

**Cours de Physique seconde S**

Wahab DIOP

**2010**



**COLLECTION SAWD**

**M. Serigne Abdou Wahab Diop**  
<http://physiquechimie.sharepoint.com>  
**Lycée Seydina Limamoulaye**

## Table des matières

Généralités sur le mouvement .....	9
I. Caractère relatif du mouvement .....	9
II. Référentiel .....	9
1. DEFINITION D'UN REFERENTIEL.....	9
2. REPERE D'ESPACE .....	9
3. REPERE DE TEMPS .....	10
4. TRAJECTOIRE .....	10
III. Vitesse .....	11
1. NOTION DE VITESSE .....	11
2. VITESSE MOYENNE .....	11
3. VITESSE INSTANTANEE .....	11
IV. Étude de quelques mouvements.....	14
1. MOUVEMENT RECTILIGNE UNIFORME .....	14
2. MOUVEMENT RECTILIGNE VARIE.....	14
3. MOUVEMENT CIRCULAIRE UNIFORME .....	15
V. Mouvements d'un solide.....	16
1. MOUVEMENT DE TRANSLATION.....	16
2. MOUVEMENT DE ROTATION AUTOUR D'UN AXE .....	16
<b>Généralités sur les forces .....</b>	<b>17</b>
I. Mise en évidence des interactions entre objets. ....	17
1. Exemples d'interactions .....	17
2. Différentes types d'interactions.....	18
II. Notion de force.....	18
1. Définition .....	18
2. Vecteur force .....	18
3. Représentation d'une force .....	19
4. Poussée d'Archimède.....	21
5. Forces localisées et forces réparties .....	22
6. Forces extérieures et forces intérieures.....	22
III. Principe des interactions .....	22
1. Énoncé du principe .....	22
2. Exemples d'interactions .....	23

IV.	Applications sur les vecteurs forces .....	23
<b>La masse, le poids, relation poids et masse.....</b>		<b>26</b>
I.	Masse d'un corps.....	26
1.	DEFINITION .....	26
2.	UNITES .....	26
3.	MESURES.....	26
II.	Masse volumique et densité .....	27
1.	MASSE VOLUMIQUE .....	27
2.	DENSITE.....	27
III.	Poids d'un corps .....	28
1.	MISE EN EVIDENCE.....	28
2.	DEFINITION .....	29
3.	CARACTERISTIQUES .....	29
IV.	Relation entre poids et masse.....	29
1.	MANIPULATION.....	29
2.	CONCLUSION .....	30
3.	LE POIDS DEPEND DU LIEU .....	30
4.	VECTEUR CHAMP DE PESANTEUR .....	31
<b>Équilibre d'un solide soumis à des forces non parallèles .....</b>		<b>32</b>
I.	Équilibre d'un solide soumis à deux forces .....	32
1.	EXPERIENCE .....	32
2.	CONDITIONS D'EQUILIBRE .....	32
3.	QUELQUES APPLICATIONS .....	33
II.	Équilibre d'un solide soumis à trois forces.....	34
1.	EXPERIENCE .....	34
2.	CONDITIONS D'EQUILIBRE .....	35
3.	APPLICATIONS .....	36
III.	Généralisation .....	38
<b>Équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe .....</b>		<b>39</b>
I.	Rotation autour d'un axe .....	39
1.	Axe de rotation.....	39
2.	Force orthogonale à l'axe.....	39
3.	Distance de la ligne d'action d'une force à l'axe de rotation: bas de levis .....	40

II.	Moment d'une force par rapport à un axe .....	40
1.	Définition du moment d'une force .....	40
2.	Moment: grandeur algébrique .....	40
III.	Équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe .....	41
1.	Expérience .....	41
2.	Théorème des moments .....	42
3.	Conditions générales d'équilibre.....	42
IV.	Couples de forces .....	42
1.	Notion de couple de forces .....	42
2.	Définition d'un couple de forces .....	42
3.	Moment d'un couple de force.....	42
4.	Couple de torsion .....	43
V.	Applications .....	43
1.	Méthode de résolution d'un problème à moments.....	43
2.	Les poulies .....	43
3.	Les leviers .....	45
4.	Les treuils.....	46
	<b>Phénomène d'électrisation.....</b>	<b>47</b>
I.	Électrisation par frottement.....	47
1.	Observations: .....	47
2.	Expérience .....	47
3.	Conclusion .....	47
II.	Deux espèces d'électricité.....	47
1.	Expérience .....	47
2.	Conclusion .....	48
3.	Convention .....	48
III.	Charges électriques .....	48
1.	La structure de la matière .....	48
2.	Unité de charge électrique: .....	48
3.	Interprétation de l'électrisation par frottement.....	48
IV.	Autres modes d'électrisation .....	48
1.	Électrisation par contact .....	48
2.	Électrisation par influence (à distance).....	49

V. Conducteurs et isolant .....	49
<b>Généralités sur le courant électrique.....</b>	<b>51</b>
I. Le courant électrique .....	51
1. Circuit électrique .....	51
2. Symboles .....	51
3. Application.....	51
4. Conducteurs et isolants.....	52
5. Exemples de circuit électriques.....	52
II. Effets du courant électrique.....	53
1. Effets calorifiques .....	53
2. Effets chimique.....	53
3. Effets magnétiques.....	53
4. Effets lumineux.....	53
III. Sens conventionnel du courant.....	54
IV. Nature du courant électrique.....	54
1. Nature du courant dans les conducteurs métalliques .....	54
2. Nature du courant dans les solutions électriques.....	54
3. Généralisation .....	55
<b>Intensité du courant électrique .....</b>	<b>56</b>
I. Définition de l'intensité du courant électrique .....	56
1. EXPERIENCE .....	56
2. DEFINITION .....	56
3. MULTIPLES ET SOUS MULTIPLES D'AMPERE.....	57
4. ORDRE DE GRANDEUR .....	57
II. Mesure de l'intensité du courant.....	57
1. BRANCHEMENT D'UN AMPEREMETRE.....	57
2. CALIBRE D'UN AMPEREMETRE .....	57
3. LECTURE ET PRESENTATION DU RESULTAT.....	58
III. Propriétés du courant électrique .....	59
1. LOI D'UNICITE DU COURANT: CIRCUIT SERIE .....	59
2. LOI DES NŒUDS: CIRCUIT PARALLELE.....	59
3. ÉVALUATION .....	60
<b>Tension électrique.....</b>	<b>61</b>

I.	Notion de tension électrique.....	61
1.	Expérience .....	61
2.	Définition .....	61
3.	Notation.....	61
4.	Algébrisation de la tension.....	61
5.	Représentation d'une tension.....	61
II.	Mesure de la tension.....	62
1.	Utilisation d'un voltmètre .....	62
c.	Lecture de la tension .....	62
2.	Utilisation d'un oscilloscope.....	63
III.	Propriétés de la tension .....	64
1.	Dipôles en série: additivité des tensions.....	64
2.	Dipôles en parallèles: loi d'unicité de la tension.....	65
IV.	Tension variables.....	65
1.	Définitions. ....	65
2.	Période et fréquence.....	66
3.	Tension maximale et tension efficace.....	67
4.	Le générateur basse fréquence (GBF).....	67
V.	Convention récepteur .....	69
VI.	Mesure de sécurité.....	69
	<b>Dipôles passifs.....</b>	<b>70</b>
I.	Dipôles.....	70
1.	NOTION DE DIPOLE .....	70
2.	CATEGORISATION DE QUELQUES DIPOLES .....	70
3.	MONTAGE POTENTIOMETRIQUE .....	70
II.	Dipôle passif linéaire: conducteur ohmique .....	71
1.	ÉTUDE EXPERIMENTALE:.....	71
2.	LOI D'OHM.....	71
3.	LE CODE DES COULEURS: .....	72
4.	CARACTERISTIQUE TENSION-INTENSITE .....	72
5.	RESISTANCE D'UN CONDUCTEUR FILIFORME.....	72
6.	ASSOCIATION DE CONDUCTEURS OHMIQUES .....	73
III.	Dipôles passifs non linéaires .....	74

1. VARISTANCE (VDR OU RDT) .....	74
2. DIODE A JONCTION .....	74
3. DIODE ZENER .....	75
<b>Dipôles actifs.....</b>	<b>76</b>
I. Généralités .....	76
1. DEFINITION .....	76
2. CONVENTION GENERATEUR .....	76
II. Étude d'une pile.....	76
1. MONTAGE .....	76
2. LES MESURES.....	76
3. CARACTERISTIQUE INTENSITE- TENSION.....	76
4. INTENSITE DE COURT-CIRCUIT .....	78
5. EXERCICE D'APPLICATION.....	78
III. Loi de Pouillet .....	79
1. Expression.....	79
2. APPLICATION .....	79
IV. Autres types de générateurs .....	80
1. ACCUMULATEURS .....	80
2. ALTERNATEURS.....	80
3. PHOTOPILES .....	80
<b>Amplificateur opérationnel .....</b>	<b>81</b>
I. Généralités .....	81
1. PRESENTATION : .....	81
2. PROPRIETES : .....	81
3. IDEALISATION DE L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL : .....	83
II. Montages électroniques.....	83
1. MONTAGE EN COMPAREUR : .....	83
2. MONTAGES EN FONCTIONNEMENT LINEAIRE : .....	84
<b>Propagation rectiligne de la lumière .....</b>	<b>91</b>
I. Sources et récepteurs de lumières.....	91
1. Sources lumineuses .....	91
2. Récepteur de lumière.....	91
3. Classification des milieux matériels.....	91

- II. Propagation rectiligne de la lumière ..... 91
  - 1. Expérience 1 ..... 91
  - 2. Expérience 2 ..... 92
  - 3. Conclusion ..... 92
  - 4. Rayon et faisceau lumineux..... 92
  - 5. Vitesse de la lumière ..... 93
  - 6. Année lumière ..... 93
- III. Ombres et pénombres ..... 93
- IV. Applications ..... 93

---





# Généralités sur le mouvement

## I. Caractère relatif du mouvement

Un corps est en mouvement lorsqu'il change de position dans le temps par rapport à d'autres corps.

Un voyageur assis dans un train en marche est :

- immobile par rapport aux autres voyageurs assis ou par rapport au train
- en mouvement par rapport au sol

L'état de mouvement d'un objet est décrit par rapport à un autre objet qui sert de référence (de référentiel)

## II. Référentiel

### 1. DEFINITION D'UN REFERENTIEL

Un référentiel est un solide ou un ensemble de solide par rapport auquel le mouvement est étudié.

### 2. REPERE D'ESPACE

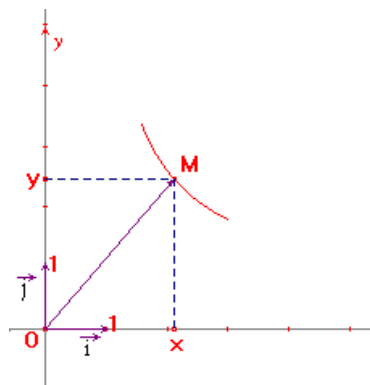
Le repère d'espace permet de déterminer la position du mobile (l'objet en mouvement) par rapport à une position arbitraire choisie comme origine. Le choix du repère d'espace se ramène au choix d'un système d'axes liés à la référence.

#### a) Sur une droite



La position du mobile est déterminée par la connaissance de l'abscisse  $x$  du vecteur position  $\overrightarrow{OM}$

#### b) Dans le plan

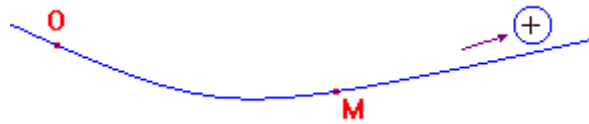


$$\overrightarrow{OM} = x\vec{i} + y\vec{j}$$

$$\|\overrightarrow{OM}\| = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Lorsque le mouvement s'effectue dans un plan, il est intéressant de travailler dans un repère orthonormé pour repérer la position du mobile.

c) Sur une courbe quelconque

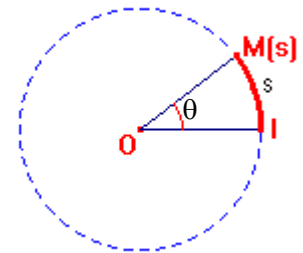
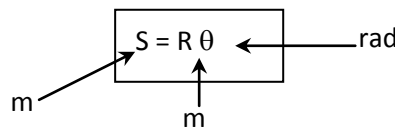


Le mobile M est repéré par son abscisse curviligne  $s = \widehat{OM}$  (mesure algébrique de l'arc  $\widehat{OM}$ )

d) Sur un cercle

La position du mobile M peut être repérée en utilisant l'abscisse curviligne  $\widehat{IM} = s$  ou l'abscisse angulaire  $\theta$  (s et  $\theta$  sont proportionnels).

$$\left. \begin{array}{l} \theta = 2\pi \rightarrow s = 2\pi R \\ \theta \rightarrow s \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{2\pi}{\theta} = \frac{2\pi R}{s} \Rightarrow s = R\theta$$



3. REPERE DE TEMPS

Pour repérer un mobile dans le temps il est nécessaire de choisir une origine des temps qui correspond à un événement connu, une unité de mesure du temps (seconde, heure, jour, année) et un appareil de mesure du temps (une horloge). Tout événement est repéré par une date t bien connue.

Remarque : la durée est l'intervalle de temps qui sépare deux dates (elle est toujours positive) :

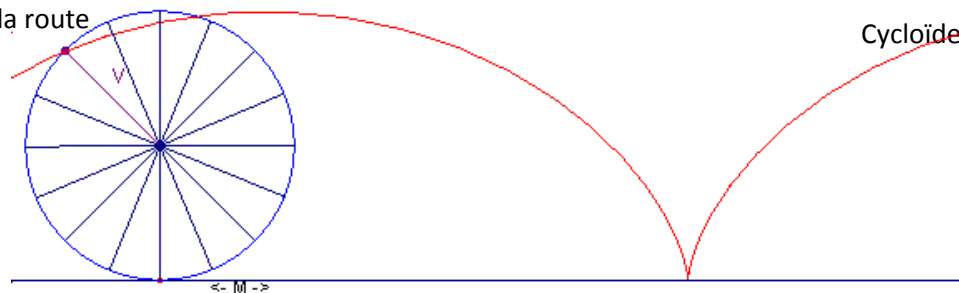
$$\Delta t = t_{\text{final}} - t_{\text{initial}}$$

4. TRAJECTOIRE

On appelle trajectoire d'un mobile, l'ensemble des positions successives qu'il occupe au cours de son déplacement dans un repère donné.

Remarque : comme le mouvement, la forme de la trajectoire dépend du référentiel choisi.

Exemple : la valve d'une roue de bicyclette décrit un cercle par rapport au cycliste et une cycloïde par rapport à la route



M. Serigne Abdou Wahab Diop | <http://physiquechimie.sharepoint.com>

### III. Vitesse

#### 1. NOTION DE VITESSE

On caractérise la rapidité d'un mouvement par une grandeur physique appelée vitesse. Cette grandeur est liée à la distance parcourue et à la durée du parcours.

#### 2. VITESSE MOYENNE

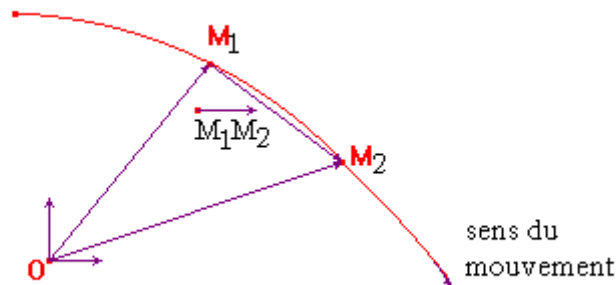
##### a) Définition

Lorsqu'un mobile parcourt une distance  $\ell$  pendant une durée  $\Delta t$ , sa vitesse moyenne est :

$$V_m = \frac{\ell}{\Delta t} \text{ avec } \Delta t \text{ (t), } \ell \text{ (m) et } V_m \text{ (en ms}^{-1}\text{)}$$

##### b) Vecteur vitesse moyenne

A l'instant  $t_1$  le mobile est en  $M_1$ . A l'instant  $t_2$  le mobile est en  $M_2$ . Le vecteur vitesse moyenne  $\overline{V}_m$  entre les instant  $t_1$  et  $t_2$  est :  $\overline{V}_m = \frac{\overline{M_1M_2}}{t_2 - t_1}$  en m/s ou km/h.  $\overline{M_1M_2}$  est le vecteur déplacement.



##### c) Exercice d'application

Un train A part de Dakar à 11h 56 min pour Touba. Il roule à la vitesse moyenne de 120 km/h. La distance Dakar – Touba vaut 200 km. Quelle heure le train arrivera-t-il à destination ?

#### 3. VITESSE INSTANTANEE

##### a) Définition

Lorsqu'un mobile parcourt une distance infiniment petite  $\delta\ell$  pendant une durée très petite  $\delta t$ , sa vitesse instantanée est :

$$v = \frac{\delta\ell}{\delta t} \text{ (en m/s)}$$

##### b) Détermination pratique

Un enregistrement est l'ensemble des points (brûlures locales) laissés par un mobile autoporteur à des intervalles de temps égaux notés  $\tau$ .

M. Serigne Abdou Wahab Diop | <http://physiquechimie.sharepoint.com>



- cas d'un mouvement rectiligne

Un mouvement est rectiligne lorsque la trajectoire décrite par le mobile autoporteur est une droite.

A une date  $t_i$  quelconque:

$$v(t_i) = \frac{\delta l}{\delta t} \text{ avec } \delta l = d(M_{i-1}M_{i+1}) \text{ et } \delta t = 2\tau \text{ soit } v(t_i) \approx \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{2\tau}$$

Exemple: On donne l'enregistrement suivant à l'échelle 1 avec  $\tau=20\text{ms}$ . Calculons  $v_1$ ,  $v_2$  et  $v_3$ .



$$v_1 = \frac{M_0M_2}{2\tau} = \frac{1,6+1,5}{2 \times 20 \cdot 10^{-3}} = 77,5 \text{ cms}^{-1}$$

$$v_2 = \frac{M_1M_3}{2\tau} = \frac{1,5+3}{2 \times 20 \cdot 10^{-3}} = 112,5 \text{ cms}^{-1}$$

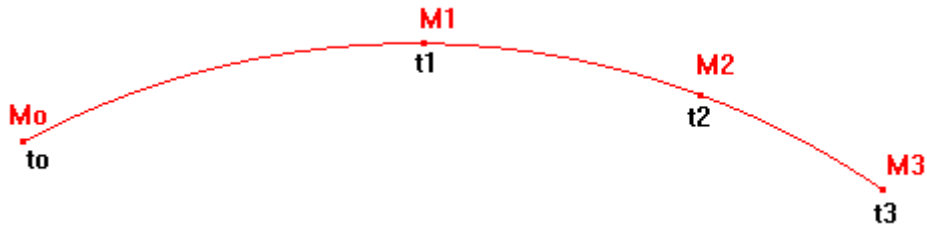
$$v_3 = \frac{M_2M_4}{2\tau} = \frac{3+2,4}{2 \times 20 \cdot 10^{-3}} = 135 \text{ cms}^{-1}$$

- cas d'un mouvement curviligne

Un mouvement est curviligne lorsque la trajectoire présente une courbure. A une date  $t_i$  quelconque:

$$v(t_i) = \frac{\delta l}{\delta t} \text{ avec } \delta l = \widehat{M_{i-1}M_{i+1}} \approx M_{i-1}M_i + M_iM_{i+1} \text{ et } \delta t = 2\tau \text{ soit } v(t_i) = \frac{M_{i-1}M_i + M_iM_{i+1}}{2\tau}$$

Exemple: On donne l'enregistrement suivant à l'échelle 1 avec  $\tau=20 \text{ ms}$



$$v(t_1) = \frac{M_0 M_1 + M_1 M_2}{2\tau} = \frac{5,4 + 3,7}{0,04} = 227,5 \text{ cms}^{-1}$$

$$v(t_2) = \frac{M_1 M_2 + M_2 M_3}{2\tau} = \frac{3,7 + 2,7}{0,04} = 160 \text{ cms}^{-1}$$

### c) Vecteur vitesse instantanée

Dans un repère, le vecteur vitesse  $\vec{v}(t)$  du point mobile lorsqu'il passe en M est défini par:

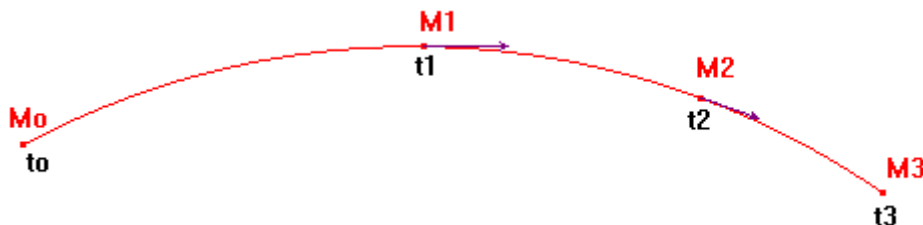
$$\vec{v}(t) = \begin{cases} \text{point d'application : } M \\ \text{direction : la tangente en } M \text{ à la trajectoire} \\ \text{sens : celui du mouvement} \\ \text{norme : la valeur } v(t) \text{ de la vitesse instantanée} \end{cases}$$

Échelle de représentation: 1 cm  $\rightarrow$  200 cm/s

- mouvement rectiligne:  $\vec{v}_1(0,4 \text{ cm})$ ;  $\vec{v}_2(0,6 \text{ cm})$  et  $\vec{v}_3(0,7 \text{ cm})$



- mouvement curviligne:  $\vec{v}_1(1,1 \text{ cm})$  et  $\vec{v}_2(0,8 \text{ cm})$

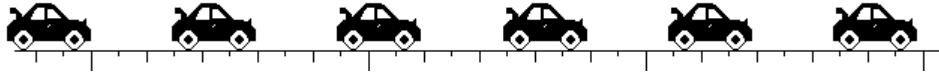


## IV. Étude de quelques mouvements

### 1. MOUVEMENT RECTILIGNE UNIFORME

#### a) Définition

Un solide est animé d'un mouvement rectiligne uniforme si et seulement si le vecteur vitesse est constant et garde donc la même direction, le même sens et la même norme au cours du mouvement.



La distance parcourue par la voiture pendant des intervalles de temps égaux est constante. La vitesse est donc constante; le mouvement est rectiligne uniforme.

#### b) Loi horaire

Si à l'instant  $t$ , le mobile  $M$  se trouve à un point  $x$ , on a:  $V_m = \frac{M_0 M}{t - t_0} = \frac{x - x_0}{t - t_0} \Rightarrow$

$$x = V(t - t_0) + x_0 \quad t_0 \text{ et } x_0 \text{ dépendent des conditions initiales.}$$

**Application:** Pape et Doudou courent sur une ligne droite et dans le même sens avec des vitesses constantes et respectivement égale à  $V_p = 8 \text{ m/s}$  et  $V_D = 5 \text{ m/s}$ . A l'instant  $t_0 = 0$  Pape se trouve au point  $x_{0p} = 0$  et Doudou à un point  $x_{0D} = 21 \text{ m}$ .

- 1) A quelle date Pape rattrapera-t-il Doudou?
- 2) Quelle sera la distance entre Pape et Doudou à  $t_1 = 5 \text{ s}$  et à  $t_2 = 10 \text{ s}$ ?

**Solution:** 1)  $t = 7 \text{ s}$  2)  $x_D - x_p = 6 \text{ m}$  ;  $x_p - x_D = 9 \text{ m}$

### 2. MOUVEMENT RECTILIGNE VARIÉ

Un mobile est en mouvement rectiligne varié s'il se déplace sur une droite avec un vecteur vitesse de module variable.

- le mouvement est accéléré si  $\|\vec{v}\|$  croît



La distance parcourue par la voiture pendant des intervalles de temps égaux est constante. La vitesse est constante; le mouvement est accéléré.

- le mouvement est décéléré si  $\|\vec{v}\|$  décroît



La distance parcourue par la voiture pendant des intervalles de temps égaux est décroissante. La voiture va de plus en plus vite, la vitesse augmente au cours du temps, le mouvement est décéléré.

- le mouvement est uniformément varié si  $\|\vec{v}\| = at + b$ , une fonction affine du temps.

### 3. MOUVEMENT CIRCULAIRE UNIFORME

#### a) Définition

Un mobile est en mouvement circulaire uniforme s'il se déplace sur un cercle (trajectoire circulaire) avec un vecteur vitesse de module constant.

#### b) Loi horaire

$$v = \frac{\widehat{M_0 M}}{t - t_0} = \frac{s - s_0}{t - t_0}, \text{ en posant } t_0 = 0 \text{ on a: } \boxed{s = vt + s_0}$$

#### c) Période et fréquence

+ La période est la durée d'un tour complet. Elle s'exprime en s. Pour

$$\text{un tour } V = \frac{2\pi R}{T} \text{ d'où } \boxed{T = \frac{2\pi R}{V}}$$

+ La fréquence est le nombre de tours effectué en une seconde. Elle est l'inverse de la période et elle s'exprime en hertz (symbole: Hz).

$$\boxed{f = N = \frac{1}{T}}$$

#### d) Vitesse angulaire

La vitesse angulaire est l'angle balayé par le mobile pendant l'unité de temps. Elle est notée  $\omega$  et s'exprime en  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ .

$$\boxed{\omega = \frac{\theta}{t}}$$

#### e) Relation entre vitesse angulaire ( $\omega$ ) et vitesse linéaire (V)

On sait que  $\omega = \frac{\theta}{t}$ , alors que  $\theta = \frac{\widehat{OM}}{R}$  d'où  $\omega = \frac{1}{R} \frac{\widehat{OM}}{t} = \frac{V}{R}$ . On obtient:  $\boxed{V = R\omega}$

#### Application:

Un mobile M est animé d'un mouvement circulaire uniforme et décrit un cercle de rayon  $R=2$  m. Sachant que les angles balayés pendant des intervalles de temps  $\tau=40$  ms sont égaux à  $\theta=45^\circ$ . Calculer la vitesse angulaire. En déduire la vitesse linéaire. Représenter le vecteur vitesse au point  $M_3$  à la date  $t=3\tau$ .



## V. Mouvements d'un solide

### 1. MOUVEMENT DE TRANSLATION

#### a) Définition

Un solide a un mouvement de translation si un vecteur joignant deux points du solide garde même direction et même sens au cours du déplacement.

La translation peut être :

- rectiligne : la trajectoire de chaque point est une droite.
- circulaire : la trajectoire de chaque point est un cercle de même rayon (mais pas de même centre)
- quelconque

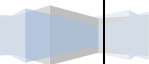
#### b) Propriété

Tous les points du solide ont alors même vecteur vitesse.

### 2. MOUVEMENT DE ROTATION AUTOUR D'UN AXE

Un solide est animé d'un mouvement de rotation autour d'un axe fixe si chacun de ses points décrit une trajectoire circulaire autour de cet axe. (Le centre des cercles est sur l'axe)

La vitesse des différents points du solide dépend de leurs positions.





# Généralités sur les forces

Deux objets sont en interactions lorsqu'ils exercent simultanément une action l'un sur l'autre.

