

Première Partie :
Interactions Mécaniques
Unité 1
5 H

التجاذب الكوني

la gravitation universelle



Tronc Commun
Physique - Mécanique

I – Echelle des longueurs :

1 – Ecriture Scientifique :

L'**écriture scientifique** d'un nombre s'écrit sous la forme :

$N = a \cdot 10^n$ tel que a est un nombre décimal ($1 \leq a < 10$)
et n est un nombre entier relatif.

$$10^0 = 1$$

$$10^n \cdot 10^m = 10^{n+m}$$

$$10^{-n} = \frac{1}{10^n}$$

$$\frac{10^n}{10^m} = 10^{n-m}$$

Exemples :

| Nombres | 258 | 49687 | 0,056 | 7,506 |
|-----------------------|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Ecriture Scientifique | $2,58 \cdot 10^2$ | $4,9687 \cdot 10^4$ | $5,6 \cdot 10^{-2}$ | $7,506 \cdot 10^0$ |

2 – Ordre de Grandeur :

L'**ordre de grandeur** d'un nombre est la puissance de 10 la plus proche de ce nombre. Dans l'**écriture scientifique** $N = a \cdot 10^n$:

- ⊕ si $a < 5$, on considère $a \approx 1$. Alors, l'**ordre de grandeur** de ce nombre est 10^n .
- ⊕ si $a \geq 5$, on considère $a \approx 10$. Alors, l'**ordre de grandeur** de ce nombre est 10^{n+1} .

Exemples :

| Nombres | 258 | 49687 | 0,056 | 7,506 |
|-------------------|--------|--------|-----------|-------|
| Ordre de Grandeur | 10^2 | 10^4 | 10^{-1} | 10 |

L'utilité de l'Ordre de Grandeur :

- ⊕ Déterminer la position de la distance sur l'échelle de longueurs et de la comparer avec d'autres distances.
- ⊕ Comparer deux distances différentes : où nous disons que deux distances se distinguent par une valeur de n Ordre de Grandeur si le quotient de la divisant de la plus grande distance par la plus petite distance est $a \cdot 10^n$.

| | |
|--------------------|---|
| Application | Comparer la distinction du diamètre d'une globule rouge $d_1 = 0,007 \text{ mm}$ avec le diamètre de la terre $d_2 = 12800 \text{ km}$ |
| Solution | On a $\frac{d_2}{d_1} = \frac{1,280 \cdot 10^7}{7 \cdot 10^{-6}} = 1,83 \cdot 10^{12}$ alors d_2 et d_1 se distinguent par une valeur de 12 Ordre de Grandeur |

3 – Les Chiffres Significatifs :

Les **Chiffres Significatifs** sont les chiffres qui forment le nombre a dans l'**écriture scientifique** $N = a \cdot 10^n$.

Echelle des longueurs سلم المسافات
Ecriture Scientifique كتابة علمية

nombre décimal عدد عشري
nombre entier relatif عدد صحيح نسبي

Chiffres Significatifs أرقام معبرة
Ordre de Grandeur رتبة قدر

Exemples :

| | | | | | |
|------------------------|-----|-------|-------|--------|-------|
| Nombres | 258 | 49687 | 0,056 | 0,0560 | 7,506 |
| Chiffres Significatifs | 3 | 5 | 2 | 3 | 4 |

Remarques :

⊕ Le nombre des **Chiffres Significatifs** est concerné la **précision de mesure**.

Par exemple : 2,30 est **plus précis** que 2,3 .

⊕ Pour la **multiplication et la division**, il faut **arrondir le résultat** afin qu'il contienne le même nombre des **Chiffres Significatifs** que le nombre qui en a le **moins** dans l'opération.

Par exemple : $1,2 \times 3,63 = 4,356$, s'écrit sous la forme $1,2 \times 3,63 \approx 4,4$.

$$\frac{55,8744}{6,2} = 9,012 \text{ , s'écrit sous la forme } \frac{55,8744}{6,2} \approx 9,0 \text{ .}$$

⊕ Pour l'**addition et la soustraction**, il faut **arrondir le résultat** afin qu'il contienne le même nombre des **Chiffres Significatifs Décimaux** que le nombre qui en a le **moins** dans l'opération.

Par exemple : $1,2 + 3,63 = 4,83$, s'écrit sous la forme $1,2 + 3,63 \approx 4,8$.

4 – L'échelle des longueurs de l'univers :

Les **microscopes** nous permettent d'explorer le **cœur de la matière** et donc de mesurer des grandeurs **extrêmement petite**. Au contraire, les **télescopes** nous permettent d'explorer les **abords de l'univers** et donc de mesurer des longueurs **très grandes**. Cherchons un moyen aisé de comparer ces différentes distances.

4-1- Unités des longueurs :

Dans le (S.I), l'**unité de longueur** est le **mètre** ; symbole **m**.

On exprime souvent les longueurs avec des multiples ou des sous-multiples du mètre.

| les sous-multiples du mètre أجزاء المتر | | |
|---|-------------|---------|
| Nom | Valeur | Symbole |
| Millimètre | $10^{-3}m$ | mm |
| Micromètre | $10^{-6}m$ | μm |
| Nanomètre | $10^{-9}m$ | nm |
| Picomètre | $10^{-12}m$ | pm |
| Femtomètre | $10^{-15}m$ | fm |

| les multiples du mètre مضاعفات المتر | | |
|--------------------------------------|------------|---------|
| Nom | Valeur | Symbole |
| Kilomètre | 10^3m | Km |
| Mégamètre | 10^6m | Mm |
| Gigamètre | 10^9m | Gm |
| Téramètre | $10^{12}m$ | Tm |

La précision de mesure دقة القياس
Unités des longueurs وحدات المسافات

Les microscopes المجهر
Les télescopes المنظار

Unité Astronomique الوحدة الفلكية
Année Lumière سنة ضوئية

4-2- Unités utilisées en Astronomie :

- ⊕ **Unité Astronomique (U.A)** est la distance moyenne entre le centre de la Terre et le centre du Soleil tel que $1 U.A = 150.10^6 km$.
- ⊕ **Année Lumière (A.L)** est la distance parcourue par la lumière au cours d'une année avec la vitesse $C = 3.10^8 m/s$ dans le vide tel que $1 A.L \approx 9,5.10^{15} m$.

4-3- Axe de l'échelle des longueurs :

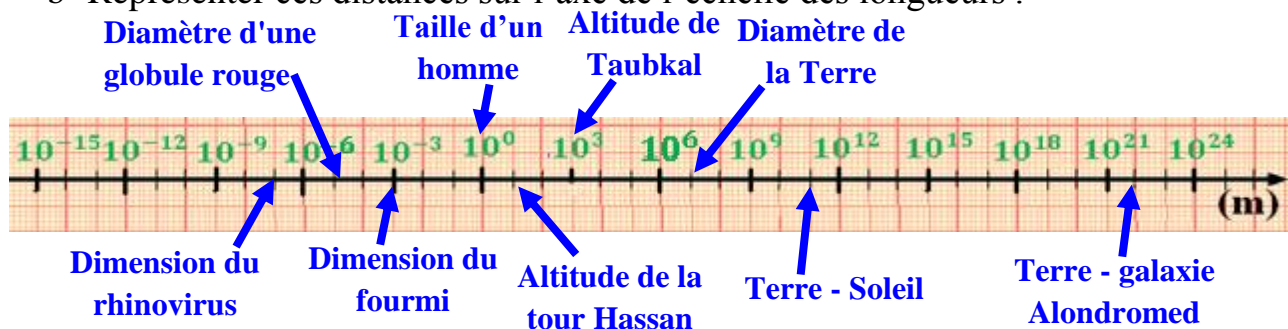
Pour **explorer** et **décrire l'Univers**, les physiciens construisent une échelle des longueurs de **l'infiniment petit (atome)** vers **l'infiniment grand (galaxie)**. Cet axe est **graduée en puissance de 10**.

5 – Application :

a- Compléter le tableau ci-dessous.

| distance | valeur | Ecriture Scientifique $a.10^n$ | Ordre de Grandeur | le nombre des Chiffres Significatifs |
|--|-----------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| Taille d'un homme | 1,70 m | $1,70.10^0 m$ | $10^0 m$ | 3 |
| Dimension du fourmi | 4 mm | $4.10^{-3} m$ | $10^{-3} m$ | 1 |
| Altitude de la tour Hassan | 44,3 m | $4,43.10 m$ | $10 m$ | 3 |
| Altitude de Taubkal | 4,16 km | $4,16.10^3 m$ | $10^3 m$ | 3 |
| Dimension du rhinovirus | 100 nm | $1,00.10^{-7} m$ | $10^{-7} m$ | 3 |
| Diamètre d'une globule rouge | 7 μm | $7.10^{-6} m$ | $10^{-5} m$ | 1 |
| Diamètre de la Terre | 12800 km | $1,2800.10^7 m$ | $10^7 m$ | 5 |
| La distance Terre - galaxie Alondromed | $23.10^{18} km$ | $2,3.10^{22} m$ | $10^{22} m$ | 2 |
| la distance moyenne Terre - Soleil | $150.10^9 m$ | $1,50.10^{11} m$ | $10^{11} m$ | 3 |

b- Représenter ces distances sur l'axe de l'échelle des longueurs.

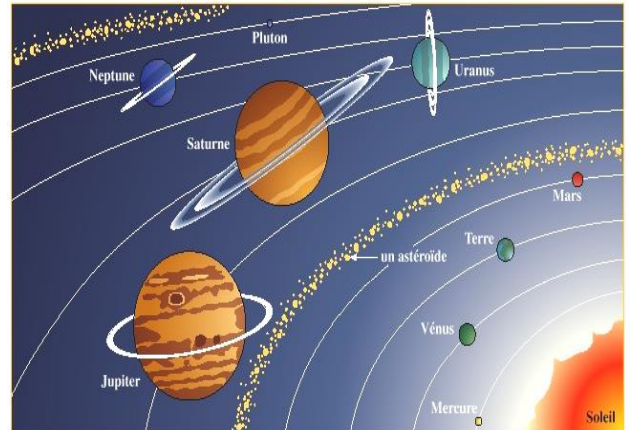


II – Loi de gravitation universelle (Newton 1687) :

1 – Mise en évidence de l'attraction universelle :

1-1- Activité :

Newton est assis sous un pommier, la nuit va tomber et la pleine Lune est déjà levée. Une pomme tombe, il se demande : **Pourquoi la pomme tombe, alors que la Lune ne tombe pas ?** Newton expliqua le chute des corps sur la Terre, le mouvement de la Lune autour de la Terre et le mouvement des planètes du système solaire autour du Soleil comme le résultat d'un même phénomène. C-à-d , par l'**attraction universelle** .



a- Comment expliquer la cohésion du système solaire ?

La gravitation universelle est l'interaction responsable de la cohésion du système solaire.

b- D'après Newton, quel est la cause de cette attraction universelle ?

Cette attraction universelle exercée par les corps à **cause de leurs masses**. Alors, c'est une **force d'interaction mutuelle**.

c- Pourquoi la Terre tourne autour du Soleil ?

Par ce que **la masse du Soleil** est supérieur à la masse de la Terre.

1-2- Résumé :

La gravitation universelle est une des interactions **responsable** de **la cohésion de l'univers**. Elle est **prédominante** à l'échelle astronomique. C'est elle qui explique **la cohésion** et **la structure du système solaire**. Elle est **la cause** du **mouvement** des planètes et de leurs satellites.

2 – Loi de gravitation universelle :

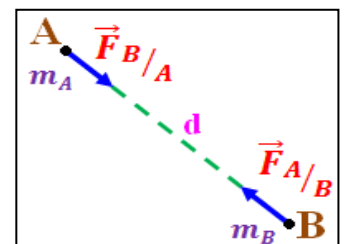
2-1- Énoncé :

À cause de leurs masses, les corps exercent, les uns sur les autres des forces attractives mutuelles.

2-2- Formule mathématique :

Deux **corps ponctuels** **A** et **B**, de **masses respectivement** m_A et m_B , séparés par une **distance** $d = AB$, exercent l'un sur l'autre des **forces d'interactions gravitationnelles attractives** $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ ayant :

- ⊕ même droite d'action (**AB**)
- ⊕ des sens opposés (vers le corps qui exerce la force)
- ⊕ même intensité : $F_{A/B} = F_{B/A} = F = G \frac{m_A \times m_B}{d^2}$

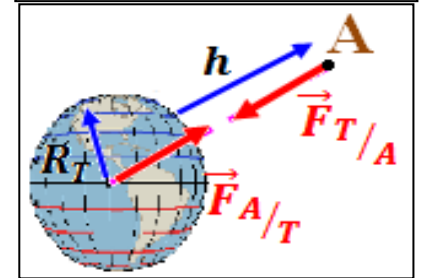
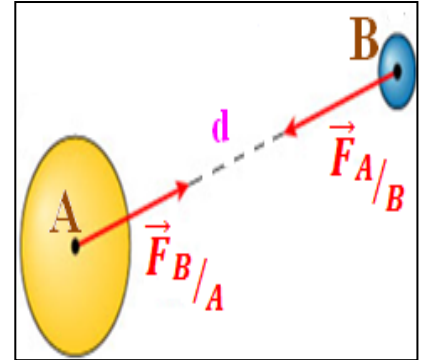


G : Constante de gravitation universelle $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

Remarques :

- ⊕ Les 2 forces d'interactions ont **même droite d'action**, des **sens opposés** et d'intensités égales : $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$
- ⊕ Cette loi est aussi **valable** pour des **corps volumineux** présentant une **répartition sphérique de masse** (même répartition de masse autour du centre de l'objet). C'est le cas des **planètes** et des **étoiles**, dont la distance d est celle qui **sépare leurs centres**.
- ⊕ Pour un **corps ponctuel A** de masse m_A à l'**altitude h** par rapport à la **surface de la Terre**, on a :

$$F_{T/A} = F_{A/T} = F = G \frac{M_T \times m_A}{(R_T + h)^2}$$
 Avec $M_T = 6.10^{24} \text{ kg}$ la **masse de la Terre** et $R_T = 6380 \text{ km}$ son **Rayon**.
- ⊕ L'expression de l'intensité de la force d'attraction gravitationnelle **reste valable** pour **deux corps quelconques**, tel que d est la distance séparant leurs **centres de gravité** respectifs.

**Application**

1- Déterminer les caractéristiques de la force d'attraction universelle qui s'exerce entre deux corps ponctuels A et B, de masses respectivement $m_A = 45 \text{ g}$ et $m_B = 100 \text{ g}$, séparés par une distance $AB = 50 \text{ cm}$.

2- Représenter les deux forces à une échelle adaptée.

Solution

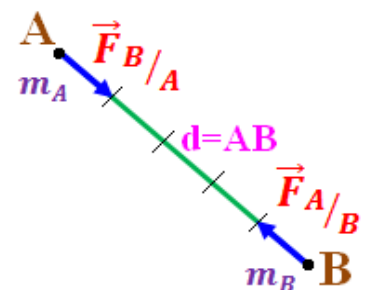
1- D'après la loi de Newton, les deux forces d'interactions gravitationnelles attractives $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ ayant :

- ⊕ même droite d'action (AB)
- ⊕ des sens opposés (vers le corps qui exerce la force)
- ⊕ même intensité : $F_{A/B} = F_{B/A} = F = G \frac{m_A \times m_B}{d^2}$

$$\text{AN : } F = 6,67.10^{-11} \frac{45.10^{-3} \times 100.10^{-3}}{(50.10^{-2})^2} = 1,2.10^{-12} \text{ N}$$

On remarque que cette intensité est très faible, ce qui explique pourquoi on n'aperçoit pas leur effet dans notre vie quotidienne.

2- On choisit l'échelle suivante :
 $1 \text{ cm} \rightarrow 1,2.10^{-12} \text{ N}$ et
 $1 \text{ cm} \rightarrow 10 \text{ cm}$



Loi de gravitation universelle قانون التجاذب الكوني
 Constante de gravitation ثابتة التجاذب
 répartition sphérique de masse توزيع كروي للكتلة
 Représenter à une échelle adaptée مثل بسلم مناسب

phénomène ظاهرة
 cohésion تماسك
 prédominante مهيمنة
 ponctuel نقطي

système solaire المجموعة الشمسية
 interaction mutuelle تأثير متبادل
 respectivement على التوالي
 droite d'action خط التأثير

III – Poids d'un corps :

1 – Définition :

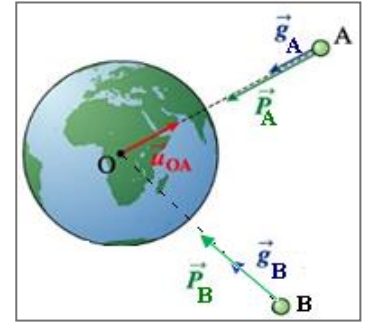
Le poids \vec{P} d'un corps S de masse m est la force d'attraction universelle qu'il subit lorsqu'il est situé au voisinage de la Terre, appliquée par la Terre sur lui.

L'intensité du poids est : $P = G \frac{M_T \times m}{(R_T + h)^2}$

2 – Caractéristiques du poids :

Les caractéristiques du poids d'un corps S sont :

- ⊕ **point d'application** : le centre de gravité G du corps
- ⊕ **direction** : la verticale
- ⊕ **sens** : de haut en bas (dirigé vers le centre de la Terre)
- ⊕ **intensité (ou valeur)** : $P = m \cdot g$ avec $g = G \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$



g s'appelle **intensité du champ pesanteur**, s'exprime en $(N \cdot kg^{-1})$

Remarques :

L'intensité de pesanteur à l'altitude h est : $g_h = G \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$

L'intensité de pesanteur à la surface de la terre $h = 0$ est : $g_0 = G \frac{M_T}{R_T^2}$

Donc : $g_h = g_0 \cdot \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$. Puisque $R_T + h \geq R_T$ alors $g_0 \geq g_h$

| Lieux | à l'équateur | à Casablanca | à Rabat | A Paris | Au pôle |
|-------------------------|--------------|--------------|---------|---------|---------|
| $g_0 (N \cdot kg^{-1})$ | 9,789 | 9,80 | 9,796 | 9,810 | 9,832 |

3 – Généralisation de la notion du poids :

En general, on appellera **poids \vec{P}** d'un corps S de masse m , la force d'attraction universelle, appliquée par un astre quelconque (Terre, Soleil, Lune,...) sur ce corps. L'intensité du poids est toujours : $P_A = m \cdot g_A$ avec g_A l'intensité du champ pesanteur de cet astre.

Par exemple : $g_{0L} = G \frac{M_L}{R_L^2}$ l'intensité de pesanteur à la surface de la Lune.

| | |
|--------------------|--|
| Application | A quelle altitude h on trouve la relation $g_h = \frac{g_0}{4}$? |
| Solution | On a $g_h = g_0 \cdot \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2} = \frac{g_0}{4}$ alors $\frac{1}{4} = \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$ Puisque R_T et h positifs, alors $\frac{1}{2} = \frac{R_T}{R_T + h}$ d'où $R_T + h = 2R_T$ donc $h = R_T = 6380 \text{ km}$ |

| | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|-----------|-------|---------------------|--------------|
| Poids d'un corps | وزن جسم | direction | اتجاه | au voisinage | بجوار |
| intensité du champ pesanteur | شدة مجال الثقالة | sens | منحى | point d'application | نقطة التأثير |
| Caractéristiques du poids | مميزات الوزن | intensité | شدة | centre de gravité | مركز الثقل |
| Généralisation de la notion du poids | تعميم مفهوم الوزن | verticale | رأسي | droite d'action | خط التأثير |

La gravitation universelle

I- Loi de gravitation universelle :

1-L'attraction universelle :

-La gravitation universelle est l'interaction responsable de la cohésion du système solaire.

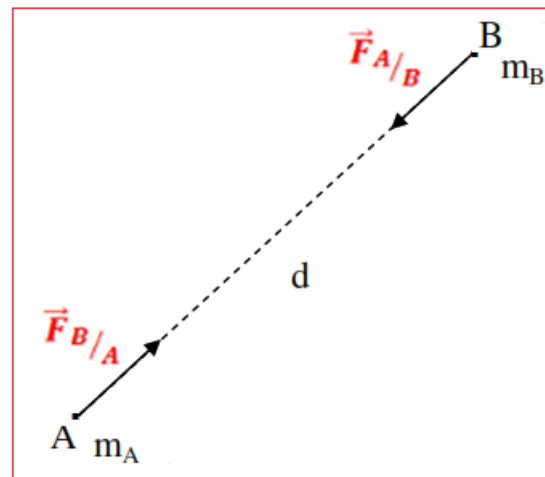
Cette attraction universelle exercée par les corps à cause de leurs masses, elle dépend de la masse des corps et de la distance qui les sépare.

2- Loi d'attraction universelle :

2-1-Cas des corps ponctuels :

Deux corps ponctuels A et B, de masses respectivement m_A et m_B , séparés par une distance $d=AB$, exercent l'un sur l'autre forces d'interactions gravitationnelles attractives $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ ayant :

- même droite d'action (AB)
- des sens opposés (vers le corps qui la force)
- même intensité : $F_{A/B} = F_{B/A}$

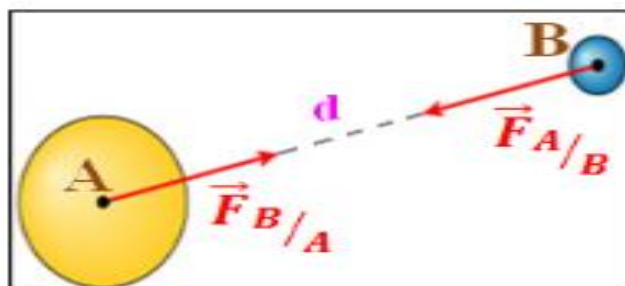


des
exerce

$$F = F_{A/B} = F_{B/A} = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} G: \text{est appelé la constante de gravitation universelle :} \\ G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Kg}^{-2} \\ F : \text{Valeur de la force en Newton en N} \\ m_A \text{ et } m_B: \text{Valeur des masses en kg} \\ d: \text{Distance séparant les deux masses ponctuelles en m} \end{array} \right.$$

2-2- cas des corps volumineux :

Cette loi est aussi valable pour des corps volumineux présentant une répartition sphérique de masse (même répartition de masse autour du centre l'objet). C'est le cas des planètes et étoiles, dont la distance d est celle qui sépare leurs centres.



de
des

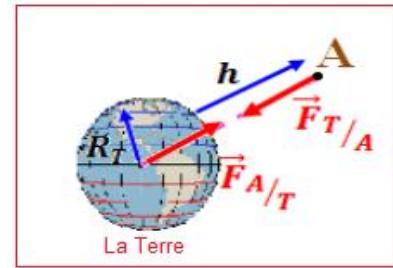
Remarques :

- Pour un corps ponctuel **A** de masse m_A à l'altitude h par rapport à la surface de Terre, on a :

$$F_{T/A} = F_{A/T} = G \cdot \frac{M_T \cdot m_A}{(R_T + h)^2}$$

Avec $M_T = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ la masse de la Terre et $R_T = 6380 \text{ km}$ son rayon.

- L'expression de l'intensité de la force d'attraction gravitationnelle reste valable pour **deux corps quelconques**, tel que d est la distance séparant leurs **centres de gravité** respectifs.



Application :

1-Déterminer les caractéristiques de la force d'attraction universelle qui s'exerce entre deux corps ponctuels **A** et **B**, de masses respectivement

$m_A = 45 \text{ g}$ et $m_B = 100 \text{ g}$, séparés par une distance $AB = d = 50 \text{ cm}$.

2-Représenter les deux forces à une échelle adaptée.

Solution

1-D'après la loi de Newton, les deux forces d'interactions gravitationnelles attractives

$\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ ayant :

- ❖ même droite d'action (**AB**)
- ❖ des sens opposés (vers le corps qui exerce la force)
- ❖ même intensité : $F_{A/B} = F_{B/A} = F = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$

A.N : $F = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{45 \cdot 10^{-3} \times 100 \cdot 10^{-3}}{(50 \cdot 10^{-2})^2} = 1,2 \cdot 10^{-12} \text{ N}$

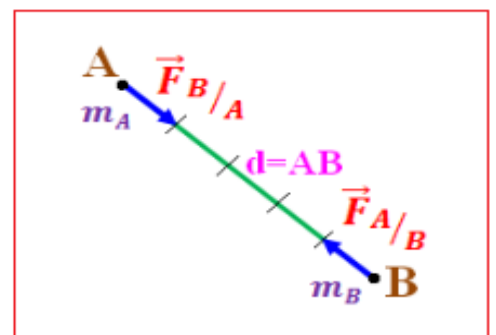
2-On choisie l'échelle suivante :

$$1 \text{ cm} \rightarrow 1,2 \cdot 10^{-12} \text{ N}$$

Pour la représentation des forces $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$

$$1 \text{ cm} \rightarrow 10 \text{ cm}$$

Pour la représentation de la distance AB.



III- Poids d'un corps :

1-Définition : Le **poids** d'un corps est la force d'attraction universelle qu'il subit lorsqu'il est situé au voisinage de la Terre, ou à sa surface. Le poids est la force de gravitation que la Terre exerce sur lui.

2-Caractéristique du poids :

Les caractéristiques du poids d'un corps sont :

- ✓ **Point d'application** : le centre de gravité du corps
- ✓ **Droite d'action**: la verticale du lieu

✓ **Sens** : de haut vers le bas (dirigé vers le centre de la terre)

✓ **Intensité** : $P = m \cdot g$

g s'appelle intensité du champ pesanteur, s'exprime en $(N \cdot kg^{-1})$.

3- Expression de l'intensité de pesanteur :

3-1-A l'altitude h :

Le poids P d'un corps est la force F d'attraction universelle appliquée par la Terre sur ce corps :

$$P = F \Rightarrow \begin{cases} P = mg \\ F = G \cdot \frac{m \cdot M_T}{(R_T + h)^2} \end{cases} \Rightarrow m \cdot g = G \cdot \frac{m \cdot M_T}{(R_T + h)^2} \Rightarrow g = G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$$

R_T : le rayon de la Terre en m

h : la distance entre la surface de la Terre et le corps en m

g : l'intensité de la pesanteur à l'altitude h en $N \cdot kg^{-1}$

M_T : la masse de la Terre en kg

3-2-A la surface de la Terre ($h=0$) :

$$g_0 = G \cdot \frac{M_T}{R_T^2}$$

g_0 : L'intensité de la pesanteur à la surface de la Terre.

3-3-Expression de l'intensité de pesanteur :

$$\begin{cases} g = G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \\ g_0 = G \cdot \frac{M_T}{R_T^2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} G \cdot M_T = g \cdot (R_T + h)^2 \\ G \cdot M_T = g_0 \cdot R_T^2 \end{cases} \Rightarrow g \cdot (R_T + h)^2 = g_0 \cdot R_T^2$$
$$g = g_0 \cdot \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$$

III- Echelle des longueurs

1-Quelques préfixe à connaitre :

| | <i>Multiples</i> | | | | | | <i>Sous – multiples</i> | | | | |
|------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| Préfixe | <i>téra</i> | <i>giga</i> | <i>méga</i> | <i>kilo</i> | <i>hecto</i> | <i>déca</i> | <i>milli</i> | <i>micro</i> | <i>nano</i> | <i>pico</i> | <i>femto</i> |
| Symbole | <i>T</i> | <i>G</i> | <i>M</i> | <i>k</i> | <i>h</i> | <i>da</i> | <i>m</i> | μ | <i>n</i> | <i>p</i> | <i>F</i> |
| Puissance de dix | 10^{12} | 10^9 | 10^6 | 10^3 | 10^2 | 10^1 | 10^{-3} | 10^{-6} | 10^{-9} | 10^{-12} | 10^{-15} |

2- Ecriture scientifique :

L'écriture scientifique d'un nombre X s'écrit sous la forme du produit: $a \cdot 10^n$

Tel que a est un nombre décimal : $1 \leq a < 10$ et n est un nombre positif ou négatif.

$$X = a \cdot 10^n \text{ m Avec: } \begin{cases} 1 \leq a < 10 \\ n \in \mathbb{N}^* \end{cases}$$

Exemples :

| | | | | |
|-----------------------|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Nombres | 245 | 78456 | 0,0312 | 0,000796 |
| Ecriture scientifique | $2,45 \cdot 10^2$ | $7,8456 \cdot 10^4$ | $3,12 \cdot 10^{-2}$ | $7,96 \cdot 10^{-4}$ |

3- Ordre de grandeur :

L'ordre de grandeur d'un nombre est la puissance de 10 la plus proche de ce nombre dans l'écriture scientifique $X = a \cdot 10^n$:

- Si $a < 5$, on considère $a \approx 1$, alors, l'ordre de grandeur de ce nombre est 10^n .

- Si $a \geq 5$, on considère $a \approx 10$, alors, l'ordre de grandeur de ce nombre est 10^{n+1} .

Exemples :

| | | | | |
|-------------------|--------|--------|-----------|-----------|
| Nombres | 245 | 78456 | 0,0312 | 0,00796 |
| Ordre de grandeur | 10^2 | 10^5 | 10^{-2} | 10^{-2} |

Remarque : On utilise l'ordre de grandeur pour n'importe quelle grandeur physique (temps, masse, force...)

On assimile le chiffre devant la puissance de 10 soit à 1 si le chiffre a est entre 1 et 5 ou à 10 si a est compris entre 5 et 10.

Exemple 1 :

$$7,7 \mu\text{m} = 7,7 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad (7,7 > 5 \text{ donc on le remplace par } 10) \approx 10 \times 10^{-6} = 10^{-5} \text{ m}$$

Exemple 2 :

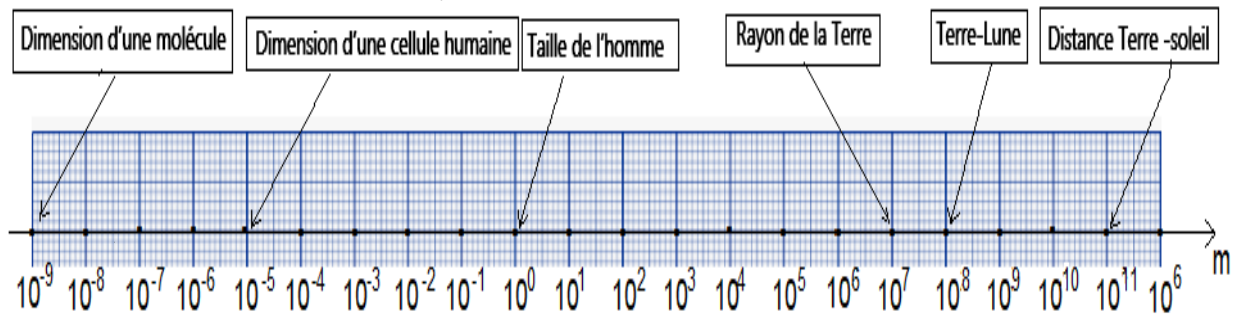
$$4,22 \text{ Gm} = 4,22 \cdot 10^9 \text{ m} \quad (4,22 < 5 \text{ donc on le remplace par } 1) \approx 1 \times 10^9 = 10^9 \text{ m}$$

Les multiples et les sous multiples de mètre :

4- Une échelle de longueur :

| Distance | | Ecriture scientifique | Ordre de grandeur |
|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Terre-Lune | $380\,000 \text{ km}$ | $3,8 \cdot 10^8 \text{ m}$ | 10^8 m |
| Dimension d'une molécule | 2 nm | $2 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ | 10^{-9} m |
| Rayon de la Terre | 6400 km | $6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$ | 10^7 m |
| Taille de l'homme | 170 cm | $1,70 \text{ m}$ | 10^0 m |
| Distance Terre -soleil | $150 \cdot 10^6 \text{ km}$ | $1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$ | 10^{11} m |
| Dimension d'une cellule humaine | $10 \mu\text{m}$ | 10^{-5} m | 10^{-5} m |

- On place ces distances sur l'axe de l'échelle des longueurs.



