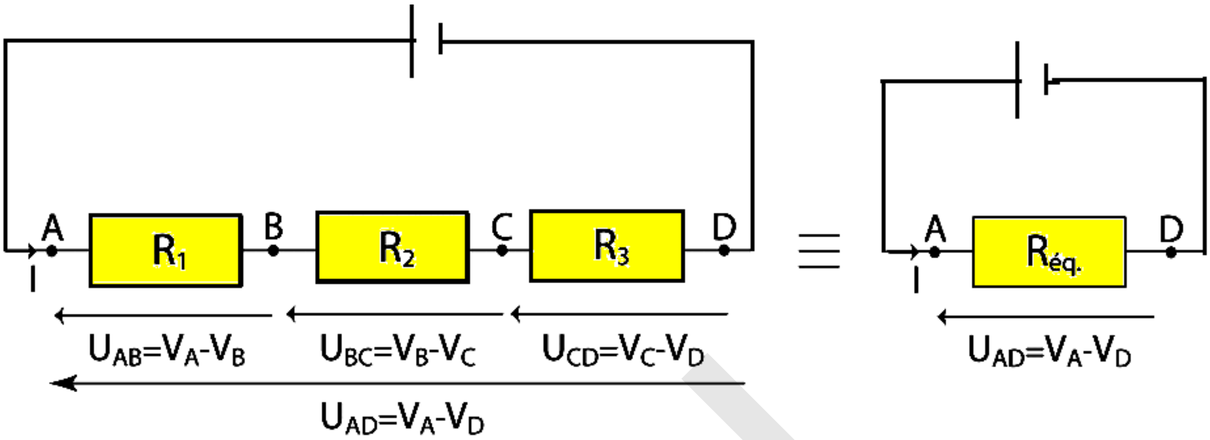
Exploitation de la caractéristique

- La caractéristique est une droite qui passe par l'origine
- La tension $\mathbf{U_{AB}}$ est proportionnelle au courant $\mathbf{I_{AB}}$; il existe donc entre eux une relation linéaire de la forme : $\mathbf{U_{AB} = R\, I_{AB}}$.
  Cette relation traduit algébriquement la loi d'Ohm.
- Le dipôle étudié est appelé résistance linéaire symétrique ou conducteur ohmique.
  R : est la résistance du conducteur ohmique, c'est une grandeur constante.
- Pour déterminer la valeur de **R** il suffit de prendre un quelconque point de fonctionnement sur la caractéristique et de calculer le quotient $\mathbf{R} = \frac{\mathbf{U_{AB}}}{\mathbf{I_{AB}}}$ correspondant aux coordonnées de ce point.
- Si la tension est mesurée en volt, l'intensité en ampère, alors la résistance est mesurée en volt par mètre **(V/A).** Le volt par mètre est appelé Ohm (symbole **Ω**).
- La loi d'Ohm peut également se mettre sous la forme $\mathbf{I = G U_{AB}}$ ou $\mathbf{G = 1/R}$ est la conductance et s'exprime en Siemens **(S)**.

V - ASSOCIATION DE RESISTANCES, CALCUL DE RESISTANCE EQUIVALENTE

On distingue deux façons d'associer des résistances. Elles sont associées soit en série soit en parallèle.

1- Association en série



Les résistances $\mathbf{R_i}$ sont toutes traversées par le même courant **I** .

La tension $\mathbf{U_{AD}}$ est égale à la somme des tensions aux bornes de chacun des dipôles :

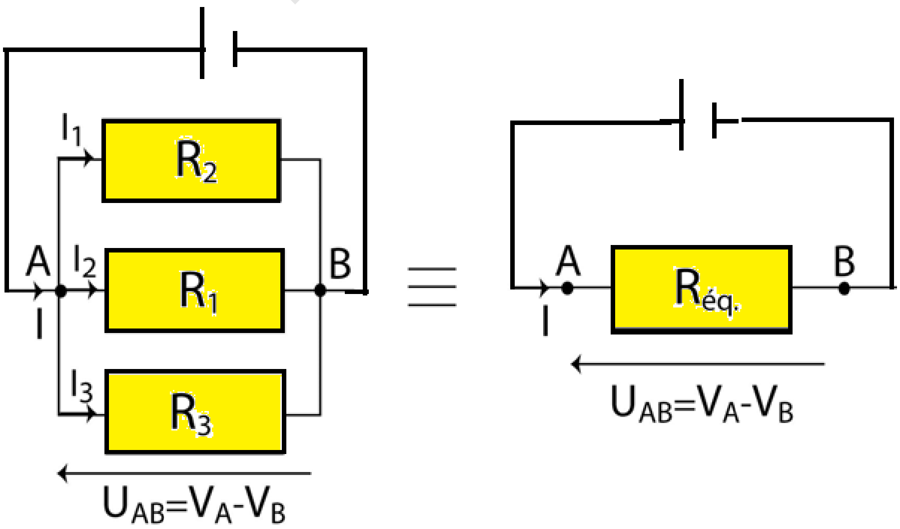
$$\mathbf{U_{AD} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} = R_1 I + R_2 I + R_3 I} \text{ , donc } \mathbf{U_{AD} = (R_1 + R_2 + R_3) I = R_{aq} I}$$

D'où la résistance équivalente à l'association de ces dipôles : $\mathbf{R_{éq} = R_1 + R_2 + R_3}$.

Dans le cas où **n** dipôles sont associés en série, la résistance équivalente s'exprime :

$$\mathbf{R_{éq}} = \sum_{i=1}^{n} \mathbf{R_i}$$

2- Association en parallèle



L'association de dipôles en parallèle se caractérise par le fait que tous les dipôles ont leurs bornes en commun deux à deux.

En conséquence de quoi la tension aux bornes de chacun des dipôles est identique

Le courant **I** qui alimente ces dipôles branchés en parallèle va alors se répartir dans les dipôles tel que : $I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U_{AB}}{R_1} + \frac{U_{AB}}{R_2} + \frac{U_{AB}}{R_3} = (\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3})U_{AB} = \frac{U_{AB}}{R_{éq}}$

D'où la résistance équivalente : $\frac{1}{R_{éq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

ou on préférera alors dans le cas d'association de dipôles en parallèle utiliser la conductance : $G_{éq} = G_1 + G_2 + G_3$ ou G= 1/R unité en siemens (s)

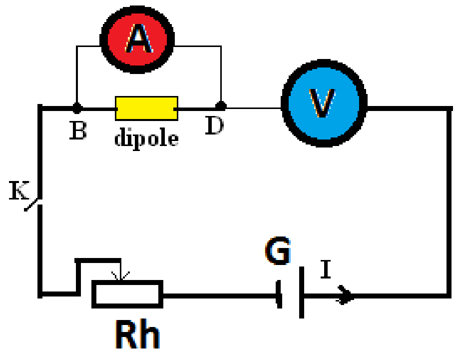
Pour l'association de **n** dipôles en parallèle on note respectivement la résistance et la conductance équivalentes : $\frac{1}{R_{éq}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}$ et $G_{éq} = \sum_{i=1}^{n} G_i$

Exercices résolus

Exercice 1 :

Un dipôle D est étudié en réalisant le montage ci-contre :

Le constructeur indique : 47 Ω ; 0,5 W. On fait varier la tension aux bornes du dipôle et pour chacune des valeurs, on note l'intensité du courant dans le dipôle. Les résultats sont groupés dans les tableaux (a) et (b) ci-dessous :



UAB(v)	0	0,5	1	1,5	2
I(10-3A)	0	11	22	33	44
P(10-2w)	0	0,5	2,2	4,9	8,8
UAB(v)	2,5	3	3,5	4	4,5
I(10-3A)	55	66	77	88	99
P(10-2w)	13,8	19,8	26,9	35,2	44,6

tableau (a)

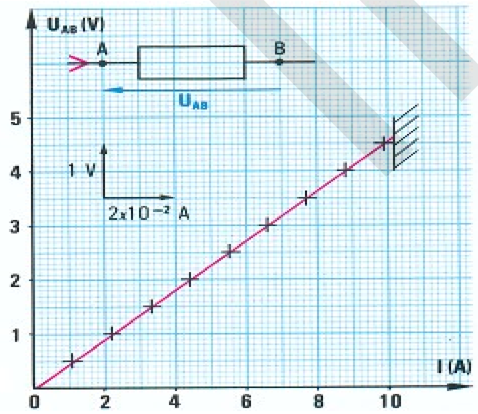
UBA(v)	0	0,5	1	1,5	2
I(10-3A)	0	11	22	33	44
P(10-2w)	0	0,5	2,2	4,9	8,8
UBA(v)	2,5	3	3,5	4	4,5
I(10-3A)	55	66	77	88	99
P(10-2w)	13,8	19,8	26,9	35,2	44,6