## I. Mise en évidence des interactions entre objets.

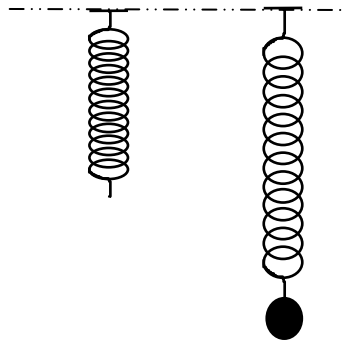
### 1. Exemples d'interactions

#### a) Interaction entre aimant



Deux aimants A et B reliés par un fil présentent leurs faces nord en regard. Lorsqu'on brûle le fil l'aimant A est repoussé par l'aimant B et s'éloigne vers la gauche. L'aimant B est repoussé par l'aimant A et s'éloigne vers la droite. On dit que l'aimant A et l'aimant B sont en interaction.

#### b) Interaction bille - ressort



La bille exerce une action sur le ressort qui s'allonge. Le ressort exerce réciproquement une action sur la bille qui reste en équilibre. Le ressort et la bille sont en interaction.

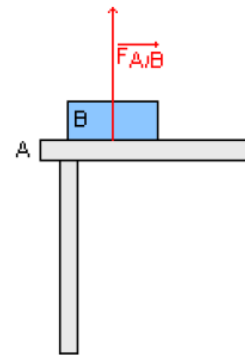
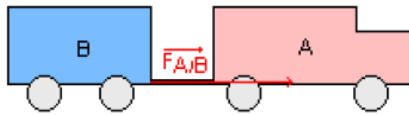
#### c) Autres interactions



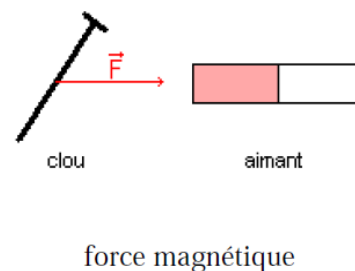
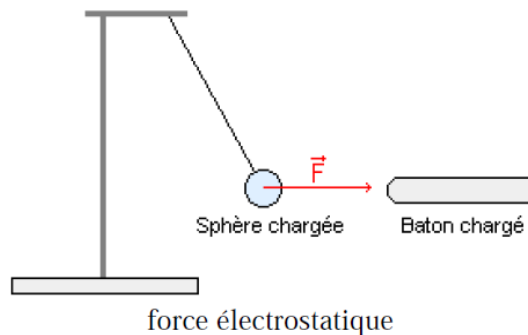
- L'action mécanique qu'exerce l'haltérophile **maintient en équilibre** les charges.
- L'action mécanique du sportif **met en mouvement** le javelot.
- L'action mécanique que le sol exerce sur le ballon **modifie** son mouvement.
- L'action mécanique qu'exerce le karatéka **déforme** la planche en bois.

## 2. Différentes types d'interactions

Certaines interactions ne s'exercent que lorsque les objets en interaction se touchent; on les appelle des **interactions de contact**. Exemples: interaction musculaire, interaction ressort – bille



D'autres interactions au contraire s'exercent à distance, on les appelle des **interactions à distance**. Exemples: interaction aimant-aimant, Bic frotté-papier légers...



## II. Notion de force

L'action qu'un objet A s'exerce sur un autre objet B se traduit par la notion de force. On dit que A agit sur B ou A exerce une force sur B.

### 1. Définition

Une force est une action mécanique capable d'avoir un effet:

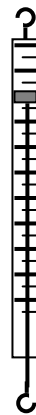
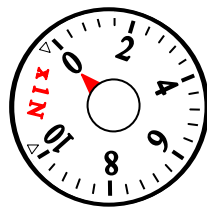
- Statique: déformer des objets, empêcher des mouvements
- Dynamique: mettre un corps en mouvement ou modifier son mouvement.

### 2. Vecteur force

Une force est modélisée par un vecteur dont les caractéristiques sont les suivantes:

- Point d'application:
- Direction: celle suivant laquelle s'exerce l'action
- Sens: droite suivant laquelle agit la force
- Valeur: l'intensité de l'action; elle se mesure en Newton (symbole: N) à l'aide d'un appareil appelé dynamomètre.

Il existe des dynamomètres circulaires et des dynamomètres à ressort



### 3. Représentation d'une force

#### a) Cas général

Une force est représentée par une flèche ou vecteur force

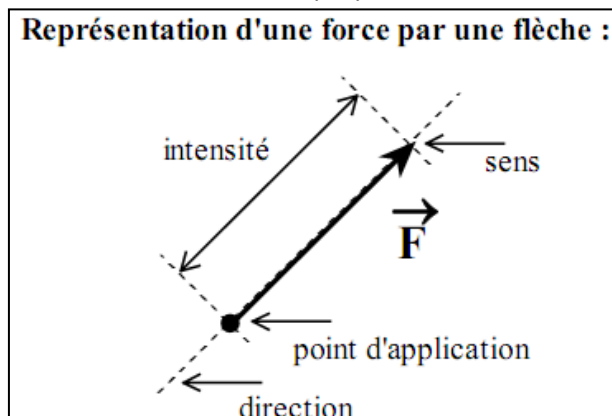
#### Force

- Point d'application
- Droite d'action
- Sens
- Intensité

⇒

#### Vecteur force

- Origine du vecteur
- Droite support du vecteur
- De l'origine vers l'extrémité
- Longueur du vecteur (une unité de longueur étant choisie, la longueur du vecteur est proportionnelle à l'intensité)

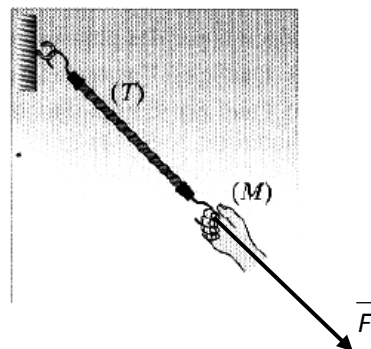


#### Exemple: Représente la force exercée sur un tendeur

Anaïs tire sur le tendeur avec sa main. Représente la force  $\vec{F}$  exercée par la main (M) sur le tendeur (T) sachant qu'elle a pour valeur 5N. Échelle : 1cm pour 2 N

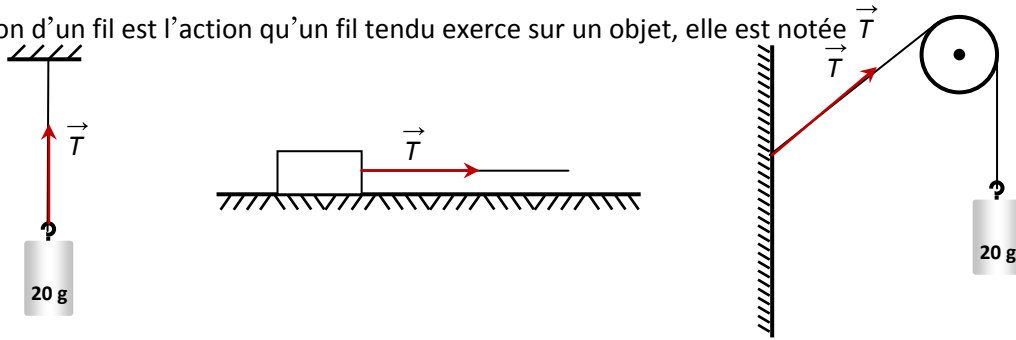
Les caractéristiques de la force  $\vec{F}$  sont:

- Point d'application : M
- Direction : droite d'action du tendeur (T)
- sens : du tendeur vers Anaïs
- Valeur :  $F = 5 \text{ N}$  (1,5 cm)



**b) Tension d'un fil**

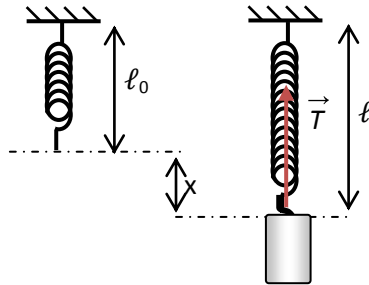
La tension d'un fil est l'action qu'un fil tendu exerce sur un objet, elle est notée  $\vec{T}$



La tension d'un fil est toujours dirigée suivant le fil

**c) Tension d'un ressort**

La tension d'un ressort est l'action qu'un ressort exerce sur un objet, elle est aussi notée  $\vec{T}$ . Soit  $\ell_0$  la longueur du ressort à vide,  $\ell$  la longueur du ressort et  $\Delta \ell = x = (\ell - \ell_0)$  l'allongement du ressort.

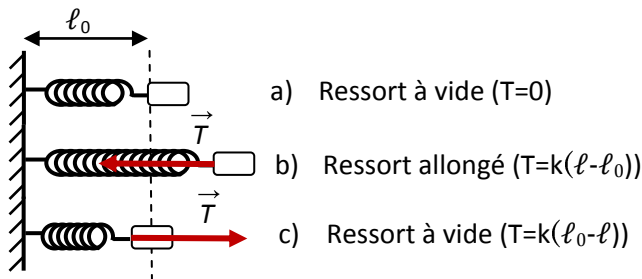


La tension d'un ressort est dirigée suivant l'axe du ressort et son intensité est proportionnelle à l'allongement ou l'élongation  $x = \ell - \ell_0$  du ressort.

$$T = k(\ell - \ell_0) = kx$$

avec T(N): tension du ressort; k (Nm<sup>-1</sup>): raideur du ressort; x (m) allongement.

Exemples: représenter dans chaque cas la tension du ressort

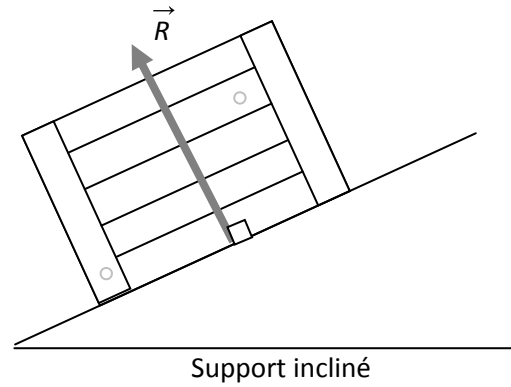
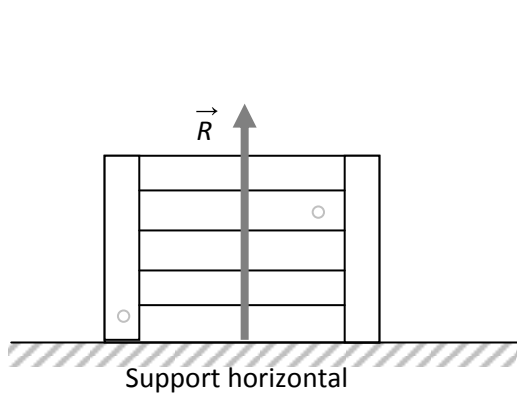


La tension d'un ressort est une force de rappel qui tend à ramener toujours le système à sa position d'équilibre.

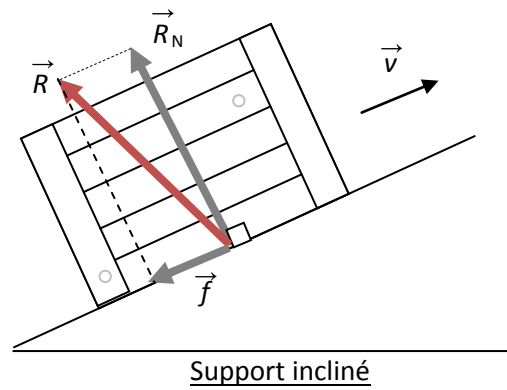
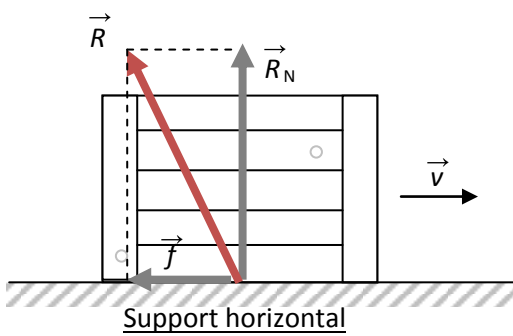
**d) Réaction du support**

- Contact sans frottement

La réaction d'un support, notée  $\vec{R}$ , est l'action exercée par le support sur les objets en contact avec ce dernier. Dans le cas des contacts sans frottement, la réaction  $\vec{R}$  est perpendiculaire au support.



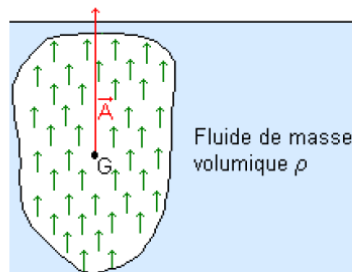
- Contact avec frottement



La réaction peut se décomposer en deux composantes:  $\vec{R}_N$  réaction normale et  $\vec{f}$  réaction tangentielle ou force de frottement.  $\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{f}$

**4. Poussée d'Archimède**

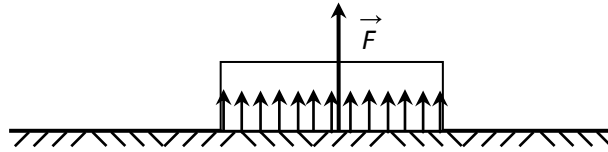
L'objet subit une poussée verticale répartie de bas en haut d'intensité égale au poids du volume de fluide déplacé.



$A = \rho.V.g$	avec	A: Poussée d'Archimède en N $\rho$ : Masse volumique du fluide en $kg.m^{-3}$ . g: intensité de la pesanteur: $g=9,81 N.kg^{-1}$ à Paris
----------------	------	--

### 5. Forces localisées et forces réparties

Une action mécanique est répartie si elle s'exerce sur une large surface du solide ou sur la totalité de son volume. Une action mécanique qui n'est pas répartie est dite localisée (elle s'exerce en un point du solide)

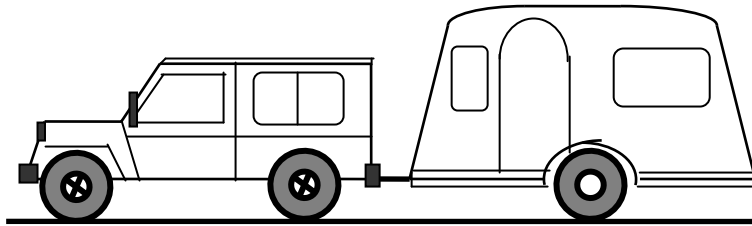


Le point d'application de  $\vec{F}$  n'est pas connue à priori.

### 6. Forces extérieures et forces intérieures

Un solide ou un ensemble de solides déformables ou non constitue (nt) un système matériel. Le milieu extérieur est tout ce qui n'appartient pas au système choisi et le milieu intérieur étant tout ce qui appartient au système.

- On appelle force extérieure toute force exercée par l'extérieur sur le système
- On appelle forces intérieures, les forces résultant des interactions entre les éléments du système choisi.



Lorsque le système est la "Jeep et la caravane" les tensions des câbles constituent des forces intérieures.

## III. Principe des interactions

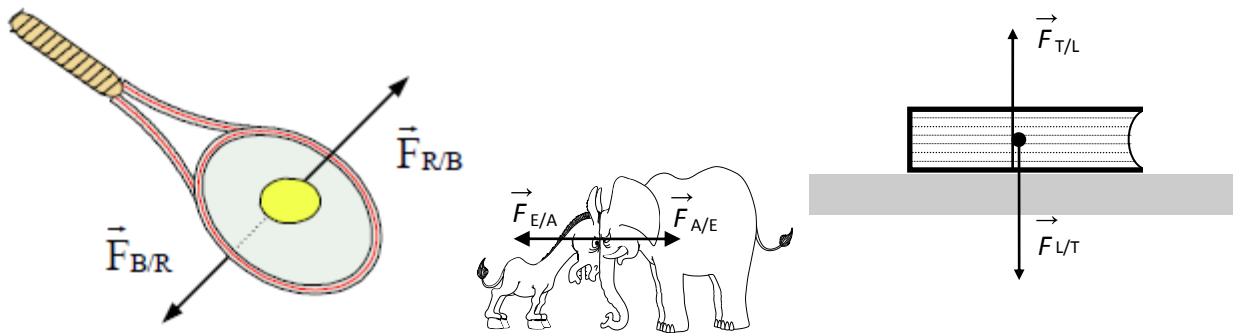
### 1. Énoncé du principe

Lorsque deux solides  $S_1$  et  $S_2$  sont en interaction, le vecteur force  $\vec{F}_{1 \rightarrow 2}$  exercé par le solide  $S_1$  sur le solide  $S_2$  est directement opposé au vecteur force  $\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$  exercé par le solide  $S_2$  sur le solide  $S_1$ .

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = -\vec{F}_{2 \rightarrow 1} \text{ soit } \|\vec{F}_{1 \rightarrow 2}\| = \|\vec{F}_{2 \rightarrow 1}\|$$

Remarque: ces deux forces ont même direction, même intensité et de sens opposé

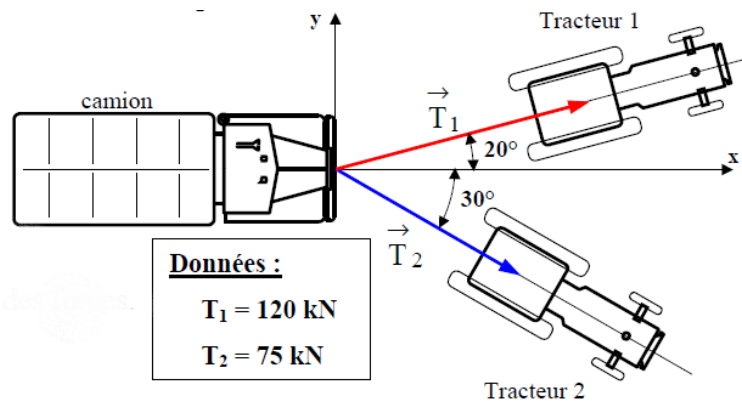
2. Exemples d'interactions



IV. Applications sur les vecteurs forces

Exemple 1: coordonnées cartésiennes d'une force

Un camion embourbé est tiré horizontalement par deux tracteurs.  $\vec{T}_1$  et  $\vec{T}_2$  modélisent les actions des câbles sur le camion.



Questions :

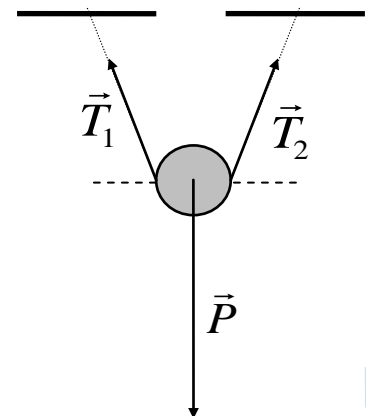
1. Écrire algébriquement les coordonnées de  $\vec{T}_1$
2. Écrire algébriquement les coordonnées de  $\vec{T}_2$
3. Déterminer la résultante  $\vec{R}$  des forces. Calculer son intensité.
4. Calculer l'angle  $\alpha = (\vec{i}, \vec{R})$

Exemple 2: solide en suspension

Déterminer la tension des deux câbles retenant en suspension un solide (S) dont la force pesante est  $P=800N$  sachant que leur longueur est la même, qu'ils sont inclinés d'un angle  $\alpha = 20^\circ$  sur l'horizontale et que la somme de toutes les forces appliquées est nulle.

• Méthode algébrique

Choisissons un repère d'axe et projetons la relation vectorielle  $\vec{P} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = \vec{0}$ . Dans cette résolution il n'est pas nécessaire de représenter à



l'échelle les vecteurs. On pose  $\alpha=20^\circ$

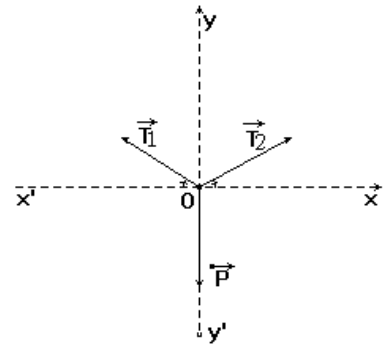
$$\vec{P} \begin{cases} 0 \\ -P + \vec{T}_1 \end{cases} + \vec{T}_2 \begin{cases} -T_2 \cos \alpha \\ T_2 \sin \alpha \end{cases} = \vec{0} \begin{cases} 0 \\ 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0 - T_1 \cos \alpha + T_2 \cos \alpha = 0 & (a) \\ -P + T_1 \sin \alpha + T_2 \sin \alpha = 0 & (b) \end{cases}$$

En simplifiant  $\cos \alpha$  dans l'expression (a)  $\Rightarrow T_1 = T_2$

$$\text{L'équation (b) devient : } -P + 2T_1 \sin \alpha = 0 \text{ soit } T_1 = \frac{P}{2 \sin \alpha}$$

$$\begin{cases} P = 800 \text{ N} \\ \alpha = 20^\circ \end{cases} \Rightarrow T_1 = T_2 = 1169,5 \text{ N}$$

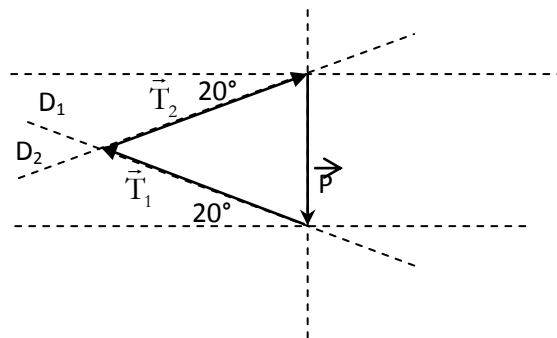


### • Méthode graphique

☞ Choisissons une échelle de représentation: 1 cm  $\Leftrightarrow$  400 N.

☞ Après la représentation du vecteur  $\vec{P}$  (2 cm) à l'échelle, on trace les lignes d'action  $D_1$  et  $D_2$  respectives de  $\vec{T}_1$  et  $\vec{T}_2$ .

☞  $\vec{T}_2 + \vec{T}_1 + \vec{P} = \vec{0}$ , le polygone des forces est fermé d'où l'extrémité de  $\vec{T}_2$  coïncide avec l'origine de  $\vec{P}$



☞ La mesure directe de la longueur des vecteurs  $\vec{T}_1$  et  $\vec{T}_2$  donne 2,9 cm chacun soit une intensité

égale à  $\frac{2,9 \text{ cm} \times 400 \text{ N}}{1 \text{ cm}} = 1160 \text{ N}$ . On trouve donc  $T_1 = T_2 = 1160 \text{ N}$

Remarque: la détermination graphique n'est pas une méthode précise. On fera appel souvent à la méthode algébrique qui reste précise.

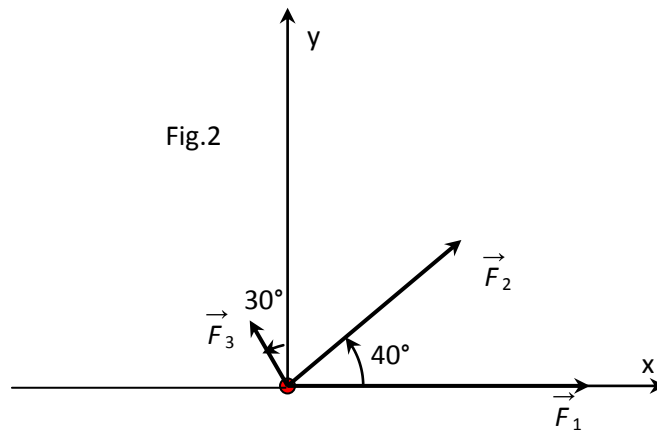
Exercices à faire à la maison

#### Exercice 1:

Trouver la résultante des forces suivantes (méthode géométrique puis analytique) agissant sur un corps au point O (fig.2). L'intensité de la force  $\vec{F}_1$  est égale à 1200 N, celle de  $\vec{F}_2$  à 900 N et celle de  $\vec{F}_3$  à 300 N. Les directions et sens sont indiqués sur la figure à l'échelle : 1 cm pour 300 N.

NB : Pour la détermination géométrique, vous pouvez travailler directement sur la figure.

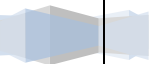




Exercice 2:

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

- 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  $\vec{F}$  telle que :  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F} = \vec{0}$
- 3) On considère deux forces  $\vec{F}_3$  et  $\vec{F}_4$  de même intensité et faisant un angle de  $\beta = 60^\circ$ .  
Déterminer l'intensité commune sachant que l'intensité de leur résultante  $\vec{F}'$  est de 17,3N.



# La masse, le poids, relation poids et masse

## I. Masse d'un corps

### 1. DEFINITION

La masse d'un corps représente la quantité de matière contenue dans ce corps. Pour un corps donné la masse reste invariable.

### 2. UNITES

Dans le système internationale l'unité de masse est le kilogramme (symbole: kg). Il existe d'autres unités qui sont multiples ou sous multiples du kilogramme.

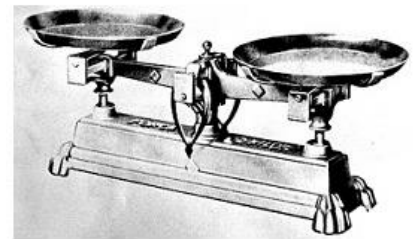
- multiples: la tonne:  $1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$
- sous multiples: le gramme:  $1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$  ; le milligramme:  $1 \text{ mg} = 10^{-3} \text{ g} = 10^{-6} \text{ kg}$

### 3. MESURES

Pour mesurer la masse d'un corps, on utilise une balance. Il y a deux types de mesures:

#### a) Simple pesée

Sur l'un des plateaux on pose le corps à peser et on équilibre en posant sur l'autre plateau des masses marquées jusqu'à ce que la balance soit équilibrée (le fléau de la balance Roberval doit être vertical).

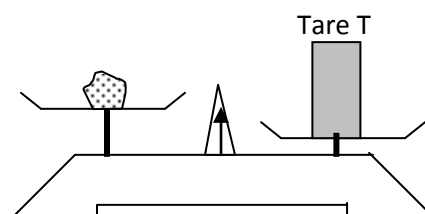


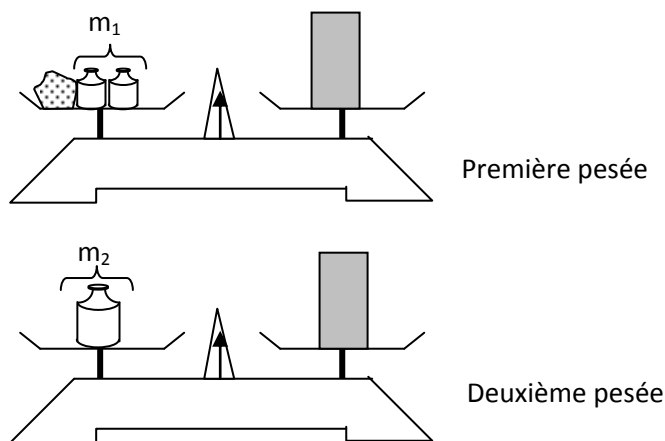
La masse du corps est:  $m = \text{somme des masses marquées}$

#### b) Double pesée

La mesure se fait ici en deux étapes:

- on pose sur l'un des plateaux la tare T dont la masse est supérieure à celle du corps à peser et on équilibre ensuite la balance avec des masses marquées. Soit  $m_1$  la somme des masses marquées utilisées.
- On détermine ensuite la masse de la Tare. Soit  $m_2$  la masse de la tare.