Gravitation Universelle

Le premier à avoir compris que la **pesanteur terrestre** et la **gravitation céleste** (les mouvements astronomiques) étaient le résultat d'une seule et même interaction est Isaac Newton.

1) La loi de la gravitation :

a) Un peu de vocabulaire...

Cette loi fut énoncée par Isaac Newton pour deux **corps ponctuels**, c'est-à-dire dont les dimensions sont très petites par rapport à la distance qui les sépare.

En pratique, on considèrera un corps comme **ponctuel** si :

$$\text{taille objet} \leq (\text{distance d'observation} / 100)$$

Exo 1 : A partir de quelle distance peut-on considérer ces corps ponctuels ?

| objets | Dimension (rayon) | Distance (à calculer) |
|-----------------|--------------------------|------------------------------|
| balle de tennis | 3 cm | |
| Lune | $1,75 \cdot 10^3$ km | |
| Terre | $6,4 \cdot 10^3$ km | |
| Soleil | $7,0 \cdot 10^5$ km | |

Sachant que les distances **Terre/Lune** et **Soleil/Terre** valent en moyenne $3,8 \cdot 10^5$ km et $1,5 \cdot 10^8$ km, que pouvez-vous conclure ?

Conclusion :

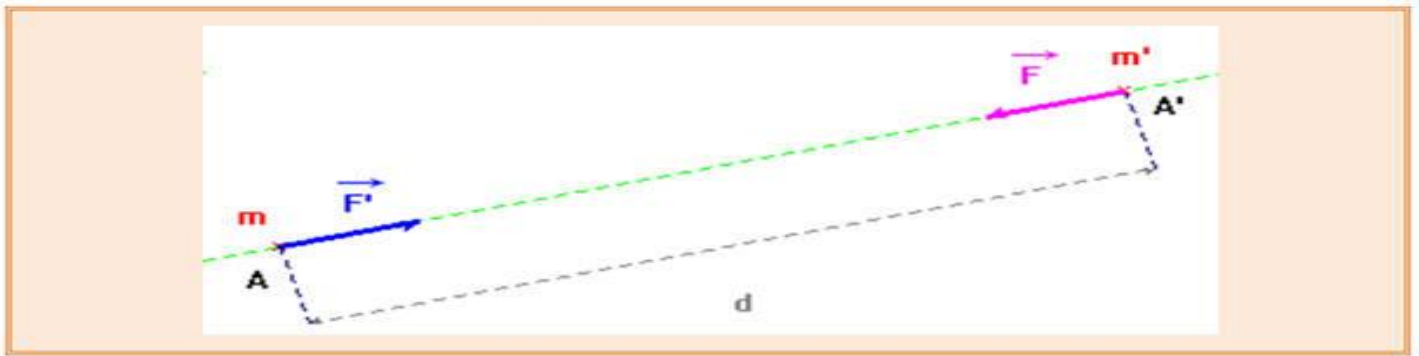
Les astres peuvent être considérés comme corps ponctuels en ce qui concernent leurs effets gravitationnels.

b) Enoncé de la loi de gravitation :

Deux corps ponctuels, de masses **m** et **m'**, séparés par une distance **d**, exercent l'un sur l'autre des forces attractives, de même valeur .

c) Formulation mathématique et schéma :

| | |
|---|---|
| $F = F' = G \cdot \frac{m \cdot m'}{d^2}$ | G est appelé la constante de gravitation universelle : |
| | $G \approx 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| | $G \approx 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{N}$ |
| | F : Valeur de la force F en Newton N. |
| m et m' : Valeur des masses en kg. | |
| D : Distance séparant les deux masses ponctuelles : en m | |



Exo 2 :

- a) Calculez l'intensité de la force d'attraction gravitationnelle entre 2 individus (que l'on assimilera à des corps ponctuels distant de 20 cm). Données : $m_A = 75 \text{ kg}$ et $m_B = 55 \text{ kg}$
- b) Calculez l'intensité de la force d'attraction gravitationnelle entre la Terre et la plus lourde des deux personnes.
Données : $M_{\text{Terre}} = 6,0.10^{24} \text{ kg}$ et $R_{\text{Terre}} = 6,4.10^3 \text{ km}$.
- c) Comparer les deux valeurs et conclure .

Rep 2 :

a- Expression littérale :

Expression numérique :

Application numérique :

b- Expression littérale :

Expression numérique :

Application numérique :

c-

Conclusion : à l'échelle humaine, les effets de gravitation autres que ceux dus à la Terre sont négligeables.

Lorsque les objets deviennent **très massifs** c'est le cas pour les objets astronomiques, elle est perceptible.

2-Le champ de gravitation - Poids du corps :

a) Notion de champ gravitationnel :

Pour interpréter l'interaction gravitationnelle, on peut stipuler que tout objet (A) (de **masse M** et placé en une **origine spatiale O**) crée autour de lui un champ gravitationnel attractive.

En un point P (hors de l'objet (A)), si un second objet de masse m y est placé ; alors il sera soumis à la force de gravitation exercée par (A) .

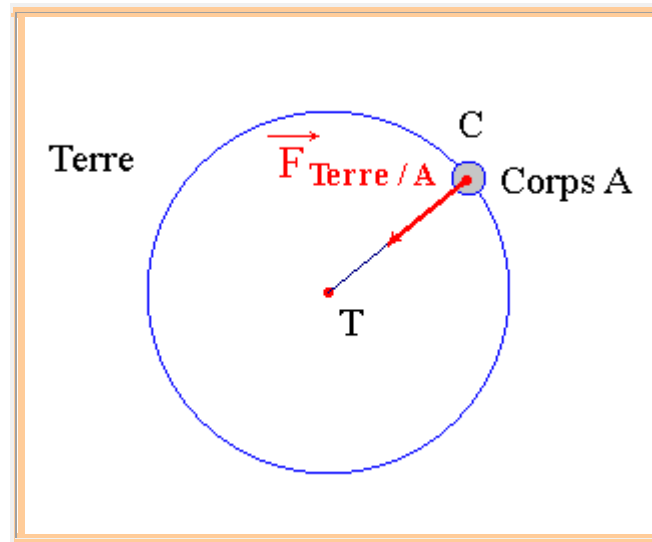
Rem : nous supposons que le corps situé en P ne modifie pas le champ de gravitation auquel il est soumis.

b) Expression du champ gravitationnel (intensité de pesanteur) :

i)- Relation entre le poids d'un objet et la force de gravitation exercée par la Terre :

Tout corps A, de centre C et de masse m , placé au voisinage de la Terre subit une force gravitationnelle de la part de la Terre.

Le centre de la Terre est noté T, sa masse m_T et son rayon R_T .



L'attraction exercée par la Terre sur le corps A est modélisée par la force caractérisée par :

| | |
|---------------------|---|
| $\vec{F}_{Terre/A}$ | Point d'application : C |
| | Direction : la droite (TC). Elle passe par le centre de la Terre. C'est la verticale du lieu . |
| | Sens : de C vers T. La force est orientée vers le bas. |
| | Valeur de la force : $F_{Terre/A} = G \times \frac{m \cdot m_T}{d^2}$ Si le corps est au voisinage de la Terre ou à la surface de la Terre on considère que : $d \approx R_T$. Donc : $F_{Terre/A} \approx G \cdot \frac{m \cdot m_T}{R_T^2} = m \cdot \left(G \cdot \frac{m_T}{R_T^2} \right)$ |

Remarque :

Pour tous les objets qui se trouvent à la surface de la Terre ou au voisinage de la Terre, le terme $G \cdot \frac{m_T}{R_T^2}$ est le même. Il est caractéristique de la Terre.

On peut calculer sa valeur : Données : $G \approx 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{N}$, $R_T = 6,38 \times 10^3 \text{ km}$ et $m_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$.

$$G \cdot \frac{m_T}{R_T^2} = 6,67 \times 10^{-11} \cdot \frac{6,0 \times 10^{24}}{(6,38 \times 10^3)^2}$$
$$G \cdot \frac{m_T}{R_T^2} \approx 9,8 \text{ N / kg}$$

On retrouve la valeur de $g \approx 9,8 \text{ N / kg}$ l'intensité de la pesanteur .

On peut écrire la relation suivante, pour les objets de masse m au voisinage de la Terre :

$$F_{\text{Terre / A}} \approx 9,8 m \approx g \cdot m$$

On retrouve alors l'expression du poids d'un corps de masse m au voisinage de la Terre vue au collègue : $P = m \cdot g$

Donc le poids d'un objet sur Terre est pratiquement égal à la force gravitationnelle exercée par la Terre sur l'objet

| | |
|--|--|
| $\vec{P} = \vec{F}_{\text{Terre / A}}$ | Point d'application : C : centre de gravité du corps A |
| | Direction : Verticale du lieu |
| | Sens : orientée vers le bas. |
| | Valeur de la force : $P = m \cdot g$ Avec $g = 9,8 \text{ N / kg}$, g est l'intensité de la pesanteur. |

ii) Expression du champ gravitationnel (intensité de pesanteur) :

- A la surface de la terre :

Comme le poids d'un objet sur Terre est pratiquement égal à la force gravitationnelle exercée par la Terre sur l'objet.

$$F = G \cdot \frac{M_T \cdot m}{R_T^2} = m \cdot \frac{G \cdot M_T}{R_T^2} \text{ et } P = m \cdot g \text{ . d'où : } g = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2}$$

- A une altitude h de la surface de la terre :

Tout corps A, de centre C et de masse m , placé à une altitude h de la surface de la Terre subit une force gravitationnelle de la part de la Terre.

La distance entre le centre de la Terre et C est : $d = R_T + h$

$$\text{Comme } P=F \text{ soit } m \cdot g_h = G \cdot \frac{m \cdot M_T}{d^2} = G \times \frac{m \cdot M_T}{(R_T + h)^2}$$

Avec g_h l'intensité de la pesanteur à l'altitude h .

$$\text{On en déduit : } g_h = G \times \frac{m_T}{(R_T + h)^2}$$

$$\text{A la surface de la terre } h = 0 : g_0 = G \times \frac{m_T}{(R_T)^2}$$

$$\text{D'où : } g_h = g_0 \times \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$$

c) Poids d'un corps sur la Lune :

Le poids d'un corps sur la Lune peut s'identifier à la force gravitationnelle exercée par la Lune sur l'objet. Montrons qu'un corps de masse m n'a pas le même poids sur la Terre que sur la Lune.

$$F_{\text{Lune/A}} = G \cdot \frac{m \cdot m_L}{R_L^2} = g_L \cdot m = P_L$$

$$g_T \approx \frac{G \cdot m_T}{R_T^2} \text{ et } g_L \approx \frac{G \cdot m_L}{R_L^2}$$

Avec $R_L = 1,75 \times 10^6 \text{ m}$ et $m_L = 7,34 \times 10^{22} \text{ kg}$ on a :

$$g_L \approx \frac{G \cdot m_L}{R_L^2} \approx \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 7,34 \times 10^{22}}{(1,75 \times 10^6)^2} \approx 1,6 \text{ N.kg}^{-1}$$

$$\frac{g_T}{g_L} \approx \frac{9,8}{1,6} \approx 6,1$$

$$\text{d'où : } \frac{P_T}{P_L} \approx 6,1$$

Exo 3 :

a) Calculer les valeurs du champ de gravitation terrestre à la surface de la Terre (point S) et au niveau de l'orbite du satellite SPOT, situé à l'altitude 832 km (point P).

Données $M_{\text{Terre}} = 6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, $R_{\text{Terre}} = 6,4 \cdot 10^3 \text{ km}$.

b) Représenter les vecteurs champs de gravitation de la Terre aux points S et P à l'échelle 2 cm pour 10 N/kg.

Exo 4 : Comparer cette valeur à celle des champs de gravitation, créé à la surface de la Terre, par le Soleil, la Lune et un avion.

Données : $d_{\text{Terre/Soleil}} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ km}$, $M_S = 2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}$; $d_{\text{Terre/Lune}} = 3,8 \cdot 10^5 \text{ km}$, $M_L = 7,0 \cdot 10^{22} \text{ kg}$; altitude avion $\approx 10 \text{ km}$, $M_{\text{avion}} \approx 300 \text{ tonnes}$

Exo 5 : a) On note g_0 l'intensité du champ de pesanteur à la surface de la Terre : $g_0 = 9,8 \text{ N.Kg}^{-1}$. Donnez l'expression $g(h)$ de l'intensité du champ de pesanteur à l'altitude h au dessus du sol terrestre en fonction de g_0 , R_T et h .

b) A quelle altitude h le champ de pesanteur vaut-il encore 99 % de sa valeur à la surface de la Terre ?

Première Partie :

InteractionsMécaniques

Unité 2

4 H

أمثلة لتأثيرات ميكانيكية

Exemples d'actions mécaniquesTronc Commun
Physique - Mécanique**I – La notion de force :****1 – Activité :**

Les corps étudiés en mécanique sont **les corps inertes (non vivants)**. Ces corps sont **incapables** de se déplacer ou de changer de formes **par eux-mêmes**. Ils ne réagissent qu'aux **actions mécaniques extérieures** qui leur sont appliquées. Ainsi, chaque fois que l'on **constate un changement** de forme ou de mouvement d'un corps, **on conclut** immédiatement qu'il a **subit une action mécanique**. Il est donc possible de **prévoir** l'état d'un corps, **si on connaît** les actions mécaniques qui lui sont appliquées. Et pour **connaître** ces actions mécaniques de manière **précise** et **quantitative**, les physiciens ont introduit **la notion de force**.

La force étant une **grandeur vectorielle** associée à l'action mécanique caractérisée par **son point d'application** où l'action mécanique est appliquée ; par **sa ligne d'action** qui correspond à la direction suivant laquelle agit l'action mécanique sur le corps considéré ; par **son sens** qui coïncide avec le sens du mouvement tenté par le corps sous l'effet de l'action mécanique à laquelle il est soumis ; et enfin par **son intensité** qui est une valeur numérique positive caractérisant l'effet de l'action mécanique sur le corps.

La connaissance des forces appliquées à un corps est **essentielle** pour étudier **l'équilibre** ou **le mouvement** des corps.

a- Pourquoi on étudier seulement les corps inertes en mécanique ?

Pour **expliquer le changement** de forme ou de mouvement d'un corps par **son cause (action mécanique extérieure)**.

b- Comment appelez-vous ce corps étudié ?

Le corps étudié est appelé « **le Système étudié** ».

c- Quelles sont les caractéristiques de la force ?

les caractéristiques de la force: point d'application - ligne d'action – sens - intensité.

d- Déterminer l'effet des actions mécaniques dans les cas suivants :

**Mouvement****Changement de la direction****Déformation****En équilibre**

2 – Résumé :

Une **action mécanique** est toujours exercée par un objet (l'**acteur**) sur un autre objet (le **receveur**).

Une **force** est une **grandeur physique** qui se manifeste par ses effets :

- **effet dynamique** : Une force est une cause capable de produire ou de modifier le **mouvement** d'un corps (modifier sa vitesse et/ou sa trajectoire).
- **effet statique** : Une force est une cause capable de produire une **déformation** d'un corps ou son **équilibre**.

Toute force peut être **représentée** par un **vecteur** dont les **4 caractéristiques** sont :

- ⊕ **point d'application** : point où l'action s'exerce sur le corps.
- ⊕ **direction** : droite selon laquelle l'action s'exerce.
- ⊕ **sens** : sens selon lequel l'action s'exerce.
- ⊕ **intensité** : la valeur de la force (On la mesure par un dynamomètre).

Celui-ci est **désigné** par une lettre surmontée d'une flèche \vec{F} . Il est **représenté** par une flèche.

II – Classification des forces :

Pour la classification des forces on doit déterminer le **système étudié** (le corps choisi pour l'étude).

1 – Définitions :

- a- On appelle **force extérieure** toute force exercée sur le système par un objet **n'appartenant** pas au système.
- b- On appelle **force intérieure** une force exercée par une **partie du système** sur une autre partie du système.
- c- On appelle **force à distance** toute force exercée par un corps sur un autre corps **sans qu'aucun contact ne soit nécessaire** avec lui.
- d- On appelle **force de contact** toute force exercée par un corps sur un autre corps **qui est en contact** avec lui :

- ⊕ sur un **point** ou une **surface très restreinte**, dite **localisée**.
- ⊕ sur une **surface** qui ne peut pas **considérée comme un point**, dite **répartie**.

2 – Activité :

Une personne faisant glisser le wagon avec une corde sur la route.

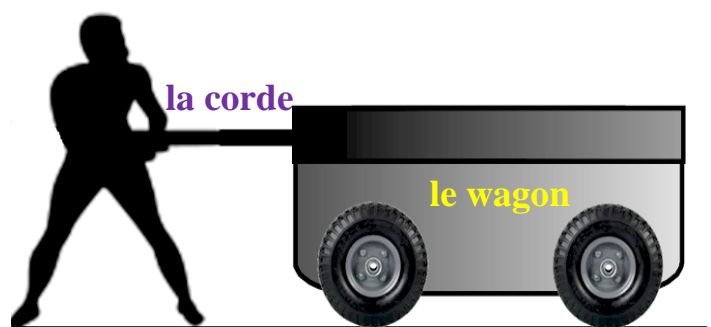
- a- Donner le bilan des forces exercées sur le wagon.

Le système étudié : { le wagon }.

le bilan des forces : \vec{P} le poids

et \vec{T} la tension de la corde

et \vec{R} la réaction du plan



| | | | | | | | |
|---------------------------|---------------|--------------|-------|-------------|--------|------------|--------|
| La notion de force | مفهوم القوة | prévoir | توقع | vectorielle | متجهية | extérieure | خارجية |
| Système étudié | مجموعة مدروسة | quantitative | كمي | trajectoire | مسار | intérieure | داخلية |
| effet dynamique | مفعول تحريكي | équilibre | توازن | inertes | جامدة | à distance | عن بعد |
| effet statique | مفعول سكوني | déformation | تشويه | restreinte | محدودة | de contact | تماس |
| Classification des forces | تصنيف القوى | wagon | عربة | répartie | موزعة | localisée | موضوع |

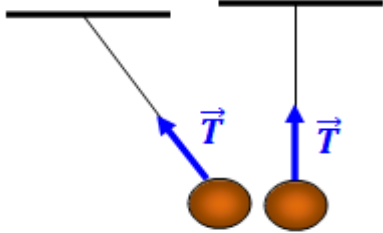
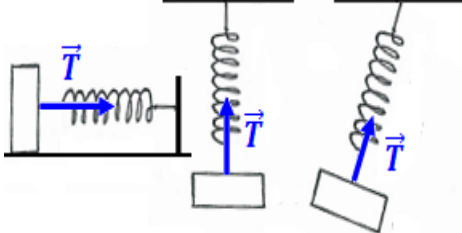
b- compléter le tableau de classification suivant :

| Système étudié | Les forces | extérieure | intérieure | à distance | de contact | localisée | répartie |
|-------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|----------|
| { le wagon } | \vec{P} | * | | * | | | * |
| | \vec{T} | * | | | * | * | |
| | \vec{R} | * | | | * | | * |
| { le wagon + la corde } | \vec{P} | * | | * | | | * |
| | \vec{T} | | * | | * | * | |
| | \vec{R} | * | | | * | | * |

3 – Exemples :

Forces à distance : force d'attraction universelle - force de pesanteur (poids) - forces électrostatiques - forces magnétiques

Force de contact localisée :

| <i>La Force</i> | | <i>Tension du fil \vec{T}</i> | <i>Tension du ressort \vec{T}</i> |
|-------------------------|----------------------------|---|--|
| <i>Définition</i> | | est la force de contact exercée par un fil tendu sur un solide accroché à l'une de ses extrémités | est la force exercée par le ressort sur un solide accroché à l'une de ses extrémités, l'autre étant fixe |
| <i>Caractéristiques</i> | <i>point d'application</i> | le point d'accrochage du fil | le point d'accrochage du ressort |
| | <i>direction</i> | La droite qu'est concrétisée par le fil | La droite qu'est concrétisée par l'axe du ressort |
| | <i>sens</i> | Vers le support | Vers la position d'équilibre stable |
| | <i>intensité</i> | Notée T exprimée en newton | Notée T exprimée en newton |
| <i>Représentation</i> | |  |  |

| | |
|--------------------------------|----------------------|
| force d'attraction universelle | قوة التجاذب الكوني |
| force de pesanteur (poids) | قوة الثقل (الوزن) |
| forces électrostatiques | القوى الكهروستاتيكية |
| forces magnétiques | القوى المغناطيسية |

| | |
|--------------------|-----------------|
| Tension du fil | توتر الخيط |
| Tension du ressort | توتر النابض |
| équilibre stable | التوازن المستقر |
| Représentation | تمثيل |

| | |
|-------------|------|
| extrémité | طرف |
| concrétisée | مجسد |
| support | حامل |
| position | موضع |

Force de contact répartie :

Définition : la réaction du plan \vec{R} est une force répartie exercée par un support sur la partie de la surface du solide qui est en contact avec lui.

Cette force est due aux interactions, de nature électromagnétique, s'exerçant entre les particules des deux matériaux.

Caractéristiques :

Point d'application : centre de la surface de contact entre le support et le solide.

Direction : En l'absence de frottement, que le solide soit immobile ou en mouvement, la réaction du plan reste **perpendiculaire** à la surface de contact.

Si le contact se fait **avec des frottements**, la réaction du plan **n'est pas perpendiculaire** à la surface de contact (inclivée d'un angle φ par rapport à la normale au sens contraire du mvt). Elle peut être décomposée suivant :

une composante normale \vec{R}_N : de direction perpendiculaire à la surface de contact.

une composante tangentielle \vec{R}_T : contenue dans la surface de contact, parfois appelée **force de frottement \vec{f}** .

On a alors $\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{R}_T = \vec{R}_N + \vec{f}$ avec φ est l'angle de frottement

Sens : du support vers le solide (vers le Haut).

Intensité : elle dépend de la nature du support et de celle du solide. Elle n'a pas

d'expression simple. Avec $R = \sqrt{R_N^2 + R_T^2}$.

III – Force pressante – Notion de pression :

1 – Force pressante :

1-1- Activité :

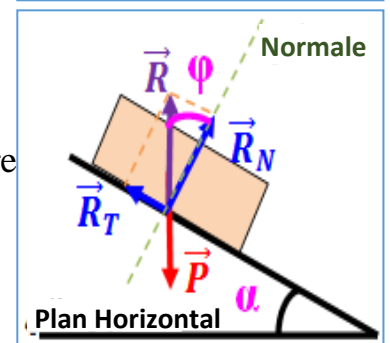
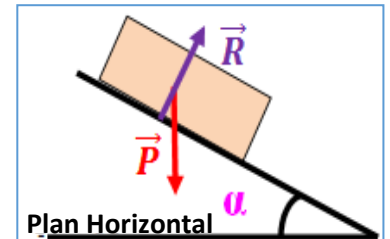
On gonfle légèrement un ballon de baudruche.

On le ferme, puis on le met sous une cloche à vide.

Grâce au compresseur, on fait le vide à l'intérieur de la cloche.

a- Qu'observe-t-on ?

On remarque que le ballon de baudruche **se gonfle** au fur et à mesure que l'on fait **le vide**.



| | |
|-------------------------|-----------------|
| la réaction du plan | تأثير السطح |
| absence de frottement | غياب الاحتكاكات |
| composante normale | مركبة منتظمة |
| composante tangentielle | مركبة مماسية |

| | |
|---------------------|----------------|
| perpendiculaire | عمودي |
| Plan Horizontal | مستوى أفقي |
| angle de frottement | زاوية الاحتكاك |
| Force pressante | قوة ضاغطة |

| | |
|----------|--------|
| inclivée | مائل |
| normale | منتظمي |
| support | حامل |
| cloche | دماس |

b- Pourquoi le ballon de baudruche se gonfle ?

Le gaz enfermé dans le ballon de baudruche tend à **repousser** l'enveloppe élastique sous l'effet des forces de contact réparties exercées par l'air sur la surface de la paroi du ballon, appelée force pressante.

1-2- Résumé :

Définition : La force pressante est une force de poussée exercée lors du contact entre un solide ou un fluide (un gaz ou un liquide) et un autre corps.

Caractéristiques :

Point d'application : Il s'agit d'une force répartie en surface et l'on peut considérer que sa résultante s'applique au centre de la surface de contact.

Direction : Elle s'exerce suivant une direction perpendiculaire à la surface de contact.

Sens : Il s'agit d'une force de poussée, elle s'exerce du fluide vers le corps.

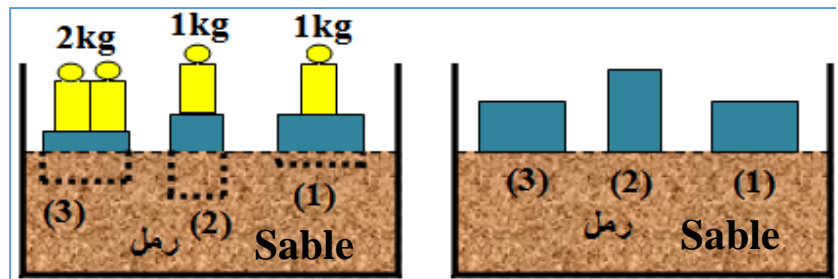
Intensité : Elle dépend de la pression et de la surface de contact.



2 – Notion de pression :

2-1- Activité :

Prenez trois morceaux de bois ont la même forme géométrique et la même masse, et de les mettre sur la



surface du sable fin et bien sec, puis mettre les masses marquées sur les morceaux de bois qui se plongent dans le sable.

a- Comparer la surface de contact des morceaux (1) et (2) et (3) avec le sable.

La surface de contact des morceaux (1) et (3) avec le sable est le double de la surface de contact de morceau (2) avec le sable.

b- Comparer le volume émergé dans le sable des morceaux {1 et 2} et {1 et 3}.

Le volume émergé dans le sable des morceaux (2) et (3) est le double du volume émergé dans le sable de morceau (1).

b- Quels sont les paramètres influençant sur l'effet de la force exercée par le morceau sur le sable.

L'effet de la force exercée par le morceau sur le sable est influencé par l'intensité de force exercée et la surface de contact entre le morceau et le sable.

| | | | | | |
|---------------------------|----------------|-------------------|--------------|------------|--------|
| forme géométrique | شكل هندسي | morceau de bois | قطعة خشب | paroi | جدار |
| les masses marquées | الكتل المعلمة | le volume émergé | حجم الانغراز | fluide | مانع |
| se plongent dans le sable | تنغرز في الرمل | influençant | مؤثرة | résultante | مكافئة |
| la surface de contact | مساحة التماس | effet de la force | مفعول القوة | paramètres | مقادير |

2-2- Résumé :

Définition : La pression P est une grandeur macroscopique correspond à la force pressante F appliquée sur une surface pressée S , définie par la relation :

$P = \frac{F}{S}$ et s'exprime, dans le Système International d'unités, en **Pascal** tel que :

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} .$$

D'autres unités de pression :

- L'hectopascal ($1 \text{ hPa} = 10^2 \text{ Pa}$),
- Le bar ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$),
- L'atmosphère ($1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$),
- Le centimètre de mercure ($76 \text{ cm - Hg} = 101325 \text{ Pa}$) ...

La pression atmosphérique :

L'**atmosphère terrestre** est constituée d'un mélange gazeux : l'**air** qui est formé essentiellement de **dioxygène** et de **diazote**. La pression de l'air qui nous entoure sur les corps en contact avec elle s'appelle la **pression atmosphérique**. sa valeur normale est de :

$$P_{\text{atm}} = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$$

La pression atmosphérique **diminue** avec l'**altitude**.

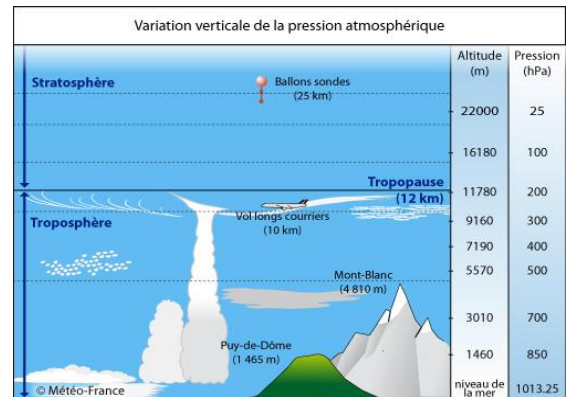
Mesure de la pression d'un gaz :

Pour mesurer la pression d'un gaz on utilise le **manomètre**. Pour mesurer la pression atmosphérique on utilise le **baromètre**.

Les **manomètres** utilisent comme principe de fonctionnement la déformation d'une paroi métallique ;

Les manomètres absolus : ils donnent la pression d'un gaz par rapport au **vide**.

Les manomètres relatifs : ils donnent la **différence** entre la pression du gaz et la pression atmosphérique.



| | |
|------------------------|---------------------|
| grandeur macroscopique | مقدار عياني |
| pression atmosphérique | الضغط الجوي |
| atmosphère terrestre | الغلاف الجوي الأرضي |
| paroi métallique | صفيحة فلزية |

| | |
|------------|-------|
| gaz | غاز |
| mélange | خليط |
| vide | فراغ |
| différence | الفرق |

| | |
|----------|----------|
| diminue | يتناقص |
| altitude | الارتفاع |
| absolu | مطلق |
| relatif | نسبي |

| | |
|----------|--------|
| pression | ضغط |
| pascal | باسكال |
| bar | البار |
| mercure | الزئبق |

EXEMPLES D' ACTIONS MÉCANIQUES

I-Exemples d'actions mécaniques :

1-Notion d'actions mécaniques :

Lorsqu'un corps agit sur un autre corps on parle d'une action mécanique.