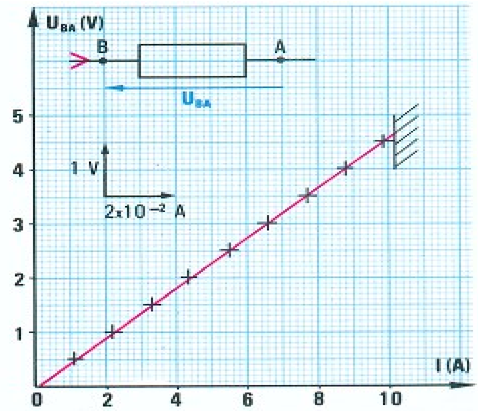
tableau (b)

1) Tracer les caractéristiques UAB = f(I) et UBA = f(I) du dipôle utilisé.
2) Déduire des graphes précédents, les caractéristiques du dipôle étudié, l'identifier.
3) D'après les données du constructeur, dans quelles limites peut on utiliser le dipôle.

Solution :

1)





2) Le dipôle passif est symétrique et linéaire : c'est un conducteur ohmique.

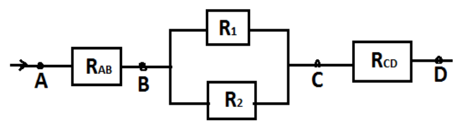
3)

$$p_{max} = U.I_{max} \text{ or } U = R.I_{max} \Rightarrow p_{max} = R.I^2_{max} \Rightarrow \boxed{I_{max} = \sqrt{\frac{p_{max}}{R}}} \quad A.N : I_{max} = \sqrt{\frac{0,5}{47}} = 0,1A$$

On peut utiliser le conducteur ohmique tant que : $\boxed{I \le I_{max}}$

Exercice2 :

On considère la portion de circuit que représente le schéma ci-contre.



Sachant que RAB = 5Ω, R1 = 10Ω, R2 = 5Ω, RCD = 4Ω.

Calculer :

1) La résistance équivalente de la portion BC.
2) La résistance de la portion AD
3) L'intensité du courant principal et les intensités des courants dérivés lorsque la tension électrique entre A et D vaut 20V.

Solution:

1- La résistance équivalente de la portion BC :

$$\frac{1}{R_{BC}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R_{BC} = \frac{R_1.R_2}{R_1 + R_2} \quad A.N : R_{BC} = \frac{10.5}{10+5} = 3,3\Omega$$

2- résistance équivalente de la portion BC :

$$\boxed{R_{AD} = R_{AB} + R_{BC} + R_{CD}} \quad A.N : R_{AD} = 5 + 3,3 + 4 = 12,3\Omega$$

3- Les intensités du courant

$$I = ? \;\; on\ a : U_{AD} = R_{AD}.I \Rightarrow \boxed{I = \frac{U_{AD}}{R_{AD}}} \quad A.N \;: I = \frac{20}{12,3} = 1,6A$$

$I_1 = ?\ et\ I_2 = ?\ On\ a : R_1.I_1 = R_2.I_2 \;\; et \;\; I = I_1 + I_2$. Ce qui donne

$$R_1(I - I_2) = R_2.I_2 \boxed{I_2 = \frac{R_1.I}{R_1 + R_2}} \; A.N : I_2 = \frac{10.1,6}{10+5} = 0,9A \quad \boxed{I_1 = I - I_2} \quad A.N : I_1 = 1,6 - 0,9 = 0,7A$$

Essentiel

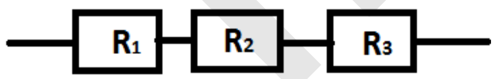
-On appelle un dipôle tout composant électrique (ou associations des composants électriques) possédant deux bornes ou deux pôles.
-Un dipôle passif est un dipôle qui ne peut pas générer un courant électrique de lui-même par lui-même, c'est à dire que la tension U_{AB} entre ses bornes est nulle en circuit ouvert ($I_{AB} = 0$ et $U_{AB} = 0$).
-On appelle la caractéristique l'étude de variation de la tension UAB entre les bornes d'un dipôle (AB) en fonction de l'intensité du courant électrique I qui le traverse et l'inverse ($U_{AB} = f(I)$; $I=f(U_{AB})$).
-La lampe est un dipôle passif, sa caractéristique est non linéaire et symétrique.
-La diode Zener est un dipôle passif, sa caractéristique est non linéaire et asymétrique
-La diode Zener conduit dans le sens direct si $U > Us$ et dans le sens inverse si $U < Uz$
-La résistance électrique d'un conducteur est le quotient de la tension appliquée à ses bornes par l'intensité du courant qui le traverse.

$$R = \frac{U_{AB}}{I_{AB}}$$

La loi d'Ohm
La différence de potentiel ou tension U (en volts) aux bornes d'une résistance R (en ohms) est proportionnelle à l'intensité du courant électrique I (en ampères) qui la traverse :

$$U_{AB} = RI$$

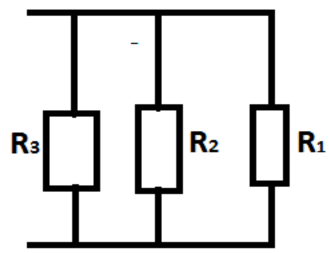
La résistance est l'opposition exercée par un corps au passage d'un courant électrique.
Association de conducteurs ohmiques :
- En série :



$$\boxed{R_{éq} = R_1 + R_2 + R_3}$$

-En parallèle (en dérivation)

$$\boxed{\frac{1}{R_{éq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$



Exercice 1

On veut tracer la caractéristique $U_{AB} = f(I)$ d'un conducteur ohmique AB.

1) Faire le schéma du montage utilisé.
2) Par un dispositif approprié, on fait varier l'intensité I du courant dans le dipôle. Pour chaque valeur de I on mesure U_{AB}.

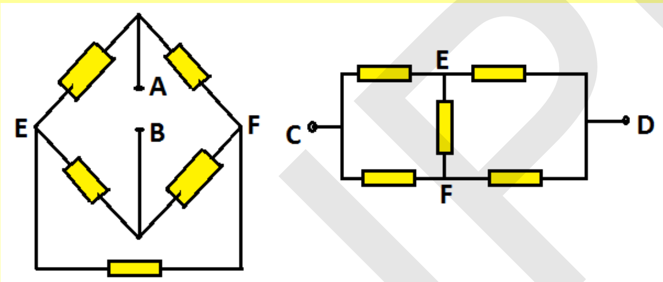
Les résultats sont rassemblés dans le tableau suivant :

I(mA)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
UAB(V)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4

a) Tracer la caractéristique $U_{AB} = f(I)$ du dipôle considéré.
b) Déduire du graphe précédent la résistance du conducteur R1 Ohmique
c) Tracer sur le même graphique la caractéristique d'un conducteur Ohmique de résistance $R_2 = \frac{R_1}{2}$.

Exercice 2

Les deux dipôles ci-dessous (A,B) et (C,D) sont constitués de conducteurs ohmiques tous identiques de résistance R.

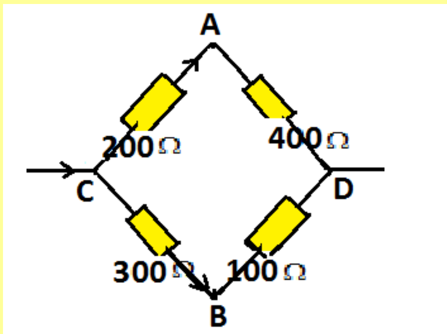


1) Peut-on considérer que ces deux dipôles sont identiques.
2) Lorsqu'on applique une tension U_{AB} ou U_{CD} aux bornes de ces deux dipôles, l'intensité du courant qui circule dans l'un des conducteurs ohmiques est nulle. Lequel et pourquoi ?
3) En déduire la résistance du conducteur ohmique équivalent aux deux dipôles

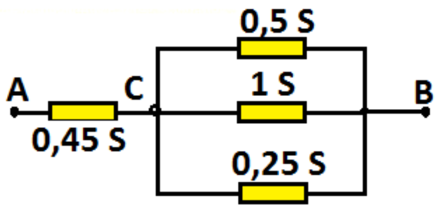
Exercice 3

On considère le réseau ci-dessous.
Tous les dipôles sont des conducteurs ohmiques.