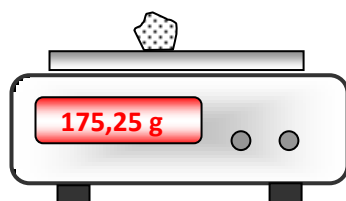




Soit  $m$  la masse de l'objet:  $m + m_1 = m_2 \Rightarrow m = m_2 - m_1$

La double pesée est plus précise que la simple pesée et elle permet de déterminer la masse des corps même si la balance n'est pas juste (équilibrée).

Cependant si l'on dispose d'une balance électronique (à affichage numérique) les opérations citées précédemment ne sont plus nécessaires car la lecture est directe.



## II. Masse volumique et densité

### 1. MASSE VOLUMIQUE

#### a) Définition

La masse volumique d'un corps est la masse de ce corps par unité de volume. Son expression est:

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ où } m \text{ en kg; } V \text{ en m}^3 \text{ et } \rho \text{ en kg/m}^3$$

L'unité internationale est le  $\text{kgm}^{-3}$  ce qui est équivalent au  $\text{g/L}$

#### b) Mesures

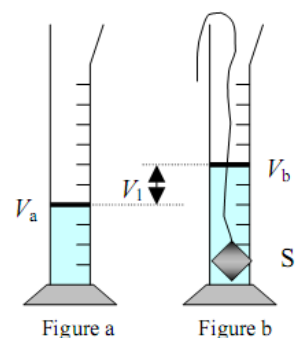
Déterminons le volume d'un objet de forme quelconque

- Soit  $V_1$  le volume de l'objet
- Soit  $m$  la masse de l'objet déterminée à l'aide d'une balance.

### 2. DENSITE

#### a) Définition

La densité d'une substance A par rapport à une substance B est définie par le rapport de la masse d'un certain volume du corps A sur la masse d'un égal volume du corps de référence B pris dans les mêmes conditions de température et de pression.



$$d_{A/B} = \frac{m_A}{m_B} = \frac{\rho_A}{\rho_B}$$

La densité s'exprime par un nombre sans unité.

### b) Densité par rapport à l'eau

Pour calculer la densité d'un corps solide ou liquide, on prend l'eau comme corps de référence

$$d = \frac{\rho_{\text{corps}}}{\rho_{\text{eau}}} \text{ avec } \rho_{\text{eau}}=1\text{kg/L}$$

Exemples:

- Densité du mercure: 13,6; Hg est 13,6 fois plus lourd que l'eau.
- Densité de l'huile: 0,8; l'huile est plus légère que l'eau.

### c) Densité par rapport à l'air

La densité d'un gaz est mesurée par rapport à l'air :  $d = \frac{\rho}{\rho_{\text{air}}}$  avec  $\rho_{\text{air}}=1,29\text{g/L}$

Masse volumique et densité		
Corps	(kg/m <sup>3</sup> )	densité
Aluminium	2750	2,75
Argent	10 400	10,4
Cuivre	8900	8,9
Fer	7 800	7,8
Or	19 300	19,3
Plomb	11300	11,3
Dioxyde de carbone	1,96	0,0196
Liège	200	0,2
Caoutchouc	980	0,98
Laiton	8400	8,4
Plexiglas	1200	1,2

## III. Poids d'un corps

### 1. MISE EN EVIDENCE

Les objets sont attirés par la terre vers son centre (suivant une direction appelée verticale), sous l'effet de leurs poids. Le poids d'un objet provoque l'allongement d'un ressort; celui-ci n'est pas le même pour tous les objets.

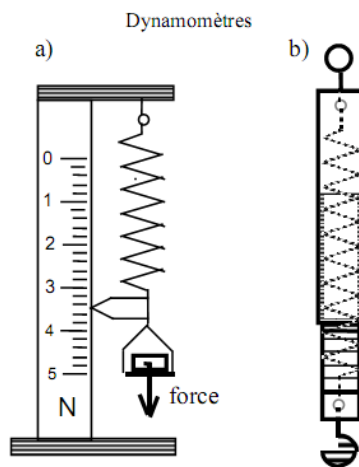
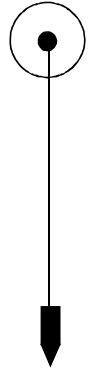
2. DEFINITION

Le poids d'un corps pour un observateur terrestre est l'attraction que la terre exerce sur ce corps.

3. CARACTERISTIQUES

Le poids d'un objet est une force modélisée par un vecteur dont les caractéristiques sont les suivantes:

- point d'application: est le centre de gravité du corps(ou centre d'inertie).
- Direction: suivant la verticale
- Sens: vers le bas (celui qui va du centre de gravité vers le centre de la terre)
- Intensité: elle est déterminée à l'aide d'un dynamomètre et s'exprime en N (Newton)



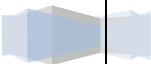
IV. Relation entre poids et masse

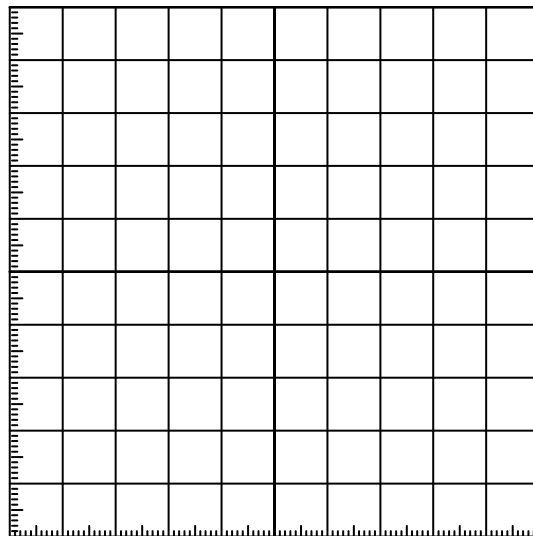
1. MANIPULATION

On détermine le poids d'un objet à l'aide d'un dynamomètre et la masse de ce même objet à l'aide d'une balance.

Masse (kg)									
Poids (N)									

Sur un graphe on place la masse (m) en abscisses et l'intensité du poids (P) en ordonnées.





- Nous constatons que les points de coordonnées  $(m, P)$  sont ..... Donc l'intensité du poids est ..... à la masse.
- La relation liant l'intensité du poids à la masse est donc :  $P = m \times g$  ;  $g$  caractérise la pesanteur sur le lieu de la manipulation
- unités :  $P$  en Newton,  $m$  en kg donc  $g$  s'exprime en N/kg.

## 2. CONCLUSION

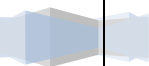
$g$  est appelé constante de pesanteur du lieu, elle est indépendante de la nature du corps et de sa forme.

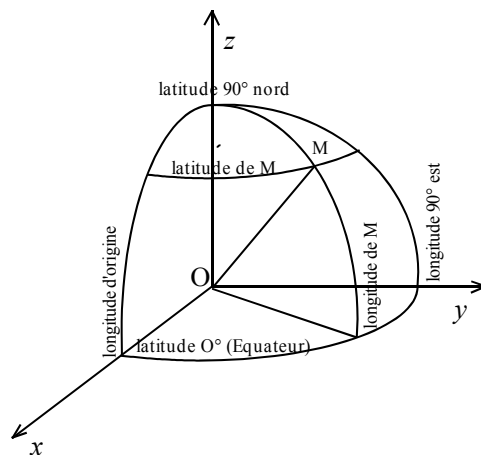
$$P = mg \text{ avec } g=10\text{N/kg au Sénégal}$$

## 3. LE POIDS DEPEND DU LIEU

De nombreuses expériences montrent que la masse est invariable quel que soit le lieu alors que le poids d'un objet varie avec:

- l'altitude: il diminue lorsque l'altitude augmente.
- La latitude: un même objet a un poids plus élevé aux pôles qu'à l'équateur



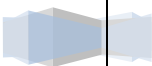


Ville	Pays	Latitude (degré)	Longitude (degré)	Valeur du poids (newton)
Paris	France	49	2	9,81
Quito	Équateur	0	-78	9,77
Douala	Cameroun	4	10	9,78
Montréal	Canada	45	-73	9,81
Djakarta	Indonésie	-6	107	9,78
Reykjavik	Islande	64	-22	9,82
Kinshasa	Ouganda	-4	15	9,78
Kimberley	Afrique du Sud	-29	25	9,79
Cordoba	Argentine	-31	-64	9,79

#### 4. VECTEUR CHAMP DE PESANTEUR

Le poids est une force à distance c'est-à-dire une force de champ. La terre en son voisinage un espace champ de forces telles qu'en tout point de cet espace, nous associons un vecteur champ de pesanteur)

$$\vec{P} = m \times \vec{g}$$



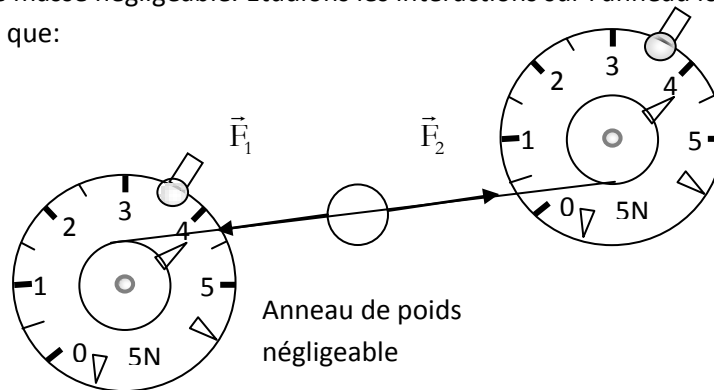
# Équilibre d'un solide soumis à des forces non parallèles

## I. Équilibre d'un solide soumis à deux forces

Un solide est en équilibre, dans un repère déterminé, si tous les points sont immobiles dans ce repère.

### 1. EXPERIENCE

A l'aide de deux dynamomètres circulaires fixé sur un tableau magnétique, accrochons aux extrémités un anneau de masse négligeable. Étudions les interactions sur l'anneau lorsque les fils sont tendus. On observe que:



- l'anneau est immobile: il est donc en équilibre,
- $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  (actions que les fils exercent sur l'anneau) ont la même ligne d'action (droite support), des sens contraires et des intensités égales (remarquer que les dynamomètres indique la même valeur).

### 2. CONDITIONS D'EQUILIBRE

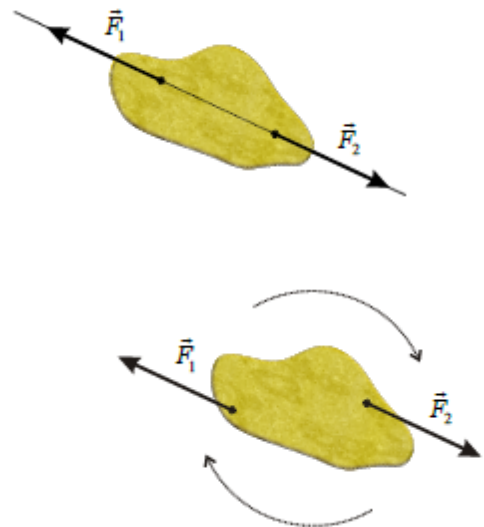
Si un solide est en équilibre sous l'action de deux forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  alors on a:

- $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  ont la même ligne d'action
- $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  sont de sens contraires
- $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  ont la même intensité ( $F_1 = F_2$ )

On résume ces trois situations par la relation mathématique:

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

Remarque: cette condition est nécessaire mais non suffisante.  
(Le couple de force est un contre-exemple)





Dans le cas d'un couple de forces (deux forces de lignes d'action parallèles, de sens contraires et de même intensité), le système n'est pas en équilibre bien que la somme vectorielle des forces soit nulle. Un tel système tourne autour de son centre.

### 3. QUELQUES APPLICATIONS

#### a) Réaction d'un support horizontal

Considérons une caisse de masse  $m$  posée sur le sol horizontal. Étudions son équilibre. Le système caisse est soumis à deux forces extérieures.

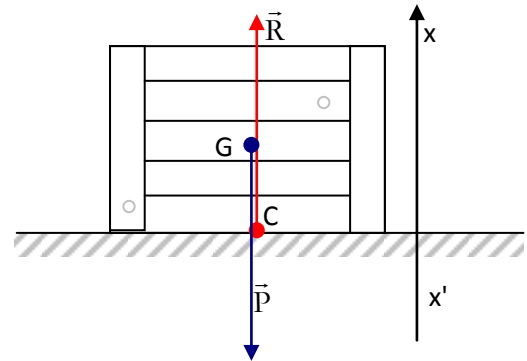
- système: caisse
- référentiel terrestre supposé galiléen
- bilan des forces:
  - poids  $\vec{P}$  exercée par la Terre sur la caisse
  - $\vec{R}$  réaction du plan sur la caisse
- caractéristiques:

$$\vec{P} \left\{ \begin{array}{l} \text{point d'application: } G \\ \text{direction: verticale} \\ \text{sens: vers le bas} \\ \text{norme } P \end{array} \right.$$

$$\vec{R} \left\{ \begin{array}{l} \text{point d'application: } C \\ \text{direction: verticale} \\ \text{sens: vers le bas} \\ \text{norme: } R \end{array} \right.$$

- condition d'équilibre:  $\vec{R} + \vec{P} = \vec{0}$  d'où  $\vec{R} = -\vec{P}$  donc  $R - P = 0$  suivant l'axe  $Ox$

$$\Rightarrow \boxed{R = P = mg}$$

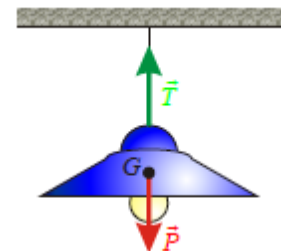


#### b) Tension d'un fil supportant un solide

Un lustre de masse  $m$  suspendu au plafond est en équilibre. L'ensemble constitue un pendule simple.

- système: lustre
- référentiel terrestre supposé galiléen
- bilan des forces:
  - le poids  $\vec{P}$  exercé par la Terre sur le lustre
  - la tension  $\vec{T}$  exercée par le fil sur le lustre
- condition d'équilibre:  $\vec{T} + \vec{P} = \vec{0} \Rightarrow \vec{T} = -\vec{P} \Rightarrow$

$$\boxed{T = P = mg}$$



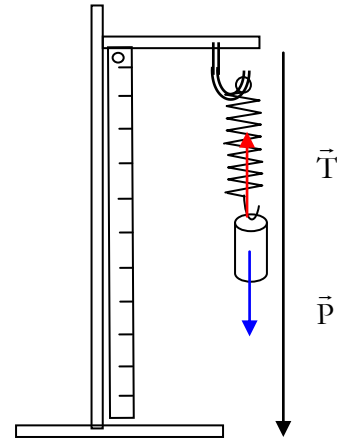
### c) Tension d'un ressort supportant un solide

Soit un solide de masse  $m$  suspendu à l'aide d'un ressort de raideur  $k$  et de longueur à vide  $\ell_0$ . L'ensemble constitue un pendule élastique.  $\ell$  étant la longueur du ressort à l'équilibre.

- système: solide
- Bilan des forces:
  - le poids  $\vec{P}$
  - la tension du ressort  $\vec{T}$
- condition d'équilibre:  $\vec{T} + \vec{P} = \vec{0}$

En projetant la relation sur l'axe  $Ox$ , on trouve:  $-T + P = 0$

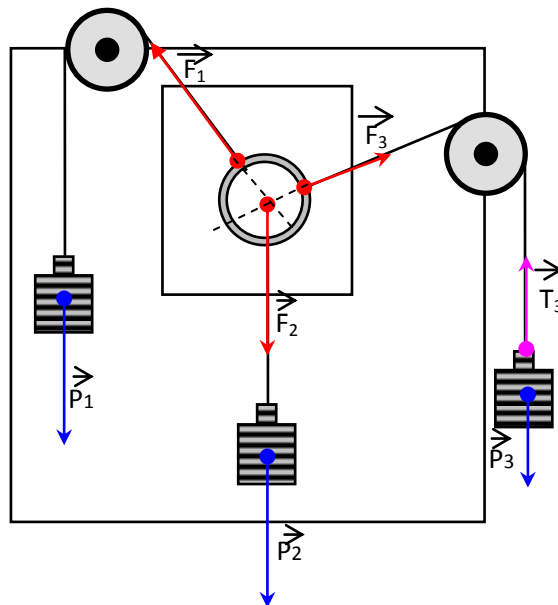
$$\Rightarrow T = P \text{ d'où } k(\ell - \ell_0) = mg$$



## II. Équilibre d'un solide soumis à trois forces

### 1. EXPERIENCE

Réalisons à l'aide d'un tableau magnétique, de deux poulies à support magnétique, d'un anneau de masse négligeable et de trois masses de poids connus ( $P_1 = 1,94 \text{ N}$ ;  $P_2 = 2 \text{ N}$  et  $P_3 = 1,23 \text{ N}$ ) le dispositif suivant. Les vecteurs sont à l'échelle:  $1 \text{ cm} \Rightarrow 1 \text{ N}$ .



Étudions le solide (3) sur lequel s'exercent deux forces.

- système: solide (3)
- référentiel terrestre supposé galiléen

- bilan des forces:  $\vec{P}_3$  et  $\vec{T}_3$

- condition d'équilibre:

$$\vec{P}_3 + \vec{T}_3 = \vec{0} \Rightarrow \vec{P}_3 = -\vec{T}_3 \Rightarrow P_3 = T_3$$

Le fil étant inextensible, la tension est donc partout la même d'où  $T_3 = F_3$ . Par conséquent,  $F_3 = P_3$

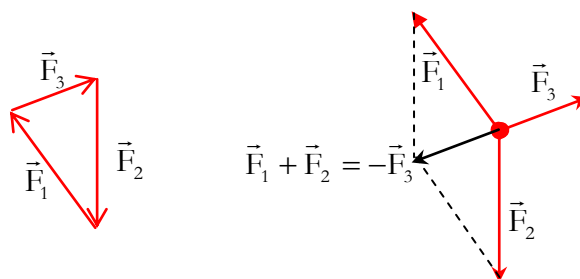
On montre aussi par analogie que:  $F_1 = P_1$  et  $F_2 = P_2$ .

Remarques importantes:

- le long d'un fil inextensible tendu, l'intensité de la tension est par la même.
- Une poulie modifie la direction et le sens d'une force tout en gardant la même valeur de l'intensité.

Étudions maintenant l'équilibre de l'anneau

- système: anneau
- référentiel terrestre supposé galiléen
- bilan des forces:  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$
- les forces  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$  sont dans un même plan : elles sont dites *colinéaires*
- les lignes d'action de  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$  se rencontrent en un même point: les trois forces sont *concourantes*.
- Les forces  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$  forme un polygone de forces fermé donc leur *somme vectorielle est nulle*. Les forces se compensent à l'équilibre du système.

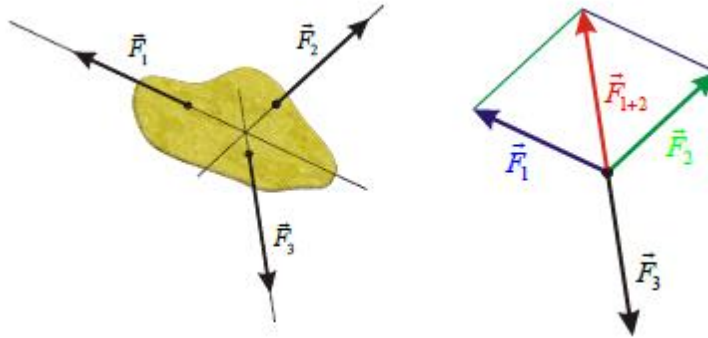


## 2. CONDITIONS D'EQUILIBRE

Lorsqu'un solide soumis à trois forces est en équilibre:

- les trois forces sont coplanaires et concourantes

- leur somme vectorielle est nulle:  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$



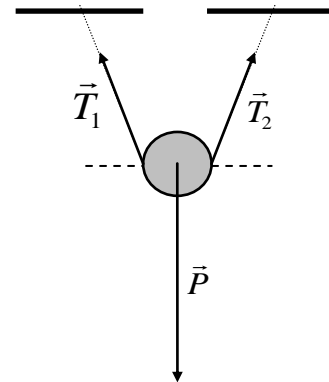
### 3. APPLICATIONS

#### a) Suspension d'un solide

Déterminer, à l'équilibre, la tension des deux câbles retenant en suspension un solide (S) de masse  $m = 80 \text{ kg}$  sachant que leur longueur est la même et qu'ils sont inclinés d'un angle  $\alpha = 20^\circ$  sur l'horizontale. On donne  $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$ .

#### Propositions de solutions

- système: la suspension
- forces extérieures reçues
  - le poids  $\vec{P}$  ( $P = mg = 800 \text{ N}$ )
  - $\vec{T}_1$  tension exercée par le câble (AB)
  - $\vec{T}_2$  tension exercée par le câble (BC)
- condition d'équilibre:
  - les trois forces sont concourantes et coplanaires
  - $\vec{P} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = \vec{0}$

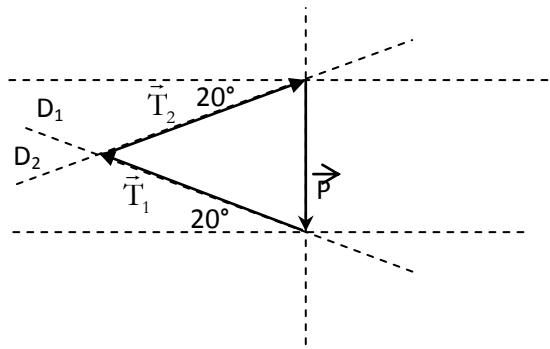


#### Méthode graphique

☞ Choisissons une échelle de représentation:  $1 \text{ cm} \Leftrightarrow 400 \text{ N}$ .

☞ Après la représentation du vecteur  $\vec{P}$  (2 cm) à l'échelle, on trace les lignes d'action  $D_1$  et  $D_2$  respectives de  $\vec{T}_1$  et  $\vec{T}_2$ .

☞  $\vec{T}_2 + \vec{T}_1 + \vec{P} = \vec{0}$ , le polygone des forces est fermé d'où l'extrémité de  $\vec{T}_2$  coïncide avec l'origine de  $\vec{P}$



☞ La mesure directe de la longueur des vecteurs  $\vec{T}_1$  et  $\vec{T}_2$  donne 2,9 cm chacun soit une intensité égale à  $\frac{2,9 \text{ cm} \times 400 \text{ N}}{1 \text{ cm}} = 1160 \text{ N}$ . On trouve donc  $T_1 = T_2 = 1160 \text{ N}$

### Méthode algébrique

Choisissons un repère d'axe et projetons la relation vectorielle  $\vec{P} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = \vec{0}$ . Dans cette résolution il n'est pas nécessaire de représenter à l'échelle les vecteurs.

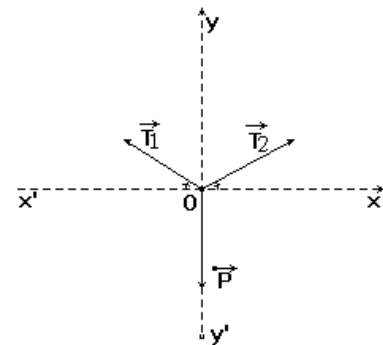
$$\vec{P} \begin{vmatrix} 0 \\ -P \end{vmatrix} + \vec{T}_1 \begin{vmatrix} -T_1 \cos \alpha \\ T_1 \sin \alpha \end{vmatrix} + \vec{T}_2 \begin{vmatrix} T_2 \cos \alpha \\ T_2 \sin \alpha \end{vmatrix} = \vec{0} \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$\begin{cases} 0 - T_1 \cos \alpha + T_2 \cos \alpha = 0 & (a) \\ -P + T_1 \sin \alpha + T_2 \sin \alpha = 0 & (b) \end{cases}$$

En simplifiant  $\cos \alpha$  dans l'expression (a)  $\Rightarrow T_1 = T_2$

L'équation (b) devient :  $-P + 2T_1 \sin \alpha = 0$  soit  $T_1 = \frac{P}{2 \sin \alpha}$

$$\left. \begin{array}{l} P = 800 \text{ N} \\ \alpha = 20^\circ \end{array} \right\} \Rightarrow T_1 = T_2 = 1169,5 \text{ N}$$

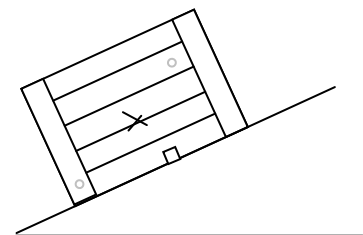


Remarque: la détermination graphique n'est pas une méthode précise. On fera appel souvent à la méthode algébrique qui reste précise.

### b) Force de frottement

Une male de masse  $m = 1,5 \text{ kg}$  repose sur un plan très rugueux. Il existe donc d'importants frottements entre la male et le plan. Le plan est incliné d'un angle  $\alpha = 30^\circ$ . Le solide reste immobile.

- 1) Analyser les forces agissant sur le solide.
- 2) Déterminer et représenter la réaction du plan sur le solide à l'équilibre.



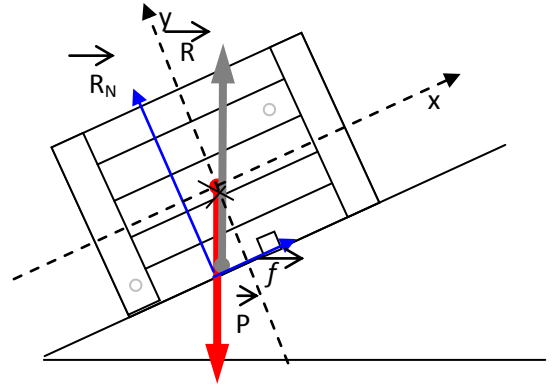
3) En déduire la valeur des frottements exercés sur le solide.

Proposition de solution:

- 1) analyse des forces
  - système: male
  - bilan des forces: le poids  $\vec{P}$  et la réaction  $\vec{R}$  du support
- 2) détermination de R

La male soumise à deux forces est en équilibre:  $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0} \Rightarrow \vec{R} = -\vec{P}$  d'où:

$$R = P = 1,5 \times 9,8 = 14,7 \text{ N}$$



$\vec{R}$  et  $\vec{P}$  ont la même direction, la même intensité et sont de sens contraires.

3) valeur de  $f$ .

Le vecteur  $\vec{R}$  peut être décomposé suivant la relation:  $\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{f}$ .  $\vec{R}_N$  est la composante normale de la réaction et  $\vec{f}$  est sa composante tangentielle appelée aussi *force de frottement*.

La relation  $\vec{R} + \vec{P} = \vec{0}$  devient  $\vec{R}_N + \vec{f} + \vec{P} = \vec{0}$ .

Soit le repère  $(O, x, y)$ , projetons la relation vectorielle.

$$\vec{R}_N \begin{vmatrix} 0 \\ R_N \end{vmatrix} + \vec{f} \begin{vmatrix} f \\ 0 \end{vmatrix} + \vec{P} \begin{vmatrix} -P \sin \alpha \\ -P \cos \alpha \end{vmatrix} = \vec{0} \Rightarrow \begin{cases} 0 + f - P \sin \alpha = 0 \Rightarrow f = P \sin \alpha \\ R_N + 0 - P \cos \alpha = 0 \Rightarrow R_N = P \cos \alpha \end{cases}$$

$$f = P \sin \alpha = 14,7 \cdot \sin(30^\circ) = 7,35 \text{ N}$$

On peut vérifier que  $R = \sqrt{R_N^2 + f^2} = 14,7 \text{ N}$ .

### III. Généralisation

D'une manière générale, un solide soumis à l'action de plusieurs forces est en équilibre:

- si les forces sont concourantes et coplanaires
- si la somme vectorielle de l'ensemble de ces forces appliquées au système est nulle.