Une action mécanique peut :

- ✓ Mettre en mouvement un objet
- ✓ Maintenir en équilibre un objet
- ✓ Déformer un objet

2-Modélisations d'une action mécanique :

Une action mécanique se modélise par un vecteur force noté \vec{F} dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ✓ Un point d'application
- ✓ Une direction appelée droite d'action
- ✓ Un sens
- ✓ Une valeur appelée intensité dont l'unité est le Newton (noté N)

II-Classification d'actions mécaniques

1-Action de contact :

1-1-Définition :

L'action mécanique de contact nécessite un contact entre le corps qui exerce et celui qui subit l'action.

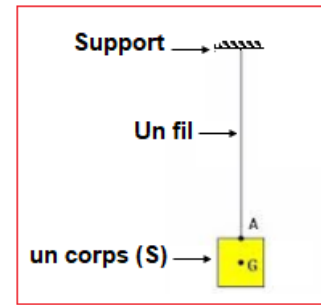
Exemple : l'action du fil sur le corps S

1-2-Action de contact localisée :

L'action mécanique est dite de contact localisée si elle s'exerce sur une petite surface qu'on peut considérer comme un point.

Exemple :

Le contact entre le fil et le corps S se fait en un point A : il s'agit d'un contact localisé.

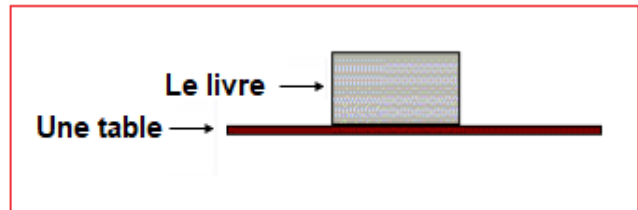


1-3-Action de contact réparti :

L'action mécanique est dite de contact réparti si elle s'exerce sur la totalité d'une surface S.

Exemple :

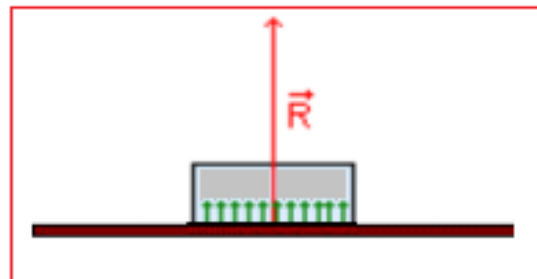
Le contact entre le livre et la table se fait sur la totalité d'une surface c'est un contact réparti.



Remarque :

L'action de la table sur le livre est la **résultante** de toutes les forces de contact exercée par la table **en chaque point** de la surface du livre.

L'action de la table se modélise d'une **force appliquée au centre** de la surface de contact et appelée : **réaction** de la table notée \vec{R} .



1-4-Réaction du plan sur un corps :

a- Cas de contact sans frottement :

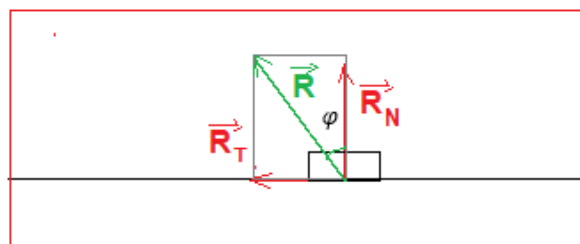
Le contact se fait **sans frottement** si la direction de la réaction \vec{R} est **perpendiculaire** à la surface de contact (voir tableau en dessous).

b- Cas de contact avec frottement :

La direction de la réaction \vec{R} est **incliné** si le contact se fait avec **frottement**, on décompose \vec{R} en forces :

\vec{R}_N : la **composante normale** qui s'oppose à l'enfoncement du corps dans le support.

\vec{R}_T : la **composante tangentielle** ou **force du frottement** notée \vec{f} .



deux

$$\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{R}_T \quad R = \sqrt{R_N^2 + R_T^2}$$

On appelle coefficient de frottement : $k = \tan\varphi = \frac{R_T}{R_N}$

2-Actions mécaniques à distance :

2-1-Définition :

L'action mécanique est dite à distance s'elle s'exerce sans aucun contact entre le corps qui exerce l'action et celui qui l'a subi.

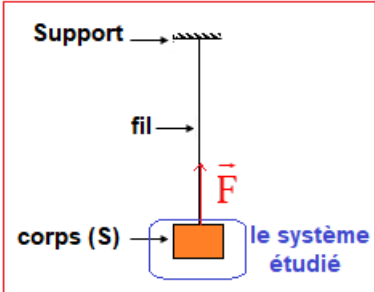
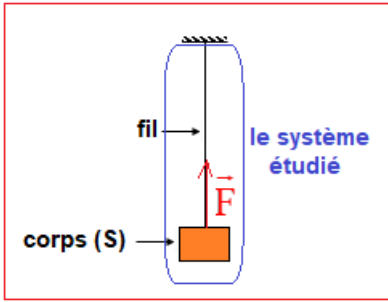
2-1-Exemples :

- Le poids du corps
- Les forces électriques
- Les forces magnétiques

3-Les forces extérieures et forces intérieures :

Les forces extérieures : ce sont toutes les forces exercées par l'extérieur sur le système.

Les forces intérieures : ce sont toutes les forces exercées par une partie du système sur une autre partie du système.

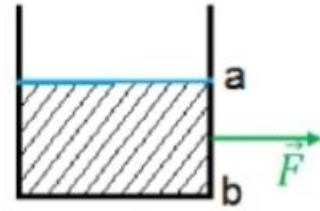
| Exemple 1 | Exemple 2 |
|---|---|
| <p>Système étudié : le corps (S)</p>  <p>La force \vec{F} exercée par le fil sur la corps (S) est une force extérieure.</p> | <p>Système étudié { le corps (S)+le fil }</p>  <p>La force \vec{F} exercée par le fil sur la corps (S) est une force intérieure.</p> |

III-La force pressante

Une force pressante est une force de contact répartie, exercée par le solide ou un fluide sur la surface d'un objet en contact avec lui.

Caractéristique de la force pressante \vec{F} :

- ❖ Point d'application : centre de la surface pressée
- ❖ Direction : perpendiculaire à la paroi
- ❖ Sens : orienté vers l'extérieure de la paroi
- ❖ Valeur : F est en N



Par définition la pression P d'un fluide est donnée par la relation :

$$P = \frac{F}{S} \text{ avec: } \begin{cases} F: \text{Force pressante en Newton (N)} \\ S: \text{Aire de la surface plane en (m}^2\text{)} \\ P: \text{pression en Pascal (Pa)} \end{cases}$$

Unité légale de la pression :

- Par définition l'unité l'égale de la pression est la pascal de symbole Pa .
Le Pascal est la pression exercée par une force pressante de $1N$ sur une surface plane de $1 m^2$.
- On emploie couramment d'autres unités :
 - Le bar : $1 bar = 10^5 Pa$
 - L'hectopascal : $1hPa = 10^2 Pa = 1mbar$
 - L'atmosphère : $1atm = 1,013 \times 10^5 Pa = 1,013 bar$
 - Cm de mercure : $76 cm - Hg = 101325 Pa$

Remarque :

La pression atmosphérique est la pression de l'aire qui nous entoure.

Sa valeur dans les condition normale est :

$$1013 hPa = 1,013 \times 10^5 Pa = 1,013 bar$$

Exemples d'actions mécaniques. Cours.

I. Manifestations d'une action mécanique :

1) *Activité :*


2) *Effets d'une action mécanique :*

Un objet subit des actions mécaniques de la part de certains objets qui l'entourent .

On appelle force l'action mécanique d'un objet sur un autre .

La force est capable de :

- mettre en mouvement un objet.
- modifier le mouvement d'un objet.
- modifier la forme d'un objet.

3) *Modélisation d'une action mécanique :* Vecteur force 

Un vecteur force est représenté par une flèche et il est caractérisé par son point d'application ,sa direction , son sens et sa longueur (ou norme) F traduisant l'intensité de l'action .

La longueur de ce vecteur est proportionnelle à la norme de la force selon l'échelle choisie : .

Dans le Système International (SI) l'unité de force est..... Symbole :

II.) Différents types de forces :

Une force peut s'exercer à distance : force électrique, force magnétique et force gravitationnelle ou s'exercer avec contact, soit ponctuel (traction avec un fil,...) ou répartie sur une surface (vent sur une voile, réaction d'une table sur un livre ,...).

III. Etude de quelques forces :

1. Exemple d'action mécanique de contact « localisée » :

Une action mécanique de contact est dite localisée si elle s'applique en un point déterminé.

Rem : en pratique, elle s'exerce sur une surface de petite dimension que l'on peut assimiler à un point appelé **point d'application de la force**.

Definition de la tension du fil :

La force exercée par le fil peut être appelée tension du fil . Sa direction est celle du fil et elle est orientée vers le fil.

2.Exemples d'actions mécaniques de contact « réparties » :

Une action mécanique de contact est dite répartie si elle s'exerce sur une surface de grande dimension .

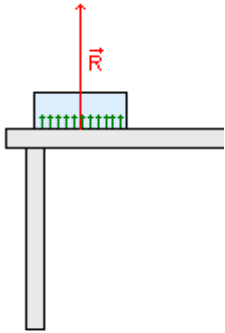
Rem : en pratique, elle peut être modélisée par un vecteur force unique de point d'application en général inconnu

2.1-Réaction d'un support (surface) plan :

➤ *Sans frottement :*

La table exerce sur le livre une infinité de forces réparties $\vec{R}_1, \vec{R}_2, \dots, \vec{R}_n$. L'action mécanique exercée par la table sur le livre peut être représentée par une force unique

$$\vec{R} = \vec{R}_1 + \vec{R}_2 + \dots + \vec{R}_n.$$



\vec{R} est la réaction de la table sur le livre. C'est une force répartie sur toute la surface de contact.

Son point d'application dans ce cas se situe au milieu de la surface de contact.

Sa droite d'action est perpendiculaire à la surface de contact.

Son sens est de la surface de contact vers le corps qui subit l'action (ici c'est le livre).

Intensité : R ou R_N (pas de formule spécifique).

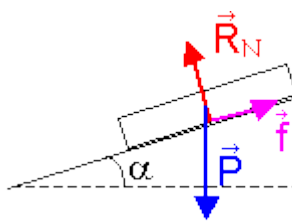
Avec frottement :

Dans ce cas, \vec{R} se décompose en deux forces : $\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{f}$

- \vec{R}_N : composante **normale** qui s'oppose à l'enfoncement de l'objet dans le support.
- \vec{f} (ou \vec{R}_T) : composante **tangentielle** ou **force de frottements**. Elle correspond à des actions de frottement ou d'adhérence.

Le sens de \vec{R}_T dépend du phénomène étudié. \vec{R}_T s'oppose au déplacement (ou à l'éventuel déplacement).

Exemple :



Si le plan est lisse, les frottements n'existent pas, le solide n'est plus en équilibre. \vec{R}_N et \vec{P} restent comme dans le cas précédent c.à.d : $f = 0 \text{ N}$

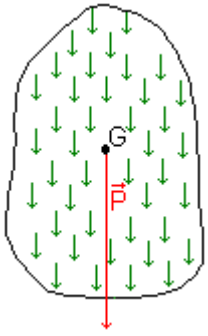
2.2-Forces à distance :

Les forces à distance représentent des actions mécaniques exercées sur un solide sans que celui-ci soit en contact avec les « objets » responsables de ces actions.

Poids d'un corps

La terre exerce sur le solide S une infinité de forces $\vec{P}_1, \vec{P}_2, \dots, \vec{P}_n$ sur chaque élément de matière. Cette action mécanique peut être représentée par une force unique :

$$\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots + \vec{P}_n.$$



\vec{P} est le poids total du solide.

C'est une force répartie sur tout le volume du solide.

Son point d'application se situe au centre de gravité G .

IV- Notion de pression :

1) *Activité :*

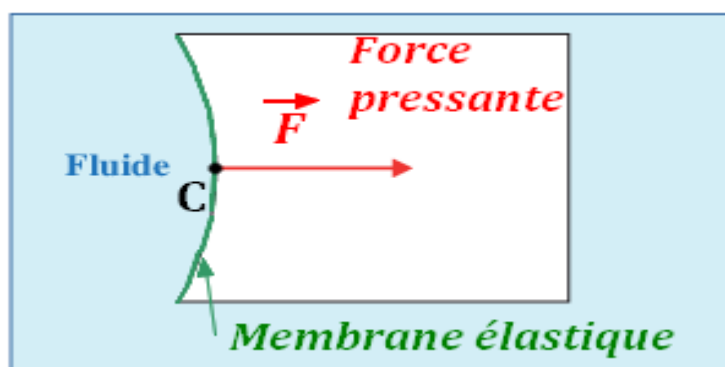
2)- *La force pressante.*

L'action exercée par une force de contact répartie ou par un fluide sur la surface de la paroi du contact est modélisée par une force appelée : force pressante.

- Caractéristique de cette force :

| | |
|-----------|---|
| \vec{F} | Point d'application : on choisit le centre de la surface pressée |
| | Direction : perpendiculaire à la paroi |
| | Sens : orienté vers l'extérieur de la paroi |
| | Valeur : F en newton N |

Exemple : Force pressante exercée par le fluide sur la membrane élastique :



2)- *La pression.*

Par définition la pression P d'un fluide est donnée par la relation :

$$P = \frac{F}{S} \quad \text{avec : } \begin{cases} \mathbf{F} & \text{Force pressante Newton (N)} \\ \mathbf{S} & \text{Aire de la surface plane (m}^2\text{)} \\ \mathbf{P} & \text{Pression Pascal (Pa)} \end{cases}$$

Unité légale de pression :

- Par définition, l'unité légale de pression est le pascal de symbole Pa.
- C'est la pression exercée par une force pressante de 1 N sur une surface plane de 1 m².
- On emploie couramment d'autres unités :
 - Le bar (bar) : 1 bar = 10⁵ Pa
 - L'hectopascal : 1 hPa = 10² Pa = 1 mbar
 - L'atmosphère (atm) : 1 atm = 1,013 x 10⁵ Pa = 1,013 bar

La pression atmosphérique :

- La pression de l'air qui nous entoure s'appelle la pression atmosphérique.
- Cette pression est voisine de 1 bar au niveau du sol, soit en météorologie 1000 hPa.
- La valeur de la pression atmosphérique normale est de :
$$1013 \text{ hPa} = 1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa} = 1,013 \text{ bar}$$
- La pression atmosphérique diminue avec l'altitude.

Le mouvement-la vitesse

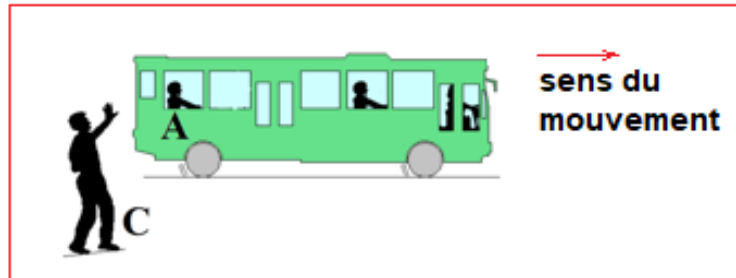
I-Relativité du mouvement

1-Mise en évidence :

a-Activité N°1:

Le voyageur A dans le bus est au **repos** par rapport au bus.

Le voyageur A est en **mouvement** par rapport à C.



On remarque que l'objet peut être en **mouvement** ou au **repos** selon l'objet auquel on se rapporte ; on dit qu'il a un caractère relatif.

b-Conclusion :

Le **mouvement** d'un corps ne peut être que par rapport à un **solide de référence** (référentiel). **L'état de mouvement ou de repos dépend du référentiel choisis**. On dit que le **mouvement** du système est **relatif** au référentiel choisis.

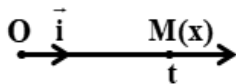
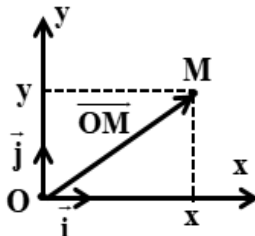
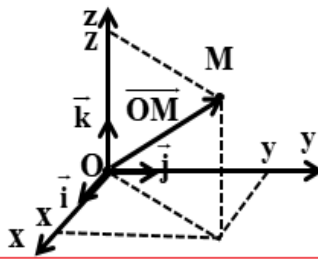
2-Référentiel :

Un **référentiel** est un **solide indéformable** pris comme référence par rapport auquel on étudie le mouvement d'un autre corps.

3-Repère d'espace :

Pour repérer la position du mobile dans le référentiel choisi on utilise un repère d'espace.

C'est un système d'axes muni d'une base constituée de 1, 2 ou 3 vecteurs unitaires et un point origine O lié au référentiel.

| mouvement | mouvement rectiligne | mouvement dans le plan | mouvement dans l'espace |
|------------------|---|---|---|
| repère d'espace |  |  |  |
| | $R(O, \vec{i})$ | $R(O, \vec{i}, \vec{j})$ | $R(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ |
| vecteur position | $\overrightarrow{OM} = x \cdot \vec{i}$ | $\overrightarrow{OM} = x \cdot \vec{i} + y \cdot \vec{j}$ | $\overrightarrow{OM} = x \cdot \vec{i} + y \cdot \vec{j} + z \cdot \vec{k}$ |
| module | $OM = x$ | $OM = \sqrt{x^2 + y^2}$ | $OM = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ |

4–repère de temps :

Pour décrire le mouvement d'un point du corps, il faut déterminer les dates des moments pendant lesquels ce point occupe certaines positions.

Le **repère de temps** est constitué d'une **origine arbitraire** (prend la valeur $t=0$) et un **sens positif** orienté vers la future.

L'intervalle de temps qui sépare deux dates t_1 et t_2 représente une durée ; on la note Δt tel que $\Delta t = t_1 - t_2$.

Dans le système international, les dates et les durées sont mesurées en **seconde (s)**.

5–La trajectoire :

La trajectoire d'un point est l'ensemble des positions successives que ce point occupe au cours de son mouvement.

- Si la trajectoire est une **droite**, le **mouvement est rectiligne**.
- Si la trajectoire est un **cercle**, le **mouvement est circulaire**.
- Si la trajectoire est une **courbe**, le **mouvement est curviligne**.

Remarque :

La trajectoire d'un point dépend du référentiel d'étude.

II–La vitesse :

1–La vitesse moyenne :

a–Définition :

La **vitesse moyenne** d'un mobile est le quotient de la **distance** parcourue d par la **durée** de parcours Δt :

$$V_m = \frac{d}{\Delta t} \rightarrow \begin{cases} d: \text{la distance parcourue (en m)} \\ \Delta t: \text{la dur\u00e9e du parcours (en s)} \\ V_m : \text{la vitesse moyenne (en m.s}^{-1}\text{)} \end{cases}$$

b-Exercice :

Un train (TGV) parcourt une distance $d = 450\text{km}$ en une dur\u00e9e de $\Delta t = 1\text{h}23\text{mn}20\text{s}$.

1-Calculer sa vitesse moyenne en (m.s^{-1}) puis en (km.h^{-1}) .

2-Le m\u00eame train parcourt \u00e0 la m\u00eame vitesse une distance $d' = 630 \text{ km}$.
Quelle est la dur\u00e9e du parcours ?

Correction

1-Vitesse moyenne V :

$$V = \frac{d}{\Delta t}$$

$$\text{A.N : } V = \frac{450 \times 10^3 \text{ m}}{(1 \times 3600 + 23 \times 60 + 20) \text{ s}} = 90 \text{ m/s}$$

$$V = 90 \times 3,6 = 324 \text{ km/h}$$

2- La dur\u00e9e du parcours $\Delta t'$:

$$V = \frac{d'}{\Delta t'} \Rightarrow \Delta t' = \frac{d'}{V}$$

$$\text{A.N : } \Delta t' = \frac{630 \cdot 10^3}{90} = 7000 \text{ s} \Rightarrow \Delta t' = 1\text{h } 56\text{min } 40 \text{ s}$$

2-La vitesse instantan\u00e9e :

a- D\u00e9finition :

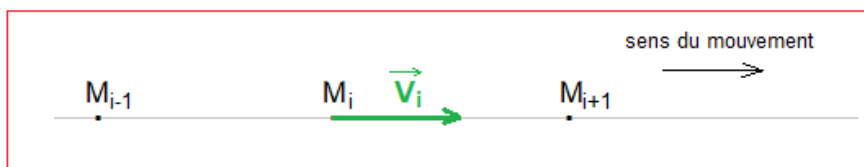
La **vitesse instantan\u00e9e** d'un mobile est sa vitesse \u00e0 un instant donn\u00e9.

Pratiquement la valeur de la vitesse est donn\u00e9e par la relation suivante :

$$V_i = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \Rightarrow V_i = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{2\tau}$$

b-Les caract\u00e9ristiques du vecteur vitesse :

- **L'origine** : le point o\u00f9 se trouve le mobile ponctuel \u00e0 cet instant.
- **La direction** : la tangente \u00e0 la trajectoire au point M.
- **Le sens** : celui du mouvement.
- **La norme** : la valeur du vecteur vitesse \u00e0 cet instant.



III – Mouvement rectiligne uniforme :

1-définition :

Le mouvement **rectiligne** est dit **uniforme** si son **vecteur vitesse** est **constant** $\vec{V} = \overrightarrow{cte}$ (garde la même direction, le même sens et la même valeur) **au cours du mouvement**.

2-Equation horaire du mouvement :

La vitesse V d'un mobile en mouvement rectiligne uniforme est constante et l'équation horaire du mouvement $x = f(t)$ est une fonction affine de temps de forme :

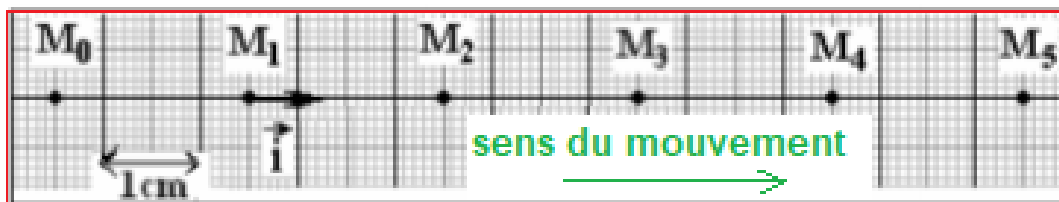
$$x = V \cdot t + x_0 \rightarrow \begin{cases} x: \text{abscisse du mobile à l'instant } t \text{ (en m)} \\ V: \text{valeur algébrique de la vitesse du mobile (en m/s)} \\ x_0: \text{abscisse du mobile à l'instant } t = 0 \text{ (en m)} \end{cases}$$

Remarque :

- Si le mobile se déplace dans le même sens que l'axe Ox , $V > 0$.
- Si le mobile se déplace dans le sens contraire que l'axe Ox , $V < 0$.

3-Exercice d'application :

Au cours du mouvement rectiligne d'un autoporteur (S), on a obtenu l'enregistrement suivant :



L'intervalle du temps qui sépare deux points consécutifs est $\tau = 40 \text{ ms}$.

- 1)-Quelles la nature du mouvement de (S) ?
- 2)-Déterminer la valeur de la vitesse de (S) à la position M_2 .
- 3)-Compléter le remplissage du tableau sachant qu'à l'instant $t=0$ le mobile passe par la position M_2 .

| Position M_i | M_0 | M_1 | M_2 | M_3 | M_4 | M_5 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Abscisse $x(\text{cm})$ | | | | | | |
| date $t(\text{s})$ | | | | | | |

4)-Tracer la courbe $x = f(t)$ à l'échelle suivante :

$$\begin{cases} \text{axe des abscisses : } 1\text{cm} \rightarrow 0,04\text{ s} \\ \text{axe des ordonnées : } 1\text{cm} \rightarrow 0,01\text{ m} \end{cases}$$

5)-Déduire l'équation horaire du mouvement.

Correction

1)-Nature du mouvement :

On constate que la trajectoire est rectiligne et que le mobile parcourt les distances pendant les mêmes intervalles du temps, donc le mouvement est **rectiligne uniforme**.

2)-Vitesse du mobile à M_2 :

$$V_2 = \frac{M_1 M_3}{2\tau} = \frac{4\text{cm}}{2 \times 40\text{ ms}} = \frac{4 \cdot 10^{-2}\text{m}}{2 \times 40 \cdot 10^{-3}\text{s}} \Rightarrow V_2 = 0,5\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

3)-Complétant le tableau :

| Position M_i | M_0 | M_1 | M_2 | M_3 | M_4 | M_5 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Son abscisse $x(\text{cm})$ | -2 | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| Sa date $t(\text{s})$ | -0,08 | -0,04 | 0 | 0,04 | 0,08 | 0,12 |

4)-La courbe $x = f(t)$:

5)-L'équation horaire du mouvement :

$$x = V \cdot t + x_0$$

La vitesse V est le coefficient

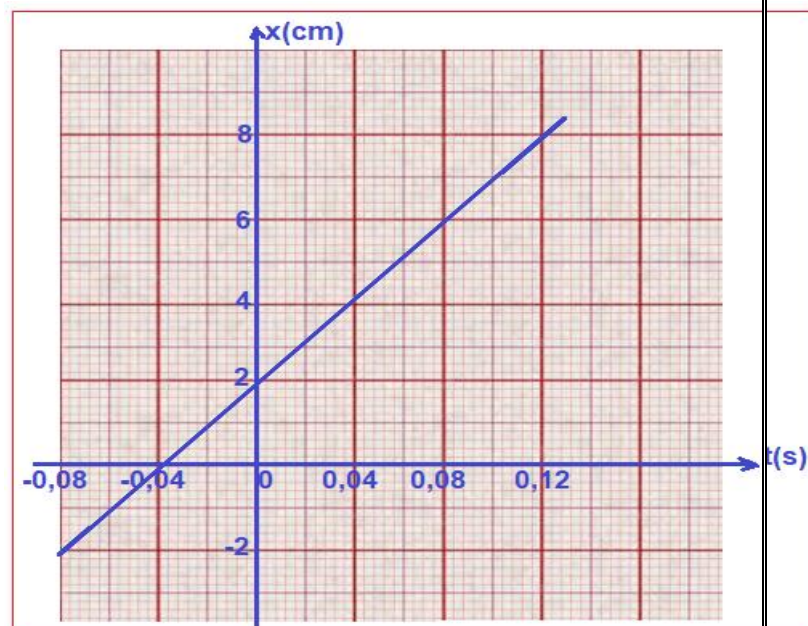
directeur de la droite $x = f(t)$

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow V = \frac{(6 - 4) \cdot 10^{-2}\text{m}}{(0,08 - 0,04)\text{s}}$$

$$V = 0,5\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

x_0 est l'abscisse à l'origine des

dates : $x_0 = 2\text{cm} = 0,02\text{ m}$



L'équation horaire du mouvement de (S) est :

$$x(t) = 0,5t + 0,02$$

IV- Mouvement circulaire uniforme :

1-Définition :

Un mouvement d'un point est circulaire si sa **trajectoire** est un **cercle**.

Un mouvement **circulaire** est dite **uniforme** si la **norme** de la **vitesse** reste **constante** au cours du temps (c'est-à-dire que le vecteur vitesse ne garde pas la même direction et le même sens).

2-La période et la fréquence :

La période d'un mouvement de rotation circulaire uniforme est la durée d'un tour, noté T exprimé en seconde :

$$T = \frac{2\pi R}{v} \quad (\text{R est le rayon de la trajectoire et } v \text{ la vitesse du mouvement}).$$

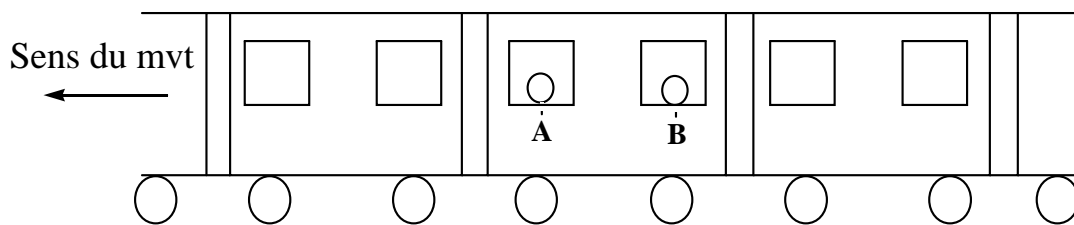
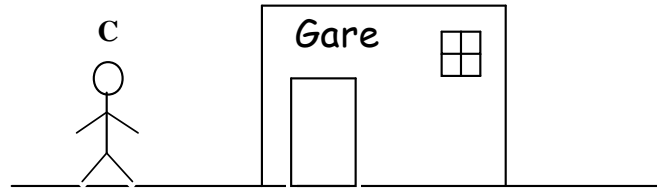
La fréquence est le nombre de tours effectué par seconde, noté f exprimé en hertz (Hz) : $f = \frac{1}{T}$



I Relativité du mouvement

Activité N°1 :

On considère une personne C attend dans la gare et 2 voyageurs A et B sont assis dans le train qui bouge devant la gare.



- 1- A est-il en mouvement par rapport à B ?
- 2- A est-il en mouvement par rapport à C ?
- 3- B est-il en mouvement par rapport à la gare ?
- 4- Que remarque-tu ?

- ✓ A est au repos par rapport à B
- ✓ A est en mouvement par rapport à C
- ✓ B est en mouvement par rapport à la gare
- ✓ On remarque qu'un objet peut être :
 - Au repos
 - En mouvement

Selon l'objet auquel on se rapporte ; On dit qu'il a un caractère *relatif*

II Référentiel

1) Définition

Un référentiel est un solide pris comme référence par rapport auquel on étudie le mouvement d'autre objet

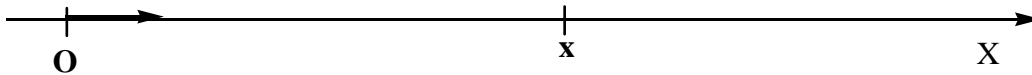
III Les outils pour décrire le mouvement

Pour décrire avec précision le mouvement d'un point il faut *un repère d'espace* et *un repère de temps*.