1) Calculer la résistance du dipôle équivalent (C,D)
2) Si I = 0,2A, Quelle est la tension U_{CD} .
3) Calculer I_1 et I_2 ; calculer la tension U_{AB}
4) Reprendre les mêmes questions dans le cas où on relie A et B par un fil de résistance négligeable.



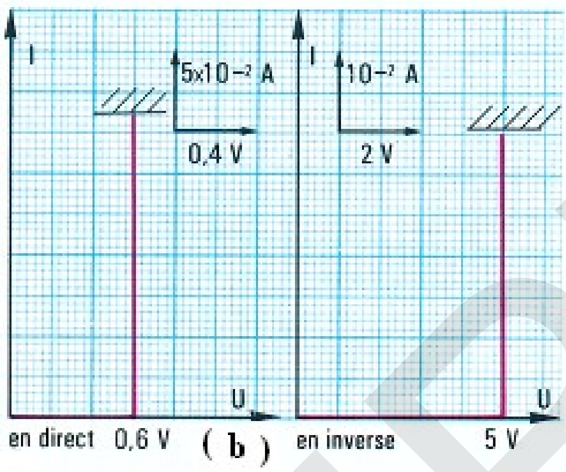
Exercice 4

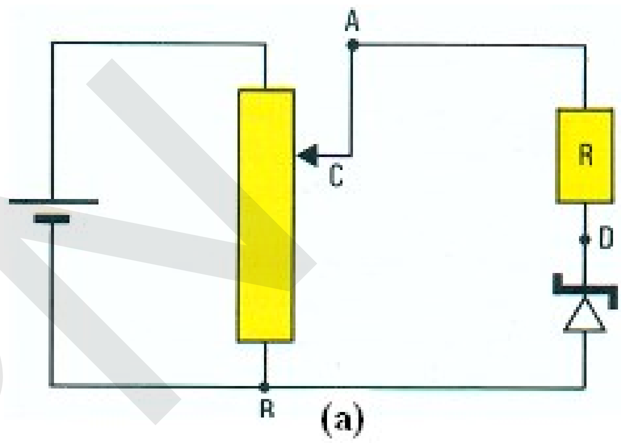


Soit le réseau schématisé ci-contre.
1) Calculer la résistance équivalente aux trois conducteurs ohmiques placés en parallèle. Quelle est la résistance du réseau entre les points A et B.
2) On applique une tension U_{AB} = 6V. Calculer l'intensité du courant qui circule entre A et C. En déduire la tension entre C et B. Calculer alors l'intensité du courant dans chaque dipôle.

Exercice 5

On peut schématiser les caractéristiques d'une diode Zener comme l'indique la figure (a) . Elle est utilisée dans le montage de la figure (b)

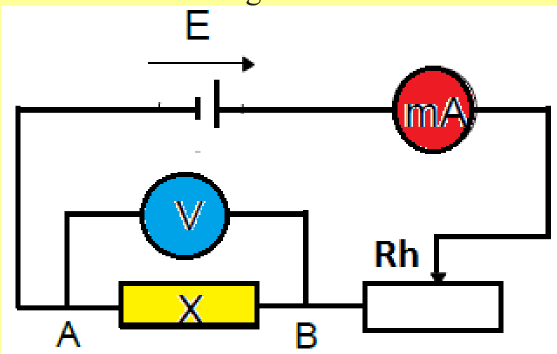




1) La diode est-elle utilisée en direct ou en inverse ?
2) Quelle est la relation existant entre les tensions U_{BC} , U_{DC} et U_{BD}? Quel est le signe de ces tensions.
3) Quand l'intensité du courant dans la diode Zener est I_1 = 10mA, Quelles sont les valeurs des tensions U_{BD}, U_{DC} et U_{BC} ? Mêmes questions quand la valeur de l'intensité est I_2 = 30mA. La valeur de la résistance du conducteur ohmique est R = 100 Ω .
4) Quelle doit être la valeur minimale de la tension U_{BC} pour qu'un courant circule dans la diode.
5) Quelle est la variation de la tension U_{BD} quand la tension U_{BC} varie de sa valeur minimale calculée à la question 4 à sa valeur maximale. Justifier le nom de stabilisateur de tension donné à une telle diode.

Exercice 6

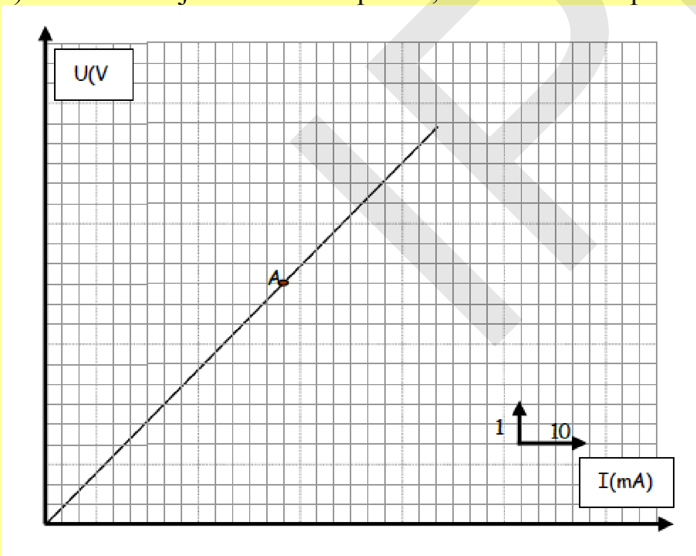
On réalise le montage suivant :



1) L'ampèremètre affiche 7.13mA et le voltmètre indique 3.29V
Quelle est la résistance X du conducteur ohmique placé entre A et B ?
2) On déplace le curseur du rhéostat de sorte que le voltmètre affiche 2.03V
Quelle est alors l'indication de l'ampèremètre ?
3) On déplace le curseur du rhéostat de sorte que l'ampèremètre indique 5.12mA
Quelle est alors l'indication affichée par le voltmètre ?

Exercice 7

On considère la caractéristique intensité tension d'un dipôle
1) Représenter un schéma du montage qui nous a permis de tracer cette caractéristique
2) Préciser en justifiant la réponse, la nature du dipôle étudié, déterminer sa résistance



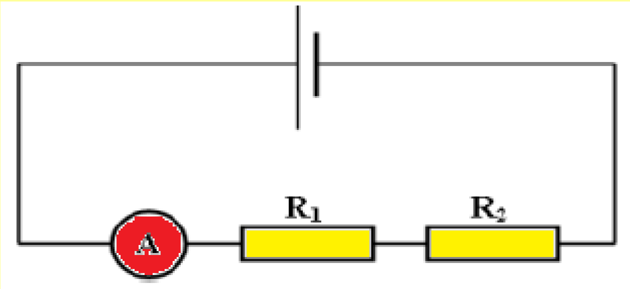
Exercice 8

On réalise un circuit électrique simple avec une pile dont la tension entre ses bornes est U=12V et un résistor de résistance R=100Ω qui supporte une intensité maximale de 100mA..
1) Ne risque-t-on pas d'endommager R ?Justifier.
2) Quelle résistance minimale R′ faut-il mettre en série avec R dans le circuit pour pouvoir fermer sans dommage l'interrupteur.
3) On branche R et R″ en parallèle, R″ inconnue, et les deux en série avec R′ minimale aux bornes du générateur.

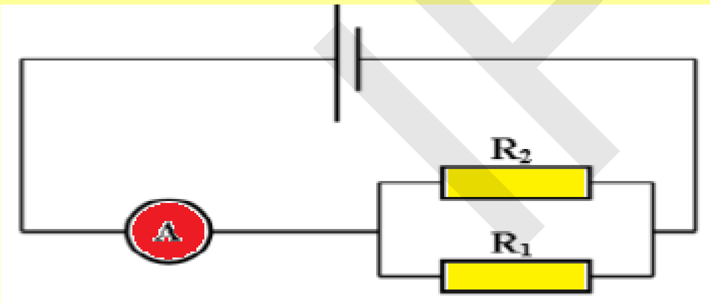
a) Déterminer la valeur de R″ pour que l'intensité du courant soit égale à 0.12A
b) Déterminer l'intensité du courant qui traverse R′ en déduire celui qui traverse R.