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_{i, \text{extérieures}} = \vec{0}$$

# Équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe

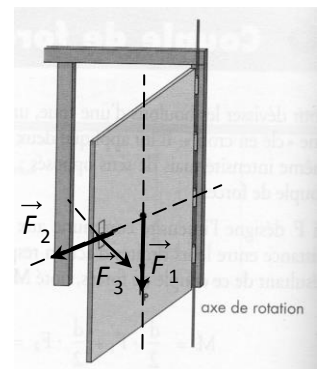
## I. Rotation autour d'un axe

### 1. Axe de rotation

Un solide est mobile autour d'un axe fixe si deux au moins de ses points restent immobiles au cours d'un mouvement quelconque de ce solide. La droite qui joint les deux points fixes constitue l'axe de rotation.

Exemple: une porte est mobile autour de ses gonds dans un référentiel terrestre.

Attention: une roue de voiture est en rotation autour d'un axe mobile (nous nous limiterons à des solides mobiles autour d'un axe fixe).



### 2. Force orthogonale à l'axe

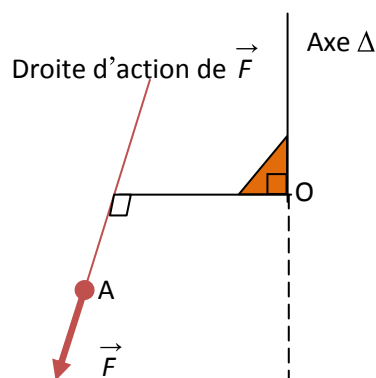
#### a. Observations

- si on exerce sur une porte ouverte une force  $\vec{F}_1$  parallèle à l'axe de rotation, celle-ci ne tourne pas.
- si on exerce sur cette porte une force  $\vec{F}_2$  dont la droite d'action coupe l'axe, elle ne tourne pas non plus.
- une force  $\vec{F}_3$  perpendiculaire à l'axe de rotation provoque une rotation. L'efficacité de la rotation dépend de l'intensité de la force et de la position de la droite d'action, par rapport à l'axe de rotation.

#### b. Définition d'une force orthogonale à un axe

Une force est orthogonale à l'axe si sa droite d'action est contenue dans un plan perpendiculaire à cet axe.

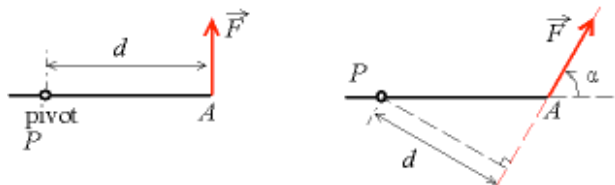
Remarque: dans la suite, toutes les forces considérées seront des forces orthogonales



### 3. Distance de la ligne d'action d'une force à l'axe de rotation: bas de levier

La distance  $d$  séparant la droite d'action de la force et l'axe est appelée "bras de levier". Le bras de levier est la longueur du segment perpendiculaire à la fois à :

- l'axe de rotation ( $\Delta$ )
- la droite d'action de la force



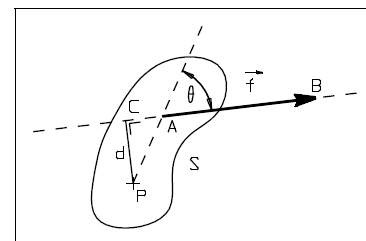
## II. Moment d'une force par rapport à un axe

### 1. Définition du moment d'une force

L'intensité du moment par rapport à un axe  $\Delta$  d'une force  $\vec{F}$  orthogonale à cet axe est le produit de l'intensité  $F$  de cette force par la longueur  $d$  du bras du levier.

$$\mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F}) = F \times d$$

Le moment d'une force par rapport à un axe  $\Delta$  traduit son efficacité à produire un effet de rotation du solide autour de cet axe  $\Delta$ .



Remarque: une force parallèle à l'axe ou dont sa ligne d'action rencontre l'axe de rotation  $\Delta$  à un moment nul par rapport à cet axe.

Exemple: sur la porte:  $\mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F}_1) = \mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F}_2) = 0$

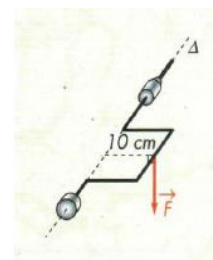
### 2. Moment: grandeur algébrique

Afin de distinguer les deux possibilités de sens de rotation nous évaluerons algébriquement le moment d'une force par rapport à l'axe  $\Delta$  par l'une des expressions suivantes:

- $\mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F}) = +F \times d$  lorsque  $\vec{F}$  tend à faire tourner le solide dans le sens positif choisi.
- $\mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F}) = -F \times d$  lorsque  $\vec{F}$  tend à faire tourner le solide dans le sens négatif.

Application:

On exerce une force verticale de 20 N sur la poignée du vilebrequin. Quel est le moment de cette force par rapport à  $\Delta$  ?



M. Serigne Abdou Wahab Diop | <http://physiquechimie.sharepoint.com>

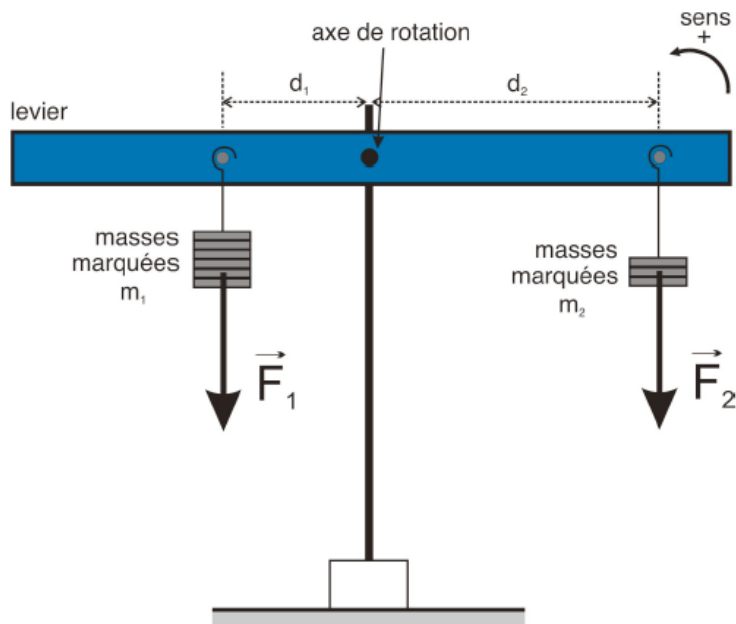


### III. Équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe

#### 1. Expérience

Réalisons le schéma du dispositif suivant en utilisant le matériel suivant: levier avec différents points d'attache; masses marquées; support pour les masses marquées, support (pied) pour le levier.

Schéma du dispositif:



Pour différentes positions  $d_1$  et  $d_2$  et pour différentes masses  $m_1$  et  $m_2$  (qui vont exercer des forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  égales en intensité aux poids des masses) accrochées au levier, repérer des combinaisons qui permettent d'équilibrer le levier. Essayer d'être aussi générale que possible!

Mesure n°	1	2	3
$d_1$ (m)	$2 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
$\vec{F}_1$ (N)	0,2	0,2	0,4
$d_2$ (m)	$1 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
$\vec{F}_2$ (N)	0,4	0,6	0,8

Calculons pour chaque mesure les produits  $F_1 \cdot d_1$  et  $F_2 \cdot d_2$

$\vec{F}_1 \times d_1$ (N.m <sup>-1</sup> )	$4.10^{-3}$	$9.10^{-3}$	$12.10^{-3}$
$\vec{F}_2 \times d_2$ (N.m <sup>-1</sup> )	$4.10^{-3}$	$9.10^{-3}$	$12.10^{-3}$

On constate que le produit  $F \times d$  est constant d'où  $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_1) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_2) = F_1d_1 + F_2d_2 = 0$

## 2. Théorème des moments

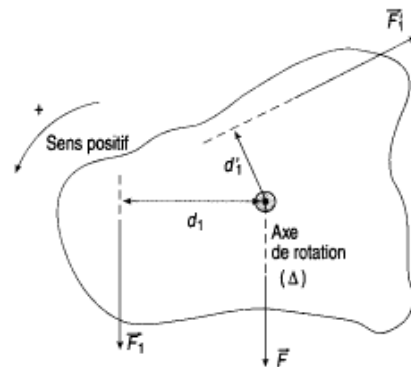
Lorsqu'un solide, mobile autour d'un axe fixe, est en équilibre, la somme algébrique des moments, par rapport à cet axe, de toutes les forces extérieures appliquées à ce solide est nulle.

$$\sum \mathcal{M}(\vec{F}_{ext}) = 0$$

## 3. Conditions générales d'équilibre

Lorsqu'un est en équilibre, deux conditions doivent être satisfaites.

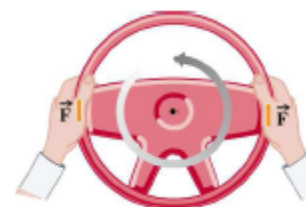
- Immobilité du centre de gravité G  $\Rightarrow \sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$
- Absence de rotation autour de l'axe  $\Delta \Rightarrow \sum \mathcal{M}(\vec{F}_{ext}) = 0$



## IV. Couples de forces

### 1. Notion de couple de forces

Pour tourner le volant d'une voiture, on exerce deux forces parallèles de même intensité et dans de sens contraires: on dit que l'on applique au volant un couple de forces.



### 2. Définition d'un couple de forces

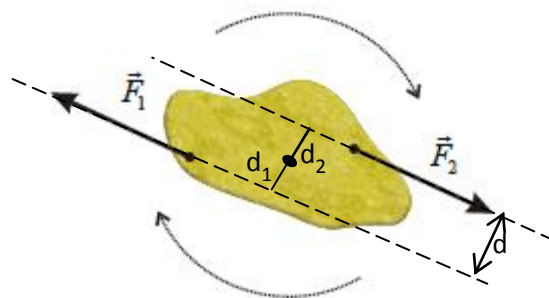
Un couple de force est un système de deux forces parallèles, de sens contraires, de même intensité et n'ayant pas la même droite support.

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2) \text{ couple} \Rightarrow \begin{cases} \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0} \\ \text{lignes d'action différentes} \end{cases}$$

### 3. Moment d'un couple de force

Le moment d'un couple de force ne dépend pas de la position de l'axe de rotation mais seulement de la distance des deux lignes d'action.

$$\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_1) = F_1d_1 ; \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_2) = F_2d_2$$



$$\mathcal{M}_\Delta(\mathcal{C}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_1) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_2) = F_1 d_1 + F_2 d_2 = F \times d \text{ avec } F = F_1 = F_2 \text{ et } d = d_1 + d_2$$

$$\boxed{\mathcal{M}_\Delta(\mathcal{C}) = F \times d}$$

$d$  est la distance séparant les deux droites d'action.

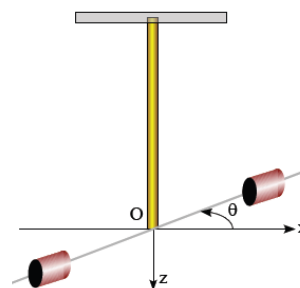
#### 4. Couple de torsion

Un pendule de torsion est un solide suspendu à un fil vertical, le centre de masse étant sur l'axe du fil, l'autre extrémité du fil étant maintenue fixe dans un support.

Quand le solide tourne autour de l'axe du fil, celui-ci réagit à la torsion en exerçant des forces de rappel équivalentes à un couple dont le moment par rapport à l'axe est proportionnel à l'angle de torsion:

$$\boxed{\mathcal{M}_\Delta(\mathcal{C}) = -C\theta}$$

La constante  $C$  dite constante de torsion dépend de la longueur et du diamètre du fil (supposé cylindrique) et de la nature du matériau constituant le fil.



$C = k \frac{d^4}{L}$	d(m): diamètre du fil L(m): longueur du fil K: constante caractéristique du matériau
-----------------------	--

## V. Applications

### 1. Méthode de résolution d'un problème à moments

Pour résoudre un problème faisant intervenir des forces qui agissent sur un solide mobile autour d'un axe, nous allons systématiquement appliquer la procédure suivante :

- Indiquer le système étudié
- Faire le bilan des forces
- Déterminer l'axe de rotation et fixer un sens positif de rotation.
- Exprimer le moment des différentes forces et indiquer s'il est positif ou négatif

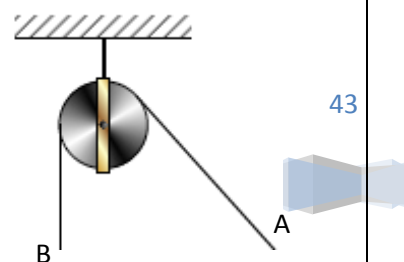
e) Appliquez les relations suivantes:  $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$  et  $\sum \mathcal{M}(\vec{F}_{ext}) = 0$

### 2. Les poulies

#### Exercice

Une poulie de poids  $P_0 = 20N$  est mobile sans frottement autour de son axe  $\Delta$  fixe. Nous appliquons sur l'extrémité A d'une corde de poids négligeable, passant par la gorge d'une poulie, une force  $\vec{F}$  d'intensité  $F = 300N$  dont la direction fait un angle de  $60^\circ$  avec la verticale.

- déterminer la force  $\vec{T}$  qu'il faut appliquer sur l'autre extrémité B de la corde pour réaliser l'équilibre.



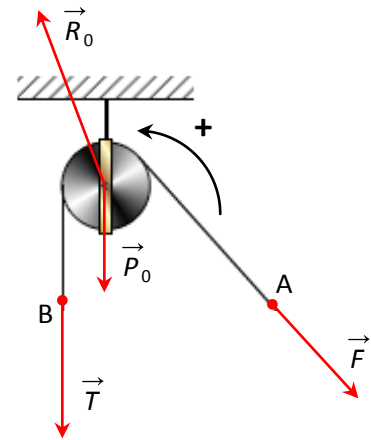
M. Serigne Abdou Wahab Diop | <http://physiquechimie.sharepoint.com>

2) déterminer alors la réaction  $\vec{R}_0$  exercée par l'axe sur la poulie.

### Réponse

1) détermination de  $\vec{T}$

- système: l'ensemble (corde, poulie)
- bilan des forces extérieures reçues:
  - le poids  $\vec{P}_0$  de la poulie
  - la force  $\vec{F}$  appliquée en A
  - la force  $\vec{T}$  appliquée en B
  - la réaction  $\vec{R}_0$  exercée par l'axe.
- conditions d'équilibre:
  - immobilité de G:  $\vec{P}_0 + \vec{F} + \vec{T} + \vec{R}_0 = \vec{0}$
  - absence de rotation autour de  $\Delta$ :  $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P}_0) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{T}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{R}_0) = 0$
- exploitation des relations précédentes: choisissons un sens positif (voir schéma) et évaluons les moments.



$$\mathcal{M}_\Delta(\vec{P}_0) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{T}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{R}_0) = 0$$

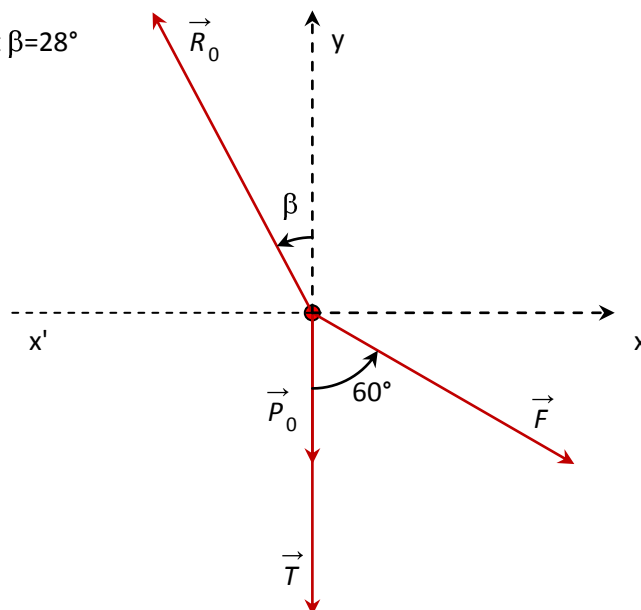
$$0 - F \times r + T \times r + 0 = 0 \Rightarrow -F \times r + T \times r = 0 \Rightarrow \boxed{T=F}$$

Les forces de part et d'autre de la poulie ont la même intensité. Seules leurs directions changent.

2) détermination de  $\vec{R}_0$

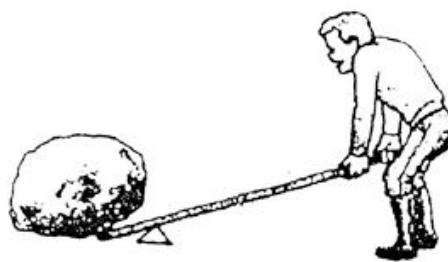
Pour déterminer  $\vec{R}_0$  il faut projeter la relation vectorielle  $\vec{P}_0 + \vec{F} + \vec{T} + \vec{R}_0 = \vec{0}$  dans un repère.

Vérifier que  $R_0 = 540\text{N}$  et  $\beta = 28^\circ$



### 3. Les leviers

Un levier est un solide mobile autour d'un axe à l'aide duquel on peut appliquer une grande force sur un objet en exerçant une petite force sur le levier. On distingue les leviers à deux bras et les leviers à un bras.



#### Exercice:

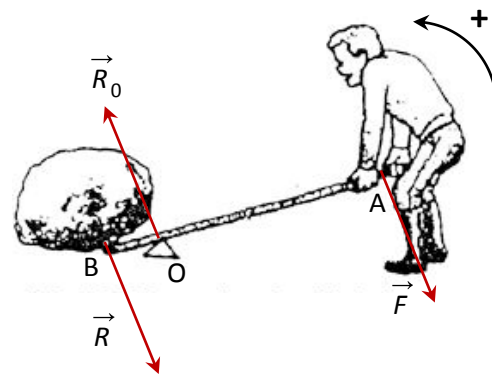
Un rocher, lorsqu'il est soulevé, exerce en A sur le levier une force résistante  $\vec{R}$  d'intensité  $R = 2700N$  dont la direction est perpendiculaire à celle du levier (voir figure). Le poids du levier est négligeable.  
 $OA = 0,1m$ ;  $OB = 0,9m$

- 1) déterminer la force motrice de  $F$  qu'il faut appliquer orthogonalement au levier pour maintenir l'équilibre.
- 2) déterminer la réaction  $\vec{R}_0$  de l'appui.

#### Réponse

- 1) détermination de  $\vec{T}$

- système: le levier
- bilan des forces extérieures reçues:
  - le poids  $\vec{P}_0$  du levier que nous négligeons.
  - la force motrice  $\vec{F}$
  - la réaction  $\vec{R}$  exercée par le rocher
  - la réaction de l'appui  $\vec{R}_0$
- conditions d'équilibre:
  - immobilité de G:  $\vec{R} + \vec{T} + \vec{R}_0 = \vec{0}$
  - absence de rotation autour de  $\Delta$ :  $\mathcal{M}_\Delta(\vec{R}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{R}_0) = 0$
- exploitation des relations précédentes: choisissons un sens positif (voir schéma) et évaluons les moments.



$$\mathcal{M}_\Delta(\vec{R}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{R}_0) = 0$$

$$R \times OB - F \times OA + 0 = 0 \Rightarrow F = R \frac{OA}{OB}$$

$$\text{Numériquement: } F = 2700 \times \frac{0,1}{0,9} = 300N$$

La force motrice a une intensité beaucoup plus faible que la force résistante. Ceci est dû au rapport de bras de levier  $\frac{OA}{OB}$

- 2) détermination de  $\vec{R}_0$

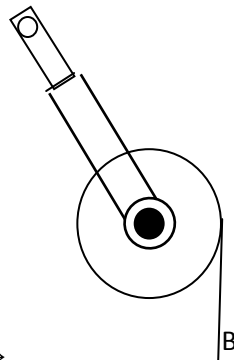
Pour déterminer  $\vec{R}_0$  il faut projeter la relation vectorielle  $\vec{F} + \vec{R} + \vec{R}_0 = \vec{0}$  dans un repère. Remarquer que les forces ont la même direction:  $R_0 = R + F = 2700 + 300 = 3000\text{ N}$

#### 4. Les treuils

##### Exercice

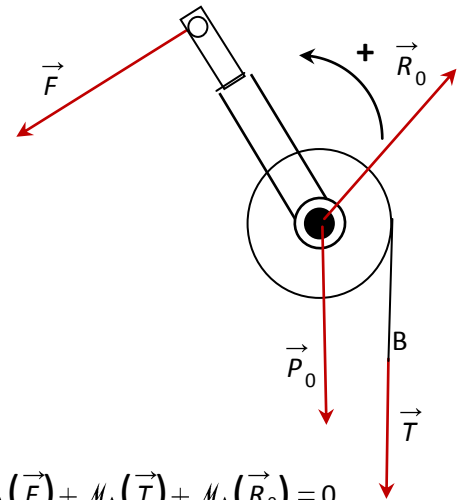
Un treuil mobile sans frottement est constitué d'un cylindre homogène de poids  $P_0 = 200\text{ N}$  et de rayon  $r = 10\text{ cm}$ , et d'une manivelle de poids négligeable et de longueur  $L = 40\text{ cm}$ . un solide exerce à l'extrémité inférieure B de la corde de masse négligeable une force d'intensité  $T = 200\text{ N}$ .

Déterminer à l'équilibre la valeur de la force motrice F qu'il faut appliquer sur la poignée A (perpendiculairement à la manivelle) (voir figure).



Détermination de  $\vec{F}$

- système: l'ensemble (corde, treuil)
- bilan des forces extérieures reçues:
  - le poids  $\vec{P}_0$  de la poulie
  - la force  $\vec{F}$  appliquée en A
  - la force  $\vec{T}$  appliquée en B
  - la réaction  $\vec{R}_0$  exercée par l'axe.
- conditions d'équilibre:
  - immobilité de G:  $\vec{P}_0 + \vec{F} + \vec{T} + \vec{R}_0 = \vec{0}$
  - absence de rotation autour de  $\Delta$ :  $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P}_0) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{T}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{R}_0) = 0$



$$\mathcal{M}_\Delta(\vec{P}_0) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{T}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{R}_0) = 0$$

$$0 - F \times r + T \times r + 0 = 0 \Rightarrow -F \times L + T \times r = 0 \quad \text{soit} \quad \boxed{F = T \frac{r}{L}}$$

Le rapport  $\frac{r}{L} = \frac{1}{4}$  d'où  $F = \frac{T}{4} = 50\text{ N}$ . Une force relativement faible ( $F=50\text{ N}$ ) permet d'équilibrer une force relativement importante ( $T=200\text{ N}$ ).

Remarque: la relation traduisant l'immobilité de G permettrait de déterminer la réaction  $\vec{R}_0$

# Phénomène d'électrisation

## I. Électrisation par frottement

### 1. Observations:

Vous avez tous observé, un jour, en vous peignant, que vos cheveux étaient attirés par le peigne. Le même phénomène d'attraction apparaît lorsque vous déballez un article enveloppé de cellophane. De même vous observez des crépitements et de petites étincelles en mettant un pull en laine. Le peigne, la feuille de cellophane et le pull se sont chargés électriquement. **Un corps chargé électriquement est un corps électrisé.**

### 2. Expérience

Si l'on frotte une baguette (verre, ébonite, matière plastique...) contre un chiffon quelconque (tissu de laine, drap, peau de chat) on observe que la baguette est capable d'attirer de menus (très petit) objets (cheveux, duvet, confettis; bouts de papier). La baguette s'est électrisée par frottement

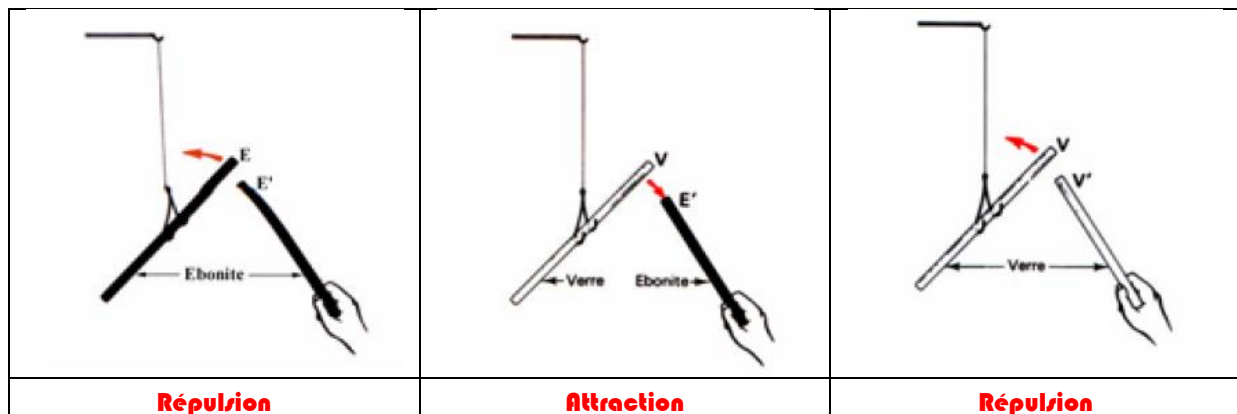


### 3. Conclusion

*Un corps qui par frottement acquiert la propriété d'attirer des corps légers a été électrisé par frottement.*

## II. Deux espèces d'électricité

### 1. Expérience



- ✚ Si on électrise une baguette en ébonite par frottement contre une peau de chat et que l'on approche successivement d'autres baguettes électrisées, on s'aperçoit que la baguette repousse les baguettes en ébonite et attire des baguettes en verre.
- ✚ De même, si on électrise une baguette en verre par frottement contre un morceau de soie et que l'on approche successivement d'autres baguettes électrisées, on s'aperçoit que la baguette attire les baguettes en ébonite et repousse des baguettes en verre.

## 2. Conclusion

On peut donc en déduire qu'il existe deux sortes d'électricité: l'électricité qui apparaît sur le verre et celle qui apparaît sur le bâton d'ébonite.

## 3. Convention

Par convention, l'électricité qui apparaît sur le bâton de verre est notée positivement (+) et celle qui apparaît sur le bâton d'ébonite est notée négativement (-).

- ✚ Deux corps chargés d'électricité de même signe se repoussent;
- ✚ Deux corps chargés d'électricité de signes contraires s'attirent.

## III. Charges électriques

### 1. La structure de la matière

Tout corps contient à la fois des charges positives et des charges négatives. Les charges positives sont portées par des particules très petites contenues dans le noyau des atomes: les protons. Les charges négatives sont portées par des particules très petites et identiques appelées électrons. Les neutrons sont des particules qui ne portent pas de charges électriques. Dans un corps neutre les charges positives et les charges négatives se compensent. La charge totale est nulle.

### 2. Unité de charge électrique:

**L'unité de charge électrique est le coulomb (symbole: C)**

Un électron a une charge négative  $-e = -1,6 \times 10^{-19}$  coulombs

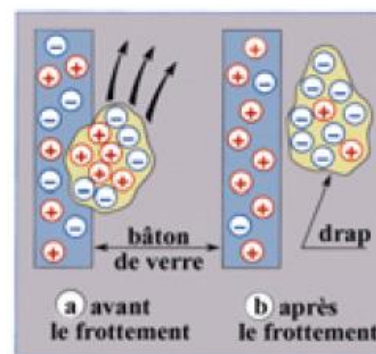
Un proton a une charge positive de  $e = 1,6 \times 10^{-19}$  coulombs

Il faut donc  $6,24 \cdot 10^{18}$  électrons pour obtenir une charge de -1 C et  $6,24 \cdot 10^{18}$  protons pour obtenir une charge de 1 C.