- Un repère d'espace fixé sur le référentiel choisi pour avoir les coordonnées du point (nécessite un repère orthonormé $(\vec{o}, \vec{i}; \vec{j}; \vec{k})$) (*L'archipel de Physique Chimie page 32*)

♣ Mouvement rectiligne :

On utilise un seul axe (OX) donc le repère est (\vec{o}, \vec{i}) $\vec{M} = x_M \cdot \vec{i}$



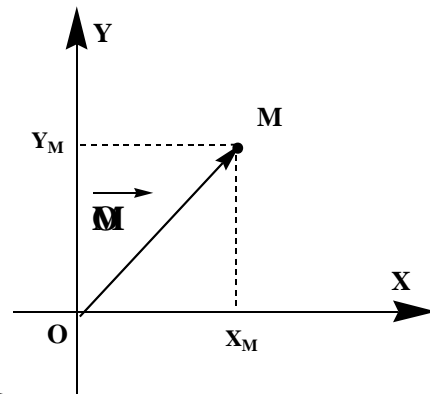
La position du mobile change en fonction du temps donc on localise la position du mobile grâce au vecteur position \vec{M} .

♣ Mouvement dans un plan :

On utilise 2 axes (OX) et (OY) donc le repère est $(\vec{o}, \vec{i}; \vec{j})$

Donc le vecteur position \vec{M}

$$\vec{M} = x_M \cdot \vec{i} + y_M \cdot \vec{j}$$

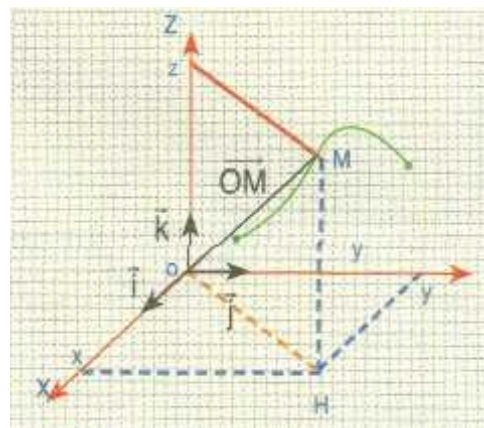


♣ Mouvement dans l'espace :

On utilise 3 axes (OX) , (OY) et (OZ) donc le repère est $(\vec{o}, \vec{i}; \vec{j}; \vec{k})$

Donc le vecteur position \vec{M}

$$\vec{M} = x_M \cdot \vec{i} + y_M \cdot \vec{j} + z_M \cdot \vec{k}$$



(*L'archipel de P-C page 32*)

□ Un repère de temps

pour situer le mvt dans le temps on utilise un repère temps (nécessité d'un chronomètre)

❑ Trajectoire du mouvement :

Définition:

La trajectoire d'un point est la courbe décrite par l'ensemble des positions successives que ce point occupe au cours du mouvement. Il y a 3 types de trajectoires :

Trajectoire *rectiligne* ; Trajectoire *curviligne* et Trajectoire *circulaire*.

❑ Les enregistrements de mouvement

Ils doivent nous renseigner sur les positions successives du point et à quel instant il les occupe.

Pour enregistrer un mouvement soit on utilise :

- La chronophotographie :

On superpose des images successives prises à intervalle de temps égaux Δt sans oublier de préciser l'échelle des distances

- La table à coussin d'air :

Le banc à coussin d'air, ou table à coussin d'air, est un appareil scientifique utilisé pour étudier le mouvement. Son nom provient de sa structure : de l'air est pompé dans un support de transport avec de petits trous sur sa surface qui permet à des mobiles de glisser presque sans friction.

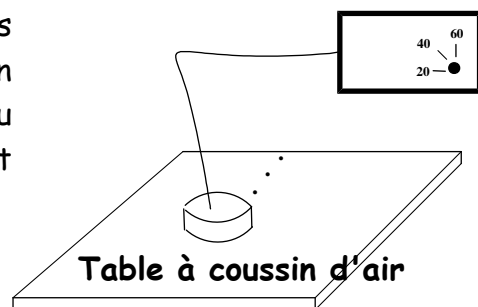


IV La vitesse : vitesse moyenne et vitesse instantanée

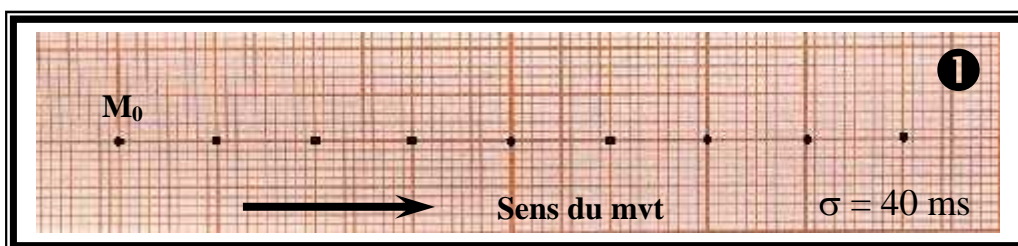
1) vitesse moyenne:

Activité expérimentale : N°1

Un palet autoporteur glisse sans frottement sur une table à coussin d'air. Un système permet de relever la position du centre du palet à intervalle de temps constant $\sigma = 40$ ms sur une feuille de papier



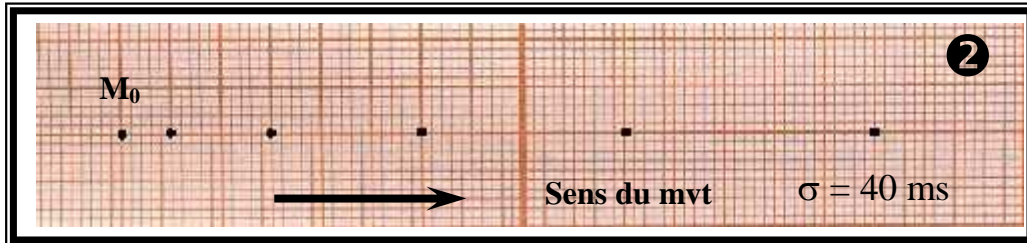
1/Premier Cas N°1 : la table est horizontale:



1-1/ Calculer la distance M_0M_8 .

- 1-2/ Calculer Δt la durée pour parcourir cette distance
- 1-3/ Calculer le rapport de la distance M_0M_8 sur Δt
- 1-4/ en utilisant les équations de dimension donner l'unité de ce rapport
- 1-5/ que représente ce rapport.

2/ Deuxième Cas N°2 : la table est inclinée:



- 2-1/ Calculer la distance parcourue pendant les 160 premières millisecondes
- 2-2/ Calculer $V_{\text{moy}} = \frac{d}{t}$ la vitesse moyenne pour parcourir cette distance.

1/Premier Cas N°1 : la table est horizontale:

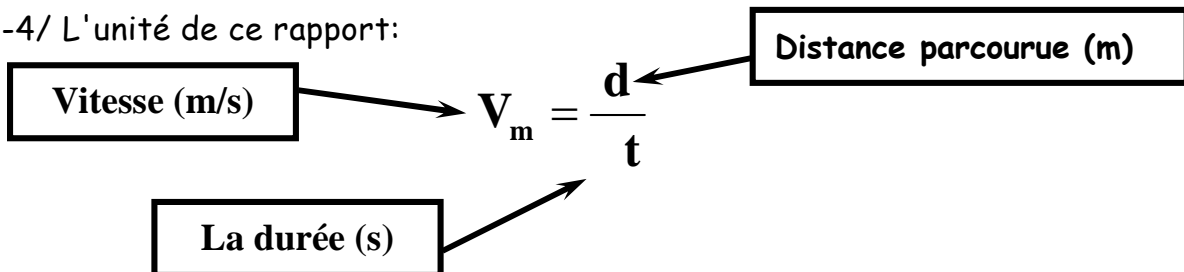
- 1-1/ Calcule de la distance M_0M_8 :
- $$M_0M_8 = 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}$$

- 1-2/ Calcule de Δt la durée pour parcourir cette distance
- $$\Delta t = 8 \times \sigma = 8 \times 40 \cdot 10^{-3} = 0,32 \text{ s}$$

- 1-3/ Calcule du rapport de la distance M_0M_8 sur Δt :

$$\frac{M_0M_8}{t} = \frac{0,08}{0,32} = 0,25 \text{ m.s}^{-1}$$

- 1-4/ L'unité de ce rapport:



- 1-5/ Ce rapport représente la vitesse moyenne.

2/ Deuxième Cas N°2 : la table est inclinée:

- 2-1/ Calcule de la distance parcourue pendant les 160 premières millisecondes
- 160 ms = 4 x 40 ms cette durée correspond à la distance M_0M_4
- $$M_0M_4 = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

- 2-2/ Calculer $V_{\text{moy}} = \frac{d}{t}$ la vitesse moyenne:

$$V_m = \frac{d}{t} = \frac{0,05}{160 \cdot 10^{-3}} = 0,31 \text{ m.s}^{-1}$$

Évolution de la vitesse

- Si au cours du mouvement la vitesse est constante on dit que le mouvement est uniforme
- Si au cours du mouvement la vitesse augmente on dit que le mouvement est accélééré
- Si au cours du mouvement la vitesse diminue on dit que le mouvement est retardé

2) *Mouvement rectiligne uniforme* $\vec{V} = \vec{C}st$:

Activité expérimentale : N°2

On considère l'ancien enregistrement N°1 lorsque banc à coussin d'air états en position horizontal.

1) Remplir le tableau ci-dessous :

| Position | M ₀ | M ₁ | M ₂ | M ₃ | M ₃ |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Instant t | 0 | | | | |
| Abscisse x | 0 | | | | |

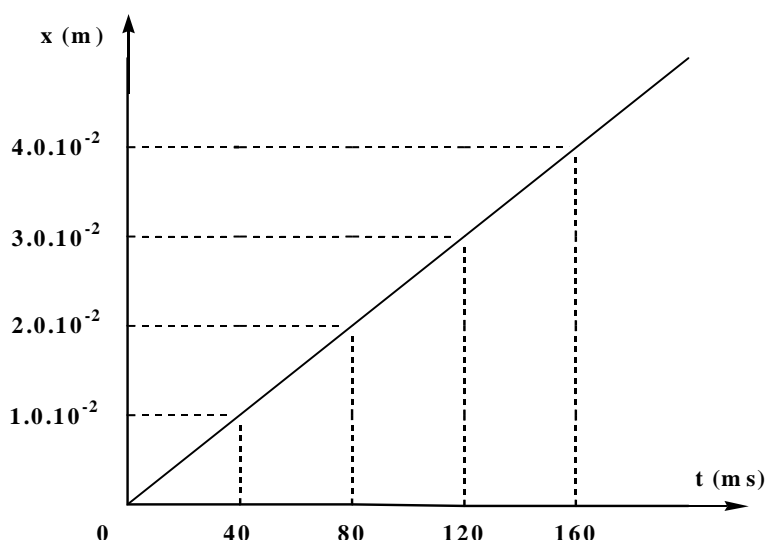
- 2) Représente x en fonction de t
- 3) Calculer le coefficient directeur de la droite de la courbe x=f(t)
- 4) Que représente le coefficient directeur de la droite ?
- 5) Donne l'expression numérique de la variable x en fonction de t.

Réponse :

1)

| Position | M ₀ | M ₁ | M ₂ | M ₃ | M ₃ |
|------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Instant t | 0 | 40 | 80 | 120 | 160 |
| Abscisse x | 0 | 1,0.10 ⁻² | 2,0.10 ⁻² | 3,0.10 ⁻² | 4,0.10 ⁻² |

2) Représentation x en fonction de t



3) Calculer le coefficient directeur de la droite de la courbe x=f(t)

$$m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{4.10^{-2} - 2.10^{-2}}{160.10^{-3} - 80.10^{-3}} = \frac{2.10^{-2}}{80.10^{-3}} = \frac{1}{4} = 0,25$$

4) Que représente le coefficient directeur de la droite ?

$$m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

le coefficient directeur de la droite représente la vitesse moyenne car son unité est m/s

5) Donne l'expression numérique de la variable x en fonction de t.

On appelle cette équation
Equation horaire du mouvement
rectiligne uniforme.

$$X(t) = 0,25 t$$

X : abscisse du mobile en m ; t : instant en s

Exercice 1 :

Dans chacun des cas suivants, choisir la meilleure réponse.

1. Dans le cas d'un mouvement rectiligne uniforme :
 - a. le vecteur vitesse est constant.
 - b. la valeur du vecteur vitesse est constante.
2. Dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme :
 - a. le vecteur vitesse est constant.
 - b. la valeur du vecteur vitesse est constante.
3. Dans le cas d'un mouvement curviligne uniforme:
 - a. le vecteur vitesse est constant.
 - b. la valeur du vecteur vitesse est constante.
4. Lorsque la valeur du vecteur vitesse est constante :
 - a. le mouvement est uniforme.
 - b. le mouvement est rectiligne uniforme.
5. Lorsque le vecteur vitesse est constant :
 - a. le mouvement est uniforme.
 - b. le mouvement est rectiligne uniforme.

Réponse :

1. Dans le cas d'un mouvement rectiligne uniforme
 - a. le vecteur vitesse est constant
2. Dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme
 - b. la valeur du vecteur vitesse est constante.
3. Dans le cas d'un mouvement curviligne uniforme:
 - b. la valeur du vecteur vitesse est constante.
4. Lorsque la valeur du vecteur vitesse est constante
 - a. le mouvement est uniforme.
5. Lorsque le vecteur vitesse est constant
 - b. le mouvement est rectiligne uniforme.

3) équation horaire du mouvement rectiligne uniforme

Vitesse (m/s)

Instant (s)

$$x(t) = \pm v.t + x_0$$

abscisse (m)

abscisse à l'origine (m)

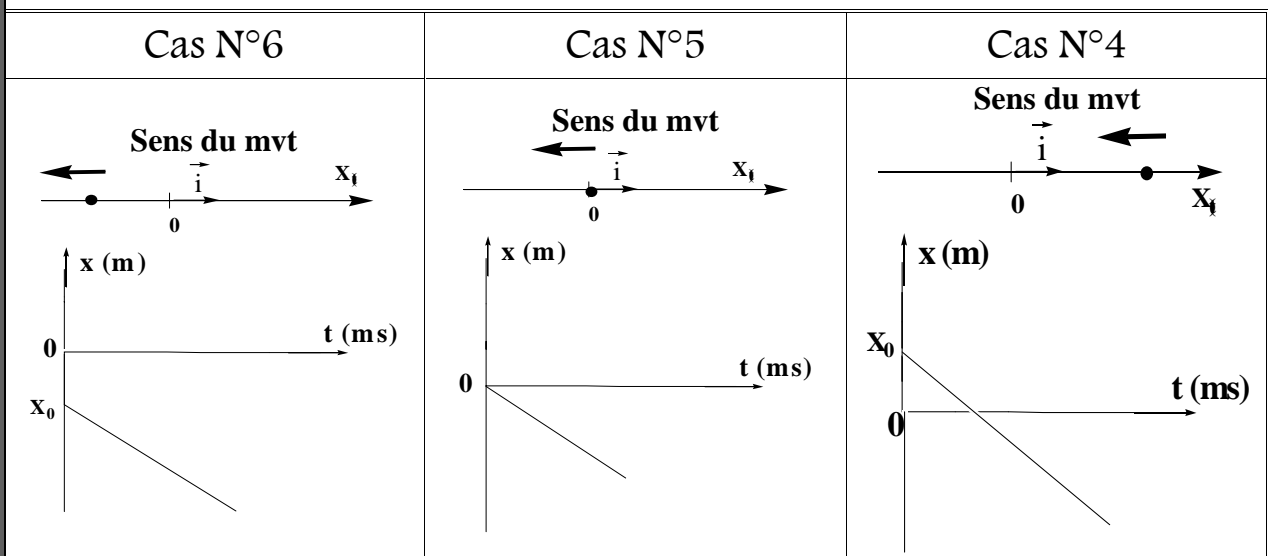
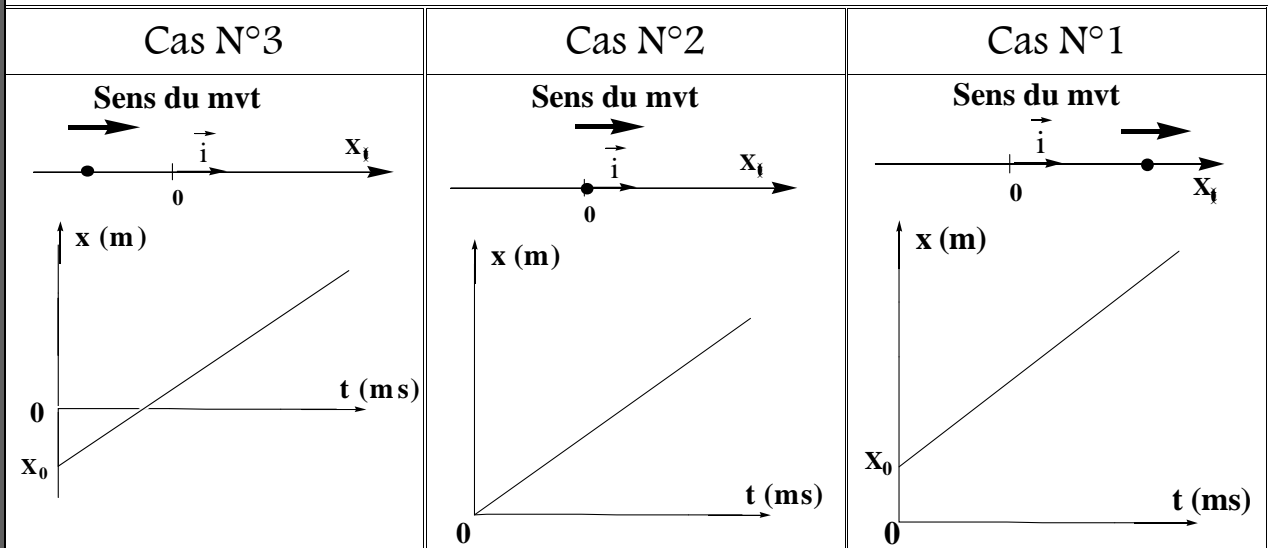
Sens du mvt

Remarque :

mouvement rectiligne uniforme

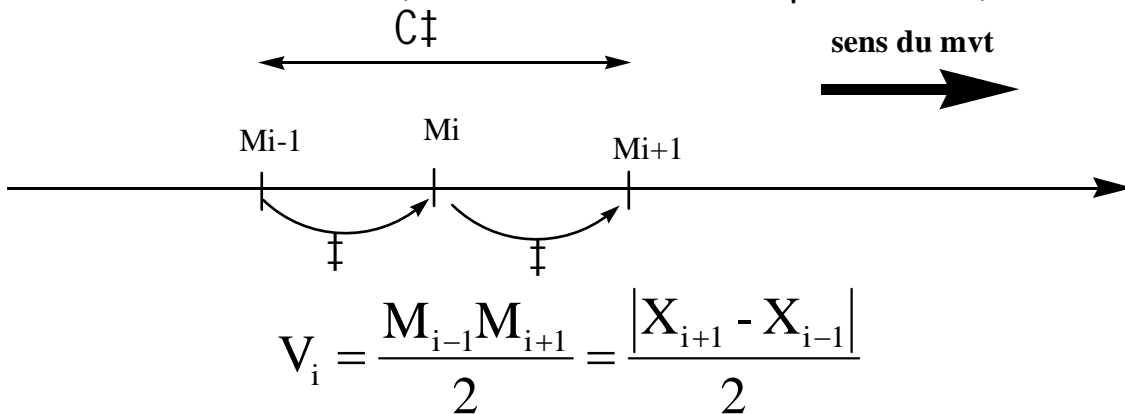


$$\vec{V} = \vec{C} st$$



4) vitesse instantanée:

La vitesse instantanée d'un mobile c'est la vitesse du mobile à l'instant donnée noté V_i (vitesse du mobile à la position M_i).



Activité expérimentale : N°3

On considère l'ancien enregistrement N°2 :

- Calculer V_1 la vitesse instantanée du mobile à la position M_1
- Calculer V_3 la vitesse instantanée du mobile à la position M_3

Calculer V_1 la vitesse instantanée du mobile à la position M_1

$$V_1 = \frac{M_0M_2}{2} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \text{ m/s}$$

Calculer V_3 la vitesse instantanée du mobile à la position M_3

$$V_3 = \frac{M_2M_4}{2} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \text{ m/s}$$

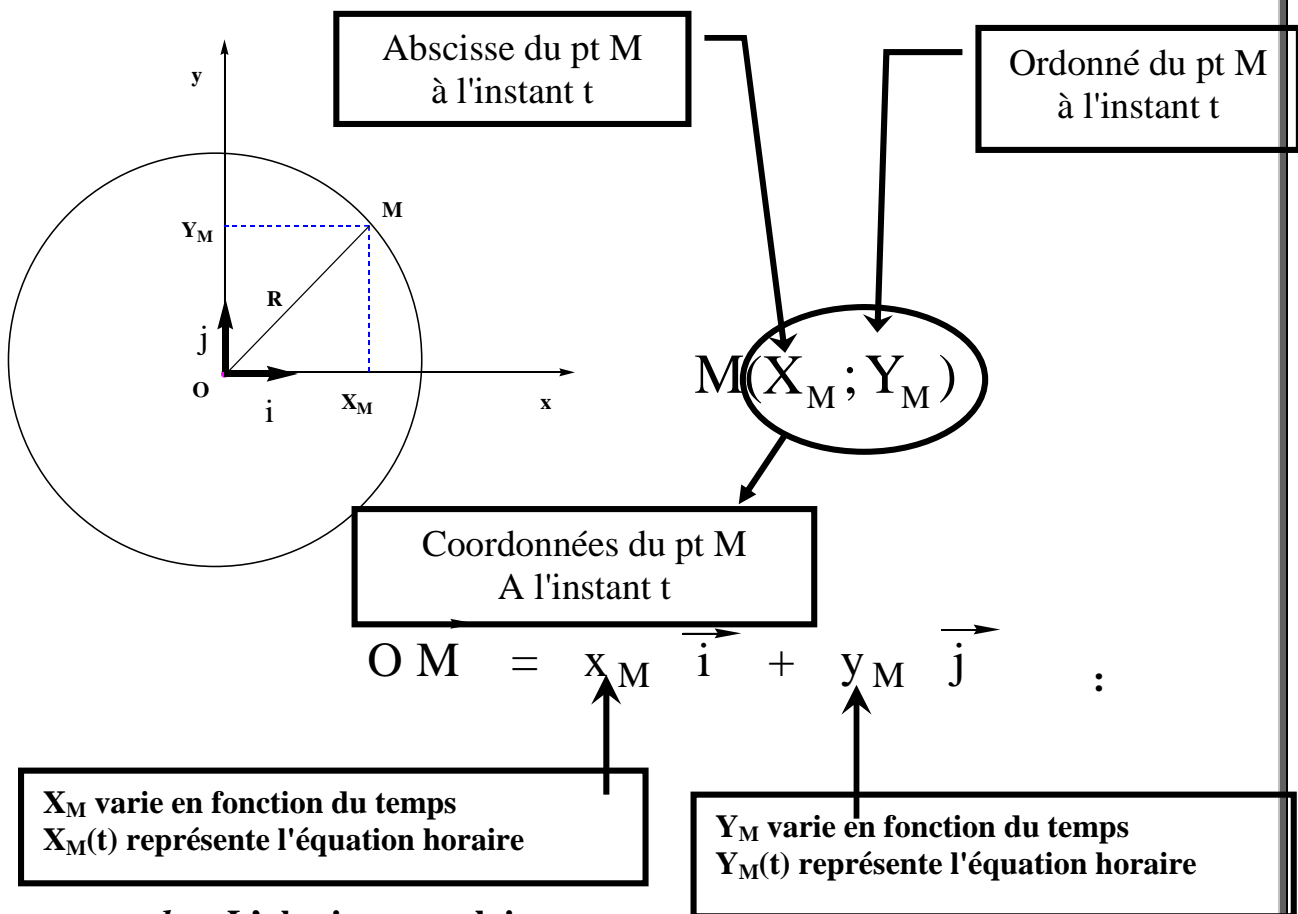
5) Vecteur vitesse instantanée:

| mouvement curviligne | mouvement rectiligne |
|---|---|
| $V_i = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{C‡}$ | $V_i = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{C‡}$ |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Centre : le point M_i ▪ Direction : la tangente au point M_i ▪ Sens : sens du mvt ▪ Norme : $\ \vec{V}_i\ \approx \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{2}$ | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Centre : le point M_i ▪ Direction : la droite qui représente le mvt ▪ Sens : sens du mvt ▪ Norme : $\ \vec{V}_i\ = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{2}$ |

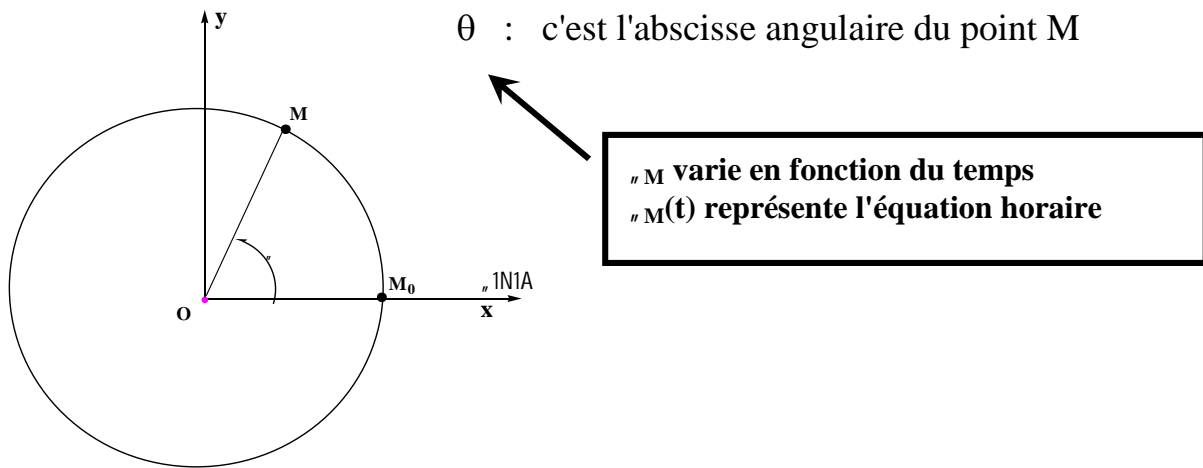
V Etude de mouvement circulaire :

1) Repérage d'un point du solide en mvt circulaire :

a- les coordonnées cartésiennes (x ; y):

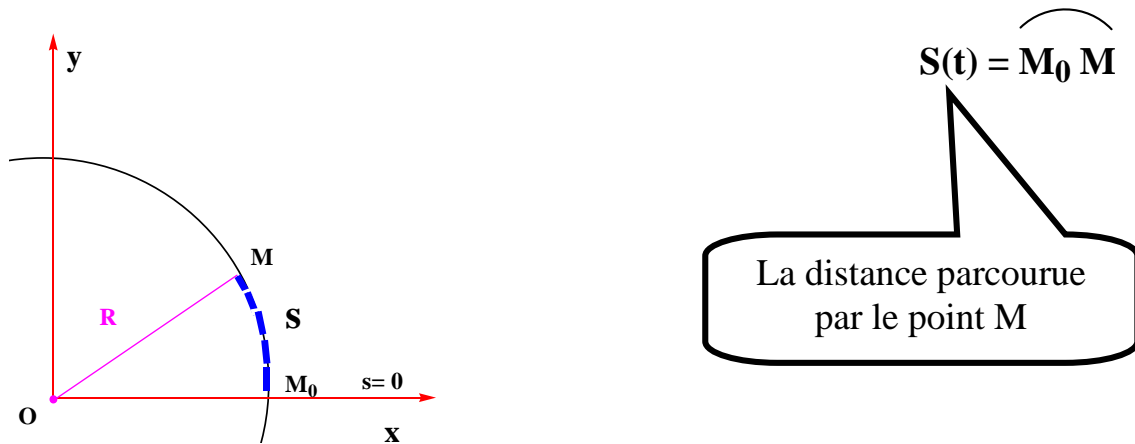


b- L'abscisse angulaire θ :



$$\frac{(\text{deg})}{180} = \frac{(\text{rad})}{1}$$

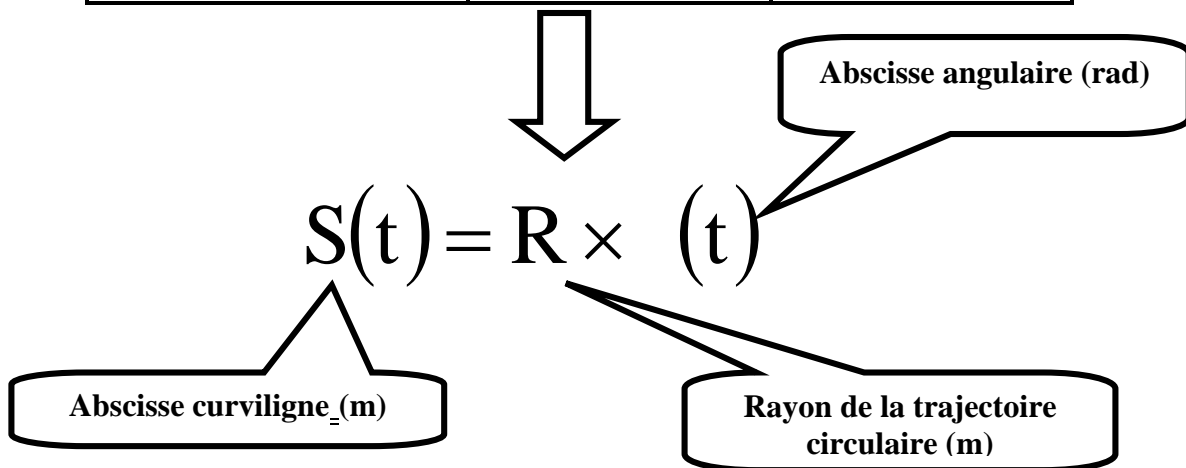
c- L'abscisse curviligne S :



La relation entre l'abscisse angulaire et l'abscisse

curviligne :

| | | |
|------------------------|-------|-------------|
| Angle (rad) | $2f$ | $\omega(t)$ |
| distance parcourue (m) | $2fR$ | $S(t)$ |



2) La vitesse angulaire :

□ La vitesse angulaire moyenne ω_m :

La vitesse angulaire moyenne ω d'un point M du solide en rotation autour d'un axe fixe entre 2 instants t_1 et t_2 :

$$\omega_m = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1}$$

vitesse angulaire moyenne (rad/s)

□ La vitesse angulaire instantanée \check{S}_i :

$$\check{S}_i = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$$

vitesse angulaire instantanée (rad/s)

La relation entre la vitesse angulaire \check{S} et la vitesse linéaire V :

Vitesse linéaire (m/s)

distance (m)

$$V_M(t_i) = r_M \cdot \check{S}(t_i)$$

Vitesse angulaire (rad/s)

3) Mouvement circulaire uniforme :

On a mouvement circulaire uniforme si la trajectoire est circulaire et la vitesse angulaire est constante.