Exercice 9

Soient les deux dipôles résistors $R_1=10\Omega$ et $R_2=20\Omega$.
1) Dans le premier circuit ci-dessous, l'ampèremètre indique un courant d'intensité I=0.2A



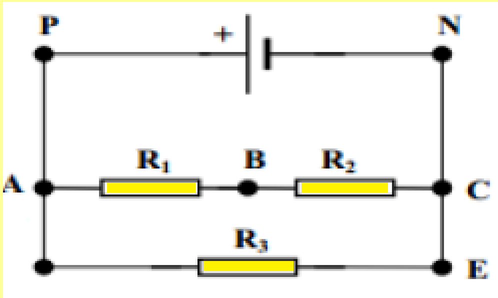
a) Le circuit est-il en série ou en dérivation ?
b) Représenter le branchement des voltmètres permettant la mesure des tensions U_1 aux bornes de R_1 et U_2 aux bornes de R_2.
c) Rappeler la loi d'Ohm relative à un résistor.
d) Calculer les tensions U_1 et U_2.
e) En déduire, en précisant la loi utilisée, la tension aux bornes du générateur.
f) Calculer la résistance équivalente à cette association de R_1 et R_2
2) On considère que la tension aux bornes du générateur reste constante. On réalise avec les mêmes dipôles le deuxième circuit suivant :



a) Les résistors dans ce deuxième circuit sont-ils associés en série ou en dérivation ?
En déduire R_{eq} la résistance équivalente à cette association de R_1 et R_2
b) Combien de voltmètres faut-il utiliser pour mesurer la tension U'_1 aux bornes de R_1 et U'_2 aux bornes de R_2 ?
Préciser la valeur de chacune de ces deux tensions
c) Calculer l'intensité du courant I_1 traversant R_1
d) Calculer l'intensité du courant I_2traversant R_2
e) En déduire l'intensité 'I′ du courant mesurée par l'ampèremètre en précisant la loi utilisée.
f) Calculer le rapport (U Générateur /I′) et le comparer avec la résistance R_{eq}
3) Comparer les intensités du courant I et I′.
En déduire une comparaison entre les intensités du courant débité par le même générateur dans un circuit en série et un circuit en dérivation comportant les mêmes dipôles.

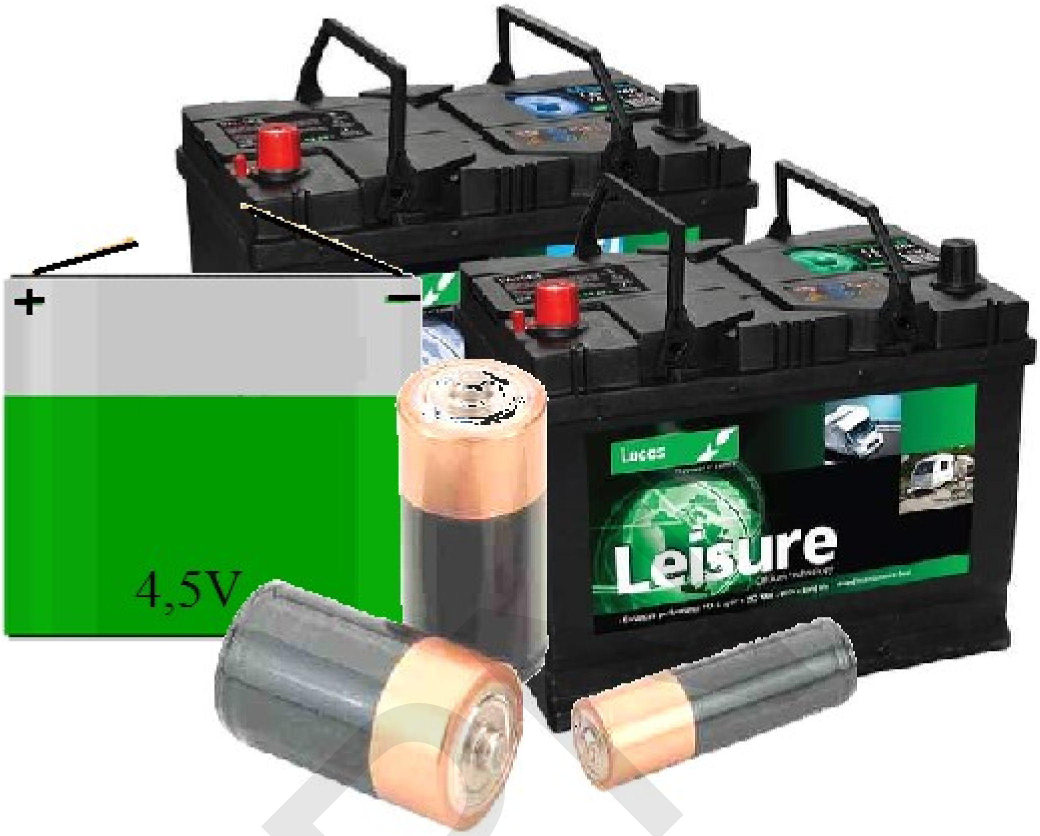
Exercice 10

Un circuit électrique comporte un générateur de tension continue et trois conducteurs ohmiques de résistance R_1, R_2 , et R_3 (voir schéma). On donne $R_3=220\Omega$.
1) Recopier le schéma ci-dessous, y placer le sens conventionnel du courant électrique
L'intensité mesurée dans la branche PNPN vaut : I=69.5mA.



2) Calculer le nombre d'électrons traversant une section de la branche PN pendant une seconde.
3) Représenter les tensions positives aux bornes de chacun des dipôles. Justifier.
4) La tension électrique aux bornes du générateur est de 6.20V.
Déterminer les intensités I_1 et I_2 des courants circulant dans les branches ABC et DE. Justifier
5) La tension électrique aux bornes du conducteur ohmique de résistance R_1 est de 4.13V
Déterminer les résistances R_1 et R_2 des conducteurs ohmiques de la branche ABC.
Données : $e=1.610^{-19}$C

CHAPITRE VIII: DIPOLES ACTIFS : GENERATEURS



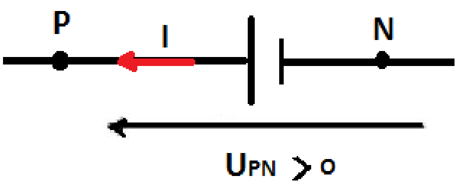
OBJECTIFS

- ✓ Connaitre la loi de fonctionnement d'un générateur linéaire
- ✓ Connaitre la loi de fonctionnement d'un générateur récepteur
- ✓ Pouvoir déterminer le point de fonctionnement d'un générateur
- ✓ Savoir appliquer la loi de Pouillet
- ✓ Savoir appliquer la loi des mailles

I- DEFINITION

On appelle dipôles actifs tous les dipôles qui peuvent produire soit une tension ou une intensité de manière autonome (un générateur de tension, une pile, ...).
La tension aux bornes d'un circuit ouvert n'est pas nulle.

1- Représentation symbolique d'un générateur



Le pôle positif P est représenté par le grand trait le pôle négatif N par le petit trait.

2- Convention Générateur

On étudie les dipôles actifs avec la convention génératrice.
Dans la convention génératrice, les flèches symbolisant l'intensité du courant et la tension aux bornes du générateur sont de même sens.