### 3. Interprétation de l'électrisation par frottement

Le verre frotté contre la laine se charge positivement car la laine lui arrache des électrons. L'ébonite frottée contre la peau de chat se charge négativement car des électrons sont arrachés à la peau.

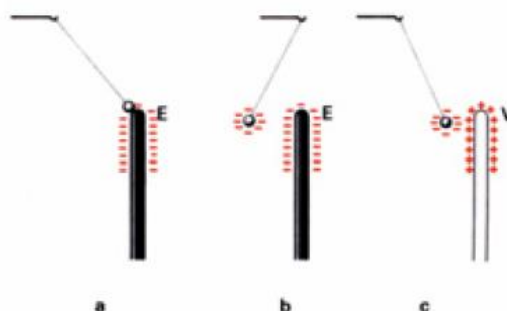
**Lorsqu'on frotte deux corps l'un contre l'autre, l'un arrache des électrons à l'autre. Le corps qui possède un excès d'électrons est chargé négativement. Le corps qui a perdu des électrons est chargé positivement**



## IV. Autres modes d'électrisation

### 1. Électrisation par contact

#### a) Expérience





Un pendule électrostatique est constitué d'une boule légère (moelle de sureau, polystyrène expansé...) recouverte d'une couche conductrice (feuille d'aluminium, graphite) suspendue à une potence par un fil.

Lorsqu'on approche une baguette électrisée du pendule, la boule est attirée par la baguette. Après contact avec la baguette, la boule est capable d'attirer des corps légers.

La boule s'est électrisée par contact avec la baguette.

**Un corps qui après contact avec un corps élastique acquiert la propriété d'attirer des corps légers a été électrisé par frottement.**

**Un corps peut être électrisé par contact.**

### **b) Interprétation**

**Lorsqu'un corps négatif touche un corps neutre, des électrons peuvent passer sur le corps neutre qui devient ainsi négatif.**

**Lorsqu'un corps positif touche un corps neutre, il attire des électrons du corps neutre qui devient alors positif.**

## **2. Électrisation par influence (à distance)**

### **a) Expérience**

Un électroscope est formé essentiellement de deux parties métalliques séparées par un bouchon isolant en matière plastique. La première partie métallique est une boîte (ou cage) qui comporte une ou deux fenêtres. On la relie au sol par un fil conducteur (la cage est mise à la terre).

A l'intérieur de la boîte est disposé, porté par le bouchon, un équipage conducteur comportant une tige fixe T et une fine lamelle t mobile autour d'un axe horizontal. A l'extérieur de la cage la tige fixe T est le plus souvent terminée par un plateau P ou une sphère.

Lorsqu'on approche une baguette électrisée de l'électroscope (sans le toucher), la lamelle t de l'électroscope s'écarte. Si on éloigne la baguette, la lamelle retombe.

La lamelle et la tige se repoussent parce qu'elles sont électrisées sous l'influence de la baguette

**Un corps peut être électrisé par influence.**

### **b) 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 que des charges électriques se sont déplacées à l'intérieur du métal. Il s'agit d'électrons libres.

Si la baguette est négative, elle repousse les électrons libres de l'électroscope. Ces électrons se retrouvent en excès dans les lamelles qui deviennent négatives et se repoussent.

Si la baguette est positive, elle attire les électrons libres de l'électroscope. Ces électrons se retrouvent en défaut dans les lamelles qui deviennent positives et se repoussent.

## **V. Conducteurs et isolant**

Les électrons des atomes d'un isolant ne peuvent pas, ou ne peuvent que très difficilement, passer d'un atome à l'autre ; ce sont des électrons liés. De même les électrons excédentaires, apportés sur un isolant par électrisation, ne peuvent pas, ou ne peuvent que très difficilement et très lentement, circuler.

Il en résulte que, si un isolant a été électrisé, les charges restent à l'endroit où elles ont été déposées.

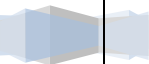
Dans les conducteurs métalliques, certains électrons sont également liés, mais il en existe aussi qui sont très mobiles et qui peuvent circuler facilement à l'intérieur du conducteur: ce sont les électrons libres. A l'intérieur des conducteurs métalliques les électrons libres sont en incessante agitation; ils se déplacent, en tout sens de manière désordonnée.

Les charges positives d'un isolant ou d'un conducteur métallique sont par contre toujours liées aux noyaux et ne peuvent donc pas se déplacer.

Par conséquent, dans les deux types de substance, les modifications de charges sont donc toujours dues à des transferts d'électrons (charges négatives).

***Un conducteur est un corps dans lequel les charges électriques peuvent se déplacer (exemple: les métaux).***

***Un isolant est un corps dans lequel les charges électriques ne peuvent pas circuler (exemple: verre, matière plastique).***



# Généralités sur le courant électrique

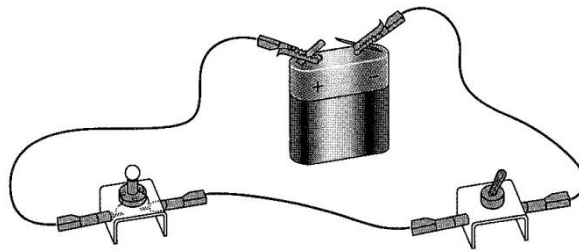
## I. Le courant électrique

### 1. Circuit électrique

#### a) Expérience

Réalisons le circuit électrique suivant: on dispose comme matériel une pile plate, une lampe, un interrupteur, deux fils de connexion et deux pinces crocodiles.

- Lorsque l'interrupteur est abaissé, le circuit est fermé, la lampe s'allume.
- Dans le cas contraire, le circuit est ouvert: la lampe reste éteinte.

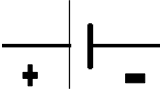


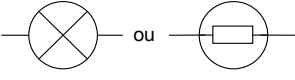
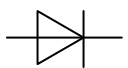


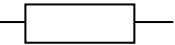
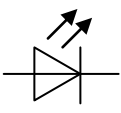
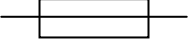


#### b) Définition

Un circuit électrique est une suite continue d'appareils électriques (dipôles) reliés entre eux par des fils de connexions ou fils électriques contenant au moins un générateur (ici pile plate).

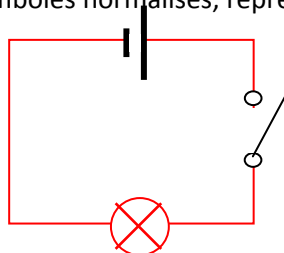
### 2. Symboles

Chaque sorte de dipôles est représentée par un symbole normalisé.

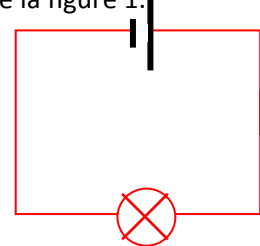
Pile, générateur 	Interrupteur ouvert 	Interrupteur fermé 	Lampe 	Diode 
Moteur 	Fil électrique 	Résistance 	Diode électroluminescente (DEL) 	Fusible 

### 3. Application

A l'aide des symboles normalisés, représenter ci-dessous le schéma de la figure 1.



Circuit fermé

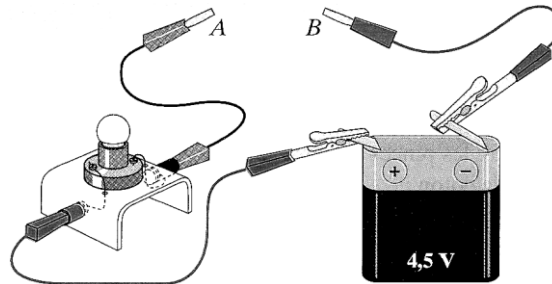


Circuit ouvert

M. Serigne Abdou Wahab Diop | <http://physiquechimie.sharepoint.com>

#### 4. Conducteurs et isolants

Dans le montage, retirez le cavalier et enfichez des pinces crocodiles sur les deux cordons. Ces pinces seront reliées aux extrémités de divers matériaux.



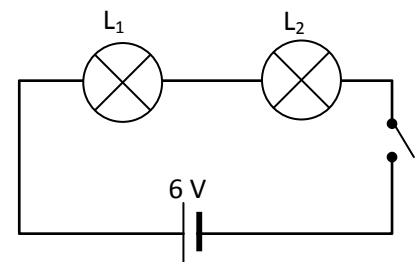
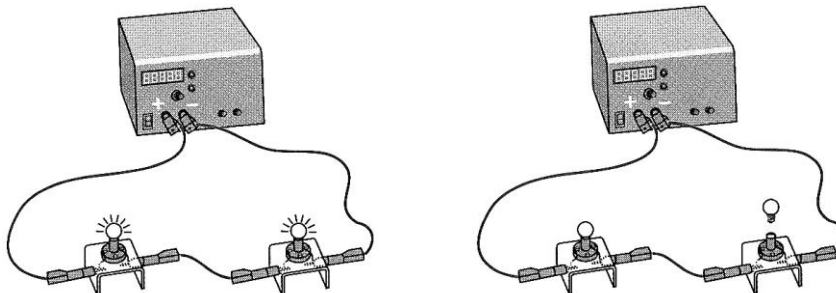
Un conducteur électrique est un objet qui permet le passage du courant électrique (p.ex. : les métaux, le graphite, l'eau salée,...)

Un isolant électrique est un objet qui ne laisse pas passer le courant électrique (p.ex. : le verre, de nombreux matériaux plastiques, le caoutchouc, la toile, le bois sec...)

#### 5. Exemples de circuit électriques

##### a) Circuit série (montage en série)

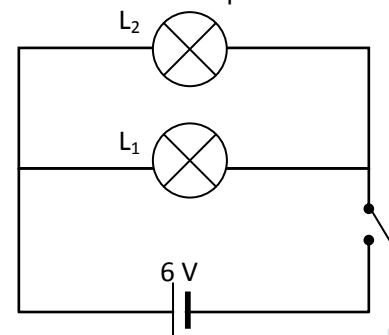
Le courant passe dans la première lampe ET dans l'autre. Il n'existe qu'un seul circuit possible pour le courant.

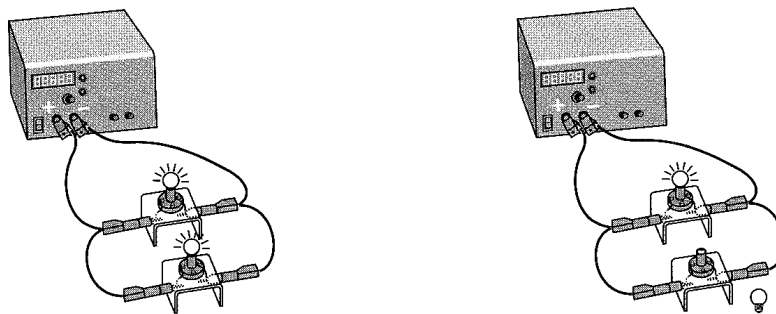


Remarque: Dans un circuit en série, tous les dipôles sont branchés les uns à la suite des autres : ils forment une seule boucle. Si l'un des dipôles tombe en panne, les autres ne fonctionnent plus.

##### b) Circuit parallèle (montage en dérivation)

Le courant passe dans la première lampe OU dans la deuxième lampe. Le courant se partage en arrivant au carrefour (nœud). Une branche est une portion de circuit entre deux nœuds. La branche principale est celle du générateur. Les deux dipôles fonctionnent indépendamment l'un de l'autre.





Remarque: En associant deux lampes avec dérivation, quand une lampe est en panne, l'autre fonctionne

## II. Effets du courant électrique

### 1. Effets calorifiques

**Le courant électrique provoque l'échauffement de tous les conducteurs qu'il traverse. On appelle ce phénomène l'effet Joule.**

Le dégagement de chaleur est variable, il dépend de la nature et de la grosseur du conducteur ainsi que de l'intensité (grandeur) du courant

### 2. Effets chimique

**Lorsqu'un courant électrique circule dans un liquide conducteur (électrolyte), il se produit des réactions chimiques au niveau des électrodes (conducteur solide en contact avec le liquide): dégagement gazeux, dépôt d'un métal...)**

Si on permute les bornes du générateur, on observe que les réactions s'inversent.

### 3. Effets magnétiques



Document 1 : L'expérience d'Oersted (1819)

**Une boussole placée près d'un fil parcouru par le courant est perturbée. Si l'on permute les bornes du générateur, la perturbation s'inverse.**

### 4. Effets lumineux

**Certains objets émettent de la lumière sans l'accompagnement d'un échauffement, s'ils sont parcourus par un courant électrique**

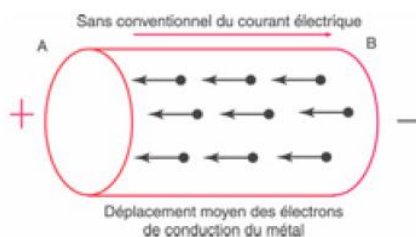
### III. Sens conventionnel du courant

Les effets magnétiques et chimiques s'inversent lorsqu'on permute les bornes du générateur. Les savants qui ignoraient la réalité de l'électron ont donc été amenés à choisir arbitrairement un sens au courant. Ils ont choisi celui qui part **de la borne positive vers la borne négative du générateur**.

Par convention: dans un circuit ne comportant qu'un générateur le courant électrique "sort" par la borne positive et "entre" par la borne négative du générateur.

### IV. Nature du courant électrique

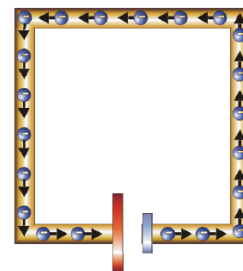
#### 1. Nature du courant dans les conducteurs métalliques



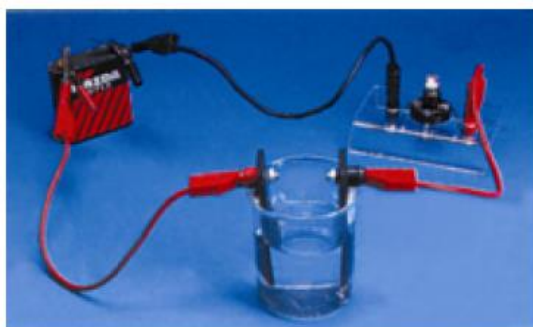
Document 2

Entre les deux bornes d'une pile existe continuellement une différence de densité des électrons libres. La borne négative possède excès d'électrons tandis que la borne présente un déficit d'électrons. **Si un circuit électrique est relié à la pile, les électrons libres du circuit sont attirés par la borne positive, repoussés par la borne négative de la pile. Ils circulent de la borne moins vers la borne plus à l'extérieur du générateur. Ce mouvement d'électrons constitue le courant électrique.**

Dans le schéma ci-contre, les boules bleues symbolisent les électrons libres se déplaçant dans les fils. Les électrons se déplacent très lentement dans les fils de connexion (souvent quelques fractions de millimètre par seconde).



#### 2. Nature du courant dans les solutions électriques

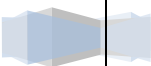
Document 1 : Passage du courant dans la solution aqueuse de chlorure d'étain  $\text{SnCl}_2$ 

Document 2 : Résultat de l'expérience représentée (document 1)

Dans un électrolyte il n'y a pas d'électrons libres. La circulation du courant électrique est expliquée par un double déplacement des ions. Les ions positifs se déplacent vers l'électrode reliée à la borne négative de la pile appelée cathode et les ions négatifs vers l'électrode reliée à la borne positive de la pile ou anode.

### 3. Généralisation

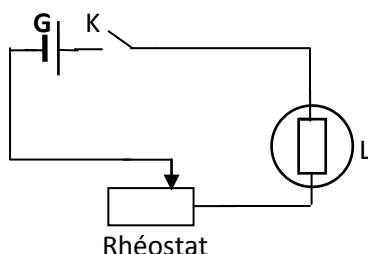
Le courant électrique est un mouvement de porteur de charges. Dans les métaux les porteurs mobiles sont les électrons, dans les solutions électrolytes, les porteurs mobiles sont des ions (positifs et négatifs).



# Intensité du courant électrique

## I. Définition de l'intensité du courant électrique

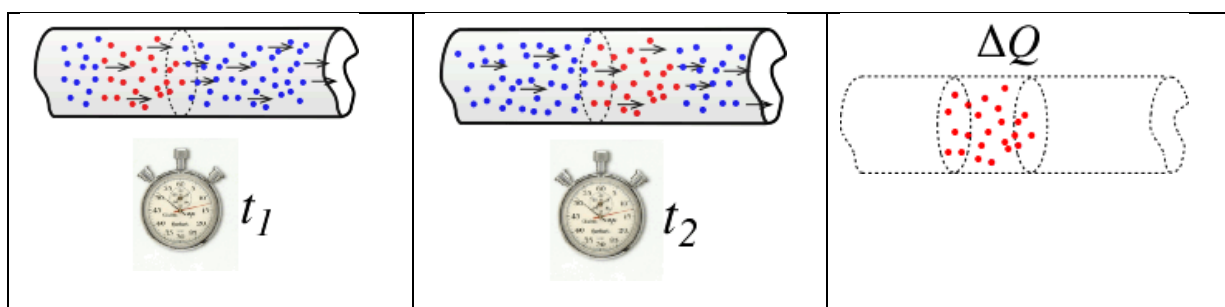
### 1. EXPERIENCE



Fermons l'interrupteur K, la lampe s'allume. Déplaçons le curseur C vers la gauche, la lampe éclaire "de moins en moins", le courant devient moins intense ou que son intensité a diminué. L'intensité du courant est liée au débit des porteurs de charge.

### 2. DEFINITION

L'intensité du courant électrique à travers un conducteur est la quantité d'électricité qui traverse chaque section de ce conducteur pendant l'unité de temps.



D'une façon simplifiée, on compte le nombre d'électrons qui passent à un endroit donné du fil en un temps donné. Le nombre d'électrons représente une quantité de charge  $\Delta Q$ . On divise cette quantité par l'intervalle de temps  $\Delta t = t_2 - t_1$ . C'est le débit de charges électriques (*un débit est une quantité par unité de temps*).

$$I = \frac{Q}{t}$$

Q en coulomb (C); t en secondes (s) et I en ampère (A)

Les porteurs de charges en mouvement transportent une quantité d'électricité  $Q$  multiple de la charge électrique  $e$

$$Q = n \cdot e$$



### 3. MULTIPLES ET SOUS MULTIPLES D'AMPERE

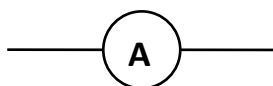
- Multiples:  
Kilo ampère:  $1\text{kA}=10^3\text{ A}$
- Sous multiples  
Milliampère:  $1\text{mA}=10^{-3}\text{A}$   
Microampère:  $1\mu\text{A}=10^{-6}\text{A}$   
Nano ampère:  $1\text{nA}=10^{-9}\text{A}$

### 4. ORDRE DE GRANDEUR

ampoule de lampe de poche	quelques dixièmes d'ampère
tube de télévision	10 à 20 mA
démarrateur électrique	50 à 100A
génératrice de centrale électrique	$\approx 5\text{kA}$
foudre	jusqu'à 10 000A

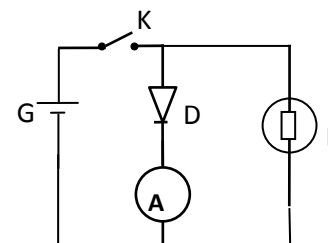
## II. Mesure de l'intensité du courant

L'intensité du courant électrique est mesurée à l'aide d'appareils appelés ampèremètres. On distingue deux types d'ampèremètres: les ampèremètres à aiguille et les ampèremètres à affichage numérique ou multimètre.



### 1. BRANCHEMENT D'UN AMPEREMETRE

Pour mesurer l'intensité du courant qui traverse un dipôle D placé dans un circuit électrique, on ouvre immédiatement avant (ou après) D et on intercale l'ampèremètre. L'ampèremètre et le dipôle D sont en série. Le courant doit pénétrer l'ampèremètre par sa borne positive (+).



### 2. CALIBRE D'UN AMPEREMETRE

#### a) Définition

Le calibre d'un ampèremètre est l'intensité maximale du courant traversant l'appareil lorsque l'aiguille se place à la dernière division de la graduation.

Exemple:  $C=3\text{A}$ ; graduation maximale 100, l'intensité  $I = 3\text{A}$  lorsque l'aiguille est sur la division 100.

NB: le calibre est l'intensité maximale mesurable lorsque l'ampèremètre est réglé sur ce calibre.

#### b) Choix du calibre

Pour éviter de détériorer l'ampèremètre il faut choisir le meilleur calibre possible en procédant de la manière suivante:

- On commence par utiliser le calibre le plus grand existant sur l'ampèremètre.
- On choisit le calibre sur lequel l'aiguille s'arrête le plus loin possible vers la droite du cadran.

### 3. LECTURE ET PRESENTATION DU RESULTAT

De manière générale on a:  $I = \frac{C \times L}{N}$

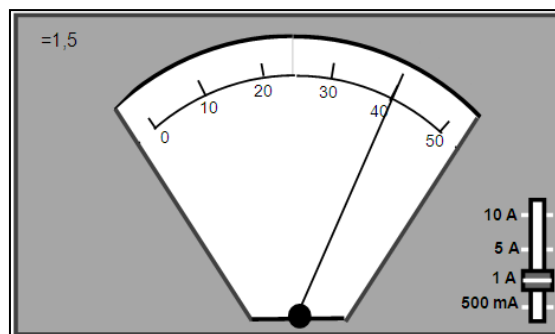
C=classe; L=nombre de divisions lues; N=nombre totale de divisions

Classe: la classe de l'ampèremètre est une donnée technique du constructeur permettant d'évaluer l'incertitude absolue sur la mesure de l'intensité.

$$\Delta I = \frac{\text{calibre} \times \text{classe}}{100}$$

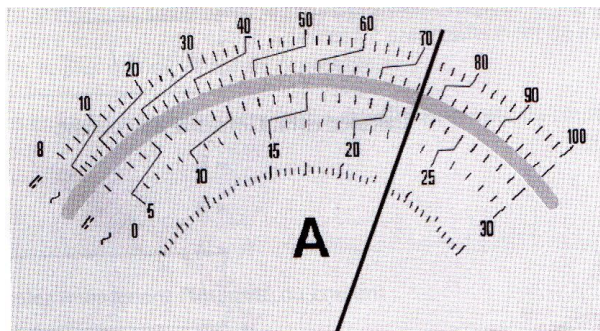
Présentation du résultat:  $I_{mesure} - \Delta I \leq I \leq I_{mesure} + \Delta I$  ou  $I = (I_{mesure} \pm \Delta I)$

Exemple:



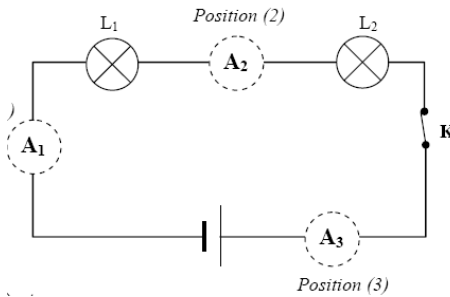
$$I = \frac{401}{50} = 0,8A; \Delta I = \frac{11,5}{100} = 0,015A \text{ d'où } 0,785 A \leq I \leq 0,815 A$$

Application: déterminer l'intensité du courant mesurée sur le schéma ci-dessous.



### III. Propriétés du courant électrique

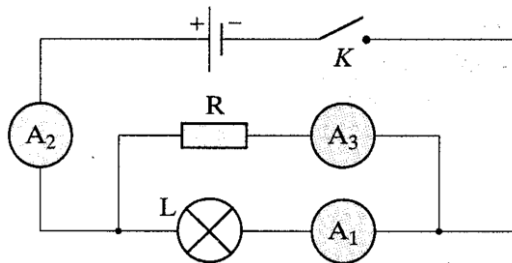
#### 1. LOI D'UNICITE DU COURANT: CIRCUIT SERIE



Les ampèremètres  $A_1$ ,  $A_2$ , et  $A_3$  indiquent la même valeur.

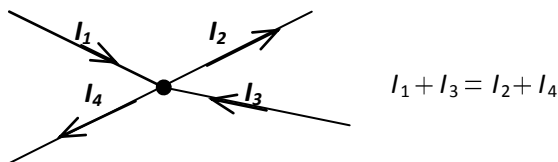
**Énoncé:** *l'intensité du courant est la même en tout point d'un circuit série.*

#### 2. LOI DES NŒUDS: CIRCUIT PARALLELE



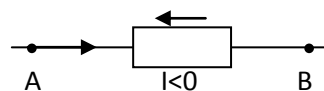
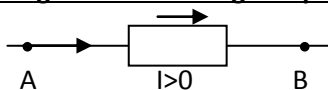
On observe toujours la relation suivante:  $I_2 = I_1 + I_3$

**Énoncé:** *la somme des intensités des courants qui partent d'un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui parviennent à ce nœud.*



$$\sum I_{\text{arrivant}} = \sum I_{\text{partant}}$$

#### Convention de signe: intensité algébrique



### 3. ÉVALUATION

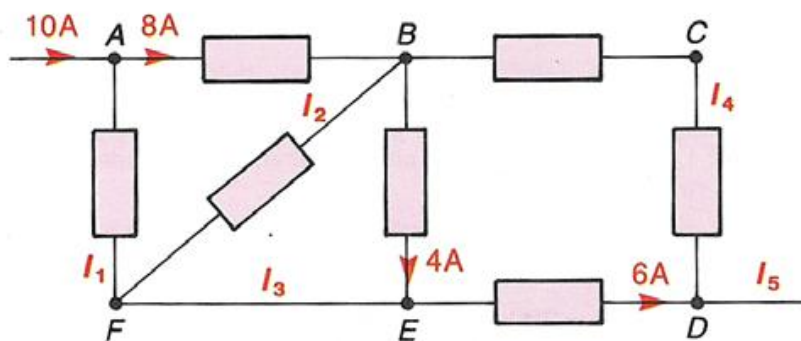
#### Application 1: $Q=It$

Un fil conducteur métallique est parcouru par un courant d'intensité  $I=0,2A$  pendant une durée  $t=5min$ .

- Calculer la quantité d'intensité  $Q$  qui a traversé le conducteur.
- Calculer le nombre d'électrons ayant traversé chaque section du conducteur pendant ce temps.

#### Application 2: loi des nœuds

Déterminer les sens et les intensités des courants dans les autres branches.



#### Application 3:

Un fil conducteur comporte  $n$  porteur de charge par unité de volume. Soit  $S$  la section du fil.

- Exprimer l'intensité du courant électrique circulant sur ce fil en fonction de la vitesse  $v$  des porteurs.
- Calculer cette vitesse  $v$  pour une intensité  $I = 1 A$  puis  $I = 1 mA$ . On donne  $S = 1 mm^2$  et un nombre de porteur  $n = 6,25 \cdot 10^{26}$  par  $m^3$ .

NB: les porteurs sont des électrons de charges électriques:  $q = -1,6 \cdot 10^{-19} C$ .

# Tension électrique

## I. Notion de tension électrique

### 1. Expérience

En absence de tout branchement électrique, la trace lumineuse de l'oscilloscope est au milieu de l'écran.