□ La fréquence f :

$$\check{S} = 2\pi \times f$$

fréquence (Hz)

□ La période T :

$$\check{S} = \frac{2\pi}{T}$$

Période (s)

□ La relation entre période T et la fréquence f :

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

□ équation horaire du mouvement circulaire uniforme :

Abscisse angulaire (rad)

$$\theta = \pm \tilde{\omega} \cdot t + \theta_0$$

vitesse angulaire (rad/s)

Abscisse angulaire à l'origine (rad)

Exercice 1:

Un disque, de rayon $R = 15 \text{ cm}$, est animé d'un mouvement de rotation uniforme. Il tourne à 15 tr/min .

- .1/ Calculer sa vitesse angulaire en rad/s .
- .2/ De quel angle aura-t-il tourné dans un intervalle de 2 secondes.
- .3/ Calculer f sa fréquence en Hz
- .4/ Calculer T sa période en s .
- .5/ Calculer V la vitesse d'un point du disque loin du centre de 5 cm en cm/min .
- .6/ Calculer V' la vitesse d'un point du périmètre du disque en m/s .

Exercice 2:

Un disque (D) de diamètre $d = 10 \text{ cm}$ tourne avec une vitesse de 45 tours par minute autour d'un axe fixe () confondu avec son axe de symétrie qui passe par le centre O du disque.

1. Calculer la vitesse angulaire de rotation de ce disque.
2. En déduire la période et la fréquence du disque.
3. Calculer la vitesse angulaire de ce disque
4. Calculer la vitesse linéaire du point M qui se trouve à une distance de $d/4$ du point O.
5. Quel est le nombre de tours effectués par le disque pendant la durée $t = 10 \text{ s}$
6. Calculer la distance parcourue par le point M entre les deux instants $t=1\text{s}$ et $t=3\text{s}$

Exercice 3:

Chaque aiguille d'une horloge fait un mouvement de rotation uniforme.

- 1) Trouver en rad/s la vitesse angulaire de l'aiguille des secondes.
- 2) Trouver en rad/s la vitesse angulaire de l'aiguille des minutes.
- 3) Trouver en rad/s la vitesse angulaire de l'aiguille des heures

Le mouvement

I Relativité du mouvement

Un objet peut être soit au **repos**, soit en **mouvement** selon l'objet auquel on se rapporte ; On dit qu'il a un caractère **relatif**.

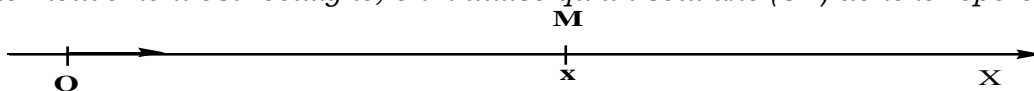
II Référentiel

Pour définir précisément le mouvement d'un objet , il faut indiquer **la position** du point considéré par rapport à un solide de **référence** choisi , et la **date** à laquelle il occupe cette position .

Toute étude du mouvement d'un corps doit se faire par rapport à un **référentiel** constitué d' :

- Un solide de **référence** , lié à un repère **d'espace orthonormé** $(0, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, par rapport auquel on repère les **positions** du système étudié.

Si le mouvement est rectiligne, on n'utilise qu'un seul axe (OX) donc le repère est $(0, \vec{i})$



On localise la position du mobile grâce au **vecteur position** \vec{OM} .

$\vec{OM} = x \vec{i}$ avec x l'abscisse du point M dans le repère $(0, \vec{i})$

- Une horloge permettant le **repérage des dates** .

Les enregistrements de mouvement nous renseignent sur **les positions successives** du point et à quel instant il les **occupe**. Pour enregistrer un mouvement soit on utilise :

- **La chronophotographie** : On superpose des images successives prises à intervalle de temps égaux τ sans oublier de préciser l'échelle des distances.
- **La table à coussin d'air** : Le banc à coussin d'air, ou table à coussin d'air, est un appareil scientifique utilisé pour étudier le mouvement. Son nom provient de sa structure : de l'air est pompé dans un support de transport avec de petits trous sur sa surface qui permet à des mobiles (palet autoporteur) de glisser presque sans frottement.

Un système permet de relever la position du centre du palet à intervalle de temps constant τ en milliseconde (ms) sur une feuille de papier.

III La vitesse : vitesse moyenne et vitesse instantanée

1- Vitesse moyenne :

Dans le référentiel d'étude, on appelle vitesse moyenne, le rapport :

| | |
|----------------------------|---|
| $v_m = \frac{d}{\Delta t}$ | <p>d : représente la distance parcourue en mètres (m)</p> <p>Δt : représente la durée du parcours en secondes (s)</p> <p>v_m : représente la vitesse moyenne exprimée en m/s ou m.s⁻¹</p> |
|----------------------------|---|

2- Vitesse instantanée :

La vitesse instantanée, d'un corps en mouvement, est la vitesse à **un instant donné** .

3- Vecteur vitesse instantanée:

Les caractéristiques du vecteur vitesse au point M sont:

- Origine : le point M.
- Direction : celle de la tangente en M à la trajectoire.
- Sens : Celui du mouvement du mobile.
- Valeur : la vitesse instantanée $V(t)$.

IV. Etude du mouvement rectiligne uniforme :

1. Les mouvements rectilignes : Un mouvement est dit rectiligne s'il s'effectue selon une trajectoire qui est une droite.

2. Condition pour qu'un mouvement rectiligne soit uniforme : Le mouvement rectiligne d'un point est dit uniforme si **son vecteur vitesse est constant en valeur, en direction et en sens** : $\vec{v} = c\vec{e}$

3. Conséquences d'un mouvement rectiligne uniforme :

- Le corps parcourt des distances égales pendant des durées successives égales.
- Les valeurs de la vitesse moyenne entre deux positions et de la vitesse instantanée de ce corps, à un instant quelconque sont égales.

4. Equation horaire du mouvement rectiligne uniforme :

L'abscisse x d'un point M en mouvement rectiligne uniforme est une fonction affine du temps de forme: $x = vt + x(t=0)$ où v est la vitesse du point, et $x(t=0)$ l'abscisse à l'origine des temps $t = 0$.

Remarques:

- si $x(t=0) = 0$ alors l'abscisse x est une fonction linéaire du temps ($x = vt$).
- si l'axe des abscisses est orienté dans le même sens que le mouvement alors l'abscisse est une fonction croissante.
- si l'axe des abscisses est orienté dans le sens opposé que le mouvement alors l'abscisse est une fonction décroissante, et l'équation horaire s'écrit : $x = vt + x(t=0)$

V. Etude du mouvement circulaire uniforme :

1. Définition :

Dans un référentiel donné le mouvement d'un point M est circulaire uniforme si en chaque instant la valeur v de la vitesse est constante et que la trajectoire est une portion de cercle de rayon R .

2. Vitesse angulaire :

La vitesse angulaire est, pour un mouvement circulaire, la mesure de l'angle parcourue par le point étudié en une seconde.

La mesure de l'angle est exprimée en radians (rad), l'unité de la vitesse angulaire est rads^{-1} .

Elle s'exprime par la relation : $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$

3. La période :

Une période est la durée de temps nécessaire à un point donné pour effectuer un cercle complet.

La période est reliée à la vitesse angulaire par la relation : $\omega = \frac{2\pi}{T}$

4. La fréquence

On appelle fréquence le nombre de tours effectués par un point en une seconde

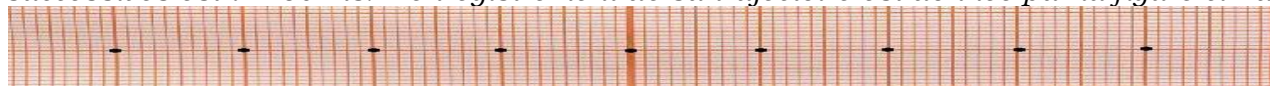
Son unité est le Hertz (Hz). $1 \text{ Hz} = 1 \text{ tour / seconde}$

La fréquence, la période et, la vitesse angulaire d'un mouvement circulaire uniforme sont reliés par les relations :

$$N = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

ACTIVITE :

Un mobile autoporteur est lancé sur une table à coussin d'air horizontale. La durée entre 2 prises successives est $\tau = 60 \text{ ms}$. L'enregistrement de sa trajectoire est donnée par la figure ci - dessous :



1. Quelle est la trajectoire du mobile ?

2. a/ Calculer la distance M_1M_5 .

b/ Calculer Δt la durée pour parcourir cette distance

c/ Calculer le rapport de la distance M_1M_5 sur Δt . Que représente ce rapport ?

d/ Calculer la vitesse moyenne entre M_0 et M_6 . Conclure.

3. Calculer les vitesses instantanées du mobile aux positions A_2 , A_4 et A_7 (on utilisera l'expression

$$v_i(t) = \frac{M_{i+1}M_{i-1}}{t_{i+1}-t_{i-1}} = \frac{M_{i+1}M_{i-1}}{2\tau} \text{). Conclure.}$$

4. Représenter le vecteur vitesse du mobile aux positions A_2 , A_4 et A_7 . Que constatez vous ?

5. En choisissant comme origine des espaces le point M_2 et comme origine des dates l'instant d'enregistrement du point M_4 :

a- Remplir le tableau ci-dessous :

| Position | M_0 | M_1 | M_2 | M_3 | M_4 | M_5 | M_6 | M_7 | M_8 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Date t en (s) | | | | | | | | | |
| Abscisse x en (m) | | | | | | | | | |

b- Représenter la courbe $x=f(t)$. (x en fonction de t).

c- Calculer le coefficient directeur de la droite de la courbe $x = f(t)$.

d- Que représente le coefficient directeur de la droite ?

e- Donner l'expression numérique de la variable x en fonction de t . (Equation horaire du mouvement)

Principe d'inertie

I-Effet d'une force sur un mouvement :

Une force qui s'exerce sur un corps peut modifier son mouvement, sa trajectoire ou sa vitesse.

Exemples :

- La force exercée par le pied sur un ballon a pour effet la mise en mouvement du ballon.
- Le ballon rebond sur le mur : la force exercée par le mur sur le ballon dévie la trajectoire et sa vitesse du ballon.

II-Centre d'inertie d'un corps solide :

1-système isolé et système pseudo-isolé :

1-1-Système isolé :

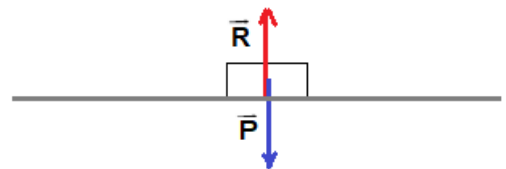
Un système est mécaniquement **isolé** s'il n'est soumis à **aucune force**.

1-2- Système pseudo-isolé :

Un système est **pseudo-isolé** si les effets des forces extérieures auxquelles il est soumis **se compensent**. C'est-à-dire la somme vectorielle des forces extérieures est nulle : $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$

Exemple :

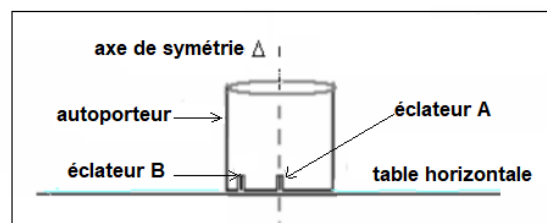
-L'autoporteur sur la table à coussin d'air horizontale (lorsque la soufflerie fonctionne) est un système isolé car il est soumis à deux forces \vec{R} et \vec{P} qui se compensent. $\vec{R} + \vec{P} = \vec{0}$



2-Centre d'inertie :

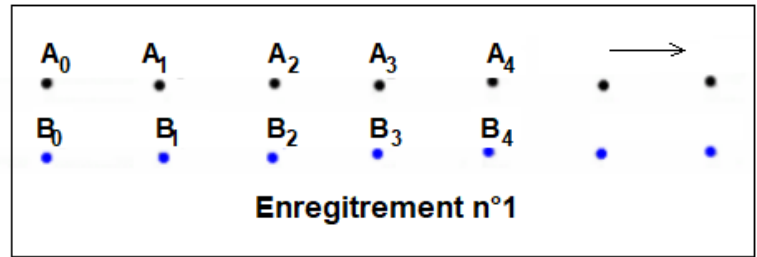
2-1-Activité expérimentale :

On utilise un autoporteur équipé de deux éclateurs le premier A fixé sur son axe de symétrie et le deuxième B est fixé en un point de sa partie inférieure.



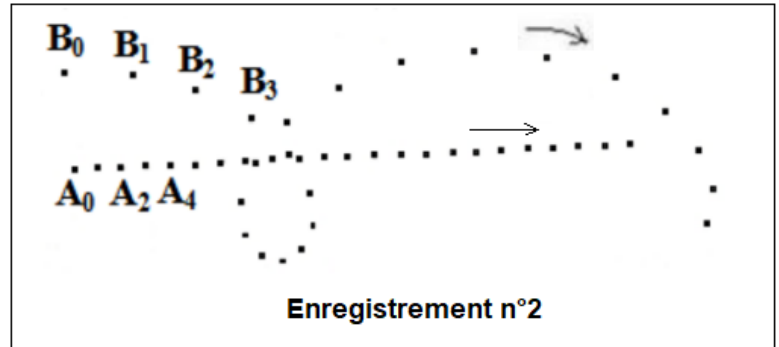
- **Expérience n°1 :**

On lance un autoporteur (S) sans rotation sur une table à coussin d'air horizontal et on obtient l'enregistrement 1.



- **Expérience n°2 :**

On lance un autoporteur (S) avec rotation sur une table à coussin d'air horizontal et on obtient l'enregistrement 2.



- **Observations :**

- Le point A à une trajectoire rectiligne dans les deux expériences.
- Le point B à une trajectoire rectiligne dans l'expérience n°1 et une trajectoire curviligne dans l'expérience n°2.

- **Conclusion :**

Le point A appartient à l'axe de symétrie de l'autoporteur (S) contient aussi le point G le centre de gravité de (S).
Le point A présente la projection orthogonale du point G ainsi le mouvement du point G est celui du point A.

2-2-Résumé :

Chaque solide a un point spécial et unique appelé centre d'inertie noté G. Lorsque ce corps est pseudo-isolé mécaniquement pour un référentiel terrestre, son point G est en mouvement rectiligne uniforme.

4-Enoncé de la loi d'inertie :

Dans un référentiel Galiléen, Le centre d'inertie G d'un système isolé (ou pseudo-isolé) est :

- ❖ Soit immobile : $\vec{v} = \vec{0}$
- ❖ Soit en mouvement rectiligne uniforme : $\vec{v} = \overline{ct\vec{e}}$

Remarques :

–Le principe d’inertie ne s’applique que dans un référentiel Galiléen (comme le référentiel de Copernic).

Le référentiel terrestre peut être considéré comme galiléens (pour les mouvements de courtes durée).

–Lorsqu’un système est mécaniquement isolé (ou pseudo-isolé) c’est le centre d’inertie qui est le seul point sur lequel s’applique le principe d’inertie, donc le mouvement globale d’un corps est celui de son centre d’inertie.

III–le centre d’inertie d’un système :

1–Relation barycentrique :

Deux corps (S_1) et (S_2) de masses m_1 et m_2 et de centres d’inertie G_1 et G_2 liés entre eux, constituent un solide (S) de masse $m = m_1 + m_2$.

Ce solide (S) a un centre d’inertie G se trouvant sur le segment $[G_1G_2]$, tel que :

$$m_1 \cdot \overrightarrow{GG_1} + m_2 \overrightarrow{GG_2} = \vec{0}$$

Soit O un point quelconque de l’espace choisi comme origine, on écrit :

$$m_1 \cdot (\overrightarrow{GO} + \overrightarrow{OG_1}) + m_2 \cdot (\overrightarrow{GO} + \overrightarrow{OG_2}) = \vec{0}$$

$$m_1 \cdot \overrightarrow{OG_1} + m_2 \cdot \overrightarrow{OG_2} + (m_1 + m_2) \cdot \overrightarrow{GO} = \vec{0}$$

$$m_1 \cdot \overrightarrow{OG_1} + m_2 \cdot \overrightarrow{OG_2} = -(m_1 + m_2) \cdot \overrightarrow{GO}$$

$$m_1 \cdot \overrightarrow{OG_1} + m_2 \cdot \overrightarrow{OG_2} = (m_1 + m_2) \cdot \overrightarrow{OG}$$

$$\overrightarrow{OG} = \frac{m_1 \cdot \overrightarrow{OG_1} + m_2 \cdot \overrightarrow{OG_2}}{m_1 + m_2}$$

2–Généralisation :

Pour un solide constitué d’un ensemble de solides ; la relation barycentrique écrit :

$$\overrightarrow{OG} = \frac{\sum m_i \cdot \overrightarrow{OG_i}}{\sum m_i}$$

G : centre d’inertie du solide et m sa masse.

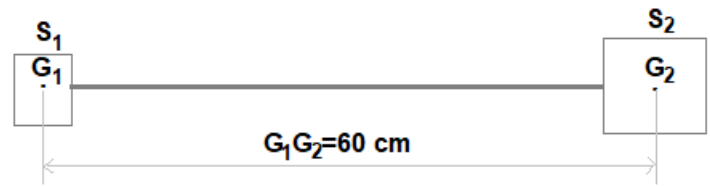
G_i : centre d’inertie du solide S_i et m_i sa masse.

Application :

On considère un système de deux corps (S_1) et (S_2) de masse respectivement m_1 et m_2 tel que $m_1 = 2m_2$.

Les deux corps sont liés par une liaison rigide de masse négligeable voir schéma.

La distance entre G_1 centre d'inertie de (S_1) et G_2 centre d'inertie de (S_2) est $G_1G_2 = 90 \text{ cm}$



-Déterminer le centre d'inertie G du système $S = \{S_1 + S_2\}$.

Solution :

On applique la relation du barycentrique pour déterminer le centre d'inertie G du système S :

$$\begin{aligned}\overrightarrow{OG} &= \frac{\sum m_i \cdot \overrightarrow{OG_i}}{\sum m_i} \\ \overrightarrow{OG} &= \frac{m_1 \cdot \overrightarrow{OG_1} + m_2 \cdot \overrightarrow{OG_2}}{m_1 + m_2} \quad (1)\end{aligned}$$

On considère la point O est confondu avec le point G_1 la relation (1) s'écrit :

$$\begin{aligned}\overrightarrow{G_1G} &= \frac{m_1 \cdot \overrightarrow{G_1G_1} + m_2 \cdot \overrightarrow{G_1G_2}}{m_1 + m_2} \\ \overrightarrow{G_1G} &= \frac{m_2 \cdot \overrightarrow{G_1G_2}}{m_1 + m_2} \\ G_1G &= \frac{m_2 \cdot G_1G_2}{m_1 + m_2} = \frac{2m_1 \cdot G_1G_2}{m_1 + 2m_1} = \frac{2 G_1G_2}{3} \\ G_1G &= \frac{2 \times 60}{3} = 40 \text{ cm}\end{aligned}$$





I) Système isolé et Système pseudo-isolé:

Définition :

Système isolé :

Un système est mécaniquement isolé s'il n'est soumis à aucune force. Ce genre de système n'existe pas en pratique (il y a toujours le poids du système et des frottements).

Système pseudo-isolé :

Un système est pseudo-isolé si les effets des forces extérieures auxquelles il est soumis se compensent.

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$$

Exemples :

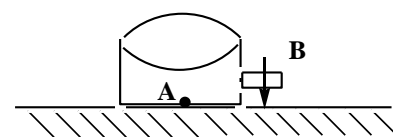
- un livre sur une table : la force de réaction de la table sur le livre compense le poids du livre
- un mobile autoporteur sur une table à coussin d'air, qui permet de supprimer les frottements

II) Principe d'inertie : Première loi de newton

1) Activité expérimentale N°1 :

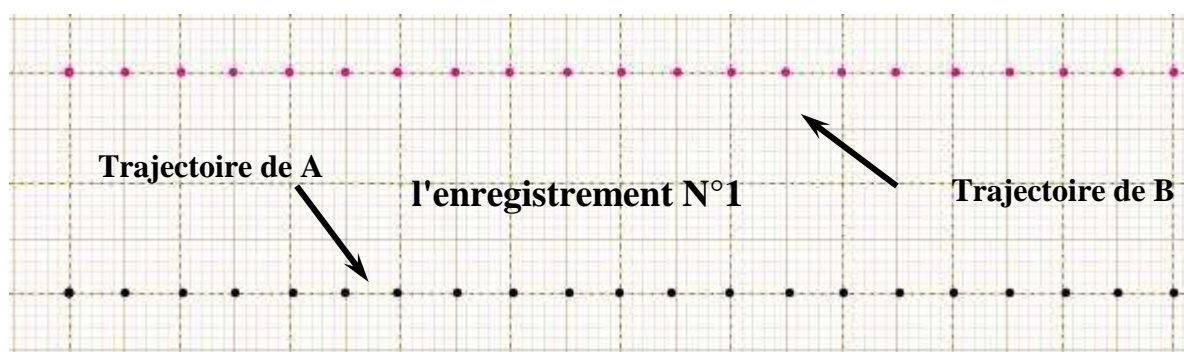
Expérience N°1 :

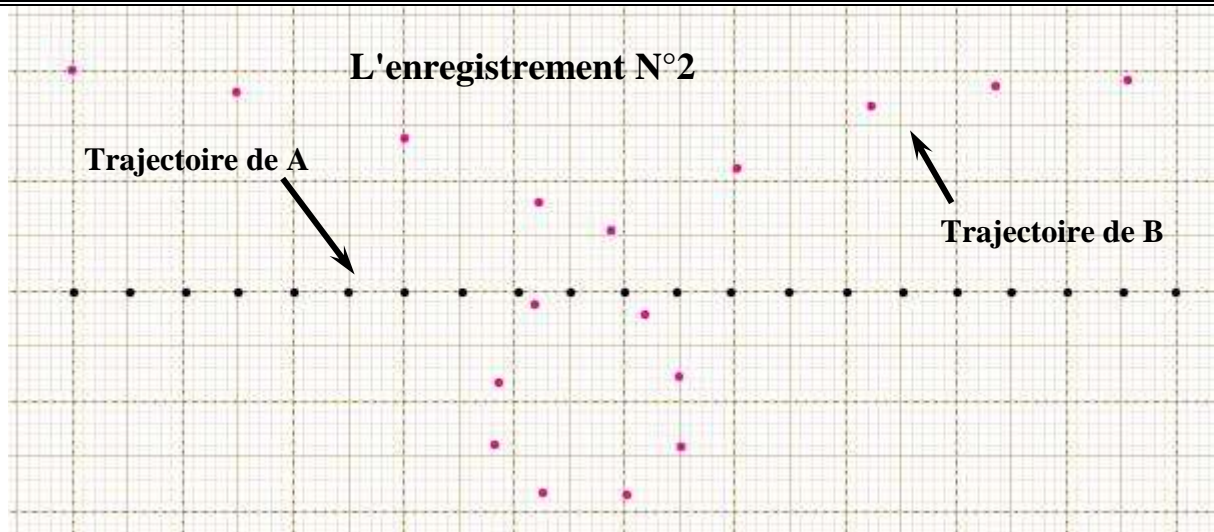
On lance un autoporteur (S) sans rotation sur une table à coussin d'air horizontal et on obtient l'enregistrement N°1.



Expérience N°2 :

On lance un autoporteur (S) avec rotation sur une table à coussin d'air horizontal et on obtient l'enregistrement N°2.





❖ **Les observations :**

- le point A à une trajectoire rectiligne dans les 2 expériences.
- le point B à une trajectoire rectiligne dans l'expérience N°1 et une trajectoire curviligne dans l'expérience N° 2.

❖ **Conclusion :**

- le point A appartient à l'axe de symétrie de l'autoporteur (S) qui contient aussi la point G le centre de gravité de (S).
- le point A représente la projection orthogonal du point G ainsi le mouvement du point G est celui du point A.

2) **Définition du centre d'inertie :**

Le centre d'inertie d'un solide indéformable c'est le point qui appartient au solide et c'est le point qui garde toujours un **mouvement rectiligne uniforme** lorsque le solide est pseudo-isolé.

3) **Enoncé du principe d'inertie :**

Newton énonce en 1686 le **principe d'inertie** qui permet de prévoir ces situations :

Enoncé historique : Dans un référentiel terrestre :

"Tout corps **persévère** dans son **état de repos** ou de **mouvement rectiligne uniforme** si les **forces** qui s'exercent sur lui **se compensent** $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$ ".

On peut aussi écrire : Dans un référentiel terrestre :

Soit un solide sur lequel s'exercent des forces qui se compensent :

- Si $V_{\text{init}} = 0$ "immobile" , alors le solide reste immobile.
- Si $V_{\text{init}} \neq 0$, alors le solide a un mouvement rectiligne uniforme à la vitesse V_{init} .

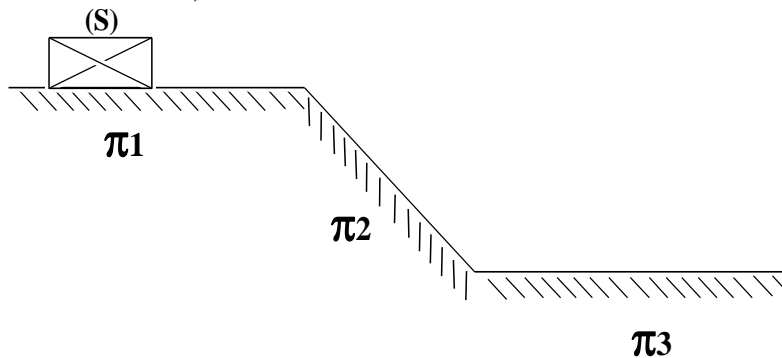
M.R.U \Leftrightarrow Solide pseudo - isolé

Ecriture mathématique :

$$\vec{V}_G = \vec{C}^{te} \Leftrightarrow \sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$$

4) Application :

Un solide (S) est animé d'un mouvement rectiligne sans frottement, sur les plans π_1 , π_2 et π_3 (voir schéma ci-dessous)



On utilisant le principe d'inertie, donner la nature du mouvement du solide (S) sur chaque plan.

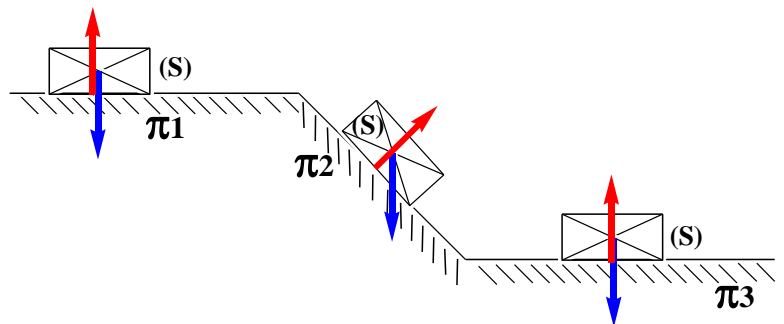
Réponse :

Le système étudié: {le solide (S)}

le bilan des forces :

\vec{P} : poids du système

\vec{R} : l'action du plan horizontal



1^{er} Cas : sur le plan π_1 et π_3 :

Dans ce cas le solide (S) est **pseudo-isolé** car $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$ donc d'après le principe d'inertie

$\vec{V}_G = \vec{C}^{te}$ donc le solide (S) est en translation rectiligne uniforme.

2^{eme} Cas : sur le plan π_2 :

Dans ce cas le solide (S) est **non pseudo-isolé** car $\sum \vec{F}_{\text{ext}} \neq \vec{0}$ donc d'après le

principe d'inertie $\vec{V}_G \neq \vec{C}^{te}$ donc le solide (S) est en translation rectiligne uniformément varié.

III) Centre d'inertie de quelques solides.

Le premier à avoir étudié le barycentre en tant que centre des poids (ce qu'on appelle de nos jours le centre de gravité) est le mathématicien et physicien Archimède. Il est un des premiers à comprendre et expliciter le principe des leviers et le principe du barycentre.

Il écrit dans son traité *Sur le centre de gravité de surface plane* :

« *Tout corps pesant a un centre de gravité bien défini en lequel tout le poids du corps peut être considéré comme concentré.* »

1) Centre d'inertie d'un système :

On peut retrouver l'emplacement du centre d'inertie G d'un système formé de plusieurs solides homogènes par la relation mathématiques :

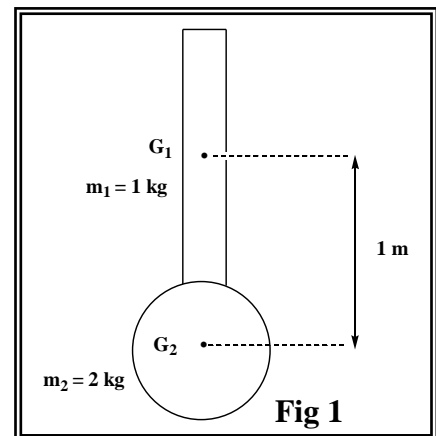
$$\vec{MG} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\vec{MG}_i \times m_i \right)}{\sum_{i=1}^n m_i} = \frac{\left(\vec{MG}_1 \times m_1 + \vec{MG}_2 \times m_2 + \dots + \vec{MG}_n \times m_n \right)}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

Avec M : un point du plan

2) Applications :

Exercice N°1 :

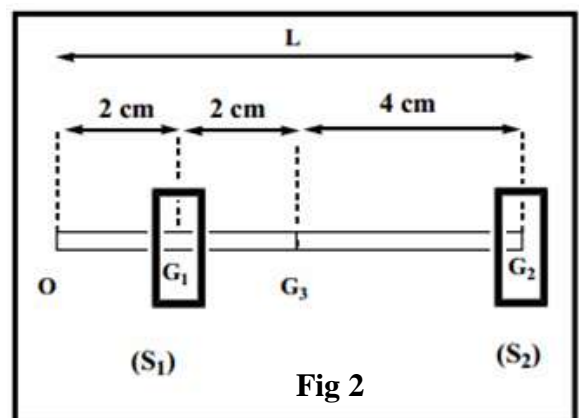
Le système, ci-dessous Fig 1, est formé d'une barre homogène dont l'épaisseur est constante de masse m_1 et d'une boule de masse m_2 . les points G_1 et G_2 sont respectivement les centres de gravités de la barre et de la boule. Où se trouve le centre G par rapport G_1 ou G_2 ?