II-ETUDE D'UN DIPOLE ACTIF LINEAIRE : Une pile

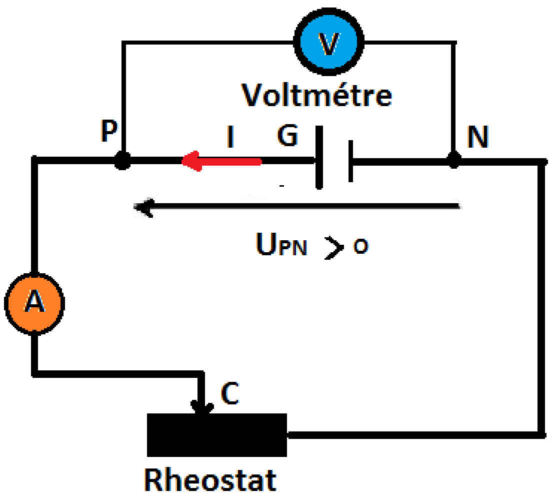
1- Expérience

Matériel

-Une pile
- Un ampèremètre
- Un rhéostat
- Un interrupteur

Manipulation

Réaliser le montage représenté à la figure ci–dessous comportant, en série, la pile à étudier, l'ampèremètre, un rhéostat monté en résistance variable et un interrupteur



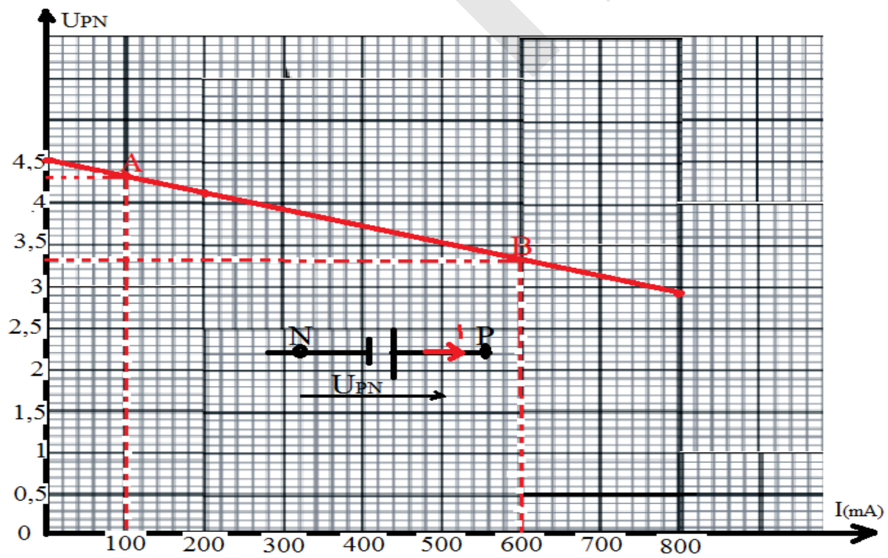
- Ouvrir l'interrupteur et relever les valeurs de l'intensité I du courant et de la tension U_{PN} aux bornes du générateur.
- Fermer l'interrupteur puis déplacer le curseur du rhéostat et noter dans un tableau les différentes indications du voltmètre et de l'ampèremètre.
- Tracer, en choisissant une échelle appropriée, la courbe donnant les variations de la tension en fonction de l'intensité $U_{PN} = f(I)$.

Résultats

Tableau des mesures

I(mA)	0	100	200	300	400	500	600	700	800
U_{PN}(V)	4,5	4,3	4,1	3,9	3,7	3,5	3,3	3,1	2,9

Traçons la caractéristique intensité - tension :U=f (I) :



2- Force électromotrice E (f.é.m) et résistance interne r de la pile

La caractéristique représentant $U_{PN} = f(I)$ est un segment de droite, de coefficient directeur négatif qui ne passe pas par l'origine des axes.
U_{PN} est une fonction affine de **I** de la forme : $U_{PN} = aI + b$

a-Force électromotrice ou f.é.m E de la pile

Si **I** est nul nous avons $U_{PN} = b$ **et** $b = 4,5V$.

Nous pouvons identifier b à la tension à vide du dipôle **PN : E = 4,5V, la f.é.m.** d'une pile s'identifie donc à la tension à ses bornes en circuit ouvert (tension à vide de la pile).

b-Résistance interne r de la pile

Choisissons deux points A et B de la caractéristique (voir fig).

$$A\begin{cases} I_A = 0,1A \\ V_B = 4,3V \end{cases} \qquad B\begin{cases} I_B = 0,6A \\ V_B = 3,3V \end{cases}$$

Nous avons $U_A = aI_A + E$ **et** $U_B = aI_B + E$ donc $U_B - U_A = a(I_B - I_A)$

Soit $a = \dfrac{U_B - U_A}{(I_B - I_A)}$ faisons l'application numérique $a = \dfrac{3,3 - 4,3}{0,6 - 0,1} = -2 = -r$

La résistance interne r est donc l'opposé du coefficient directeur de la caractéristique.
Nous en déduisons que la tension aux bornes du générateur U_{PN} est une fonction affine de **I** tel que :
$U_{PN} = E - rI$

U_{PN} : tension (V)
E : f.é.m. (V)
r : résistance interne (Ω)
I : intensité (A)

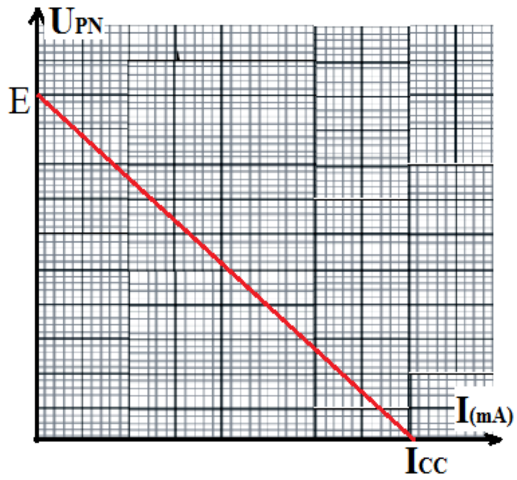
Cette relation nous montre, en particulier, que la tension U_{PN} lorsque la pile débite $(I \neq 0)$ est toujours inferieure à sa f.e.m. E. La différence $E - U_{PN} = rI$,porte le nom de chute ohmique de tension aux bornes de la pile. ; elle s'exprime en volt.

III-INTENSITE DU COURT-CIRCUIT Icc D'UN GENERATEUR

On met la pile en court–circuit (déconseillé) en reliant ses deux pôles par un fil métallique.
On forme ainsi un circuit fermé parcouru par un courant dont l'intensité porte le nom d'intensité de court–circuit I_{CC}.
Calculer sa valeur théorique pour la pile étudiée.
Pour calculer I_{CC}, on écrit que la tension U_{PN} est alors nulle (court–circuit) :

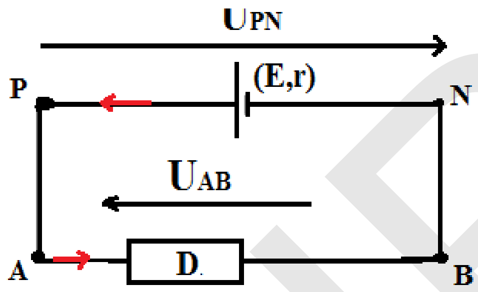
$U_{PN} = 0$ soit $E - rI_{CC} = 0$ ce qui donne : $I_{cc} = \dfrac{E}{r}$

On pourrait faire apparaitre cette valeur I_{cc} sur la caractéristique ; I_{cc} est l'abscisse du point d'intersection de la caractéristique avec l'axe horizontal.



IV-POINT DE FONCTIONNEMENT D'UN CIRCUIT

Lorsqu'on relie un générateur et un dipôle passif ou réactif, il s'établit dans ce circuit fermé un courant électrique **i**, et il existe aux bornes communes du générateur et du dipôle une tension électrique tel que : $U_{PN} = U_{AB}$



1- Définition

On n'appelle point de fonctionnement du circuit le point de coordonnées **(i, u)** dans le diagramme qui permet de tracer les caractéristiques des composants du circuit.

2- Cas d'une pile et d'un conducteur Ohmique

Quand un conducteur ohmique est alimenté par un générateur électrique, il est possible de prévoir la tension **U** commune aux bornes des deux dipôles et l'intensité **I** du courant dans le circuit par deux méthodes différentes :

a-Méthode graphique :

On cherche le point d'intersection des caractéristiques intensité-tension des deux dipôles.
-La caractéristique de la pile est une droite d'équation : $U_{PN} = E - rI$
avec **E** : ordonnée à l'origine et $-r$: coefficient directeur.