Relions respectivement la borne d'entrée et la masse de l'oscilloscope aux pôles  $\oplus$  et  $\ominus$  d'une pile plate; on observe un déplacement vertical de la trace lumineuse. On dit qu'il existe une tension électrique entre les deux pôles de la pile.

### 2. Définition

Le niveau électrique d'un point d'un circuit est évalué par une grandeur appelée potentiel électrique notée  $V$ . La tension électrique est la différence de potentiel (en abrégé d.d.p.) entre deux points du circuit.

Remarque: la tension évolue donc la "dissymétrie électrique" entre deux points.

### 3. Notation

La tension entre deux points A et B pris dans cet ordre est notée:  $U_{AB} = V_A - V_B$

### 4. Algébrisation de la tension

Pour mettre en évidence la tension entre deux points A et B notée  $U_{AB}$ , on relie:

- Le point A à la borne d'entrée Y de l'oscilloscope
- Le point B à la masse de l'appareil.

Si le déplacement de la ligne lumineuse a lieu vers le haut, la tension  $U_{AB}$  est positive. Elle est négative si la ligne lumineuse se déplace vers le bas.

La tension est une grandeur algébrique, car elle peut être positive ou négative.

$$U_{AB} = V_A - V_B = -(V_B - V_A) = -U_{BA} \Rightarrow U_{AB} = -U_{BA}$$

### 5. Représentation d'une tension


Par convention, la tension  $U_{PN}$  est représentée par un segment fléché dessiné à côté du symbole du dipôle (P,N) et dont la pointe est du côté P. Le segment fléché est dessiné à côté du symbole du dipôle (P,N).



Remarque: ce segment fléché n'est pas un vecteur; c'est une simple représentation pratique.

## II. Mesure de la tension

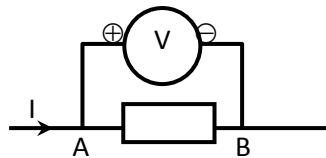
Pour mesurer une tension électrique on utilise un appareil appelé voltmètre ou un oscilloscope. Elle s'exprime en volts (symbole: V) du nom du physicien italien Alessandro Volta (1745 – 1827). On peut aussi utiliser la fonction voltmètre d'un multimètre à affichage numérique.

Symbole d'un voltmètre: 

### 1. Utilisation d'un voltmètre

#### a. Branchement

Pour mesurer une tension électrique entre deux points A et B, le voltmètre doit être monté en dérivation entre ces deux points.



Le voltmètre est un appareil polarisé; il doit être branché de façon que sa borne  $\oplus$  soit reliée (éventuellement à travers certains appareils) au pôle  $\oplus$  du générateur que sa borne  $\ominus$  soit, de même, reliée au pôle  $\ominus$  du générateur.

#### b. Calibre

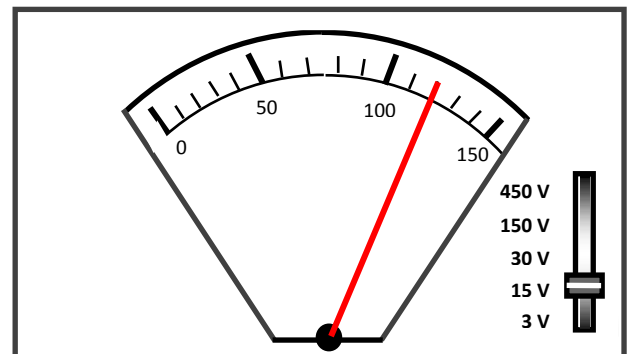
Le calibre d'un voltmètre représente la tension maximale que l'appareil peut mesurer.

#### c. Lecture de la tension

Sur la figure; le calibre choisi est 15V. L'aiguille se trouve sur la graduation 120. Le cadran comporte 150 graduations.

$$U = \frac{\text{Calibre} \times \text{lecture}}{N} = \frac{15 \times 120}{150} = 12 \text{ V}$$

Remarque: si on ignore l'ordre de grandeur de la tension à mesurer, il faut d'abord utiliser le grand calibre et, ensuite, descendre dans l'échelle des calibres pour avoir la déviation maximale de l'aiguille.



#### d. Classe et incertitude

La classe du voltmètre est une donnée technique du constructeur permettant d'évaluer l'incertitude absolue sur la mesure de la tension.

$$\Delta U = \frac{\text{Classe} \times \text{Calibre}}{100}$$

Présentation du résultat:  $U_{\text{mesurée}} - \Delta U \leq U \leq U_{\text{mesurée}} + \Delta U$  ou  $U = (U_{\text{mesurée}} \pm \Delta)$

Exercice:

M. Serigne Abdou Wahab Diop | <http://physiquechimie.sharepoint.com>

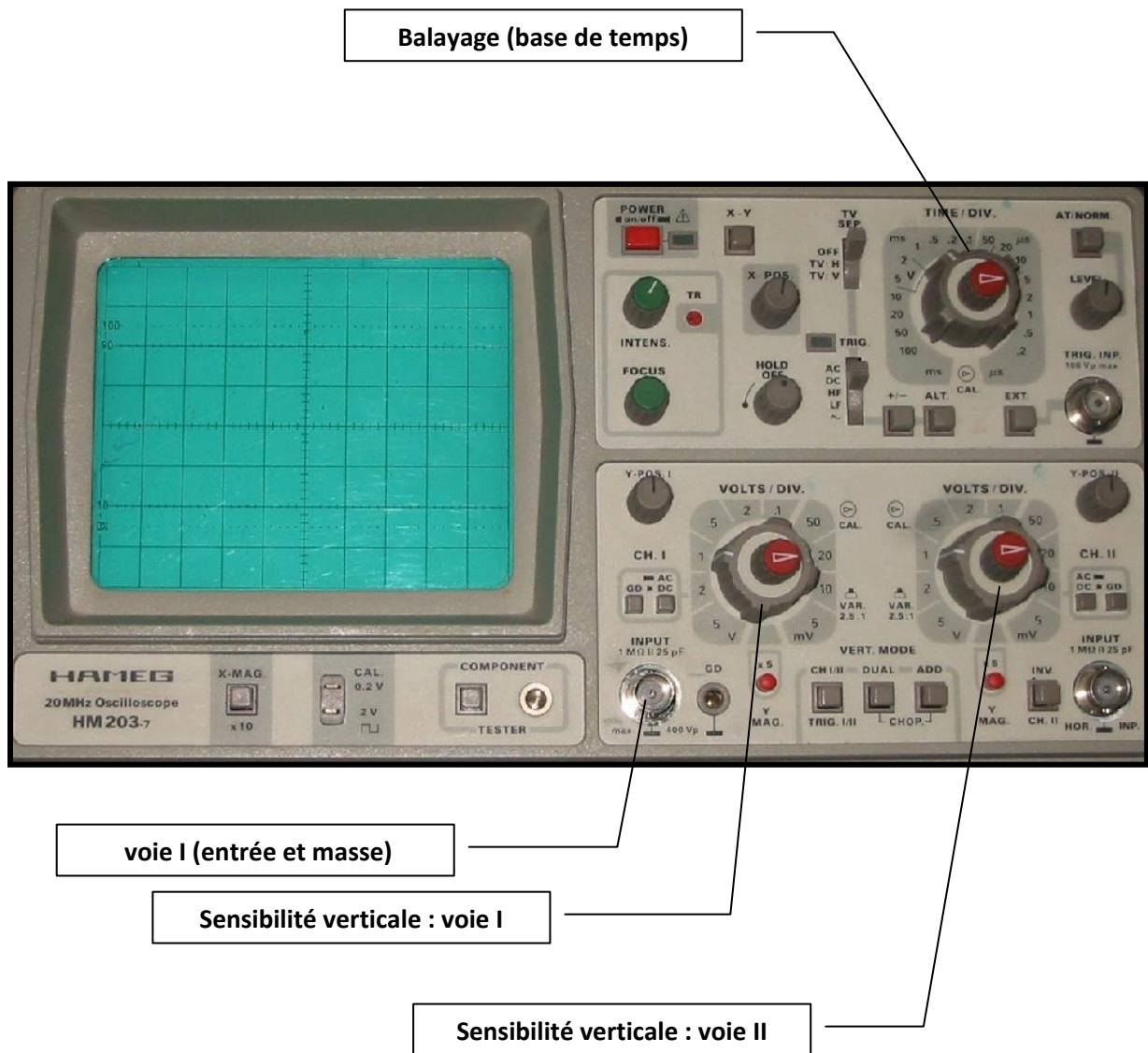
Pour mesurer la tension  $U$  aux bornes d'un générateur, on utilise un voltmètre dont le cadran comporte 150 graduations. Le calibre choisi est 30V. L'aiguille s'arrête devant la graduation 45.

- 1) Donner la valeur de  $U$ .
- 2) Devant quelle graduation  $X$  ou  $Y$ , s'arrêterait l'aiguille si on choisissait le calibre 15V ou le calibre 150V?
- 3) Peut-on choisir un calibre 3V?
- 4) Quel est le meilleur choix?

## 2. Utilisation d'un oscilloscope

### a) Description

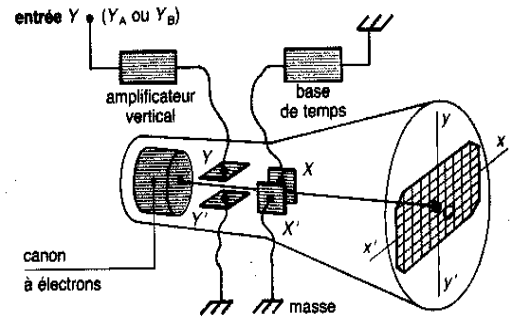
L'oscilloscope est un appareil qui permet de visualiser une tension, continue et/ou variable dans le temps, et de déterminer ses caractéristiques



### b) Principe de fonctionnement

L'oscilloscope est constitué d'un **tube cathodique** qui contient un (ou deux) **canons à électrons** et un **système de plaques de déviation**. La partie du tube que l'on voit de l'extérieur est l'écran.

- **Tube cathodique**: c'est un tube de verre dans lequel règne un vide poussé.
- **Canon à électrons**: c'est un dispositif qui produit un faisceau d'électrons.
- **Écran fluorescent**: il est recouvert d'une substance fluorescente qui a la propriété d'émettre un faisceau lumineux quand elle est touchée par le faisceau d'électrons.
- Le point d'impact du faisceau sur l'écran est visualisé par une tache lumineuse appelée le spot.
- **Plaques de déviation**: le faisceau d'électrons passe entre deux paires de plaques et va frapper l'écran en son centre si aucune tension n'est appliquée sur ces plaques. Si une tension est appliquée entre ces plaques, le spot est dévié vers la plaque qui a le plus grand potentiel électrique.
  - si l'on applique une tension  $U_{AM}$  entre les plaques Y et Y', le spot se déplace verticalement, ce sont les plaques de déviation verticale.
  - La déviation du spot est proportionnelle à  $U_{AM}$ :  
 $U_{AM} = k_v * d_y$  où k s'appelle la **sensibilité de la voie verticale (en  $V.div^{-1}$ )** et  $d_y$  correspond à la déviation verticale (ou nombre de division verticale).

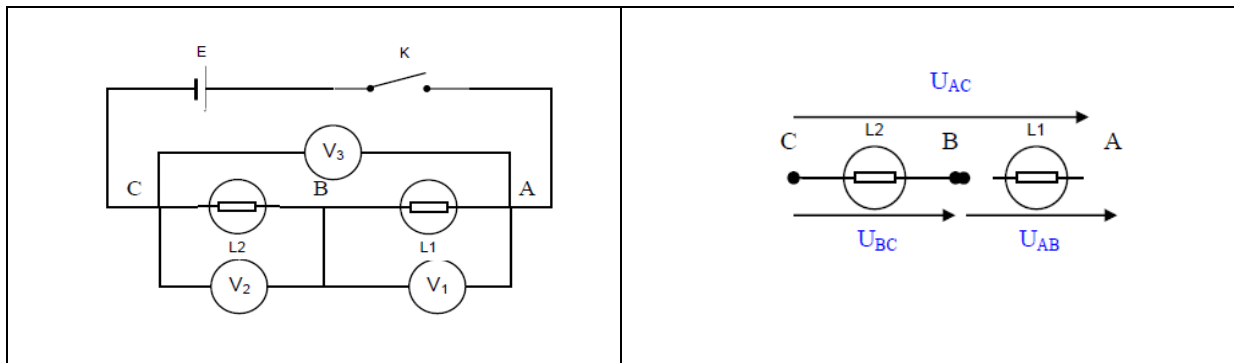


Remarque:

- si  $U_{AM} > 0$  on a  $d_y > 0$  et réciproquement
- si  $U_{AM} < 0$  on a  $d_y < 0$  et réciproquement

## III. Propriétés de la tension

### 1. Dipôles en série: additivité des tensions



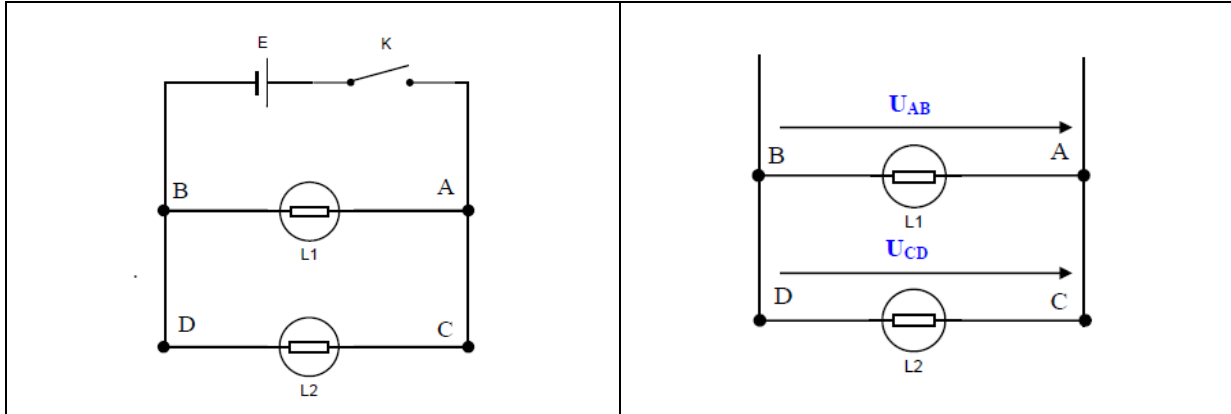
$$U_{PN} = U_{AD} = U_{AB} + U_{BC}$$

M. Serigne Abdou Wahab Diop | <http://physiquechimie.sharepoint.com>



La tension aux bornes d'un ensemble de dipôles en série est égale à la somme des tensions aux bornes de chacun d'eux: c'est la loi d'additivité des tensions.

**2. Dipôles en parallèles: loi d'unicité de la tension**



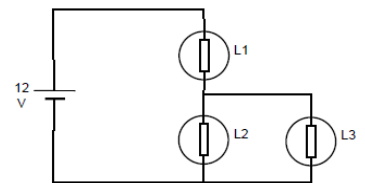
$$U_{PN} = U_{AB} = U_{CD}$$

Deux dipôles branchés en dérivation aux bornes d'un générateur sont soumis à la même tension qui est celle du générateur.

Exercice

Calculer les tensions inconnues

- Le générateur fournit une tension de 12 V
- L<sub>2</sub> a à ses bornes une tension de 5,4 V.

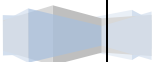


Calculer la tension aux bornes de L<sub>1</sub> et celle aux bornes de L<sub>3</sub>. En justifiant vos résultats

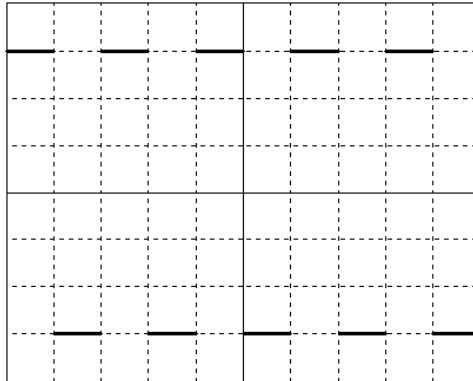
**IV. Tension variables**

**1. Définitions.**

- Une tension est dite continue lorsque sa valeur reste constante au cours du temps; sinon elle est variable.

- Une tension variable est une tension qui change de valeur au cours du temps. Lorsqu'elle peut reprendre les mêmes valeurs à intervalles de temps réguliers: elle est alors périodique. Un motif de base se répète régulièrement sur un oscillogramme.



- La tension peut prendre des valeurs positives et négatives. Si la moyenne des valeurs prises par la tension au cours du temps est nulle, la tension est alternative. Dans le cas étudié la tension est variable, alternative, sinusoïdale.

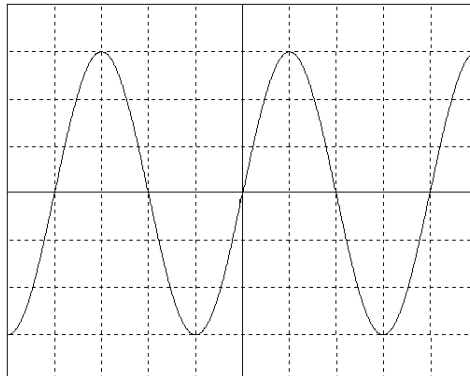
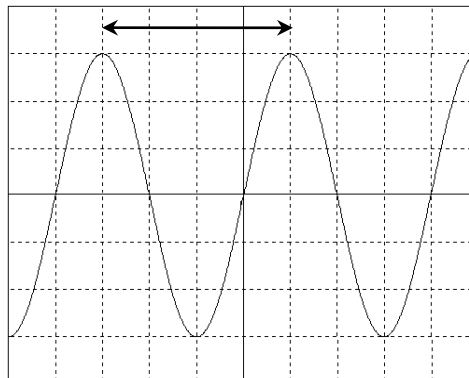


Figure 1: oscillogramme

## 2. Période et fréquence.

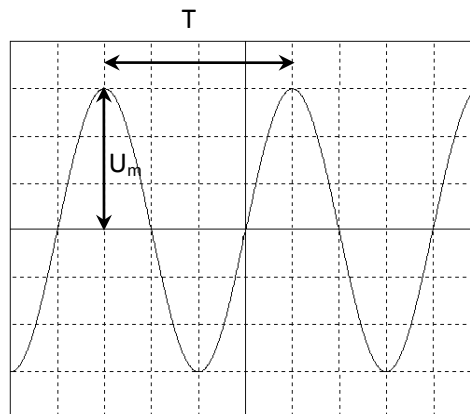
- **Période** : la période  $T$  d'un phénomène périodique est la plus petite **durée** au bout de laquelle il se reproduit identique à lui-même. Elle s'exprime en **seconde (s)**.
- **Fréquence** : elle est égale à l'inverse de la période :  $f = \frac{1}{T}$ .  $T$  s'exprimant en seconde, elle s'exprime en Hertz (Hz). (Elle représente le nombre de périodes effectuées en 1s).



### 3. Tension maximale et tension efficace.

- **Amplitude d'une tension sinusoïdale** : c'est la valeur maximale de la tension  $u$ . On la note  $U_{\max}$ . Elle s'exprime en Volt.
- **Tension efficace**: pour une tension alternative sinusoïdale, la tension efficace  $U$  est telle que:

$$U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}.$$

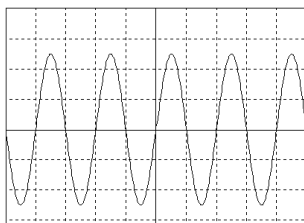


#### Remarque

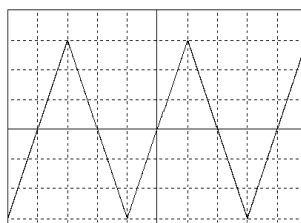
Un voltmètre sur le mode alternatif (AC ou  $\sim$ ) donne la valeur de la tension efficace pour des tensions alternatives sinusoïdales (dans un domaine de fréquences précisé par le constructeur).

### 4. Le générateur basse fréquence (GBF).

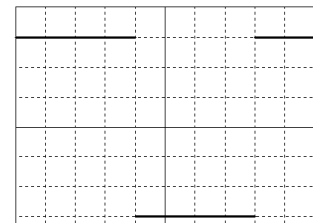
Il permet de générer des signaux de formes différentes selon le sélecteur de tension.



Tension 1: sinusoïdale

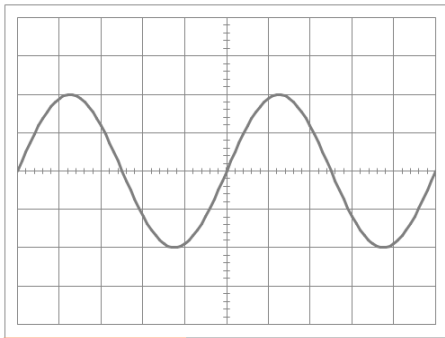


Tension 1: triangulaire ou en dents de scie



Tension 3: créneau ou échelon de tension

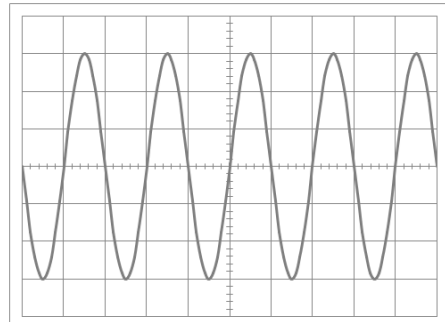
**Application 1:** Calculer la tension maximale  $U_{\max}$  et la période  $T$  des tensions représentées sur les 4 oscillogrammes ci-dessous :



**Sensibilité verticale** 2 V/div      **Sensibilité horizontale** 20 ms/div

donc      donc

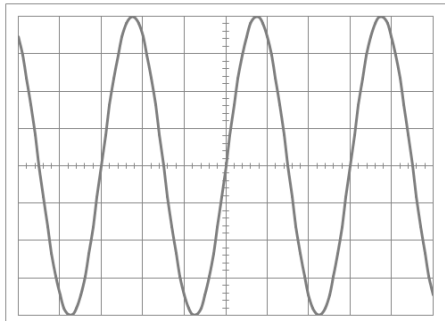
$U_{\max} =$        $T =$



**Sensibilité verticale** 1 V/div      **Sensibilité horizontale** 1 s/div

donc      donc

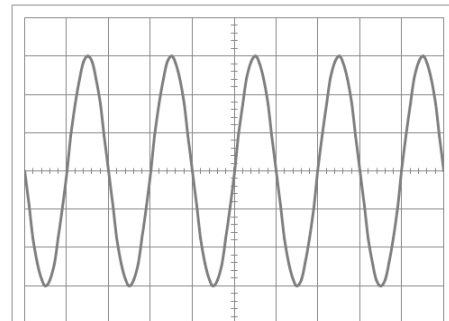
$U_{\max} =$        $T =$



**Sensibilité verticale** 5 V/div      **Sensibilité horizontale** 20 ms/div

donc      donc

$U_{\max} =$        $T =$

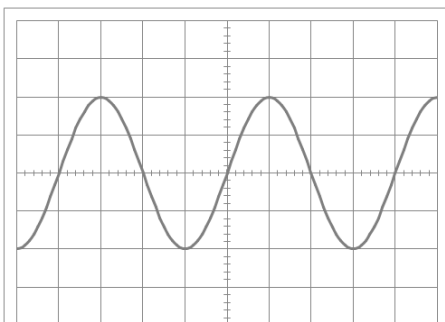


**Sensibilité verticale** 0,1 V/div      **Sensibilité horizontale** 10  $\mu$ s/div

donc      donc

$U_{\max} =$        $T =$

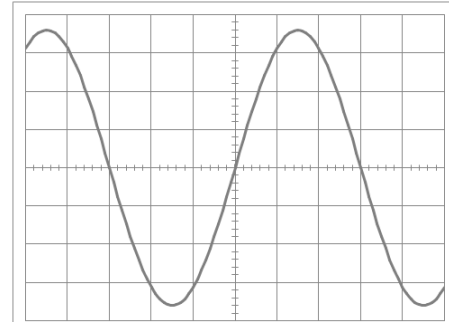
**Application 2:** A l'aide de l'oscillogramme et des valeurs indiquées pour  $U_{\max}$  et  $T$ , en déduire les réglages des boutons de sensibilités verticales et horizontales de l'oscilloscope dans les deux cas ci-dessous :



**Sensibilité verticale** \_\_\_ V/div      **Sensibilité horizontale** \_\_\_ ms/div

donc      donc

$U_{\max} = 10 \text{ V}$        $T = 8 \text{ ms}$



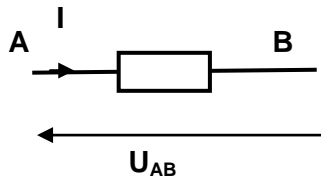
**Sensibilité verticale** \_\_\_ V/div      **Sensibilité horizontale** \_\_\_ ms/div

donc      donc

$U_{\max} = 3,6 \text{ V}$        $T = 0,12 \text{ s}$

## V. Convention récepteur

Dans la convention récepteur la flèche de la tension et celle du courant sont opposées.



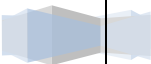
Cette convention signifie que:

- L'intensité  $I_{AB}$  dans le dipôle AB est comptée positivement si le courant qui le parcourt réellement va de A vers B.
- L'intensité  $I_{AB}$  dans le dipôle AB est comptée négativement si le courant réel circule de B vers A.
- Si  $I_{AB}$  est positif alors  $U_{AB} > 0$

## VI. Mesure de sécurité

tension de sécurité. □ - intensité et tension limites '

(Demander aux élèves de faire des recherches)



# Dipôles passifs

## I. Dipôles

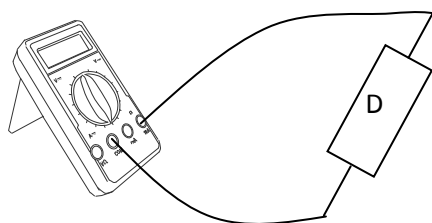
### 1. NOTION DE DIPOLE

On appelle dipôle tout composant électronique ou toute association de composants électroniques possédant deux bornes (ou pôles)

### 2. CATEGORISATION DE QUELQUES DIPOLES

#### a) Dipôles passifs

Considérons le circuit suivant: D est un dipôle quelconque.



Un dipôle est dit actif s'il n'apparaît aucune tension entre ses bornes lorsqu'il est branché, seul, aux bornes d'un voltmètre.

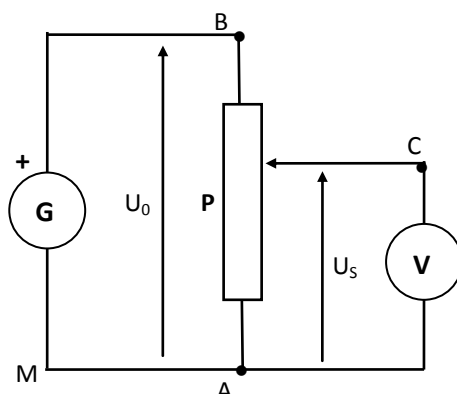
Exemples: Conducteur ohmique, diode à jonction, diode Zéner, varistance.....

#### b) Dipôles actifs

Un dipôle est dit actif s'il apparaît une tension entre ses bornes lorsqu'il est branché, seul, aux bornes d'un voltmètre.

Exemples: piles, accumulateurs, alternateurs...