Exercice N°2 :

Soit le système suivant, de centre d'inertie G, est formé de : (voir figure ci-dessous Fig 2)

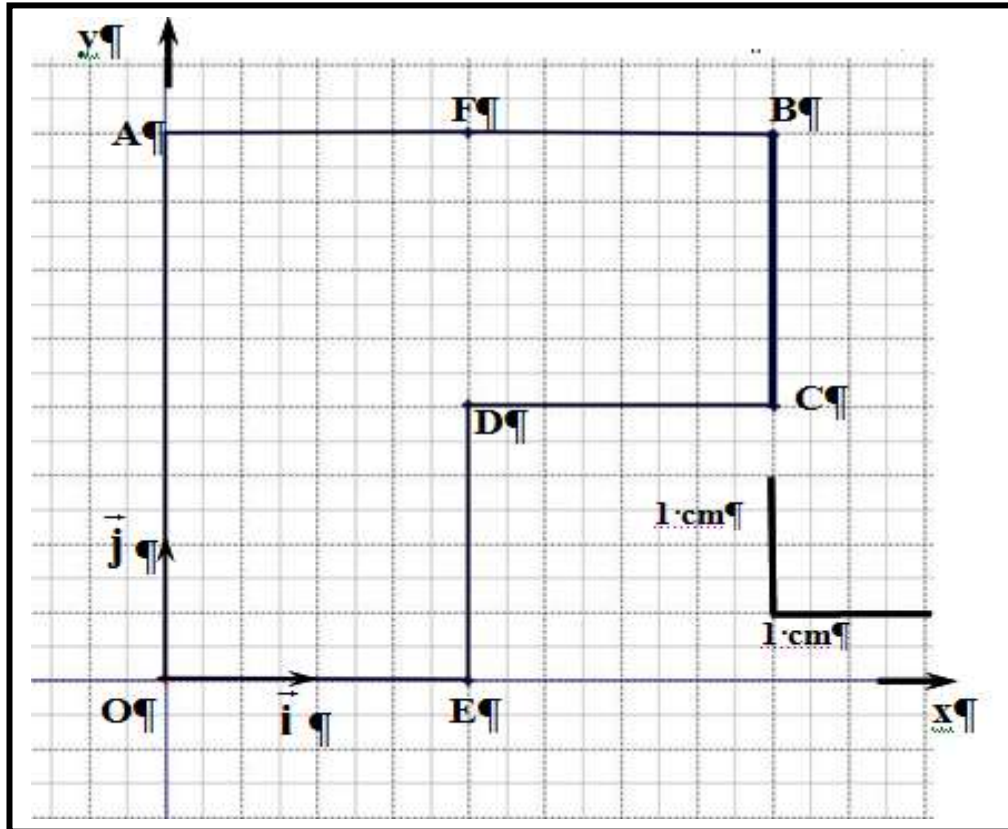
- Le solide (S_1) homogène de masse m_1 son centre d'inertie G_1
- Le Solide (S_2) homogène de masse m_2 son centre d'inertie G_2
- Une barre homogène de masse m_3 , de longueur L, son centre d'inertie G_3



- 1) Donner l'expression de la distance OG en fonction de m_1 ; m_2 ; m_3 et L
- 2) Calculer GG₁ lorsque : $m_2 = m_1$ et $m_3 = 2m_1$ et L = 8 cm

Exercice N°3 :

Une équerre est constituée d'une plaque métallique homogène avec épaisseur constante. Donner les coordonnées du point G centre d'inertie de l'équerre dans le repère orthonormé $(O; \vec{i}; \vec{j})$



Unité 4 : Principe d'inertie

مبدأ القصور

I. Effets d'une force sur le mouvement d'un corps :

- Une force qui s'exerce sur un corps peut le mettre en mouvement, modifier sa trajectoire ou / et modifier sa vitesse.
- Les effets d'une force sur le mouvement sur le mouvement d'un corps sont d'autant plus importants que la masse du corps est plus petite.
- Si un corps est soumis à plusieurs forces, les effets de chacune d'entre elles s'ajoutent.

II. Le principe d'inertie :

Pour le physicien un principe est une loi qu'on ne peut pas démontrer et qui est vérifiée par l'expérience. Par contre un principe sert ensuite à démontrer d'autres lois appelées théorèmes.

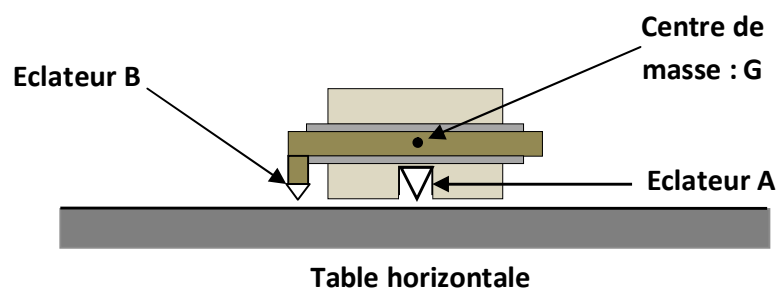
1) Système isolé et système pseudo-isolé

Lorsqu'un solide est soumis à des actions extérieures qui se compensent on dit qu'il est pseudo-isolé, c'est-à-dire, la somme vectorielle de forces extérieures que subit le solide est nulle ($\sum_i \vec{F}_i = 0$).

Un solide qui ne subirait aucune action extérieure serait dit isolé, ce serait approximativement le cas d'un solide perdu, très très loin de toute étoile ou planète, dans l'espace interstellaire.

2) Centre d'inertie

a) Expérience :

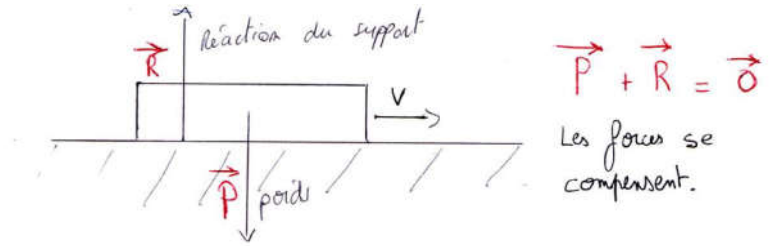


- **Premier cas** : Soit le mobile autoporteur est immobile sur la table à coussin d'air :

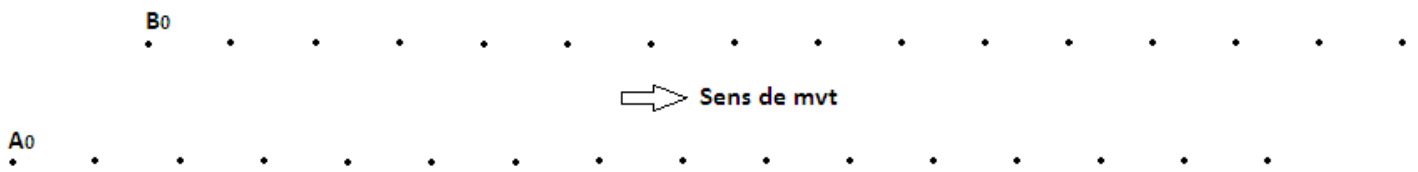
1. Quelles sont les forces qui s'exercent sur lui lorsqu'il est immobile ? Le mobile est isolé ou pseudo isolé ?

2. Essayer de dessiner la situation en faisant apparaître les forces ?

Les forces sont opposées alors qu'elles ont la même direction et la même norme. On dit qu'elles se compensent.



- **Deuxième cas** : On lance le mobile auto-porteur sur la table à coussin en enregistrant le mouvement des points A et B à des intervalles de temps égaux.



1. Comment qualifier ce mouvement ?

Les marques laissées par les points sont toujours espacées de la même distance et sont alignées. Le mouvement est dit rectiligne uniforme.

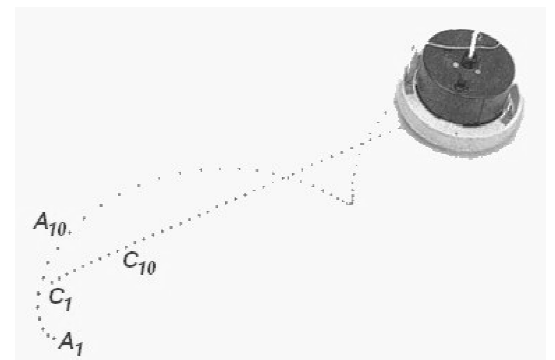
Le mouvement du mobile autoporteur est en mouvement de translation rectiligne uniforme.

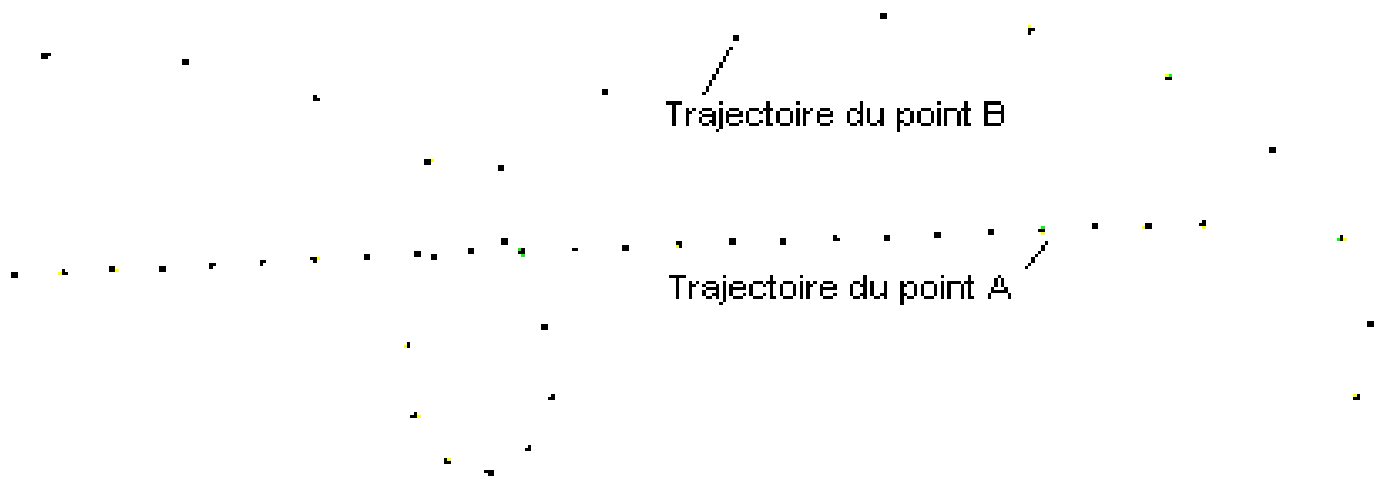
2. Quelles forces s'exercent sur le mobile, une fois lancé ?

3. Dessiner la situation :

Les forces sont opposées et sont de même valeur. On dit qu'elles se compensent.

- **Troisième cas** : on lance le mobile autoporteur de manière à qu'il tourne autour de lui-même et on enregistre le mouvement des points A et B à des intervalles de temps égaux.





a) Quelles sont les forces exercées sur le mobile autoporteur.

Le poids \vec{P} et la réaction de la table \vec{R}

b) Comment qualifier ce mouvement.

Le mouvement du point A est toujours rectiligne uniforme par contre dans ce cas le point a un mouvement curviligne par rapport au référentiel terrestre.

Le mobile a un mouvement rectiligne uniforme et non plus a un mouvement de **translation** rectiligne uniforme.

c) En remarquant le deuxième et le troisième cas, qu'est ce que vous constatez. Sachant que le point A est projection orthogonal de point G centre de masse.

Nous constatons que le point A est le seul point de mobile qu'a un mouvement rectiligne et uniforme. Et lorsque A et la projection orthogonal de point G centre de masse de mobile alors le point G est un et un seul point de ses points qu'est toujours en mouvement rectiligne uniforme si le mobile est pseudo isolé.

b) Définition de centre d'inertie :

Si le solide est pseudo isolé, un et un seul de ses points est toujours en mouvement rectiligne et uniforme : c'est son centre d'inertie symbolisé par la lettre G

III. **Enoncé du principe d'inertie :**

Dans un référentiel terrestre :

"Tout corps persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme si les forces qui s'exercent sur lui se compensent".

On peut aussi écrire :

Dans un référentiel terrestre :

Soit un solide sur lequel s'exercent des forces qui se compensent :

- Si $V_G = 0$, alors le solide reste immobile.
- Si $V_G \neq 0$, alors le centre d'inertie du solide a un mouvement rectiligne uniforme à la vitesse v_{init} .

Il est donc équivalent de dire « un corps est soumis à des forces qui se compensent », et « un corps est soumis à aucune forces ».

Remarque:

- ✓ Ce principe n'est valable que dans certains référentiels dits référentiels galiléens ou d'inertie:
- ✓ Par définition un référentiel galiléen est un référentiel dans lequel l'expérience vérifie les conséquences du principe d'inertie.
- ✓ Le référentiel du laboratoire (référentiel terrestre) est à peu près galiléen (en réalité il ne l'est pas exactement du fait de la rotation de la Terre sur elle-même).
- ✓ Tout référentiel en mouvement rectiligne uniforme par rapport au référentiel terrestre est lui aussi galiléen.

Comment utiliser le principe d'inertie ?

- ✓ Le principe d'inertie peut être utilisé pour prévoir le type de mouvement dont est animé un corps. Si le bilan des forces permet de montrer que les forces exercées sur un corps s'annulent alors il est possible de conclure à l'immobilité ou au mouvement rectiligne uniforme.
- ✓ Inversement si l'on sait qu'un corps est en mouvement rectiligne uniforme alors il est possible d'en déduire que les forces qu'il subit se compensent (Il est alors possible de trouver les caractéristiques d'une force inconnues à partir des autres. Voir plus loin).

V. Centre de masse et centre d'inertie d'un système matériel.

1. Définition de centre de masse

Le centre de masse d'un système matériel est le barycentre de tous les points matériels formant ce système.

Considérons un ensemble des points matériels pondérés G_i de masses m_i . Leur centre de masse noté C est

défini par la relation : $\sum_{i=1}^N m_i \overrightarrow{CA_i} = \vec{0}$ ou $m_1 \overrightarrow{CA_1} + m_2 \overrightarrow{CA_2} + \dots + m_N \overrightarrow{CA_N} = \vec{0}$

Relation barycentrique :

Le centre de masse G d'un système composé des corps solides homogènes (S_i) de centre de masse G_i et de masse m_i est donné par la relation :

$$\overrightarrow{OG} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \overrightarrow{OG_i}}{\sum_{i=1}^N m_i}$$

O : point quelconque fixe dans l'espace

2. Centre d'inertie d' système

a. Système à deux corps solide

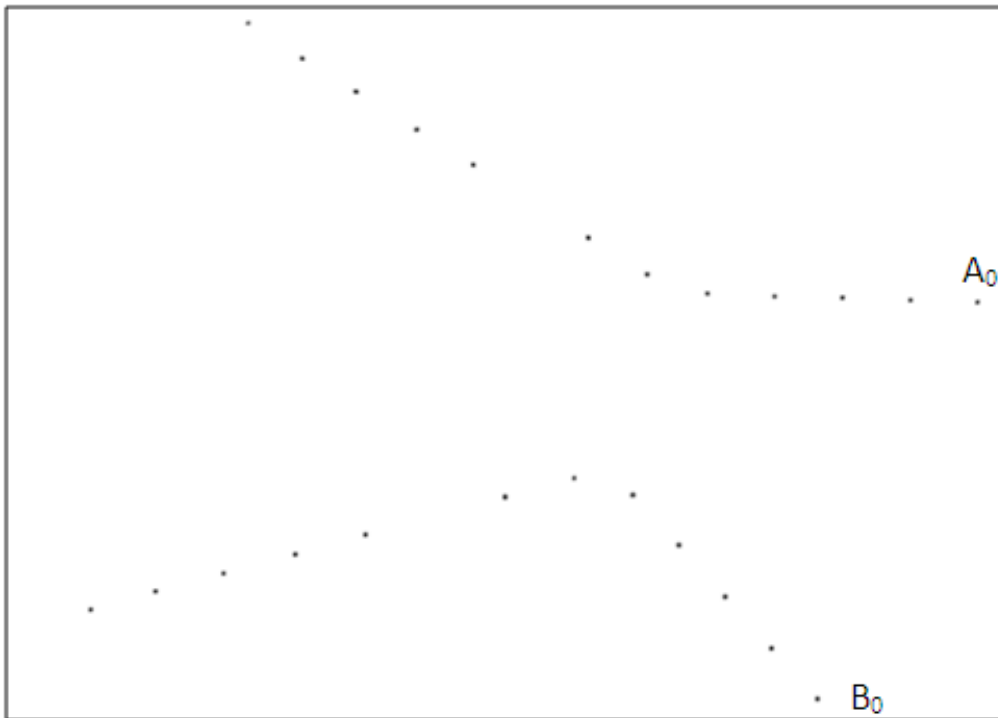
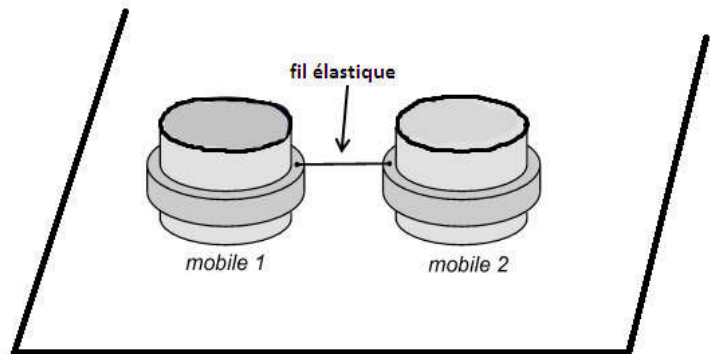
On lance en même temps, sur une table à coussin d'air horizontale, deux autoporteurs liés par fil élastique et on enregistre le mouvement de centre d'inertie de chacun d'eux.

Données :

- Masse de mobile A (ou 1) $m_A = 1340g$

- Masse de mobile B (ou 2) $m_B = 670g$

1. Faire inventaire les forces s'exercent sur le système { mobile A + mobile B+fil }. Est-ce que le système est pseudo-isolé ?
2. Déterminer le centre de masse de système et le représenter sur le document d'enregistrement
3. Quelle est la nature de mouvement de centre de masse.
4. déduire le centre d'inertie de système.



b. conclusion

Le centre d'inertie G d'un système ou d'un solide est confondu avec son centre de masse C.

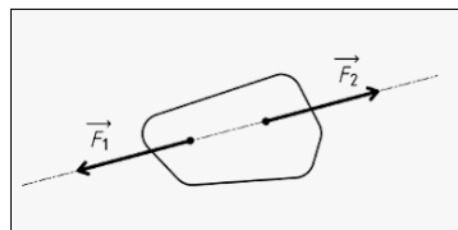
- si le solide est homogène et possède un centre de symétrie alors le centre de symétrie est le centre d'inertie.
- Si le solide est homogène et possède un axe de symétrie alors le centre d'inertie appartient à cet axe.
- Si le solide est homogène et possède un plan de symétrie alors le centre d'inertie est sur ce plan.

Tension d'un ressort – Poussée d'Archimède

I-Equilibre d'un corps sous l'action de deux forces (Rappel):

Lorsqu'un solide S soumis à deux forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 est en équilibre, il faut :

- Les deux forces ont même droite d'action.
- La somme vectorielle des deux forces est nulle, soit : $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$



II-Tension d'un ressort :

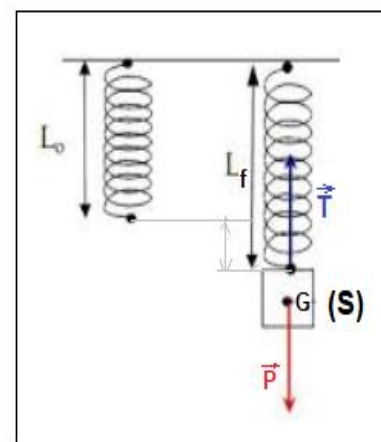
1-Equilibre d'un corps accroché à un ressort :

Système étudié : le corps S

Bilan des forces : le corps S est soumis à l'action de deux forces :

- Force appliquée par le ressort appelé tension du ressort : \vec{T}
- Poids du corps S : \vec{P}

Le corps S est en équilibre : $\vec{T} + \vec{P} = \vec{0}$
 $T = P \Rightarrow T = m \cdot g$



On appelle **allongement** du ressort Δl est la différence entre sa longueur finale et sa longueur initiale : $\Delta l = l_f - l_0$

2-Relation entre la tension et l'allongement du ressort :

Accrochons successivement différentes masses marquées (m) à l'extrémité libre du ressort.

Pour chaque masse m, on mesure la longueur l du ressort.

Tableau des résultats : on donne $l_0 = 10 \text{ cm}$ et $g = 10 \text{ N/kg}$

| | | | | | |
|----------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| $m(g)$ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| $l(cm)$ | 10 | 11 | 12 | 14 | 15 |
| $\Delta l = l - l_0$ | 0 | 1 | 2 | 4 | 5 |
| $\Delta l (cm)$ | | | | | |
| $T = m \cdot g$ | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| $T (\text{en N})$ | | | | | |

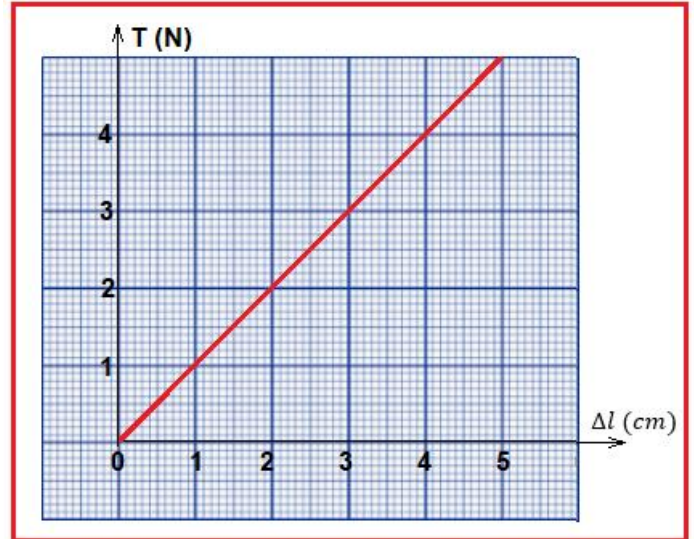
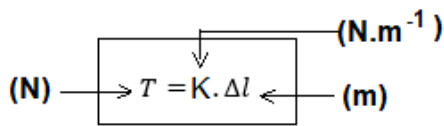
La représentation graphique de variation de la tension T du ressort en fonction de l'allongement : $T = f(\Delta l)$.

La courbe est linéaire son équation s'écrit : $T = K \cdot \Delta l$

K : le coefficient directeur représente la **constante de raideur du ressort**.

$$K = \frac{\Delta T}{\Delta(\Delta l)} = \frac{(0,4 - 0)N}{(4 - 0) \cdot 10^{-2}m} \Rightarrow K = 10 N \cdot m^{-1}$$

La tension du ressort s'écrit :



3- La poussée d'Archimède :

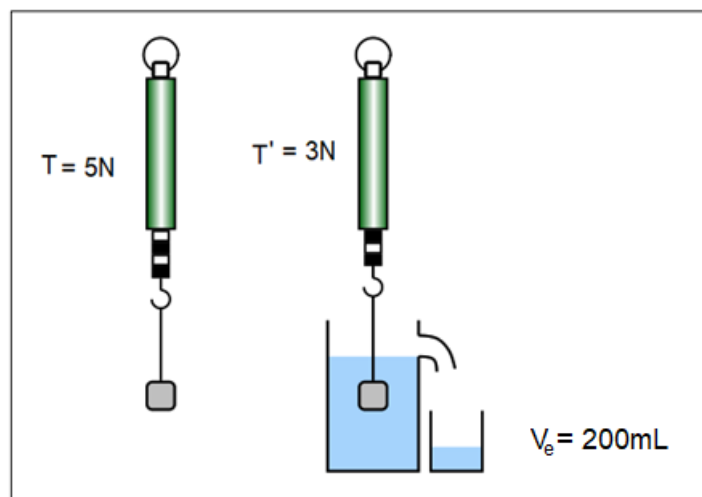
3-1-La mise en évidence :

Lorsqu'on plonge un morceau de liège dans l'eau, celle-ci remonte à la surface, cela s'explique par l'existence d'une force exercée par l'eau sur le liège. Cette force s'appelle **poussée d'Archimède**.

3-2-Manipulation :

-On suspend un corps solide à un dynamomètre, on note la valeur T affichée du dynamomètre.

-On immerge le solide suspendue dans l'eau, le dynamomètre indique la valeur $T' < T$.



-Dans l'air le solide est en équilibre sous l'action de 2 forces :

$$\vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$$

Poids du solide est : $P = T = 5 \text{ N}$

-Dans l'eau le solide est en équilibre sous l'action de 3 forces :

$$\begin{aligned}\vec{P} + \vec{T}' + \vec{F}_A &= \vec{0} \\ P - T' - F_A &= 0\end{aligned}$$

La poussée d'Archimède F_A :

$$F_A = P - T' = 5 - 3 = 2 \text{ N}$$

Le poids de l'eau déplacé est :

$$\begin{aligned}P_e &= \rho \cdot V_e \cdot g \\ P_e &= 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \times 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \approx 2 \text{ N} \\ F_A &= P_e\end{aligned}$$

3-3- Conclusion :

Tout corps plongé dans un fluide (liquide ou gaz) au repos, subit de la part de ce fluide une force de poussée verticale, dirigée dont l'intensité est égale au poids de volume de fluide déplacé.

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V \begin{cases} \rho: \text{ la masse volumique du fluide déplacé (kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{)} \\ g: \text{ l'intensité de la pesanteur (N} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \\ V: \text{ Le volume de fluide déplacé (m}^3\text{)} \end{cases}$$

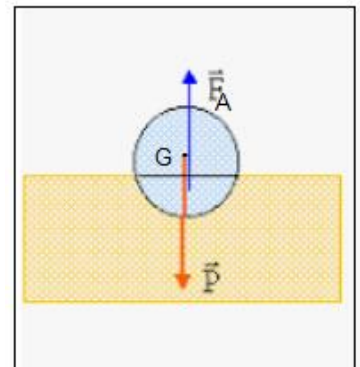
3-4- Les caractéristiques de la poussée d'Archimède :

-**Point d'application** : centre d'inertie du fluide déplacé (**centre du volume immergé**).

-**Droite d'action** : la verticale passant par le centre de la poussée.

-**Sens** : du bas vers le haut.

-**Intensité** : du poids du fluide déplacé. $F_A = \rho \cdot g \cdot V$
 ρ en $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$, g en $(\text{N} \cdot \text{kg}^{-1})$ et V en (m^3)



Matière :
Physique Chimie

Niveau :
Tronc Commun

Equilibre d'un corps solide soumis à plusieurs forces



1. EQUILIBRE D'UN CORPS SOLIDE SOUMIS A 2 FORCES : 1-1/ POUSSEE D'ARCHIMEDE

Montgolfière, Kitesurfeur, balle de ping-pong plongée dans l'eau et qui remonte sont des exemples où les fluides (eau, air ...) exercent des actions mécaniques. Ces actions mécaniques sont modélisées par la poussée d'Archimède.

Un solide (S) de volume V totalement immergé dans un fluide homogène de masse volumique ρ est soumis à des actions mécaniques de la part de ce fluide : La poussée d'Archimède a pour caractéristiques :

- ↳ Point d'application : centre d'inertie du fluide déplacé.
- ↳ Direction : verticale
- ↳ Sens : vers le haut
- ↳ Valeur : égale au poids de fluide déplacé

$$F_a = \rho \cdot V \cdot g$$

avec ρ en kg.m^{-3} , V en m^3 et g en N.kg^{-1}

La poussée d'Archimède dans l'air est souvent négligée car la masse volumique de l'air est très faible ($\rho_{\text{air}} = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$).

Exercices N°1 :

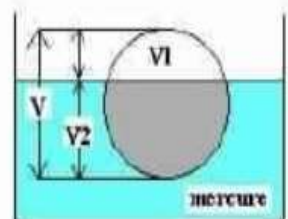
- 1) Déterminer le poids d'une sphère en bois de rayon $r = 20\text{cm}$. Faire de même pour une sphère en acier, de rayon $r = 20\text{cm}$.
Masse volumique en kg m^{-3} bois : 700 ; eau : 1000 ; acier : 7800
- 2) Déterminer la poussée d'Archimède qui s'exercerait sur chacune de ces sphères si elles étaient totalement immergées dans l'eau.
- 3) Ces sphères pourraient-elles flotter à la surface de l'eau ?
- 4) si oui quelle est la fraction du volume immergé

Exercices N°2 :

Une boule en fer de densité 7,25 est introduite dans du mercure de densité 13,6.

On demande :

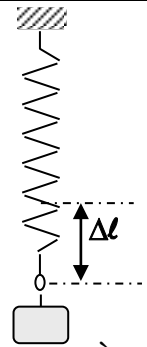
- 1- De montrer que la boule est partiellement immergée dans le liquide.
- 2- De calculer le rapport du volume émergé V_1 au volume total V de la boule.



1-2/ TENSION DU RESSORT

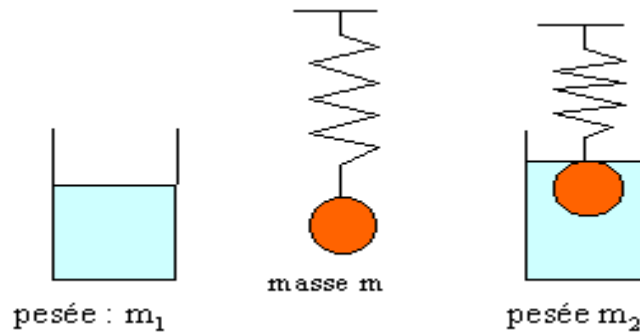
Un ressort exerce sur un solide une force de rappel F proportionnelle à son allongement : ΔL et à K est le coefficient de raideur du ressort on l'exprime en N/m .

$$T = k \times |\Delta L| = k \times |L_f - L_i|$$



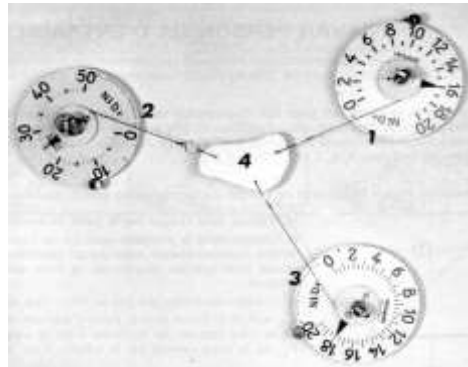
Exercices N°2 :

Pesée d'un bêcher contenant de l'eau : masse m_1 . On suspend un solide S de masse m à un ressort de constante de raideur k . Celui-ci s'allonge d'une longueur x_1 à l'équilibre. On plonge le solide S dans le bêcher (masse d'eau déplacée m_e). On observe un nouvel équilibre avec un nouvel allongement x_2 du ressort et une nouvelle lecture de masse m_2 .