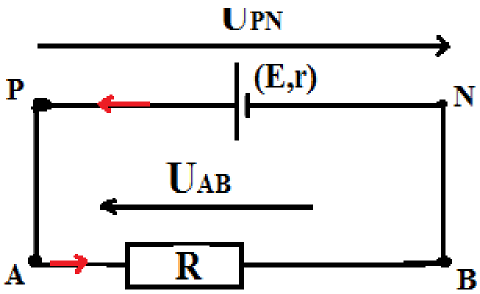
-Elle coupe l'axe horizontal au point d'abscisse I_{cc} (intensité de court-circuit)

La caractéristique du conducteur ohmique est la droite passant par l'origine **O** et d'équation : $U_{AB} = RI$

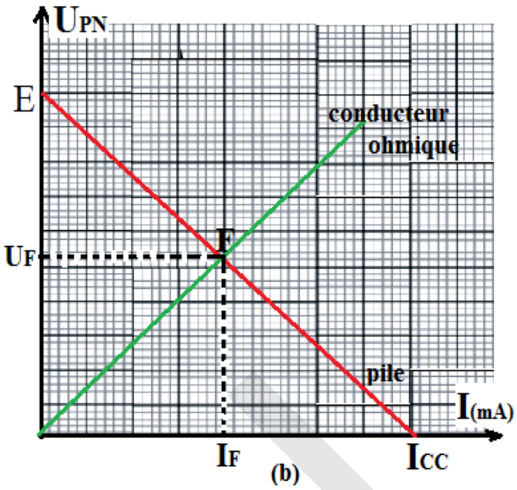
R : Coefficient directeur de la droite.

La **figure(a)** montre le schéma du circuit et la **figure (b)** la construction du point de fonctionnement.

F : est le point de fonctionnement du circuit de cordonnées (I_F, U_F).



(a)



(b)

b-Méthode analytique :

Remarque :

Cette méthode n'est valable que si on connaît la relation entre U et I (loi d'Ohm) pour chaque dipôle.

Considérons le montage (a) précédents.

Il existe la même tension aux bornes de chacun des dipôles.

Aux bornes de la pile : $U_{PN} = E - rI$

Aux bornes du dipôle ohmique : $U_{AB} = RI$.

Lorsque les deux dipôles sont branchés ensemble le courant I_F et la tension U_F

Correspondant au point de fonctionnement du circuit vérifient l'égalité : $U_{PN} = U_{AB}$

Donc $E - rI = RI \Rightarrow E = I(R + r)$, nous en tirons $I = \dfrac{E}{R+r}$ et $U_{PN} = U_{AB} = \dfrac{RE}{R+r}$

V-DIPOLES ACTIFS RECEPTEURS

Electrolyseur

Ce sont des dipôles consommant de l'énergie électrique et qui en transformant une partie sous une autre forme d'énergie. Pour ces dipôles actifs récepteurs, l'intensité entre toujours par le pôle « + » et ressort par le pôle **« - »** à l'inverse d'un dipôle actif générateur

Etude d'un électrolyseur

Un électrolyseur est constitué de deux électrodes trempant dans une solution conductrice du courant (ici solution de soude de concentration 0,1mol/L).

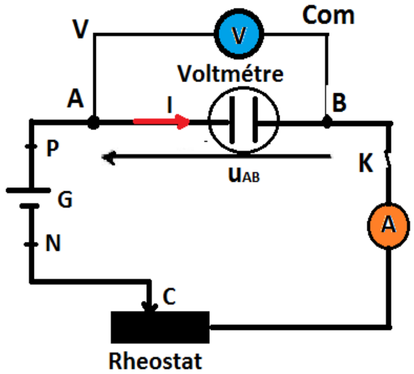
1-Expérience

Matériel

-Un générateur,
- Un rhéostat (monté en résistance variable),
- Un interrupteur,
-Un ampèremètre
-Un électrolyseur contenant une solution ionique (soude $0,1 mol.L^{-1}$).

Manipulation

Réaliser le circuit série schématisé ci-dessous



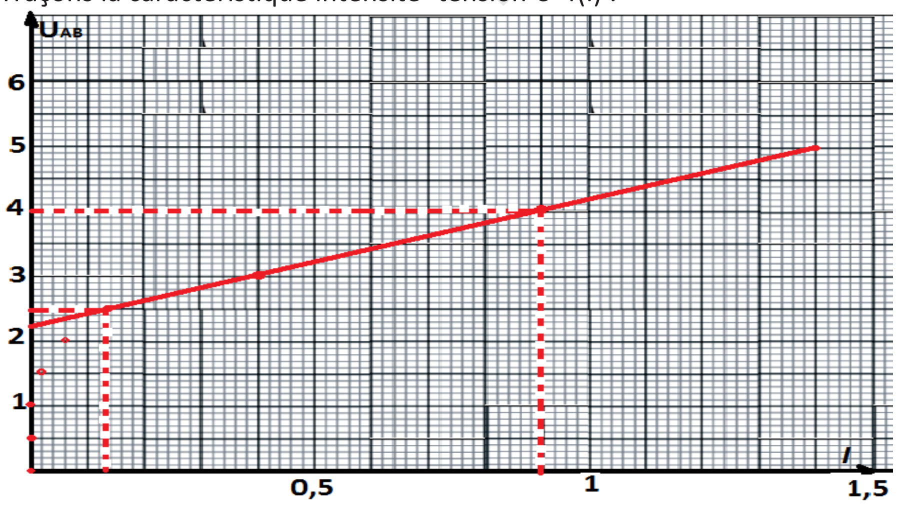
Faisons varier l'intensité **I** du courant dans le circuit, en déplaçant le curseur du rhéostat et notons dans un tableau les différentes valeurs des couples **(I,U) ,**mesurés par le voltmètre et l'ampèremètre.

Résultats

Les résultats des mesures sont regroupés dans le tableau suivant :

I(A)	0	0	0	0.02	0.06	0.14	0.4	0.9	1.4
U(V)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4	5

Traçons la caractéristique intensité- tension U=f(I) :



2-Force contre électromotrice E' et résistance interne r' de l'électrolyseur.

La caractéristique représentant $U_{AB} = f(I)$ est un segment de droite, de coefficient directeur positif qui ne passe pas par l'origine des axes.

U_{AB} est une fonction affine de **I** de la forme : $U_{AB} = aI + b$.

• Force contre électromotrice ou f.c.é.m E' de l'électrolyseur

La droite coupe l'axe des tensions en un point d'ordonnée b = E'= 2,2 V.

E' est appelée force contre électromotrice (f.c.é.m).

•La résistance interne r' de l'électrolyseur

Le coefficient directeur a de cette droite est homogène à une résistance appelée résistance interne de l'électrolyseur.

Choisissons deux points de la droite $A\begin{cases} I_A = 0,14 \\ U_A = 2,5 \end{cases}$ et $B\begin{cases} I_B = 0,9 \\ U_B = 4 \end{cases}$

Nous avons $U_A = aI_A + E'$ et $U_B = aI_B + E'$ donc $U_B - U_A = a(I_B - I_A)$

Soit $a = \dfrac{U_B - U_A}{(I_B - I_A)}$ faisons l'application numérique $a = \dfrac{4 - 2,5}{0,9 - 0,14} = 2 = r'$

Nous en déduisons que la tension aux bornes de l'électrolyseur U_{AB} est une fonction affine de I tel que : $U_{AB} = E' + r'I$

U_{AB} : tension (V)

E : f.c.é.m. (V)

r' : résistance interne (Ω)

I : intensité (A)

Conclusion *:* La loi d'Ohm pour un électrolyseur.

Dans la convention récepteur, la loi d'Ohm pour un électrolyseur est: **U = E' + r'I**

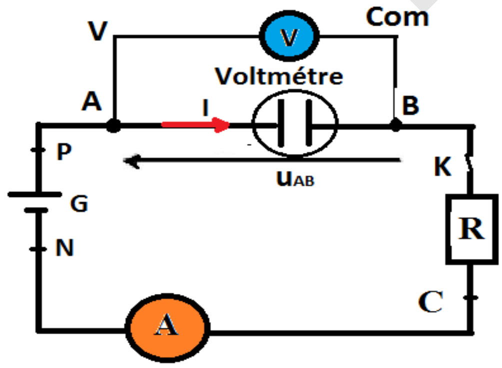
VI-LOI DE POUILLET

Réalisons le circuit de la figure ci-dessous comprenant

-un générateur (**E,r**)

-un électrolyseur (**E',r'**)

-un conducteur ohmique de résistance **R**.



Les tensions aux bornes des différents dipôles ne pouvant plus être les mêmes, il n'est plus possible de superposer leurs caractéristiques pour trouver un point d'intersection et connaître I.