### 3. MONTAGE POTENTIOMETRIQUE

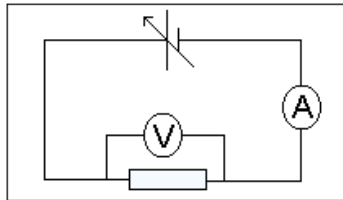


Le montage potentiométrique permet d'obtenir une tension de sortie  $U_s$  réglable de 0 à une valeur maximale  $U_0$  (tension du générateur). Ce montage est généralement utilisé lorsqu'on ne dispose pas d'un générateur de tension variable.

## II. Dipôle passif linéaire: conducteur ohmique

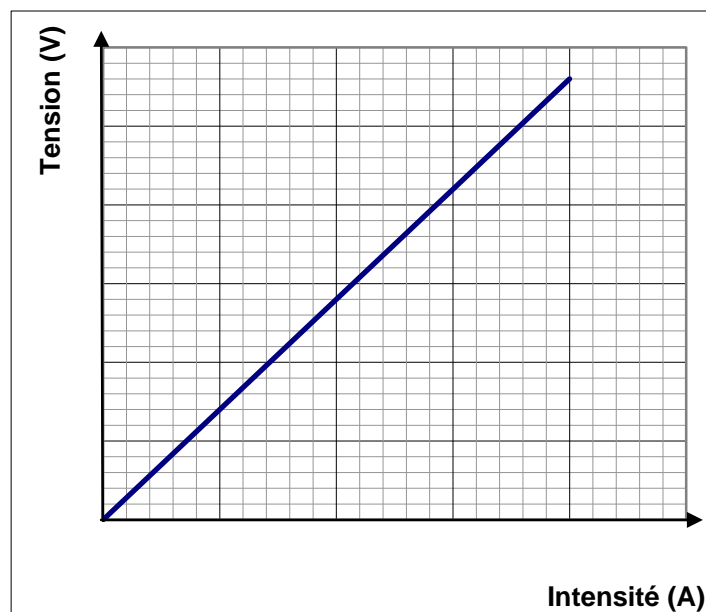
### 1. ÉTUDE EXPERIMENTALE:

On réalise le montage ci-contre:



On fait varier la tension aux bornes du générateur et pour chaque valeur de la tension  $U$  aux bornes du conducteur ohmique, on relève l'intensité  $I$  du courant électrique qui le traverse.

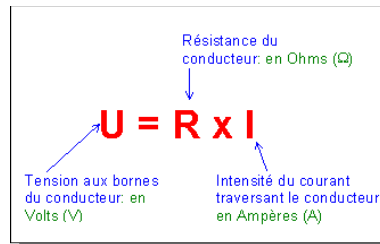
On trace le graphe  $U=f(I)$



Le graphe obtenu est linéaire: La tension aux bornes d'un conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse.

### 2. LOI D'OHM

La caractéristique  $U=f(I)$  d'un conducteur ohmique est **symétrique et linéaire**. Cette caractéristique passe par l'origine. On peut donc poser:

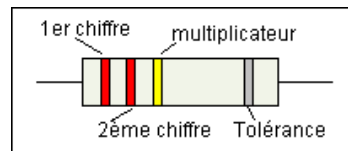


Le coefficient de proportionnalité  $R$  (qui est aussi le coefficient directeur de la caractéristique) est appelé **résistance du conducteur ohmique**.

**La tension  $U$  aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance  $R$  est égale au produit de la résistance  $R$  par l'intensité  $I$  du courant qui le traverse.**

### 3. LE CODE DES COULEURS:

Le marquage des résistances utilise le code international des couleurs:



Chiffre	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Or	Argent
Multiplicateur	1	10	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$					
Précision	20%										5%	10%

Exemple:

La résistance ci-dessus a une valeur de  $22 \cdot 10^4 \Omega$  soit  $220 \text{ k}\Omega$  avec une tolérance de 10%. Sa valeur est donc comprise entre  $198 \text{ k}\Omega$  et  $242 \text{ k}\Omega$ .

### 4. CARACTERISTIQUE TENSION-INTENSITE

$U=RI \Rightarrow I = \frac{U}{R} = \frac{1}{R} \times U$ . On pose  $\frac{1}{R} = G$  (conductance = inverse de la résistance)

$$I=GU \text{ avec } G = \frac{1}{R} \quad (\Omega^{-1} = \text{siemens (S)})$$

$I=f(U)$  est une droite de pente  $G$

### 5. RESISTANCE D'UN CONDUCTEUR FILIFORME

Soit une tige de section  $S$  et de longueur  $\ell$  :





La résistance d'une tige conductrice ohmique est donnée par :  $R = \rho \frac{l}{S}$

$\rho$ : résistivité ( $\Omega/m$ );  $l$ : longueur de la tige (m) et  $S$ : section de la tige ( $m^2$ )= $\pi r^2$

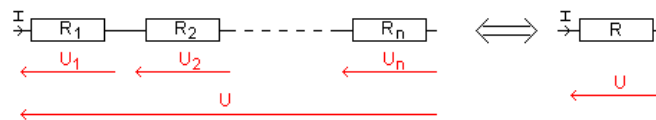
Remarque: la résistivité ne dépend que de la nature du conducteur:

$$\rho_{\text{cuivre}} = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega m; \rho_{\text{Fer}} = 9,6 \cdot 10^{-8} \Omega m$$

## 6. ASSOCIATION DE CONDUCTEURS OHMIQUES

### a) Association de conducteurs ohmiques en série

Problème: Quelle est la résistance équivalente à n conducteurs ohmiques branchés en série.



D'après la loi d'additivité des tensions,

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \Rightarrow R \cdot I = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + \dots + R_n \cdot I$$

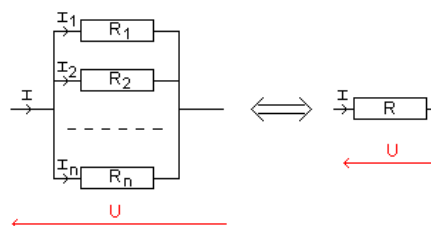
$$\Rightarrow \boxed{R = R_1 + R_2 + \dots + R_n}$$

**La résistance équivalente à n conducteurs ohmiques branchés en série est égale à la somme des résistances de ces conducteurs ohmiques.**

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \text{ donc } R \geq R_i \forall i$$

### b) Association de conducteurs ohmiques en dérivation

Problème: Quelle est la résistance équivalente à n conducteurs ohmiques branchés en dérivation.



D'après la loi des nœuds,

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \Rightarrow \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

ou  $G = G_1 + G_2 + \dots + G_n$

$$G = \sum_{i=1}^n G_i \text{ ou } \frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \text{ donc } R \leq R_i \forall i$$

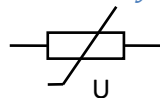
### III. Dipôles passifs non linéaires

#### 1. VARISTANCE (VDR OU RDT)

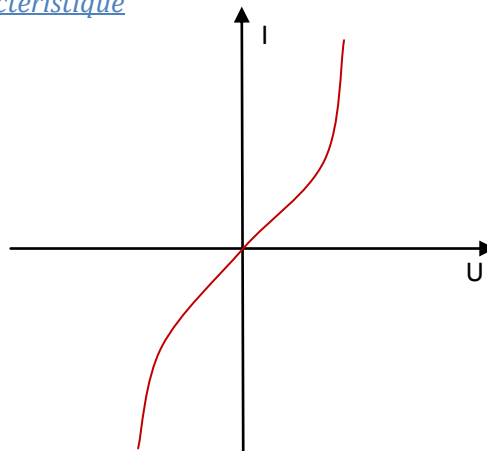
VDR: voltage dependant resistor

RDT: résistance dépendant de la tension

##### a) Représentation symbolique



##### b) Caractéristique



La caractéristique d'une varistance est symétrique par rapport au point O et elle n'est pas linéaire. Les bornes d'une varistance sont identiques: elle laisse passer le courant dans les deux sens.

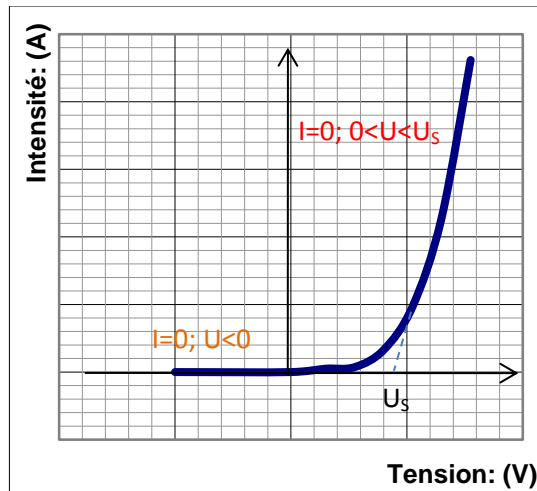
#### 2. DIODE A JONCTION

Il existe des diodes à silicium (Si) et des diodes à germanium (Ge)

##### a) Représentation symbolique



##### b) Caractéristique



La diode à jonction est passive, dissymétrique et non linéaire.

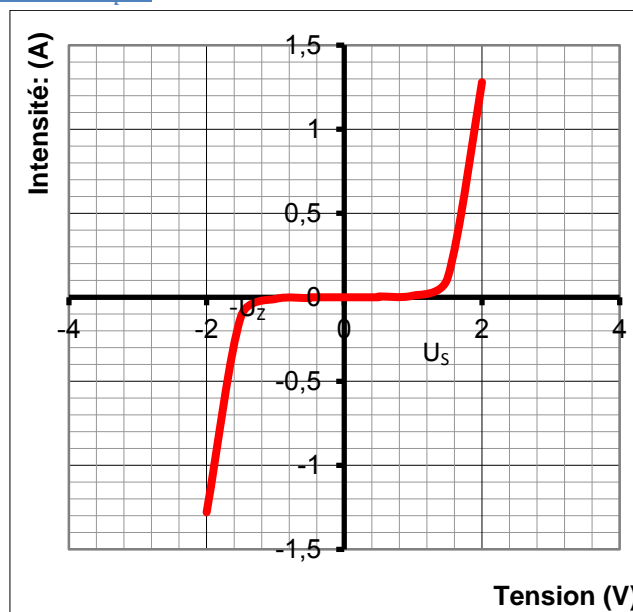
- $U \leq 0$ , la diode est polarisée en sens inverse, elle n'est pas conductrice. Elle est équivalente à un interrupteur ouvert.
- $0 < U < U_s$ ;  $i = 0$  la diode n'est pas conductrice.
- $U > U_s$ ;  $i > 0$  la diode est polarisée dans le sens direct, elle est conductrice.

### 3. DIODE ZENER

#### a) Représentation symbolique



#### b) Caractéristique



- La diode Zéner est passive, dissymétrique et non linéaire.
- Pour  $-U_z < U < U_s$  la diode n'est pas conductrice
- Pour  $U \leq -U_z$  et  $U \geq U_s$  la diode est conductrice.

# Dipôles actifs

## I. Généralités

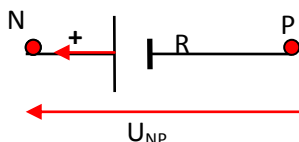
### 1. DEFINITION

Un dipôle actif est un dipôle qui présente une tension non nulle lorsqu'il est branché seul à un voltmètre. Cette tension est appelée tension à vide.

Remarque: pour qu'un circuit fermé soit parcouru par un courant, il faut comporter au moins un dipôle actif, encore appelé générateur.

### 2. CONVENTION GENERATEUR

On étudie les dipôles actifs avec la convention générateur.



$U_{PN} > 0$  et  $i > 0$

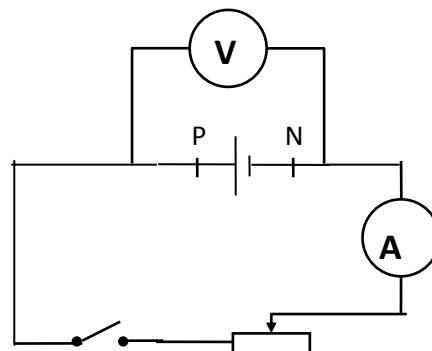
Dans la convention générateur, les flèches symbolisant l'intensité du courant et la tension aux bornes du générateur sont de même sens.

## II. Étude d'une pile

### 1. MONTAGE

Réalisons le montage ci-dessous.

Le montage permet de mesurer l'intensité  $I$  débité par le générateur (centre d'intérêt) et la tension  $U_{PN}$  à ses bornes. Fermons le circuit et relevons la valeur de la tension pour différentes valeurs de l'intensité (on varie l'intensité du courant en déplaçant le curseur du rhéostat).



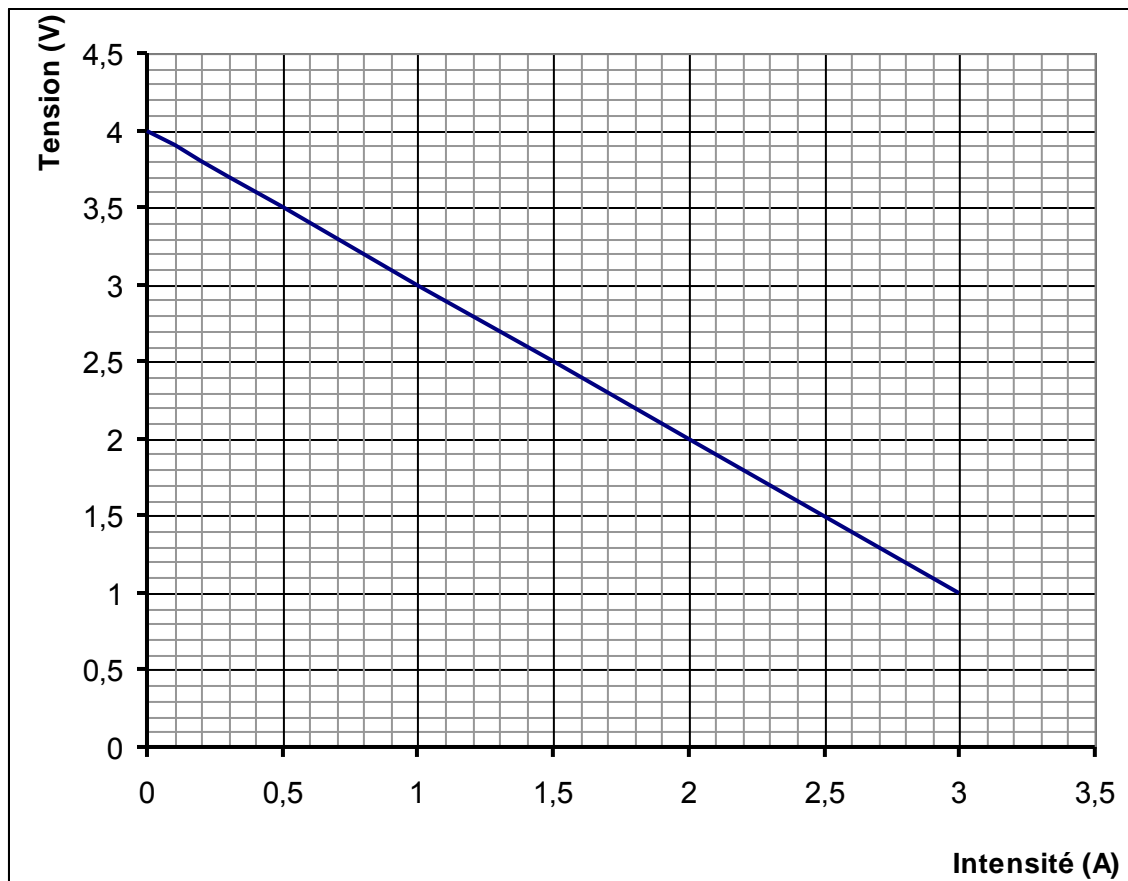
### 2. LES MESURES

Les résultats de la manipulation sont consignés dans le tableau ci-contre.

I(A)	0	0,1	0,2	0,3	0,5	1	1,5	2	3
U(V)	4	3,9	3,8	3,7	3,5	3	2,5	2	1

### 3. CARACTERISTIQUE INTENSITE- TENSION

La caractéristique intensité- tension est la représentation graphique  $U = f(I)$ .



Cette caractéristique est une droite de coefficient directeur négatif. On écrit son équation sous la forme  $U_{PN} = E - rI$  où  $E$  et  $r$  sont des constantes positives.

- il apparaît que si l'on fait  $I = 0$ , on obtient  $U_{PN} = E$ .  $E$  est la tension de la pile en circuit ouvert (tension à vide de la pile), on l'appelle aussi **force électromotrice** de la pile ou f.é.m. et elle s'exprime en volts. D'après la pile étudiée ici,  $E = 4 \text{ V}$
- $r$  est l'opposé du coefficient directeur de la caractéristique. On l'appelle **résistance interne** de la pile. Pour la pile étudiée ici, on obtient:  $-r = \frac{\Delta U_{PN}}{\Delta I} = 1 \text{ unité SI}$ .
- $r$  étant le quotient d'une tension par l'intensité, il s'exprime en ohms  $\Omega$  (comparer à la loi d'ohm pour un conducteur ohmique  $R = \frac{U}{I}$ ).
- la loi d'ohm pour un générateur est la relation entre la tension  $U_{PN}$  aux bornes de la pile et l'intensité  $I$  du courant qu'elle débite.

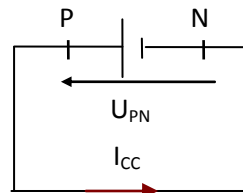
$$U_{PN} = E - rI \quad \left\{ \begin{array}{l} U_{PN} : \text{tension (V)} \\ E : \text{f.é.m. (V)} \\ r : \text{résistance interne } (\Omega) \\ I : \text{intensité (A)} \end{array} \right.$$

Remarque: Une pile peut être symbolisée par ses caractéristiques c'est-à-dire par le couple de valeurs (E, r).

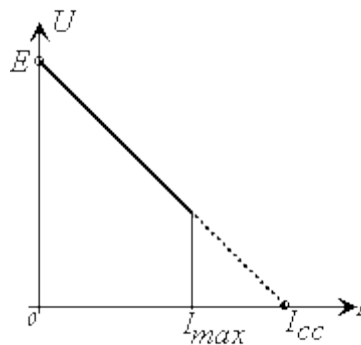
#### 4. INTENSITE DE COURT-CIRCUIT

On met un générateur en court-circuit en reliant ses deux pôles par un fil métallique. Soit  $I_{CC}$  le courant de court-circuit.

$$\text{Si } U_{PN} = 0 \Rightarrow E - rI_{CC} = 0 \Rightarrow I_{CC} = \frac{E}{r}.$$



Dans le cas de notre exemple:  $I_{CC} = \frac{4}{1} = 4$  A. Ce courant est intense et peut détériorer le générateur.



Remarque: dans la pratique, il ne faut jamais court-circuiter un générateur.

#### 5. EXERCICE D'APPLICATION

Soit une pile de f.é.m.  $E = 1,5$  V. on mesure la tension à ses bornes  $U_{PN} = 1,2$  V quand elle débite un courant d'intensité  $I = 600$  mA.

- 1) déterminer la résistance interne  $r$
- 2) quelle est son intensité de court-circuit  $I_{CC}$ .

Solution:

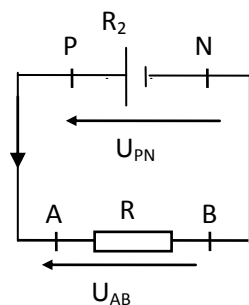
$$1) \quad U_{PN} = E - rI \Rightarrow r = \frac{(E - U_{PN})}{I} = \frac{(1,5 - 1,2)V}{0,6A} = \frac{0,3V}{0,6A} = 0,5 \Omega.$$

$$2) \quad I_{CC} = E/r = \frac{1,5V}{0,5\Omega} = 3 \text{ A}$$

### III. Loi de Pouillet

#### 1. Expression

$$\begin{cases} U_{PN} = E - rI \\ U_{AB} = RI \end{cases} \Rightarrow E - rI = RI \Rightarrow I = \frac{E}{R+r}$$



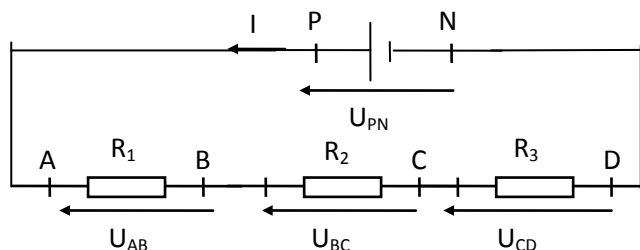
Dans un circuit sans dérivation, on obtient l'intensité du courant en divisant la f.é.m. du générateur par la somme des résistances.

$$I = \frac{E}{\sum R}$$

#### 2. APPLICATION

Soit le circuit suivant,  $R_1 = 5\Omega$ ,  $R_2 = 10\Omega$  et  $R_3 = 15\Omega$  contenant un générateur dont les paramètres sont  $E = 20\text{ V}$  et  $r = 2\Omega$ .

Calculer l'intensité du courant débité par le générateur.



Solution:

$U_{PN} = E - rI \Rightarrow$  loi d'ohm pour un générateur

$U_{AB} = R_1I$ ;  $U_{BC} = R_2I$  et  $U_{CD} = R_3I$  loi d'ohm pour un conducteur ohmique.

Nous avons:

$$\begin{aligned} U_{AB} &= U_{AD} \\ &= U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} \\ E - rI &= R_1I + R_2I + R_3I \\ E &= rI + R_1I + R_2I + R_3I \\ E &= (r + R_1 + R_2 + R_3)I \\ I &= \frac{E}{r + R_1 + R_2 + R_3} \end{aligned}$$

$$I = \frac{20}{2 + 5 + 10 + 15} = \frac{5}{8} \text{ A}$$

#### IV. Autres types de générateurs

##### 1. ACCUMULATEURS

La batterie d'une voiture est un "accumulateur au plomb". C'est un dispositif capable de débiter un courant de décharge pendant une durée importante, de l'ordre de l'heure ou de centaines d'heures.

La capacité d'un accumulateur est la quantité d'électricité qu'il peut restituer à la décharge. Elle s'exprime en ampère-heure (A.h). Elle est de l'ordre de 10 A.h/kg d'accumulateur.

##### 2. ALTERNATEURS

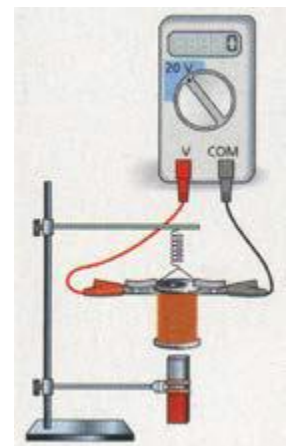
##### 3. PHOTOPILES

Elle est constituée à partir de matériaux semi-conducteurs avec lesquels on réalise une diode de jonction PN. Lorsque la jonction est éclairée, les porteurs de charges deviennent mobiles et sont entraînés à l'extérieur du circuit.

Quelles que soient les dimensions de la pile, la tension reste comprise pour les faibles courants entre 0,55 et 0,6V.

L'utilisation des photopiles reste encore limitée. Elle est possible naturellement dans les endroits ensoleillés mais la surface à prévoir et le prix de revient élevé reste encore dissuasifs.

En revanche, dans les satellites artificiels, c'est un générateur électrique de choix.



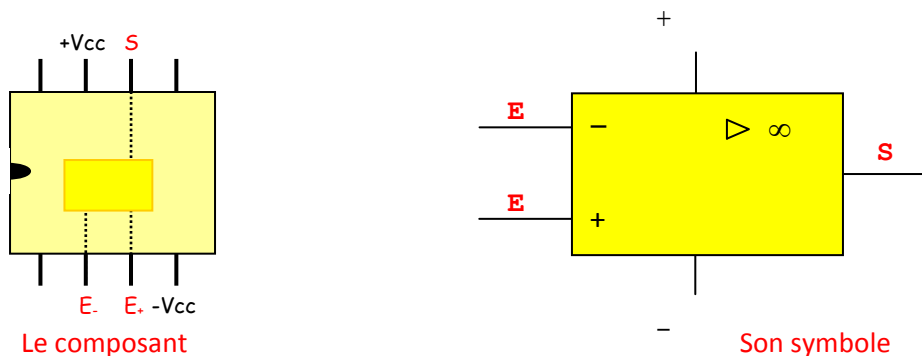


# Amplificateur opérationnel

## I. Généralités

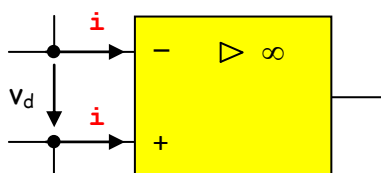
### 1. PRESENTATION :

L'amplificateur opérationnel est un circuit intégré. Il est composé de différents éléments parmi lesquels des transistors, des diodes ou des résistances. Il possède deux entrées, une sortie et deux bornes nécessaires à son alimentation.



- +Vcc et -Vcc correspondent aux deux tensions d'alimentation de l'amplificateur opérationnel, elles ne sont généralement pas représentées. Dans tout le cours qui suit, +Vcc sera égale à +15V, et -Vcc sera égale à -15 V.
- E+ est l'entrée non inverseuse, une tension appliquée à cette borne donne une tension de sortie de même signe, ou en phase si la tension est alternative.
- E- est l'entrée inverseuse, une tension appliquée à cette borne donne une tension de sortie de signe contraire, ou en opposition de phase si la tension est alternative.
- S est la sortie, elle donne une tension proportionnelle à la différence de potentiel entre les deux entrées.

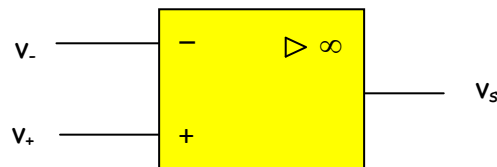
### 2. PROPRIETES :



- L'amplification différentielle propre, dite en boucle ouverte, est très élevée, de l'ordre de  $10^5$ . La tension à la sortie donne une tension proportionnelle à la différence de potentiel entre les deux entrées, cependant, en aucun cas elle ne peut être supérieure aux valeurs absolues des différentes tensions d'alimentation du composant. Elle est donc comprise entre +15 V et -15 V.

- L'impédance d'entrée est très grande, les intensités des courants d'entrées  $i^+$  et  $i^-$ , sont très faibles, de l'ordre du pico ampère.
- L'impédance de sortie est très faible, l'intensité du courant de sortie ne peut dépasser quelques dizaines de milliampères, il est donc conseillé de ne pas utiliser une charge trop faible en sortie de l'amplificateur opérationnel.

Soit ce montage suivant :

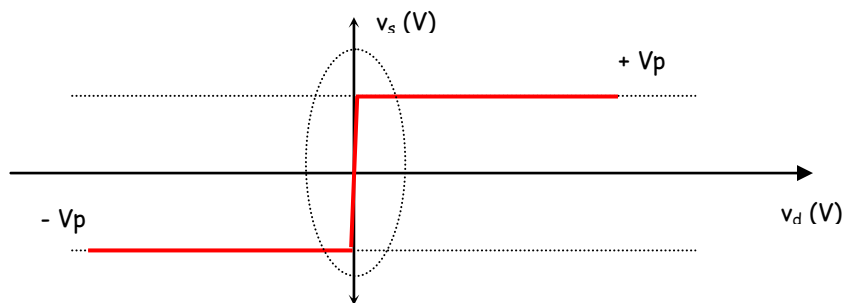


Le potentiel sur la borne inverseuse est égal à  $v^-$ .

Le potentiel sur la borne non inverseuse est égal à :  $v^+$ .