1. Établir l'expression de l'allongement x_1 en fonction de m , g et k ($g = 9,8 \text{ms}^{-2}$)
2. Établir l'expression de l'allongement x_2 en fonction de m_s , m_e , g et k . Comparer à x_1
3. En étudiant le système " eau + bêcher " exprimer la différence de pesée $m_2 - m_1$.

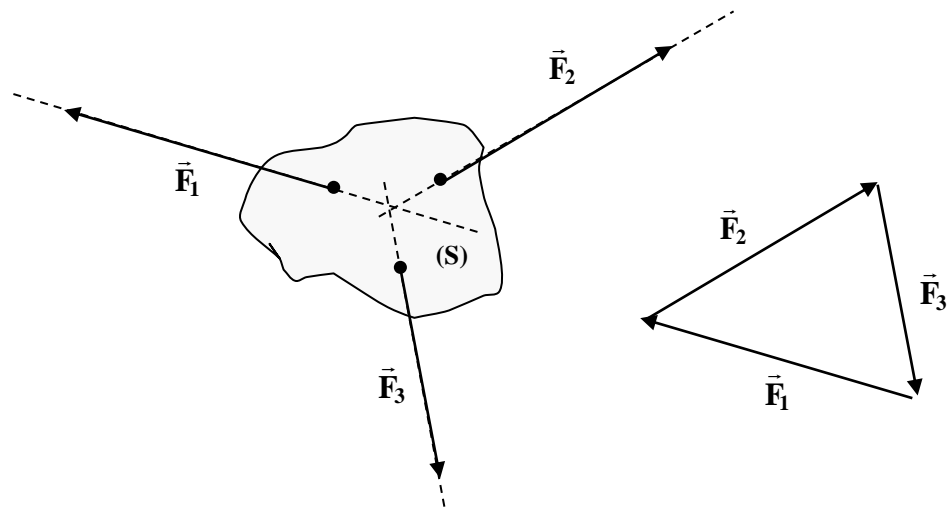
2. EQUILIBRE D'UN CORPS SOLIDE SOUMIS A 3 FORCES NON PARALLÈLES:



Pour qu'un solide soumis à trois forces \vec{F}_1 , \vec{F}_2 et \vec{F}_3 non parallèles soit en équilibre, il faut que :

- les droites d'action des trois forces soient **coplanaires** et **concurrentes**
- la somme vectorielle des trois forces soit nulle : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$

Si l'objet est en équilibre, la dynamique des forces (ou somme vectorielle des forces) est un triangle fermé.

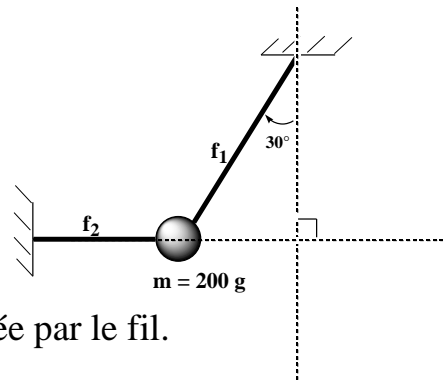


3. **EQUILIBRE D'UN SOLIDE SOUMIS A n FORCES (NON PARALLELES)**
 Un solide soumis à n forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2 \dots \vec{F}_n$ non parallèles est en équilibre si :

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 \dots + \vec{F}_n = \vec{0} \quad \text{qui s'écrit} \quad \sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$$

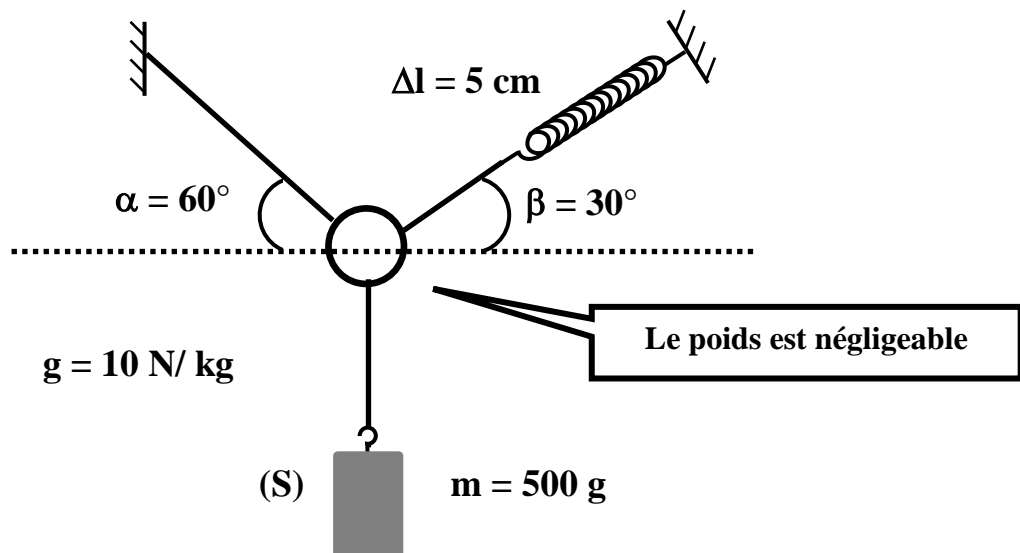
Exercices N°3 :

Calculer F_1 l'intensité de la force exercée par le fil f_1 et F_2 l'intensité de la force exercée par le fil f_1 :



Exercices N°4 :

- 1) Calculer k la raideur du ressort.
 - 2) Calculer T l'intensité de la force exercée par le fil.
- On donne $\alpha = 60^\circ$ et $\beta = 30^\circ$

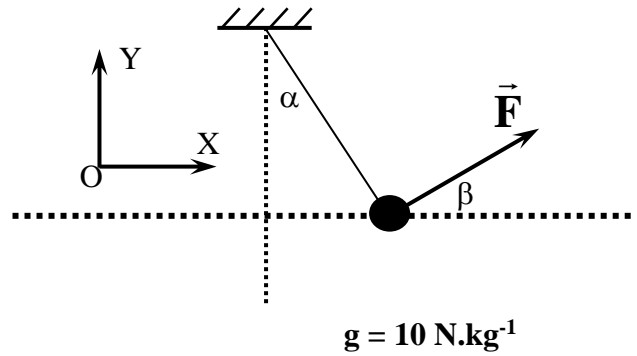


Exercices N°5 :

On applique une force \vec{F} , d'intensité constante et dont la direction forme un angle $\beta = 20^\circ$ avec l'axe (OX), sur un solide (S) de masse $m = 500 \text{ g}$.

Le solide (S) est sous mis à l'action d'un fil de masse négligeable et inextensible (voir figure ci-dessous). On considère que la somme vectorielle des vecteurs forces extérieures est nulle " $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$ ".

- 1) Le système étudié est { le solide (S) }, donner le bilan des forces qui agissent sur le système
- 2) Représenter "sans tenir compte de l'intensité" les forces extérieures et leurs projections sur une même schémas.
- 3) Donner les expressions des coordonnées des vecteurs forces extérieures qui agissent sur le système dans le repère (O,X,Y).
- 4) Montrer que :



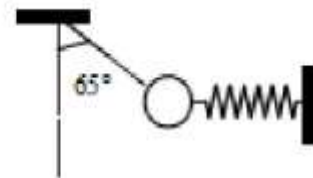
Calculer F

$$F = m \times g \times \frac{\tan(\alpha)}{\cos(\beta) + \sin(\beta) \times \tan(\alpha)}$$

- 5) Calculer T l'intensité de la force exercée par le fil.

Exercices N°6 :

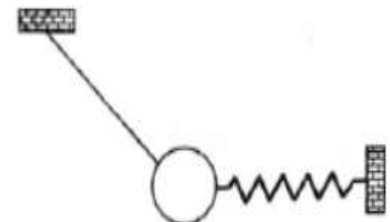
Une bille de poids 2,5N est en équilibre sous l'action de trois forces



- a) Représenter sur le schéma les forces qui interviennent.
- b) Donner les caractéristiques de ces forces.
- c) Donner la condition d'équilibre.
- d) Après avoir choisi un repère, déterminer les valeurs des forces appliquées à la bille.
- e) Sachant que le ressort à vide a une longueur de 10 cm et que sa constante de raideur vaut 250 N.m^{-1} calculer son allongement x .

Exercices N°7 :

Un disque homogène, métallique très mince, de masse $M=300\text{g}$ est accrochée à un fil et à un ressort selon la figure ci-contre. A l'équilibre on observe que le-dispositif est dans un plan vertical. Le ressort exerce une tension $T_1 = 4\text{N}$ sur le disque.



- 1- Quelles sont les autres forces qui s'exercent sur le disque?
- 2- Déterminer la tension T_2 exercée par le fil (on déterminera l'angle) :
 - a) par construction géométrique.
 - b) Par méthode analytique en utilisant un repère approprié. ($g=10\text{N/kg}$)

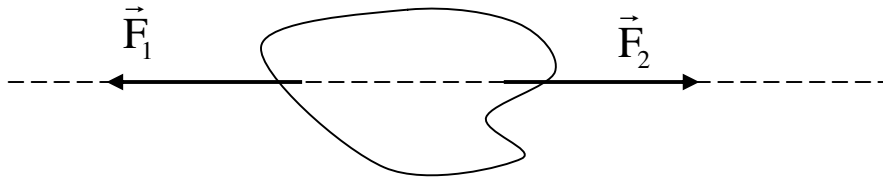
Unité 5 : Equilibre d'un corps solide soumis à l'action de deux forces

توازن جسم صلب خاضع لقوتين

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

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

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



II. Force exercée par un ressort

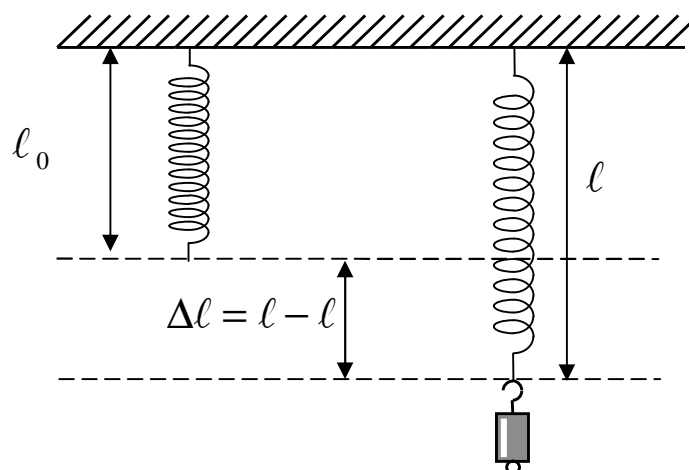
Le ressort est un corps solide déformable (susceptible d'allongé ou de comprimé).

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

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

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

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



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

Considérons le système : {solide (s)}

Les forces appliquées sur le solide (s) sont :

Son poids : \vec{P}

Tension du ressort : \vec{T}

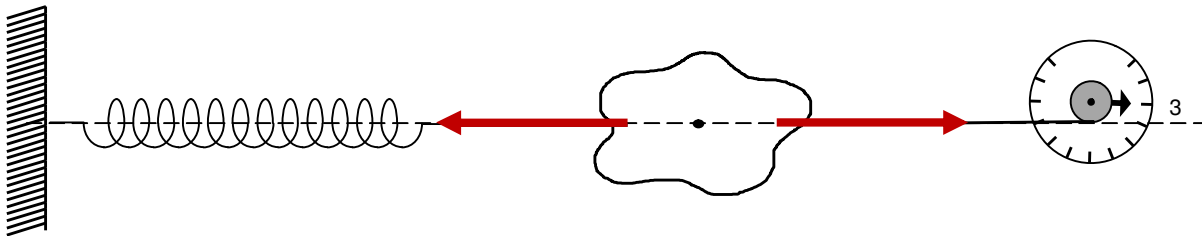
Le solide est en équilibre alors $\vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$

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

Activité expérimentale :

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

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

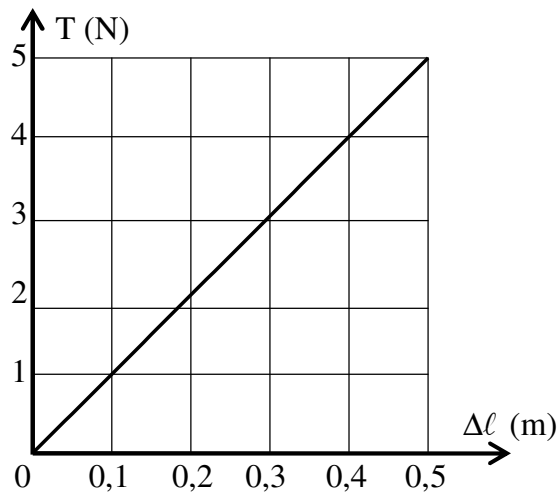


Longueur à vide du ressort est : $\ell_0 = 10\text{cm}$

Tableau de mesure :

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

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



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

$$T = K \cdot \Delta \ell$$

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

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

$$K = 10 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

2. Résumé :

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

Caractéristiques de la tension du ressort :

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

Sens : sens inverse de celle de la déformation

Droite d'action ou direction : celle du ressort

L'intensité : $T = K |\Delta \ell|$

Exercice d'application :

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

- 1- Préciser les forces exercées sur le solide S.
- 2- Représenter ces forces sur la figure.
- 3- Ecrire la condition d'équilibre du solide (S).
- 4- a- Exprimer la valeur de la tension du ressort T en fonction de K, ℓ et ℓ_0 .



b- Calculer T

5- a- Donner la valeur de P

b- Calculer la masse m de ce solide. On donne $g=10\text{N/Kg}$.

III. Poussée d'Archimède.

1. La masse volumique d'un fluide.

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

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

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

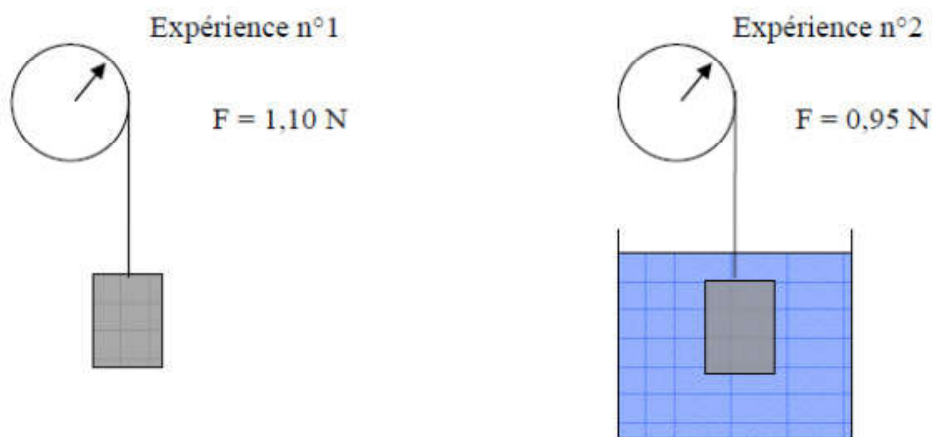
2. Mise en évidence la poussée d'Archimède dans les liquides.

Exemple :

On réalise les expériences ci-dessous.

Dans l'expérience n°1, on mesure le poids d'une masse au repos et non immergée.

Dans l'expérience n°2, on mesure le poids d'une masse au repos et immergée dans de l'eau.



Que remarque-t-on ?

La force exercée sur la masse est moins forte.

Que peut-on en conclure ?

Il existe une autre force agissant sur la masse qui vient atténuer son poids. C'est la poussée d'Archimède, notée F_A .

Ici, $F_A = 0,15 \text{ N} = F_{\text{réel}} - F_{\text{apparent}}$

Le poids réel est $F_{\text{réel}} = 1,10 \text{ N}$ le poids apparent $F_{\text{apparent}} = 0,95 \text{ N}$

3. Valeur de la poussée d'Archimède

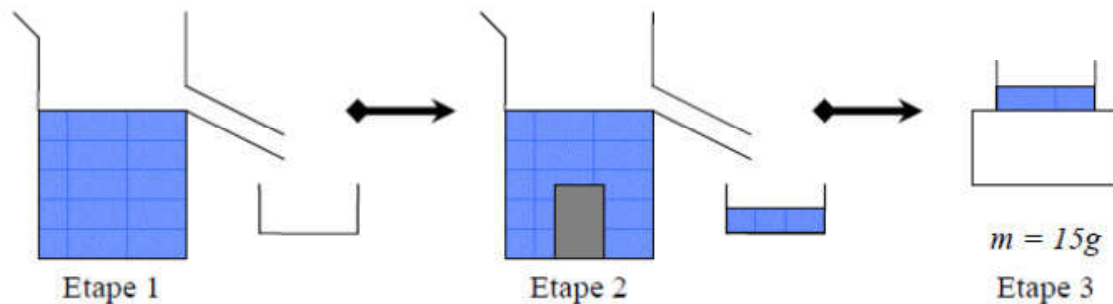
(Note : l'expérience ci-dessous est la continuité de paragraphe 2 ; la masse utilisée est la même)

On réalise l'expérience ci-dessous :

On remplit un bécber de versée jusqu'au rebord. (Voir étape 1)

Puis on immerge un solide de volume V connu. (Voir étape 2)

Enfin, on mesure la masse du volume d'eau déplace. (Voir étape 3)



Calculer le poids du volume d'eau déplace ($g = 9,81 \text{ N/kg}$)

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

$$P = m \times g = 15 \cdot 10^{-3} \times 9,81 = 0,1475 \text{ N}$$

Calculer le produit $\rho_{\text{eau}} \cdot g \cdot V$ avec $g = 9,81 \text{ N/kg}$ et $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg/m}^3$.

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

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

Comparer les deux résultats.

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

4. Définition de la Poussée d'Archimède

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

$$F_A = \rho_{\text{eau}} \cdot g \cdot V$$

V : volume du liquide déplacé exprimée en m^3

ρ : masse volumique du liquide exprimée en kg/m^3

g : valeur de la pesanteur ($g = 9,81 \text{ N/kg}$)

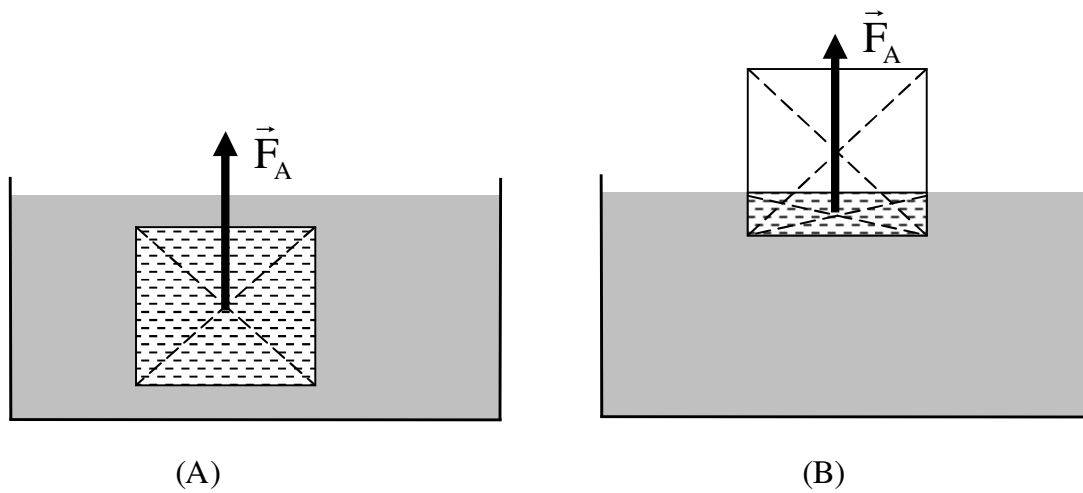
La valeur de la poussée d'Archimède est égale au poids du volume de fluide déplace

Caractéristique de la poussée d'Archimède :

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

Centre de poussée.

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



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

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

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

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

6. Poussée d'Archimède dans les gaz

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

$$F_A = \rho_{\text{gaz}} \cdot g \cdot V$$

V : volume du gaz déplacé exprime en m^3

ρ : masse volumique du gaz exprimée en kg/m^3

g : valeur de la pesanteur ($g = 9,81 \text{ N/kg}$)



Exercice d'application :

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

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

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

Exercice :

Exercice 1 Solide suspendu à un ressort

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

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

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

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

Un nouvel équilibre est observé.

L'allongement du ressort devient égal à x_2 et la masse

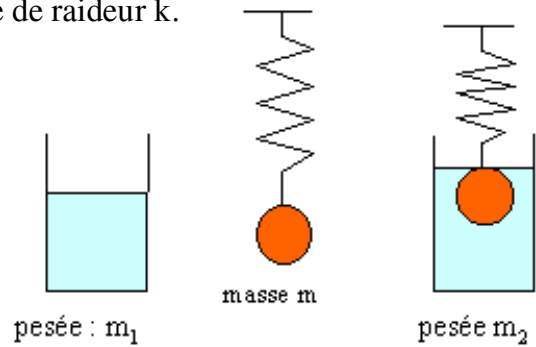
de l'ensemble est m_2 .

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

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

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

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



Exercice 2 Iceberg

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

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

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

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

Exercice 3 Poids apparent

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

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

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

Exercice 4 Paquebot

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

Exercice 5 Radeau

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

- 1- Combien faut-il de tonneaux ?
- 2- Quelle charge peut supporter ce radeau lorsque la moitié de chaque tonneau est immergée ?

Exercice 6

Un glaçon de volume 8 cm^3 flotte dans un verre rempli d'eau.

On donne la masse volumique de l'eau :

$\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$, et la masse volumique de la glace : $\rho_{\text{glace}} = 800 \text{ kg.m}^{-3}$.

- a) Calculez sa masse et la valeur de son poids.
- b) Quelle est la valeur de la poussée d'Archimède appliquée au glaçon ?
- c) Quelle est la valeur du volume de glace immergée ?
- d) Le glaçon fond. L'eau déborde-t-elle du verre ?

Exercice :

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

On donne la masse volumique de ce bois : $\rho_{\text{bois}} = 0,8 \text{ g.cm}^3$,

et la masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g.cm}^3$.

- a) Calculez le volume de ce morceau de bois.
- b) Calculez la masse et le poids de ce morceau de bois
- c) Quel est la valeur de la poussée d'Archimède appliquée au morceau de bois ?
- d) Déterminez le volume d'eau déplacé par le morceau de bois
- e) De combien de centimètre s'enfonce le morceau de bois dans l'eau ?

Exercice 6 Densité

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

- 1- La boule est-elle pleine ou creuse ?
- 2- Si elle est creuse, quel est le volume de la sphère ?

Exercice 8 Hiéron et Archimède

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

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

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

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

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

Exercice :

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

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

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

Exercice

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

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

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

| Gaz | H ₂ | O ₂ | N ₂ | He |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
| Masse volumique | 0,085 | 1,359 | 1,183 | 0,169 |

- 3.1. Quel gaz pourra-t-on pas utiliser ? justifier.
- 3.2. Quels sont les deux gaz les plus intéressants.
4. On gonfle le ballon sonde avec de l'hélium, de symbole chimique He. On note V_m le volume minimal du ballon gonflé pour qu'il puisse s'élever dans l'air.
 - 4.1. Ecrire l'inéquation permettant de déterminer V_m. Puis résoudre cette inéquation.
 - 4.2. Vérifier que si l'on prend V=14,5m³ comme volume pour le ballon, celui-ci pourra bien s'élever dans l'air.
 - 4.3. Il serait possible de gonfler le ballon avec du dihydrogène. Préciser la raison pour laquelle on préfère l'hélium.

Équilibre d'un solide soumis à trois forces non parallèles

I-Condition d'équilibre d'un solide soumis à trois forces :

1-Expérience :

On étudie l'équilibre d'une plaque de masse négligeable.

La plaque est soumise à l'action de trois forces \vec{F}_1 , \vec{F}_2 et \vec{F}_3 .

2-Observations :

On constate que les trois forces \vec{F}_1 , \vec{F}_2 et \vec{F}_3 :

- Sont situées dans le même plan, on dit qu'elles sont **coplanaires** ;
- Se coupent en un même point O, on dit qu'elles sont **concurrentes**.
-

3-Relation entre les vecteurs forces :

3-1-Méthode graphique :

En traçant le polygone des forces à une échelle choisie. On place l'origine d'un des vecteurs à l'extrémité de l'autre vecteur et on complète le triangle.

La **ligne polygonale** des trois forces est **fermée** traduit graphiquement la relation vectorielle :

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$$

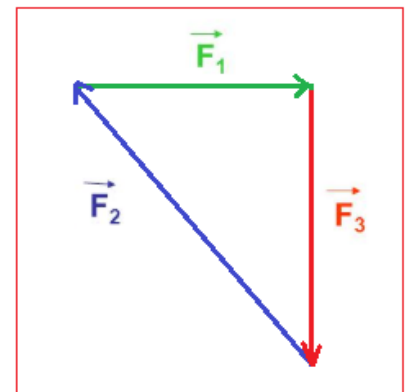
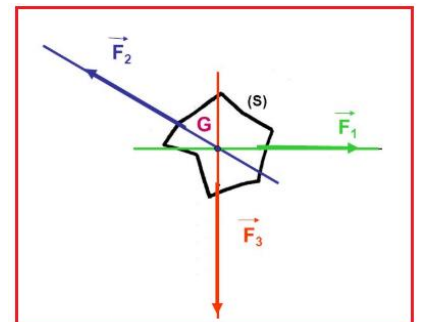
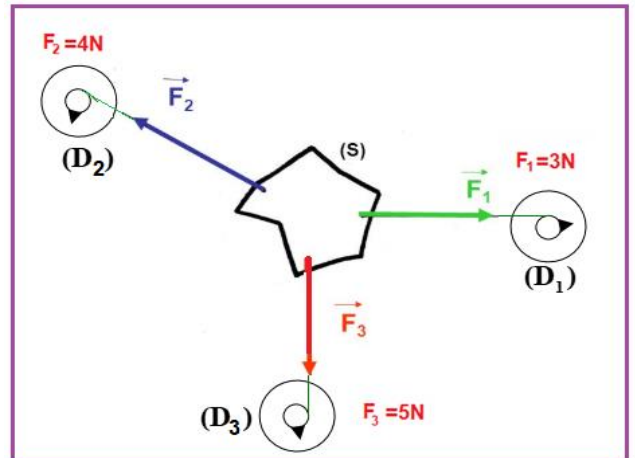
3-2-Méthode analytique :

Dans un repère orthonormé les coordonnées de chaque force sont :

$$\vec{F}_1 \begin{pmatrix} F_{1x} = 3 \\ F_{1y} = 0 \end{pmatrix} \quad \vec{F}_2 \begin{pmatrix} F_{2x} = -3 \\ F_{2y} = 4 \end{pmatrix} \quad \vec{F}_3 \begin{pmatrix} F_{3x} = 0 \\ F_{3y} = -4 \end{pmatrix}$$

La projection des trois forces sur l'axe Ox et Oy donne :

$$\begin{cases} F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = 0 \\ F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = 0 \end{cases}$$

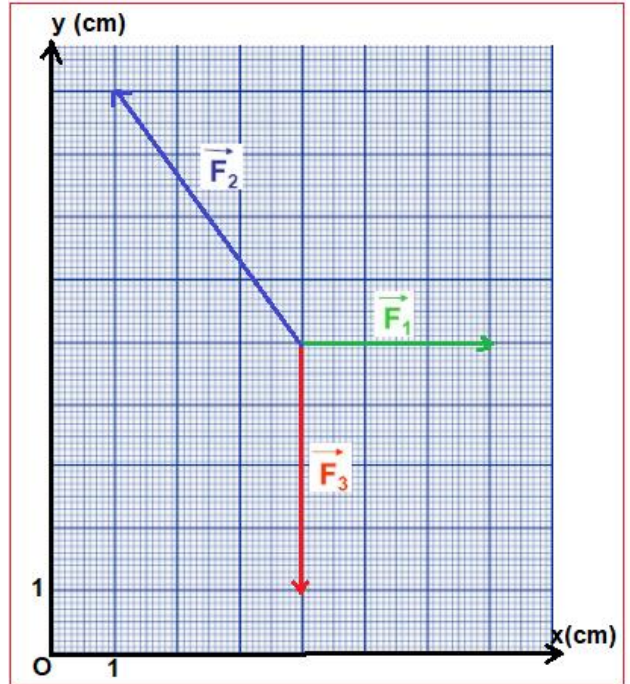


Donc : $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$

4-Condition d'équilibre :

Si un slide soumis à trois forces \vec{F}_1, \vec{F}_2 et \vec{F}_3 non parallèles est en équilibre :

- les trois forces sont coplanaires et concourantes.
- la somme vectorielle des trois forces est égale au vecteur nul : $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$

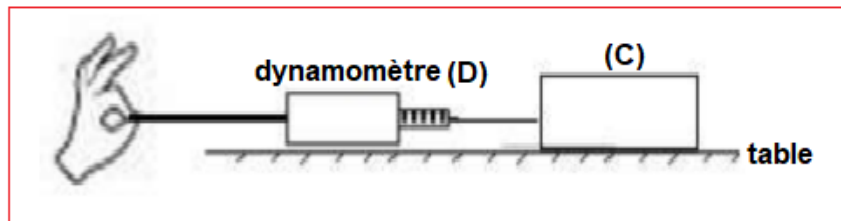


II-Force de frottement :

1-Expérience :

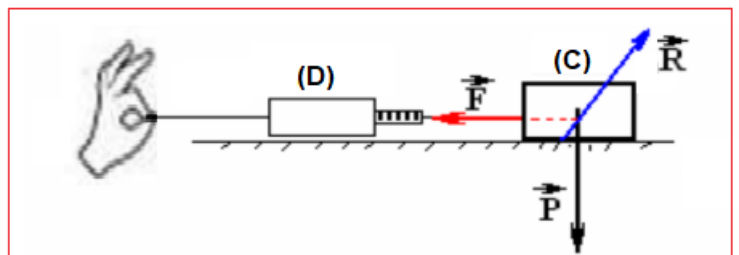
Sur une table horizontale, on place un corps (C) sur lequel on exerce une force \vec{F} à l'aide d'un dynamomètre (D), comme l'indique la figure.

On augmente successivement l'intensité de la force \vec{F} jusqu'à ce que le corps (C) se mette en mouvement.



2-Angle de frottement :

On constate que la réaction \vec{R} exercée par la table n'est pas perpendiculaire à la surface de contact, elle forme un angle φ avec la normale qu'on appelle angle de frottement.