La méthode analytique est la seule utilisable dans ce cas, les trois dipôles étant linéaires.

On applique la **loi d'Ohm** pour chacun des dipôles successivement :

Pour un générateur on a : $U_{PN} = E - r.I$

Pour le récepteur actif on a : $U_{AB} = E' + r'.I$

Pour le récepteur passif on a : $U_{BC} = R.I$
On applique la loi d'additivité des tensions : $U_{PN} = U_{AB} + U_{BC}$
En remplaçant on aura : $E - r.I = E' + r'.I + R.I$

En regroupant les termes : $E - E' = (r + r' + R)I$ d'où l'intensité : $I = \frac{E - E'}{r + r' + R}$

La relation $I = \frac{E - E'}{r + r' + R}$ est l'expression d'une loi, dite Loi de Pouillet, qui régit les circuits électriques constitués uniquement de dipôles linéaires associés en série.

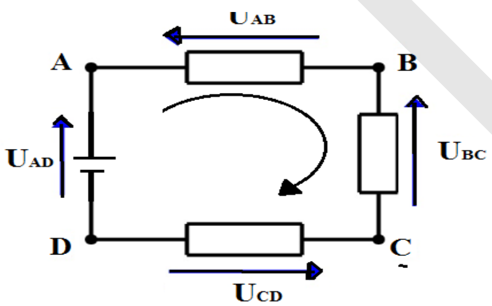
Enoncé de la loi de Pouillet:

Dans un circuit en série comportant n générateurs, m récepteurs et k conducteurs ohmiques, l'intensité du courant I est égale au quotient de la somme des f.é.m. des différents générateurs diminuée de la somme des f.c.é.m. des différents récepteurs actifs par la somme des résistances de tous les dipôles :

$$I = \frac{(E_l + E_2 + \text{---} E_n) - (E'_1 + E'_2 + \text{--} E'_m)}{(r_1 + r_2 + r_m) + (r'_1 + r'_2 + r'_m) + R_l + R_2 + ..R_k} = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i - \sum_{j=1}^{m} E'_j}{\sum_{k=1}^{p} r_k}$$

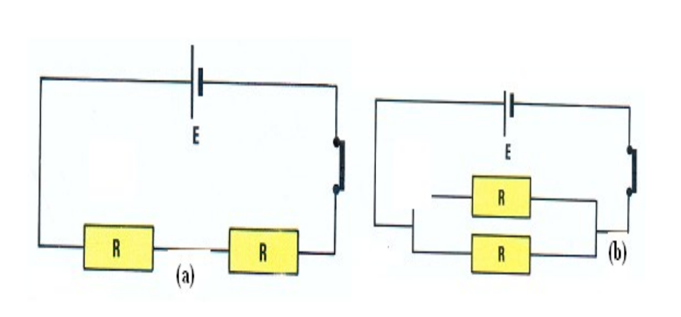
VII-LOIS DES MAILLES

On définit une maille comme étant un ensemble de branches d'un circuit qui forme une boucle. Dans une maille, la somme algébrique des tensions le long de la maille est constamment nulle. Cette loi découle de la définition de la tension comme différence de potentiel entre deux points. La tension entre **A** et **B** est $U_{AB} = V_A - V_B$ ou V_A et V_B étant les potentiels respectifs aux points A et B.



En additionnant toutes les tensions d'une maille et en se servant de cette définition, on obtient un résultat nul : $U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{AD} = 0$ Ceci est dû au fait qu'en parcourant la totalité d'une maille, on retourne au point de départ, donc on retrouve le potentiel de départ, la différence de potentiel de la maille est ainsi nulle.

Exercice résolu



On associe au même générateur de force électromotrice E et de résistance interne négligeable deux conducteurs ohmiques identiques de résistance R dans les deux montages ci-dessous (fig (a) et (b))

1) Déterminer l'intensité du courant qui traverse le générateur dans les deux cas.

2) Déterminer la tension aux bornes du générateur dans les deux cas

3) Quelle est la tension aux bornes de chacun des dipôles dans le cas (a) et (b)

4) Quelle est l'intensité qui traverse chacun des conducteurs ohmiques dans le cas (b) . On donne E = 24V, R = 500 Ω

Solution

fig (a)

$$I = \frac{E}{R+R} \Rightarrow \boxed{I = \frac{E}{2R}} \quad \text{A.N} \quad I = \frac{24}{2.500} = 0{,}024A$$

fig(b)

$$\boxed{I = \frac{E}{R_{éq}}} \quad R_{éq} = \frac{R^2}{2R} \Rightarrow \boxed{R_{éq} = \frac{R}{2}} \quad A.N : R_{éq} = \frac{500}{2} = 250\Omega$$

$$I = \frac{24}{250} = 0{,}096A$$

2) fig (a) $\boxed{U = E}$ A.N: $\boxed{U = 24V}$

fig (b) $\boxed{U = E}$ A.N: $\boxed{U = 24V}$

3)

fig (a) $2U_R = 24 \Rightarrow \boxed{U_R = 12V}$

fig(b) $\boxed{U = 24V}$

$$I = I_1 + I_2 \text{ Or } I_1 = I_2 \Rightarrow I = 2I_1$$

4)

$$\boxed{I_1 = I_2 = \frac{I}{2}} \quad \text{A.N:} \quad I_1 = \frac{0{,}096}{2} = 0{,}048A$$

Essentiel

-Dans une solution conductrice

La caractéristique intensité-tension d'un générateur linéaire $U_{PN} = f(I)$ est une portion de droite de coefficient directeur – r et d'ordonnée à l'origine E.

La loi de fonctionnement d'un générateur est: $\boxed{U_{PN} = E - rI}$

U_{PN} : tension entre ses bornes en volt(v)

E : sa force électromotrice (f.e.m) ou sa tension à vide en volt(v).

r : sa résistance interne en Ohm(Ω)

I : intensité du courant en Ampère(A)

Dans la convention réceptrice, la loi d'Ohm pour un générateur est: $U_{AB} = E' + r'I$

U_{AB} : tension entre ses bornes (V)

E' : f.c.é.m. en (V)

r' : résistance interne en (Ω)

I : intensité en (A)

L'ensemble des valeurs de l'intensité et des tensions aux bornes des dipôles déterminent le point de fonctionnement d'un circuit

L'intensité du court – circuit : $I_{CC} = \frac{E}{r}$

La loi de Pouillet:

Dans un circuit en série comportant n générateurs, m récepteurs et k conducteurs ohmiques, l'intensité du courant I est égale au quotient de la somme des f.é.m. des différents générateurs diminuée de la somme des f.c.é.m. des différents récepteurs actifs par la somme des résistances de tous les dipôles

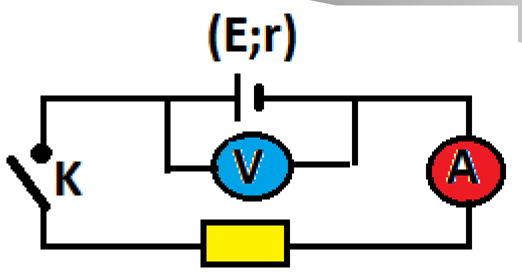
$$I = \frac{(E_1 + E_2 + \text{---}E_n) - (E'_1 + E'_2 + \text{--}E'_m)}{(r_1 + r_2 + r_m) + (r'_1 + r'_2 + r'_m) + R_1 + R_2 + ..R_k} = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i - \sum_{j=1}^{m} E'_j}{\sum_{k=1}^{p} r_k}$$

La loi des mailles :

Dans un circuit fermé comprenant plusieurs dipôles en série, on montre que les tensions entre leurs bornes respectives U1, U2……..Un dans un sens donné vérifient la relation : $\boxed{U_1 + U_2 + \ldots + U_n = 0}$

Exercices

Exercice 1



Considerons le montage ci- contre; le générateur est une pile de résistance r et de f.e.m. E .Le voltmètre et l'ampèremètre ne perturbent pas la mesure .