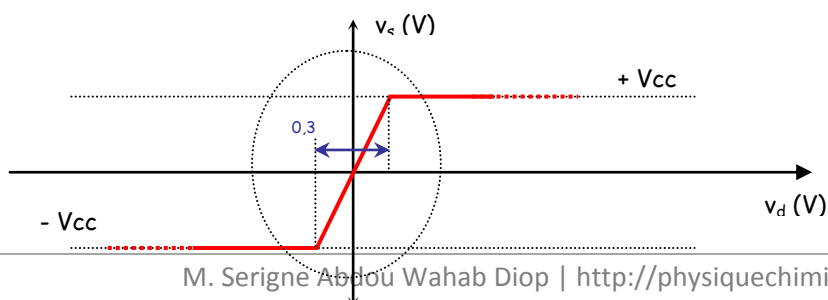
La différence de potentiel,  $v_d$  entre  $v^+$  et  $v^-$  est de la forme :  $v_d = v^+ - v^-$ .

La valeur de la tension à la sortie de l'amplificateur opérationnel dépend de la valeur de la différence de potentiel entre  $v^+$  et  $v^-$ , soit  $v_d$ .



Deux parties sont à étudier :

- Lorsque la tension à la sortie est égale soit à  $+V_p$ , soit à  $-V_p$ , l'amplificateur travaille en régime non linéaire, ou, régime de saturation. La valeur absolue de la tension  $V_p$  est légèrement inférieure à la tension  $V_{cc}$ .
- Sur un intervalle très restreint, la tension de sortie est proportionnelle à la différence :  $v_d = v^+ - v^-$ . Cet intervalle correspond à un régime linéaire, un zoom sur cette partie permet de visualiser ce fonctionnement.



M. Serigne Abdou Wahab Diop | <http://physiquechimie.sharepoint.com>

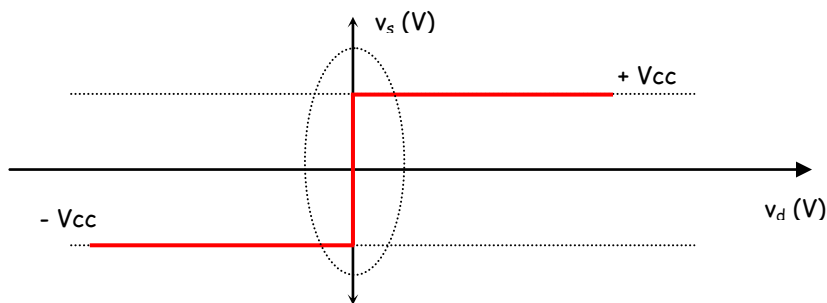
### 3. IDEALISATION DE L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL :

- L'impédance d'entrée est très grande, nous dirons même que celle-ci est infinie pour simplifier l'étude de ce composant. De ce fait, les intensités des courants d'entrées  $i^+$  et  $i^-$ , sont considérées comme nulles dans tous les cas et dans tous les montages proposés, ceci quel que soit le fonctionnement de l'amplificateur opérationnel.

**Dans tous les cas, pour un amplificateur idéal :**

$$i^+ \text{ et } i^- = 0 \text{ A}$$

La caractéristique de sortie  $v_s$  en fonction de la différence des deux tensions d'entrée sera idéalisée comme suit :



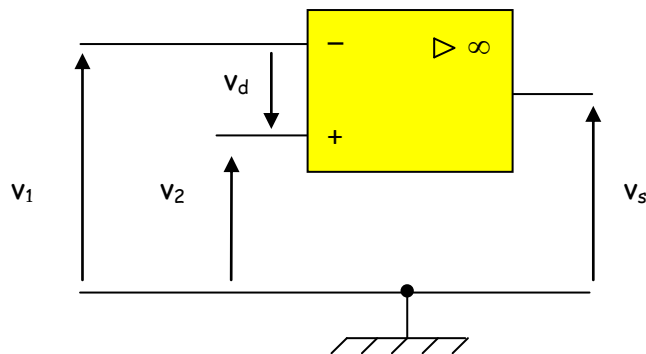
- La tension de sortie de l'amplificateur opérationnel ne peut prendre que deux valeurs avec un fonctionnement en régime non linéaire, ces deux valeurs sont les tensions d'alimentation  $+V_{cc}$  ou  $-V_{cc}$ , nous considérons ainsi que l'amplificateur ne subit aucune perte.

**Dans tous les cas d'un fonctionnement non linéaire pour un amplificateur idéal :**

$$\begin{cases} v_s = +V_{cc} & \text{pour } v_D > 0 \text{ V} \\ v_s = -V_{cc} & \text{pour } v_D < 0 \text{ V} \end{cases}$$

## II. Montages électroniques

### 1. MONTAGE EN COMPAREUR :



M. Serigne Abdou Wahab Diop | <http://physiquechimie.sharepoint.com>

Pour un fonctionnement en comparateur :

Si	$v_1 < v_2$	Alors	$v_d > 0 V$	Donc	$v_s = +$
$V_{cc}$					
Si	$v_1 > v_2$	Alors	$v_d < 0 V$	Donc	$v_s = -$
$V_{cc}$					

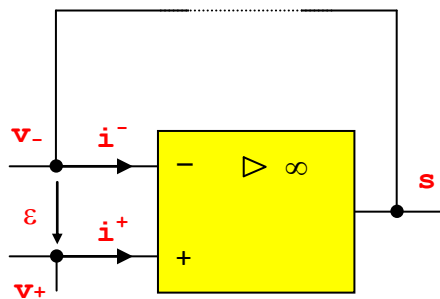
Ce montage est utile pour comparer entre elles deux tensions, ou une tension inconnue à une tension de référence.

## 2. MONTAGES EN FONCTIONNEMENT LINEAIRE :

Il est possible de réduire l'amplification différentielle afin que le fonctionnement de l'amplificateur opérationnel se situe dans la zone où la tension de sortie est comprise entre les deux tensions d'alimentation, autrement dit que  $v_d$  la différence entre les potentiels  $v^+$  et  $v^-$ , soit pratiquement nulle.

Pour cela il convient de relier la sortie avec l'entrée inverseuse, cette liaison est parfois nommée contre réaction négative ou boucle de réaction négative, on réinjecte une partie de la tension de sortie sur l'entrée inverseuse.

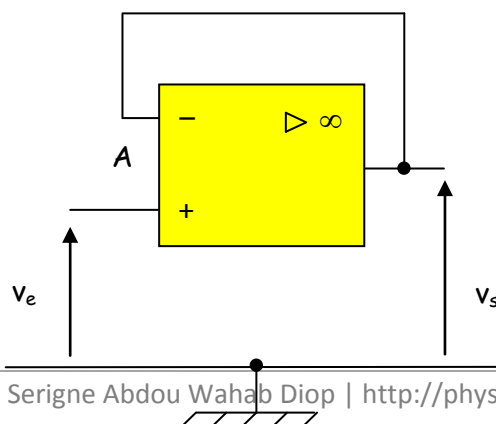
Dans ce type de fonctionnement la tension  $v_d = v^+ - v^-$  est appelée  $\varepsilon$ .



Dans tous les cas d'un fonctionnement linéaire :  $\varepsilon = v^+ - v^- = 0 V$

### a) Montage suiveur :

Soit le montage suivant :



M. Serigne Abdou Wahab Diop | <http://physiquechimie.sharepoint.com>

La tension appliquée sur l'entrée non inverseuse est  $v_e$ .

Il y a une liaison entre E-, l'entrée inverseuse et S la sortie, le fonctionnement est donc linéaire.

Le fonctionnement étant linéaire  $\varepsilon = 0$  V,  $V_A$ , le potentiel en A est égal à  $v_e$ .

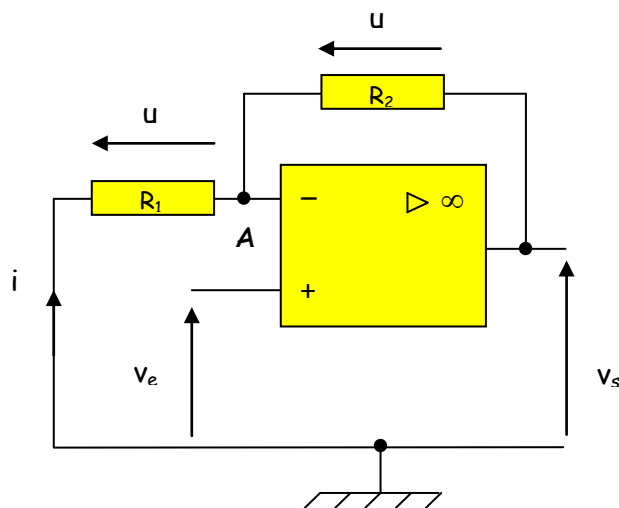
Il n'y a aucun élément entre A et la sortie donc  $v_s = v_A = v_e$ .

$$v_s = v_e$$

Avec ce montage, le signal d'entrée est intégralement restitué à la sortie, cependant il présente une résistance d'entrée pratiquement infinie, il est utilisé comme adaptateur d'impédance.

### b) Montage amplificateur non inverseur :

Soit le montage suivant :



La tension appliquée sur l'entrée non inverseuse est  $v_e$ .

- Étude N° 1 :

Appliquons le théorème de Millman au point A :

$$v_A = \frac{\frac{0}{R_1} + \frac{v_s}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_s$$

- Étude N° 2 :

L'intensité du courant  $i$ , dans  $R_1$ , est la même dans  $R_2$ , car le courant  $i$  - est nul.

La tension aux bornes de la résistance  $R_1$  peut s'exprimer comme suit :

$$u_1 = v_{\text{masse}} - v_A = R_1 \cdot i \quad \text{donc : } i = -\frac{v_A}{R_1} \quad (1)$$

La tension aux bornes de la résistance  $R_2$  peut s'exprimer comme suit :

$$u_2 = v_A - v_S = R_2 \cdot i \quad \text{donc : } i = \frac{v_A - v_S}{R_2} \quad (2)$$

En égalisant les équations (1) et (2) :

$$v_A = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_S$$

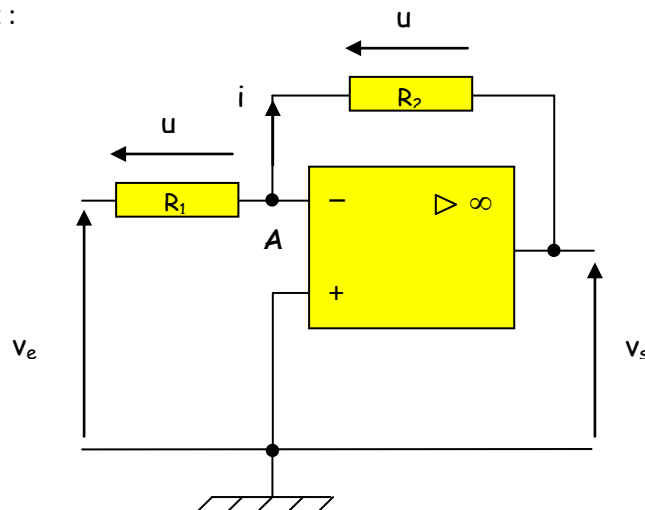
Il y a une liaison entre E-, l'entrée inverseuse et S la sortie, le fonctionnement est linéaire,  $\varepsilon = 0$  V, donc  $v_A$ , le potentiel en A est égal à  $v_e$ .

L'amplification en tension est donc de la forme :

$$A_v = \frac{v_S}{v_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

### c) Montage amplificateur inverseur :

Soit le montage suivant :



L'entrée non inverseuse est reliée à la masse donc le potentiel de  $V+$  est égal à 0 V.

- Étude N° 1 :

Appliquons le théorème de Millman au point A :

$$v_A = \frac{\frac{v_e}{R_1} + \frac{v_S}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \quad (1)$$

Il y a une liaison entre E-, l'entrée inverseuse et S la sortie, le fonctionnement est linéaire,  $\varepsilon = 0$  V donc  $v_A$ , le potentiel en A est égal à 0 V.

M. Serigne Abdou Wahab Diop | <http://physiquechimie.sharepoint.com>

Le numérateur de l'équation (1) est nul, l'amplification en tension est donc :

$$A_v = \frac{v_s}{v_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

• Étude N° 2 :

L'intensité du courant  $i$ , dans  $R_1$ , est la même dans  $R_2$ , car le courant  $i -$  est nul.

La tension aux bornes de la résistance  $R_1$  peut s'exprimer comme suit :

$$u_1 = v_e - v_A = R_1 \cdot i \quad \text{donc : } i = \frac{v_e - v_A}{R_1} \quad (2)$$

La tension aux bornes de la résistance  $R_2$  peut s'exprimer comme suit :

$$u_2 = v_A - v_s = R_2 \cdot i \quad \text{donc : } i = \frac{v_A - v_s}{R_2} \quad (3)$$

Il y a une liaison entre  $E-$ , l'entrée inverseuse et  $S$  la sortie, le fonctionnement est linéaire,  $v_A = 0$  donc  $v_A$ , le potentiel en  $A$  est égal à  $0$  V.

L'équation (2) devient : 
$$i = \frac{v_e}{R_1}$$

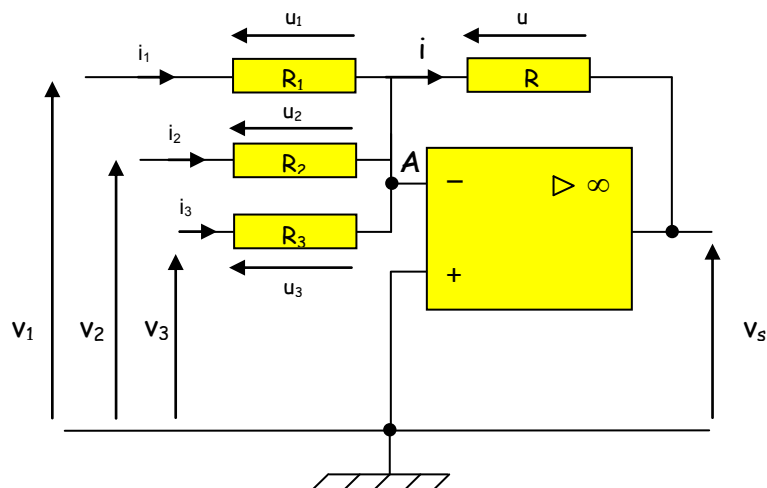
L'équation (3) devient : 
$$i = -\frac{v_s}{R_2}$$

En égalisant les deux équations :

$$A_v = \frac{v_s}{v_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

d) Montage sommateur inverseur :

Soit le montage suivant :



M. Serigne Abdou Wahab Diop | <http://physiquechimie.sharepoint.com>

L'entrée non inverseuse est reliée à la masse donc le potentiel de  $V_+$  est égal à 0 V.

- Étude N° 1 :

Appliquons le théorème de Millman au point A :

$$v_A = \frac{\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} + \frac{v_S}{R}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R}} \quad (1)$$

Il y a une liaison entre E-, l'entrée inverseuse et S la sortie, le fonctionnement est linéaire,  $\varnothing = 0$  V donc  $V_A$ , le potentiel en A est égal à 0 V.

Le numérateur de l'équation (1) est nul, ainsi :

$$v_S = -R \left( \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} \right)$$

Si toutes les résistances ont la même valeur :

$$v_S = -(v_1 + v_2 + v_3)$$

- Étude N° 2 :

La tension aux bornes de la résistance  $R_1$  peut s'exprimer comme suit :

$$u_1 = v_1 - v_A = R_1 \cdot i_1 \quad \text{donc : } i_1 = \frac{v_1 - v_A}{R_1} \quad (1)$$

La tension aux bornes de la résistance  $R_2$  peut s'exprimer comme suit :

$$u_2 = v_2 - v_A = R_2 \cdot i_2 \quad \text{donc : } i_2 = \frac{v_2 - v_A}{R_2} \quad (2)$$

La tension aux bornes de la résistance  $R_3$  peut s'exprimer comme suit :

$$u_3 = v_3 - v_A = R_3 \cdot i_3 \quad \text{donc : } i_3 = \frac{v_3 - v_A}{R_3} \quad (3)$$

La tension aux bornes de la résistance R peut s'exprimer comme suit :

$$u = v_A - v_S = R \cdot i \quad \text{donc : } i = \frac{v_A - v_S}{R} \quad (4)$$

Il y a une liaison entre E-, l'entrée inverseuse et S la sortie, le fonctionnement est linéaire,  $\varnothing = 0$  V donc  $V_A$ , le potentiel en A est égal à 0.



L'équation (1) devient :  $i_1 = \frac{v_1}{R_1}$

L'équation (2) devient :  $i_2 = \frac{v_2}{R_2}$

L'équation (3) devient :  $i_3 = \frac{v_3}{R_3}$

L'équation (4) devient :  $i = -\frac{v_s}{R}$

La loi des noeuds nous dit que :  $i = i_1 + i_2 + i_3$  sachant que  $i = 0$  A

Donc :

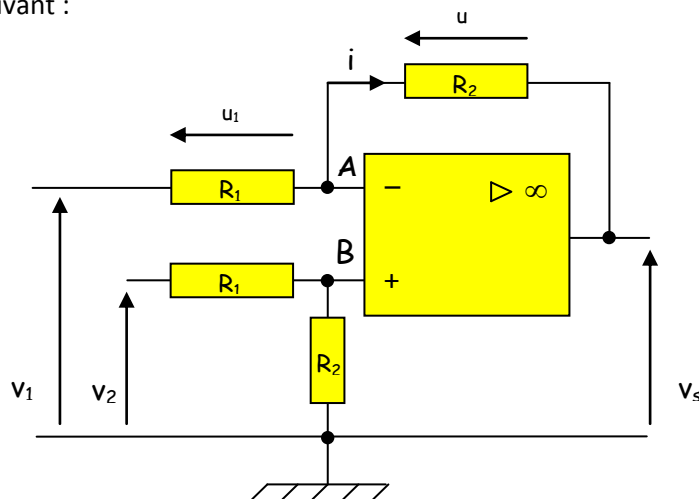
$$v_s = -R \left( \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} \right)$$

Si toutes les résistances ont la même valeur :

$$v_s = -(v_1 + v_2 + v_3)$$

### e) Montage amplificateur de différence :

Soit le montage suivant :



### Étude de l'entrée non inverseuse :

L'intensité du courant dans la résistance  $R_1$  est la même que dans la résistance  $R_2$  car l'intensité du courant  $i_+$  est nulle. Nous pouvons donc utiliser le pont diviseur de tension, ainsi :

$$v_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_2 \quad (1)$$

### Étude de l'entrée inverseuse :

- Étude N° 1 :

Appliquons le théorème de Millman au point A :

$$v_A = \frac{\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_S}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_2 v_1 + R_1 v_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

- Étude N° 2 :

L'intensité du courant  $i$ , dans  $R_1$ , est la même dans  $R_2$ , car le courant  $i$  - est nul.

La tension aux bornes de la résistance  $R_1$  peut s'exprimer comme suit :

$$u_1 = v_1 - v_A = R_1 \cdot i \quad \text{donc : } i = \frac{v_1 - v_A}{R_1} \quad (3)$$

La tension aux bornes de la résistance  $R_2$  peut s'exprimer comme suit :

$$u_2 = v_A - v_S = R_2 \cdot i \quad \text{donc : } i = \frac{v_A - v_S}{R_2} \quad (4)$$

En égalisant les équations (3) et (4) Le potentiel au point A peut s'exprimer comme suit :

$$v_A = \frac{R_2 v_1 + R_1 v_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

Il y a une liaison entre E-, l'entrée inverseuse et S la sortie, le fonctionnement est linéaire,  $\varepsilon = 0$  V  
donc :  $v_A = v_B$

Égalisons les équations (1) et (2) :

$$v_S = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$$

# Propagation rectiligne de la lumière

## I. Sources et récepteurs de lumières

### 1. Sources lumineuses

On appelle source lumineuse un corps ou un dispositif qui émet de la lumière. On distingue deux types de sources:

- sources primaires ou réelles: ce sont des sources qui produisent elles-mêmes la lumière qu'elles émettent. Exemples: bougie, lampe incandescente ...
- sources secondaires ou apparentes: Ce sont des sources lumineuses qui ne produisent pas de la lumière, elles ne font que diffuser les rayons reçus d'autres sources lumineuses, c'est-à-dire qu'elles renvoient les rayons dans toutes les directions. . Exemples: lune, planète...

Une source de lumière peut être naturelle (exemples: le soleil, les étoiles, la lave, luciole...) ou artificielle (exemples: lampe électrique, le laser...).

### 2. Récepteur de lumière

Si cet objet réagit à la lumière, on dit que c'est un récepteur de lumière (œil, film, cellule, peau, photoélectrique).

### 3. Classification des milieux matériels

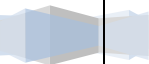
On distingue entre:

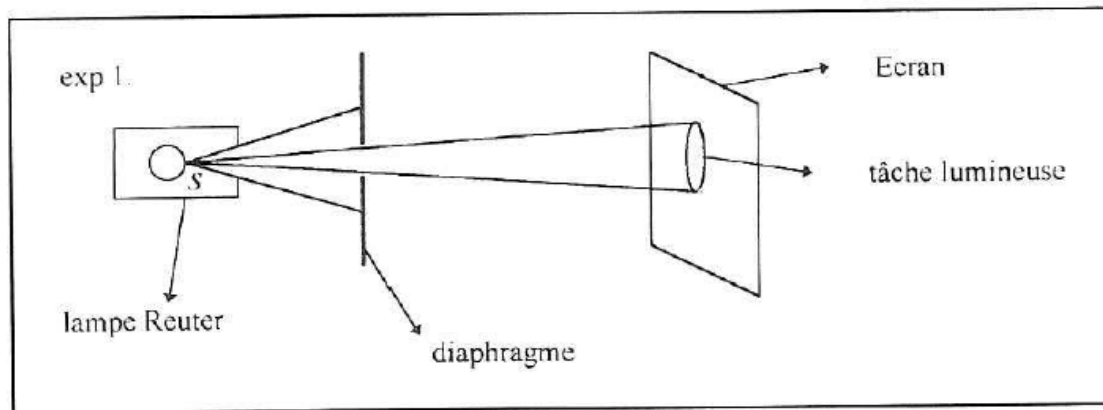
- Les milieux transparents: ils se laissent parfaitement traverser par la lumière et permettent de percevoir à travers eux nettement des objets placés derrière.  
Exemples: l'air, le verre, l'eau, la cellophane, etc.
- Les milieux translucides: ils se laissent traverser par la lumière en l'absorbant partiellement et ne permettent pas de percevoir nettement les objets (sinon seulement les contours).  
Exemples: le verre dépoli, le papier huilé, la porcelaine mince, etc.
- Les milieux opaques: ils arrêtent totalement la lumière.  
Exemples: le bois, la pierre, les métaux, etc.

Remarque: la transparence et l'opacité sont toutefois des propriétés relatives qui dépendent de l'épaisseur des milieux traversés. Ainsi par exemple une feuille d'or très mince quelques micromètre) devient translucide; d'autre part, l'eau sous une épaisseur de quelques dizaines de mètres, devient opaque.

## II. Propagation rectiligne de la lumière

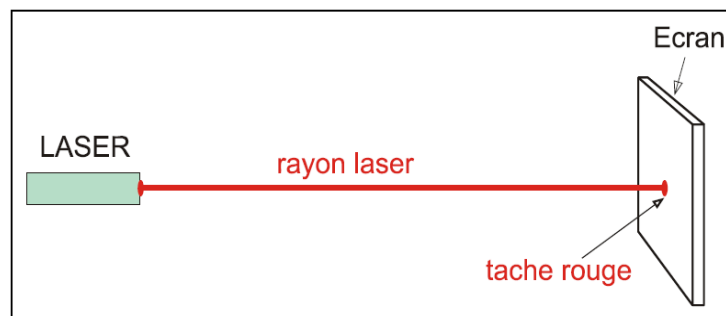
### 1. Expérience 1





Observation: la tâche lumineuse observée sur l'écran est nettement limitée et correspond à la section par l'écran du cône ayant pour sommet S et s'appuyant sur les contours du diaphragme.

## 2. Expérience 2



Remarque: le pinceau de lumière est rendu visible avec l'aide de la fumée d'une cigarette.

## 3. Conclusion

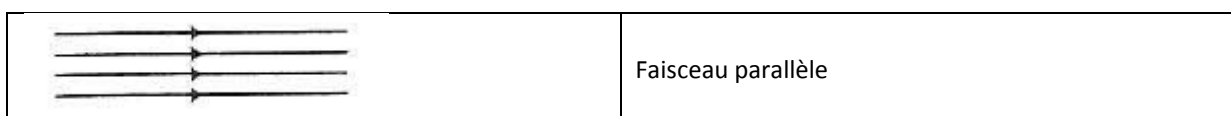
Principe: dans un milieu transparent, homogène (qui a les mêmes propriétés en tous ses points) et isotrope (qui a les mêmes propriétés dans toutes les directions), la lumière se propage en ligne droite.



Remarque: La formation des ombres est une conséquence immédiate de la propagation rectiligne de la lumière.

## 4. Rayon et faisceau lumineux

La direction suivant laquelle se propage la lumière s'appelle rayon lumineux. Un tel rayon n'a cependant pas d'existence physique réelle (il ne peut pas être isolé). En réalité on dispose de faisceaux lumineux qui sont considérés comme un ensemble de rayons lumineux.

Remarque: Les rayons lumineux sont représentés par des droites fléchées



	Faisceau convergent (tous les rayons qui le composent se dirigent vers un point; le faisceau se resserre)
	Faisceau divergent (tous les rayons qui le composent viennent d'un même point; le faisceau s'élargit)

Remarque: on appelle pinceau lumineux un faisceau étroit.

### 5. Vitesse de la lumière

### 6. Année lumière

## III. Ombres et pénombres

## IV. Applications

Objectifs d'apprentissage	Contenus	Activités d'apprentissage
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distinguer une source primaire (réelle) d'une source secondaire (apparente)</li> <li>- Distinguer les sources des récepteurs de lumière.</li> <li>- Identifier expérimentalement des milieux transparents, translucides et opaques.</li> <li>- Restituer le principe de la propagation de la lumière.</li> <li>- Mettre en évidence la propagation rectiligne de la lumière.</li> <li>- Expliquer la formation des ombres et des pénombres.</li> <li>- Déterminer la hauteur d'un objet par visée.</li> <li>- Expliquer le phénomène d'éclipse.</li> </ul>	<p><b>Sources et récepteurs de lumières :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Types de sources</li> <li>- Récepteurs de lumière.</li> </ul> <p><b>Propagation rectiligne de la lumière</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Faisceaux lumineux (convergent, divergent, cylindrique)</li> <li>- Rayon lumineux</li> <li>- Milieu homogène</li> <li>- Milieu transparent, translucide, opaque</li> <li>- Vitesse ou célérité de la lumière</li> <li>- Année lumière</li> </ul> <p><b>Ombres et pénombres</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ombre propre et ombre portée</li> <li>- Pénombre propre et pénombre portée</li> </ul> <p><b>Applications</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Visée</li> <li>- Chambre noire</li> <li>- Eclipses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observations et utilisation de sources lumineuses.</li> <li>- Expériences : utilisation du "Kitoptic", utilisation du banc d'optique.</li> <li>- Visualisation sur un écran de l'ombre portée et de la pénombre portée d'un objet.</li> <li>- Réalisation de visées.</li> <li>- Confection d'une chambre noire.</li> </ul>