K ouvert on lit U = 4,6V

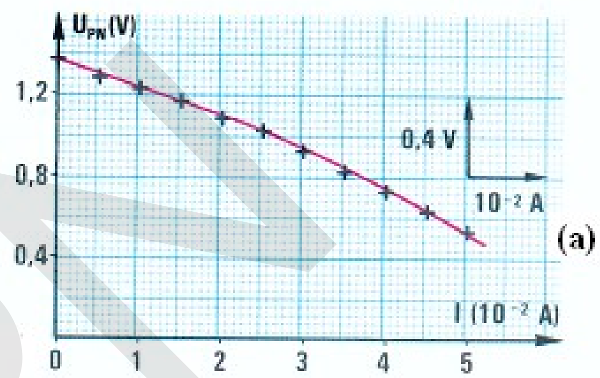
K fermé on lit U = 4,1V et I = 0,3A.

Déterminer la résistance interne de la pile , la résistance R du conducteur ohmique et la f.e.m . de la pile

Exercice 2

La caractéristique d'une pile de montre est représentée sur la figure (a).

1) Quel est son domaine normal d'utilisation ?
2) Quelle est sa force électromotrice ?
3) Quelle est sa résistance interne ?



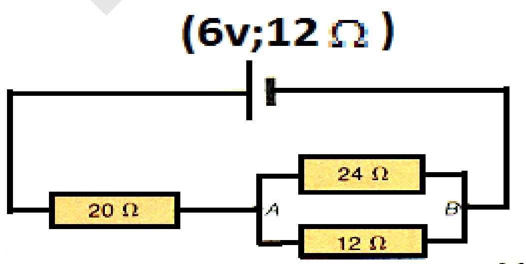
(a)

Exercice 3

Dans le circuit schématisé ci-dessous,

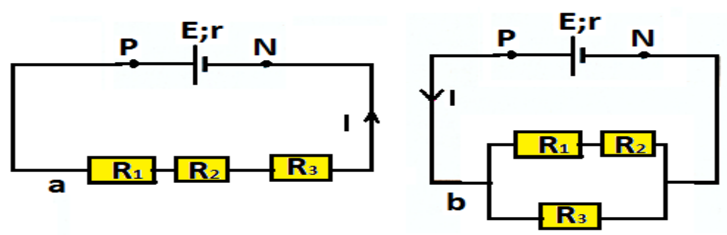
Déterminer :

1) l'intensité du courant qui traverse le générateur
2) la tension UAB et les intensités dans chaque conducteur ohmique.



Exercice 4

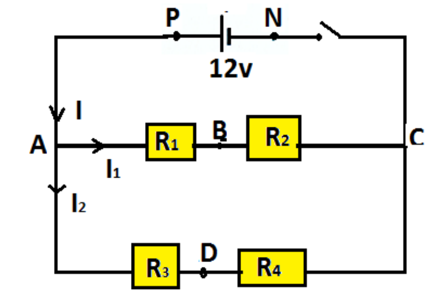
On dispose de trois conducteurs ohmiques de résistances R1, R2 et R3 que l'on associe successivement à un générateur de force électromotrice E et de résistance interne r dans les circuits représentés sur les figures (a) et (b) .



1) Déterminer dans chaque cas le dipôle équivalent aux trois conducteurs ohmiques.

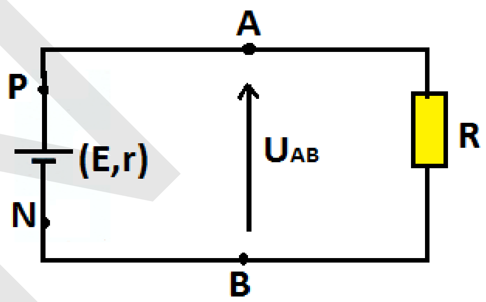
2) Quel est dans chaque cas le point de fonctionnement du circuit.
Données numériques. E = 1,08V, r = 25 Ω ; R1 = 2 Ω ; R2 = 5 Ω et R3 = 10 Ω

Exercice 5



On considère le montage du schéma suivant. La pile a une force électromotrice de 12V et une résistance interne négligeable. Calculer les intensités I, I1, I2 ainsi que les tensions U1, U2, U3 et U4 aux bornes respectivement de R1, R2 , R3 et R4 .
Données numériques : R1 = 2,5 Ω ; R2 = 12,5 Ω, R3 = 20 Ω et R4 = 5 Ω

Exercice6



E = 12 V ; r = 2 Ω ; R = 22 Ω
1. Dessiner le schéma équivalent en faisant apparaitre les différents éléments du générateur.
2. Flécher le sens réel du courant et toutes les tensions du circuit.
3. Ecrire la loi des mailles, puis en déduire l'expression littérale de I. application numérique.
4. En déduire UAB. (expression littérale de I. application numérique.)

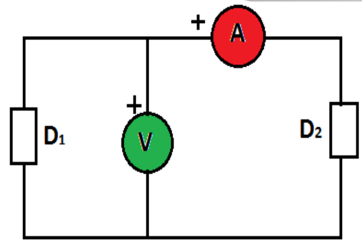
Exercice7

Un générateur linéaire débite un courant de 200 mA sous une tension UAB = 4 V, et un courant de 800 mA sous une tension UAB = 1 V.
1. Déterminer sa f.e.m E, sa résistance interne r, ainsi que son courant de court-circuit Icc.
2. Ecrire son équation UAB = f(I) et la représenter graphiquement.
3. Quelle résistance faut il connecter aux bornes du générateur pour que celui-ci débite une intensité de 0,5 A ?
4. Déterminer graphiquement, puis algébriquement le point de fonctionnement du système lorsque le générateur est connecte à une résistance R = 7,5 Ω.

Exercice8

On branche un voltmetre aux bornes d'un dipôle. L'appareil indique 1,5 V.
1. Quelle est la nature du dipôle ?
2. A quoi correspond l'indication du voltmètre ?

Exercice9



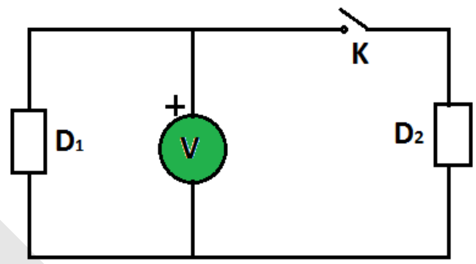
On associe un dipôle actif et un dipôle passif. L'ampèremètre indique 0,5 A.

1. Peut-on en déduire la nature de chaque dipôle ?

On lit maintenant le voltmetre : il indique – 12 V.

2. Quel est le dipôle générateur ? Quel est le dipôle récepteur ?
3. Repérer par les signes + et – les bornes du dipôle actif.

Exercice10



Lorsque l'interrupteur est ouvert, le voltmètre indique 12 V. Lorsque l'interrupteur est fermé, le voltmètre indique 13 V.

Quelle est la nature (active ou passive) et le fonctionnement (générateur ou récepteur) de chaque dipôle ?

Exercice11

La tension mesurée aux bornes d'un générateur à vide est E0 = 36 V. Lorsqu'il débite dans une charge un courant d'intensité I = 5 A, la tension baisse et devient U = 35 V

1-Donner la relation liant U, E0, I et la résistance interne r.

2-Calculer la résistance interne r du générateur.

On branche aux bornes du générateur une résistance R.

Elle est traversée par un courant I = 10 A.

1-Donner le schéma de montage.

2-Calculer la tension U aux bornes de R.

3-En déduire la valeur de R.

Exercice12

Le tableau ci-dessous donne les résultats du relevé de la caractéristique d'une génératrice à courant continu.

I (A)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
U (V)	20	19,8	19,5	19,3	19	18,8	18,5	18,3

Donner le montage permettant de relever ces points.

Tracer la caractéristique U = f(I).

Quel type de dipôle est cette génératrice ?

La génératrice débite dans une résistance R = 200 ohms.. Faire un schéma du montage.

En déduire le point de fonctionnement suivant les 2 méthodes connues.

Table de Matiere

BIBLIOGRAPHIE

- **Déguse.A.M & al:Physique seconde HATIER (France juillet 1987)**
- **LUCIN QUARANTA &al :Physique seconde Magnard(Mars 1987)**
- **R.FAUCHER .PHYIQUE SECONDE HATIER 1966**
- **IEAN CESSAC & al :PHYSIQUE Première D.NTHAN.(France Mars 1986)**
- **http://old.al.lu/physics/deuxieme/mousset/champ_electrique.pdf**
- **https://webphysique.fr/champ-electrique/**
- **https://w3.iihe.ac.be/~cvdvelde/Info/Cours/ChapV.pdf**