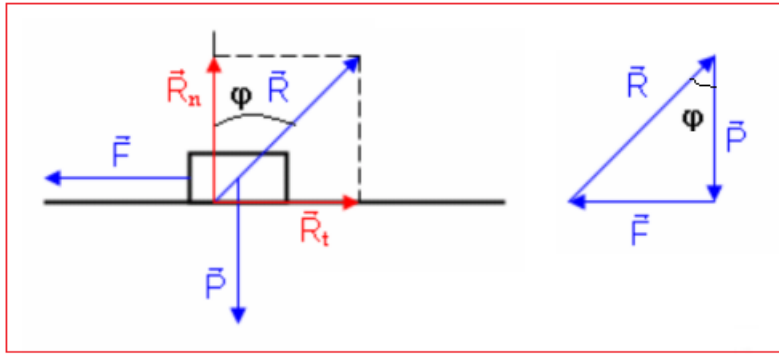
On peut décomposer la réaction \vec{R} en deux composantes :

\vec{R}_N : La composante normale.

\vec{R}_T : La composante tangentielle qui s'appelle force de frottement \vec{f} .

$$\tan\varphi = \frac{R_T}{R_N}$$

On appelle le coefficient de frottement : $k = \tan\varphi$



3-Angle de frottement statique :

Le corps (C) est en équilibre sous l'action de trois forces : \vec{F} , \vec{R} et son poids \vec{P} .

A cause de frottement le corps (C) reste en équilibre tend que la force \vec{F} est intérieure à une valeur minimale \vec{F}_m .

❖ $F < F_m$ le solide est en équilibre $\varphi < \varphi_0$ tel que φ_0 est l'angle de frottement statique.

❖ $F > F_m$ le solide est en mouvement $\varphi > \varphi_0$.

On définit le coefficient de l'angle statique k_0 par la relation : $k_0 = \tan\varphi_0$

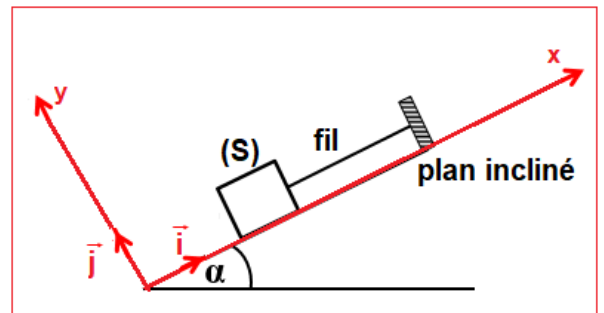
III-Exercice d'application :

Un solide (S) est attaché à un fil inextensible sur un plan incliné faisant un angle α avec l'horizontale (voir figure).

Le contact entre la plan incliné et le solide se fait sans frottements.

Déterminer les intensités des forces appliquées sur le solide (S).

On donne $m = 500 \text{ g}$; $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$ et $\alpha = 30^\circ$.



Solution :

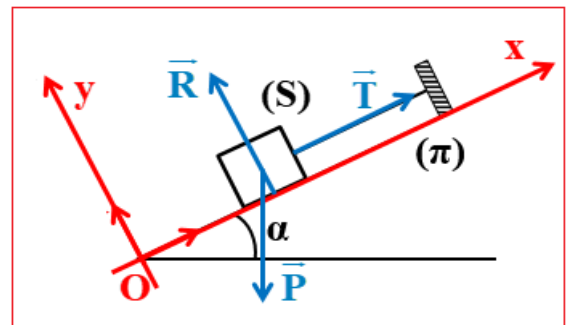
-système étudié : le corps (S)

-bilan des forces qui s'exercent sur le corps (S) :

\vec{R} : la réaction du plan incliné.

\vec{T} : la tension du fil.

\vec{P} : le poids du solide (S).



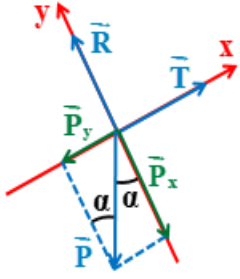
-Le solide (S) est en équilibre on

écrit : $\vec{R} + \vec{T} + \vec{P} = \vec{0}$

La projection des forces sur les axes

Ox et Oy :

$$\begin{cases} R_x + T_x + P_x = 0 \\ R_y + T_y + P_y = 0 \end{cases}$$



$$\sin\alpha = \frac{P_x}{P} \Rightarrow P_x = P \cdot \sin\alpha$$

$$P_x = m \cdot g \cdot \sin\alpha$$

$$\cos\alpha = \frac{P_y}{P} \Rightarrow P_y = P \cdot \cos\alpha$$

$$P_y = m \cdot g \cdot \cos\alpha$$

Les coordonnées des forces dans le repère (O, \vec{i}, \vec{j}) sont :

$$\vec{R} \begin{cases} R_x = 0 \\ R_y = R \end{cases} \quad \vec{T} \begin{cases} T_x = T \\ T_y = 0 \end{cases} \quad \vec{P} \begin{cases} P_x = m \cdot g \cdot \sin\alpha \\ P_y = m \cdot g \cdot \cos\alpha \end{cases}$$

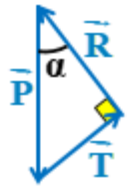
$$\begin{cases} 0 + T + m \cdot g \cdot \sin\alpha = 0 \\ R + 0 + m \cdot g \cdot \cos\alpha = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T = m \cdot g \cdot \sin\alpha \\ R = m \cdot g \cdot \cos\alpha \end{cases}$$

A.N : $\begin{cases} T = 0,5 \times 10 \times \sin(30^\circ) \\ R = 0,5 \times 10 \times \cos(30^\circ) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T = 2,5 \text{ N} \\ R = 4,33 \text{ N} \end{cases}$

Remarque :

Les mêmes résultats sont obtenus en utilisant la méthode graphique.

$$\sin\alpha = \frac{T}{P} \Rightarrow T = P \cdot \sin\alpha$$

$$\cos\alpha = \frac{R}{P} \Rightarrow R = P \cdot \cos\alpha$$


Matière :
Physique Chimie

Niveau :
Tronc Commun

Equilibre d'un corps solide soumis à plusieurs forces



1. EQUILIBRE D'UN CORPS SOLIDE SOUMIS A 2 FORCES : 1-1/ POUSSEE D'ARCHIMEDE

Montgolfière, Kitesurfeur, balle de ping-pong plongée dans l'eau et qui remonte sont des exemples où les fluides (eau, air ...) exercent des actions mécaniques. Ces actions mécaniques sont modélisées par la poussée d'Archimède.

Un solide (S) de volume V totalement immergé dans un fluide homogène de masse volumique ρ est soumis à des actions mécaniques de la part de ce fluide : La poussée d'Archimède a pour caractéristiques :

- ↳ Point d'application : centre d'inertie du fluide déplacé.
- ↳ Direction : verticale
- ↳ Sens : vers le haut
- ↳ Valeur : égale au poids de fluide déplacé

$$F_a = \rho \cdot V \cdot g$$

avec ρ en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, V en m^3 et g en $\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$

La poussée d'Archimède dans l'air est souvent négligée car la masse volumique de l'air est très faible ($\rho_{\text{air}} = 1,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Exercices N°1 :

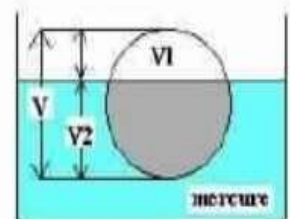
- 1) Déterminer le poids d'une sphère en bois de rayon $r = 20\text{cm}$. Faire de même pour une sphère en acier, de rayon $r = 20\text{cm}$.
Masse volumique en kg m^{-3} bois : 700 ; eau : 1000 ; acier : 7800
- 2) Déterminer la poussée d'Archimède qui s'exercerait sur chacune de ces sphères si elles étaient totalement immergées dans l'eau.
- 3) Ces sphères pourraient-elles flotter à la surface de l'eau ?
- 4) si oui quelle est la fraction du volume immergé

Exercices N°2 :

Une boule en fer de densité 7,25 est introduite dans du mercure de densité 13,6.

On demande :

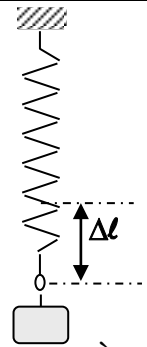
- 1- De montrer que la boule est partiellement immergée dans le liquide.
- 2- De calculer le rapport du volume émergé V_1 au volume total V de la boule.



1-2/ TENSION DU RESSORT

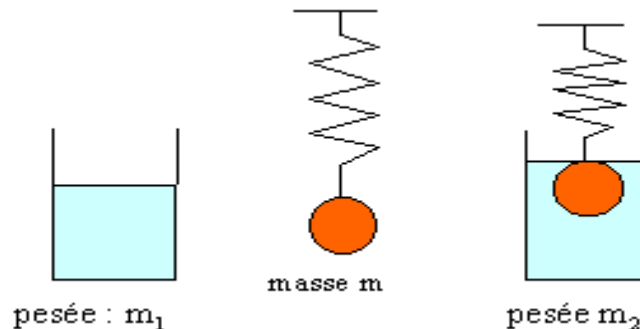
Un ressort exerce sur un solide une force de rappel F proportionnelle à son allongement : ΔL et à K est le coefficient de raideur du ressort on l'exprime en N/m .

$$T = k \times |\Delta L| = k \times |L_f - L_i|$$



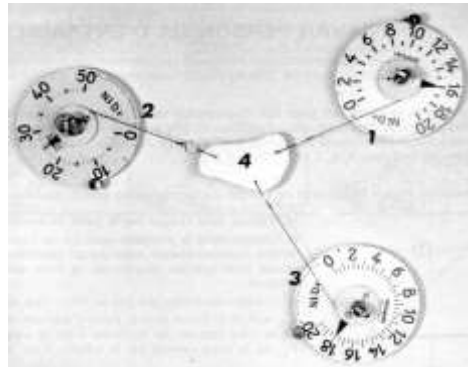
Exercices N°2 :

Pesée d'un bêcher contenant de l'eau : masse m_1 . On suspend un solide S de masse m à un ressort de constante de raideur k . Celui-ci s'allonge d'une longueur x_1 à l'équilibre. On plonge le solide S dans le bêcher (masse d'eau déplacée m_e). On observe un nouvel équilibre avec un nouvel allongement x_2 du ressort et une nouvelle lecture de masse m_2 .



1. Établir l'expression de l'allongement x_1 en fonction de m , g et k ($g = 9,8 \text{ms}^{-2}$)
2. Établir l'expression de l'allongement x_2 en fonction de m_s , m_e , g et k . Comparer à x_1
3. En étudiant le système " eau + bêcher " exprimer la différence de pesée $m_2 - m_1$.

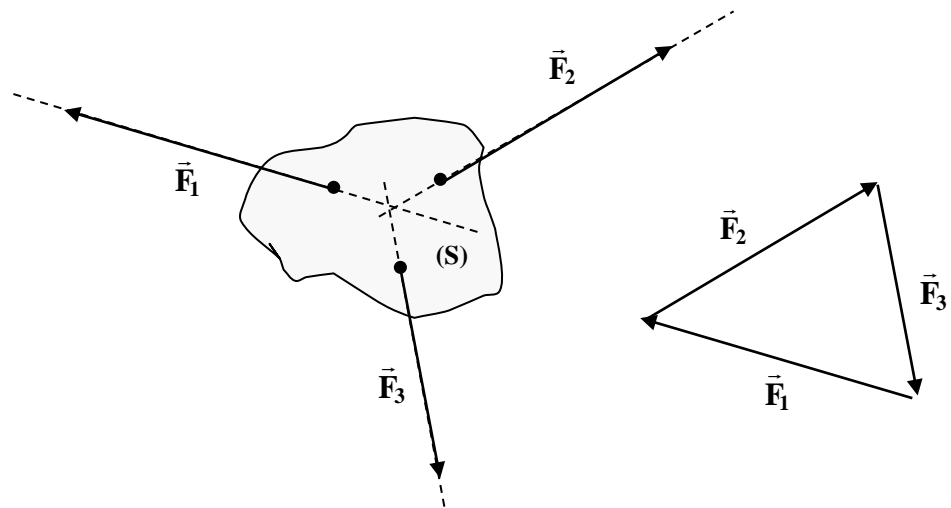
2. EQUILIBRE D'UN CORPS SOLIDE SOUMIS A 3 FORCES NON PARALLÈLES:



Pour qu'un solide soumis à trois forces \vec{F}_1 , \vec{F}_2 et \vec{F}_3 non parallèles soit en équilibre, il faut que :

- les droites d'action des trois forces soient **coplanaires** et **concurrentes**
- la somme vectorielle des trois forces soit nulle : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$

Si l'objet est en équilibre, la dynamique des forces (ou somme vectorielle des forces) est un triangle fermé.

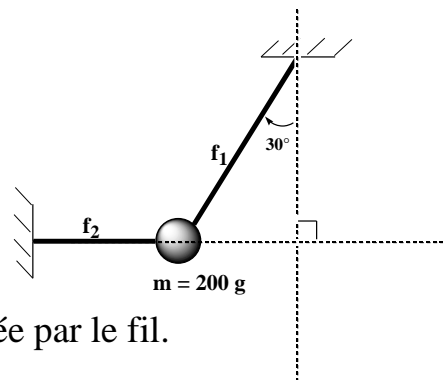


3. **EQUILIBRE D'UN SOLIDE SOUMIS A n FORCES (NON PARALLELES)**
 Un solide soumis à n forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2 \dots \vec{F}_n$ non parallèles est en équilibre si :

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 \dots + \vec{F}_n = \vec{0} \quad \text{qui s'écrit} \quad \sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$$

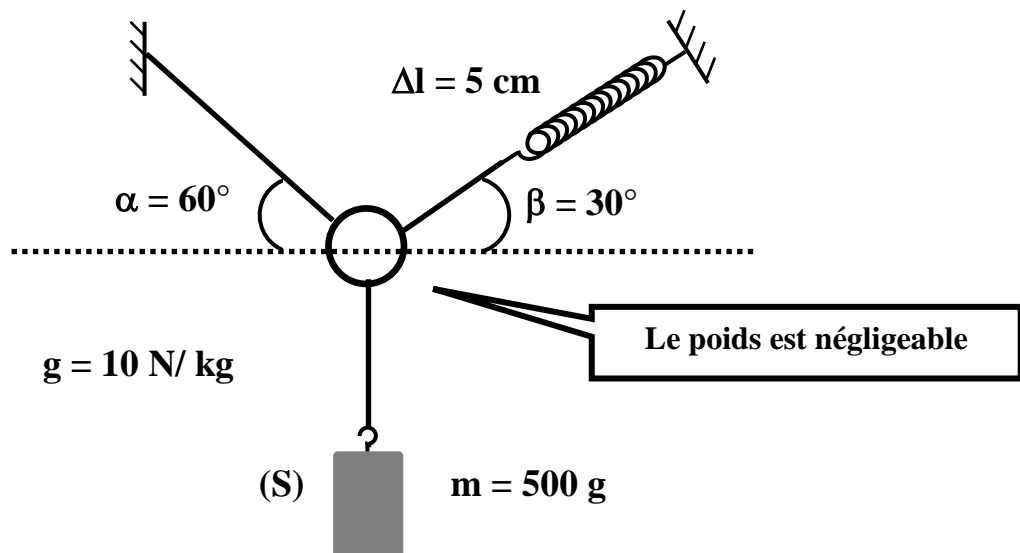
Exercices N°3 :

Calculer F_1 l'intensité de la force exercée par le fil f_1 et F_2 l'intensité de la force exercée par le fil f_1 :



Exercices N°4 :

- 1) Calculer k la raideur du ressort.
 - 2) Calculer T l'intensité de la force exercée par le fil.
- On donne $\alpha = 60^\circ$ et $\beta = 30^\circ$

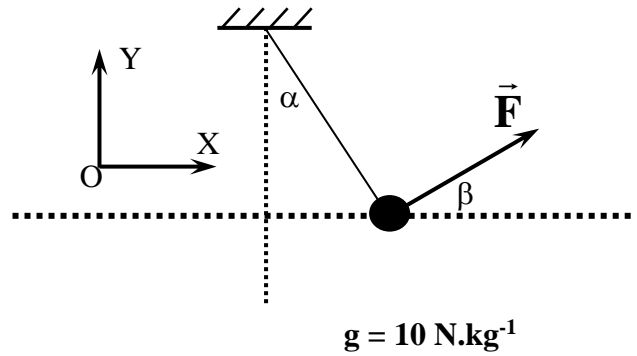


Exercices N°5 :

On applique une force \vec{F} , d'intensité constante et dont la direction forme un angle $\beta = 20^\circ$ avec l'axe (OX), sur un solide (S) de masse $m = 500 \text{ g}$.

Le solide (S) est sous mis à l'action d'un fil de masse négligeable et inextensible (voir figure ci-dessous). On considère que la somme vectorielle des vecteurs forces extérieures est nulle " $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$ ".

- 1) Le système étudié est { le solide (S) }, donner le bilan des forces qui agissent sur le système
- 2) Représenter "sans tenir compte de l'intensité" les forces extérieures et leurs projections sur une même schémas.
- 3) Donner les expressions des coordonnées des vecteurs forces extérieures qui agissent sur le système dans le repère (O,X,Y).
- 4) Montrer que :



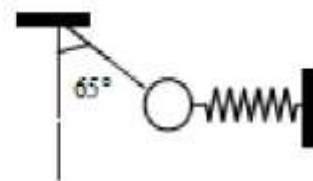
Calculer F

$$F = m \times g \times \frac{\tan(\alpha)}{\cos(\beta) + \sin(\beta) \times \tan(\alpha)}$$

- 5) Calculer T l'intensité de la force exercée par le fil.

Exercices N°6 :

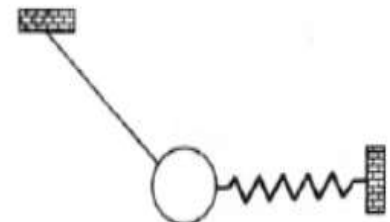
Une bille de poids 2,5N est en équilibre sous l'action de trois forces



- a) Représenter sur le schéma les forces qui interviennent.
- b) Donner les caractéristiques de ces forces.
- c) Donner la condition d'équilibre.
- d) Après avoir choisi un repère, déterminer les valeurs des forces appliquées à la bille.
- e) Sachant que le ressort à vide a une longueur de 10 cm et que sa constante de raideur vaut 250 N.m⁻¹ calculer son allongement x.

Exercices N°7 :

Un disque homogène, métallique très mince, de masse M=300g est accrochée à un fil et à un ressort selon la figure ci-contre. A l'équilibre on observe que le-dispositif est dans un plan vertical. Le ressort exerce une tension T₁ = 4N sur le disque.



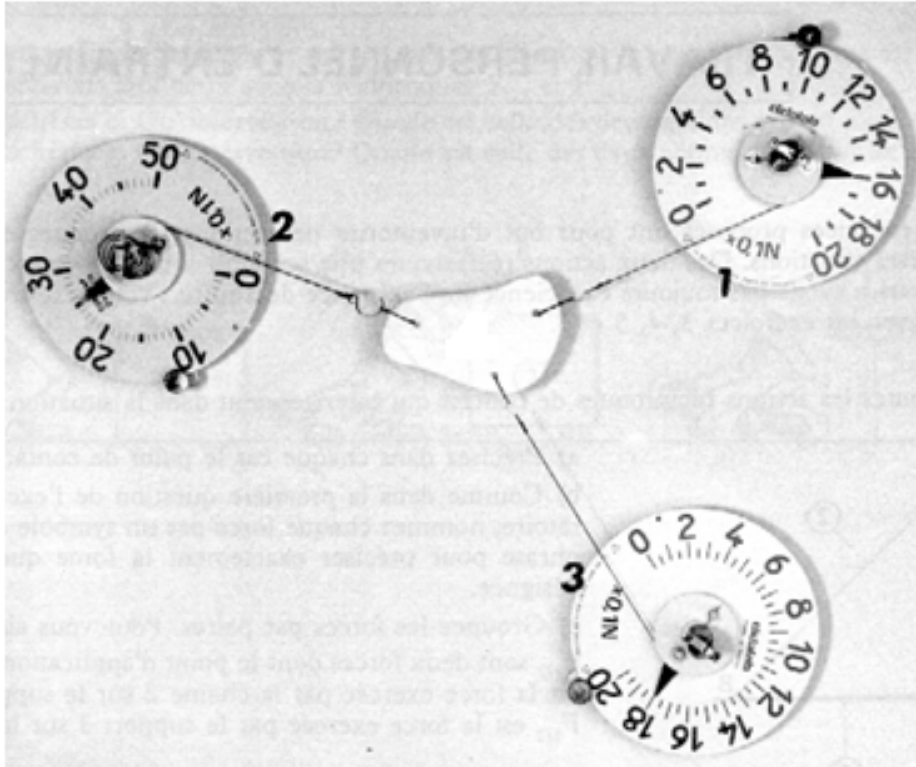
- 1- Quelles sont les autres forces qui s'exercent sur le disque?
- 2- Déterminer la tension T₂ exercée par le fil (on déterminera l'angle) :
 - a) par construction géométrique.
 - b) Par méthode analytique en utilisant un repère approprié. (g=10N/kg)

Unité 6 : Equilibre d'un corps solide soumis à l'action de trois forces non parallèles

توازن جسم صلب خاضع لثلاث قوى غير متوازية

I. Conditions d'équilibre d'un corps solide soumis à l'action de trois forces non parallèles

Une plaque de polystyrène légère (de poids négligeable) est soumise à l'action de trois forces par l'intermédiaire de trois fils tendus. Trois dynamomètres mesurent ces forces. (Voir ci-dessous)

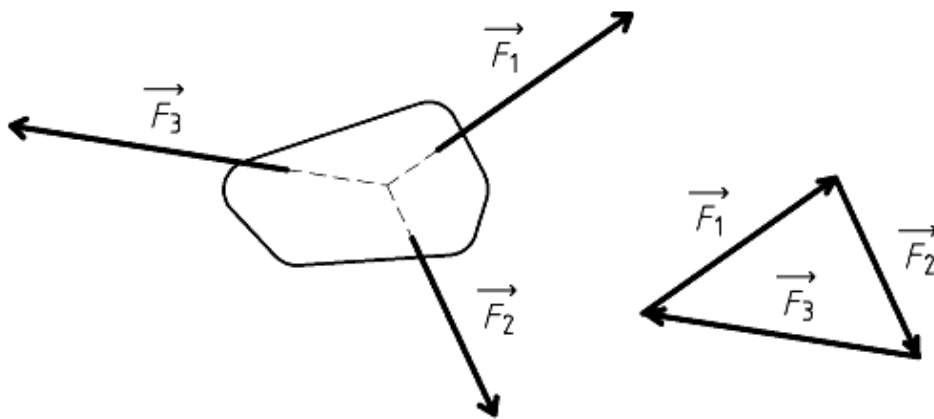


1. Faire inventaire les forces exercées sur le corps solide.
2. Représenter les forces sur la figure, en utilisant l'échelle suivante : $1\text{cm} \longrightarrow 4\text{N}$
3. Prolonger les supports (lignes d'actions) du forces, que observez-vous.
4. Tracer le polygone dynamique c-à-d la somme vectorielle des forces , que remarquez – vous.

Enoncée : Conditions d'équilibre d'un corps solide soumis à trois forces non parallèle.

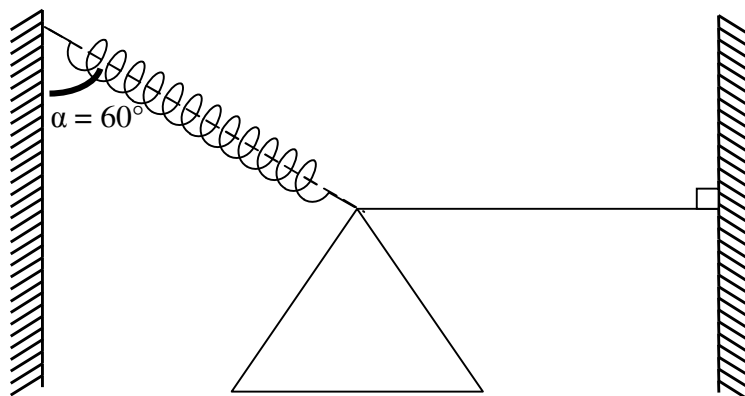
Si un système est soumis à trois forces non parallèles, alors :

- Les trois forces sont dans même plan on dit qu'ils sont coplanaires
- Les directions des trois forces se coupent en un même point ils sont concourantes en un même point.
- La somme des trois vecteurs représentant les forces est égale au vecteur nul. La construction graphique de cette somme se nomme triangle des forces, dynamique fermé ou encore polygone dynamique.



Exercice d'application

Une enseigne d'une boutique de masse $m = 800\text{g}$ est maintenue à l'équilibre par un câble fixé à un mur vertical et un ressort de constante de raideur $K = 50\text{N / Kg}$ fixé à un autre mur vertical. Voir la figure ci contre.



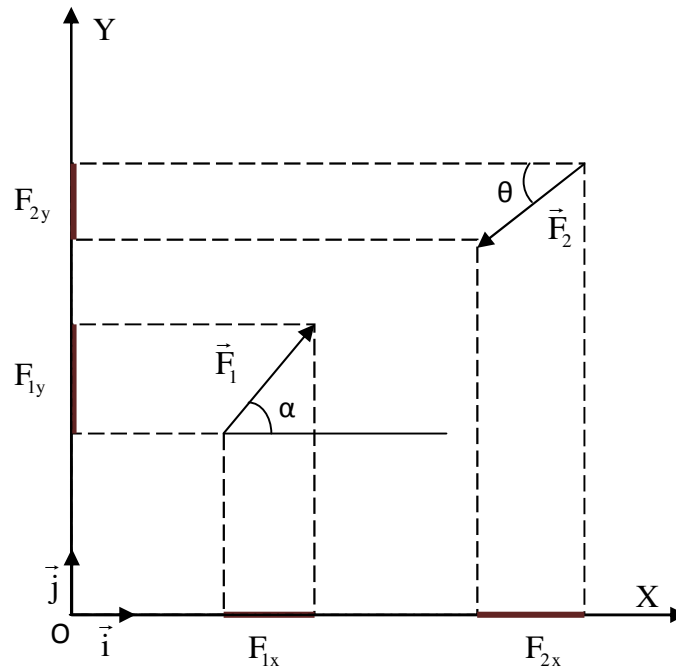
1. Quels sont les forces exercées sur l'enseigne de boutique.
2. En utilisant la construction géométrique (le polygone dynamique), déterminer la valeur de la tension du câble et celle du ressort.
3. Détermine l'allongement du ressort.

II. Application : réaction du support

1. Coordonnées de vecteur force (méthode analytique)

Considérons un repère orthonormé $R(O, \vec{i}, \vec{j})$.

On fait la projection des forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 sur les axes de repère.



La projection de \vec{F}_1 donne les coordonnées cartésiennes F_{1x} et F_{1y} , on écrit : $\vec{F}_1 = F_{1x} \cdot \vec{i} + F_{1y} \cdot \vec{j}$ ou encore

$$\vec{F}_1 \begin{pmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \end{pmatrix}_{(\vec{i}, \vec{j})} \quad \text{ou} \quad \vec{F}_1 \begin{vmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \end{vmatrix}_{(\vec{i}, \vec{j})}$$

Relation entre F_{1x} (ou F_{1y}) avec F et l'angle α :

$$\sin \alpha = \frac{|F_{1x}|}{F} \quad \text{Or } F_{1x} \text{ est positif alors } \sin \alpha = \frac{F_{1x}}{F} \quad \text{donc } \boxed{F_{1x} = F \sin \alpha}$$

$$\cos \alpha = \frac{|F_{1y}|}{F} \quad \text{Or } F_{1y} \text{ est positif alors } \cos \alpha = \frac{F_{1y}}{F} \quad \text{donc } \boxed{F_{1y} = F \cos \alpha}$$

La projection de \vec{F}_2 donne les coordonnées cartésiennes F_{2x} et F_{2y} , on écrit : $\vec{F}_2 = F_{2x} \cdot \vec{i} + F_{2y} \cdot \vec{j}$ ou encore

$$\vec{F}_2 \begin{pmatrix} F_{2x} \\ F_{2y} \end{pmatrix}_{(\vec{i}, \vec{j})} \quad \text{ou} \quad \vec{F}_2 \begin{vmatrix} F_{2x} \\ F_{2y} \end{vmatrix}_{(\vec{i}, \vec{j})}$$

Relation entre F_{2x} (ou F_{2y}) avec F et l'angle α :

$$\sin \alpha = \frac{|F_{2x}|}{F} \quad \text{Or } F_{2x} \text{ est négatif alors } \sin \alpha = \frac{-F_{2x}}{F} \quad \text{donc } \boxed{F_{2x} = -F \sin \alpha}$$

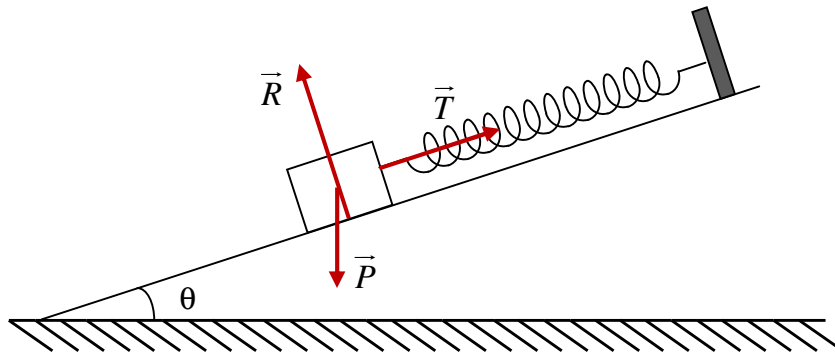
$$\cos \alpha = \frac{|F_{2y}|}{F} \text{ Or } F_{2y} \text{ est négatif alors } \cos \alpha = \frac{-F_{2y}}{F} \text{ donc } \boxed{F_{2y} = -F \cos \alpha}$$

La norme d'une force $\vec{F} = F_x \cdot \vec{i} + F_y \cdot \vec{j}$ est : $F = \|\vec{F}\| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$

2. Equilibre d'un corps solide sur une surface en cas de frottement négligeable.

Considérons le cas expérimental suivant.

Un autoporteur est maintenu à l'équilibre sur une surface lisse (coussin d'air) inclinée faisant un angle 18° avec l'horizontal, par un ressort (dynamomètre) son l'autre extrémité est fixé à un support fixe (voir la figure). La valeur indiquée par le dynamomètre est 1N, on donne $g=10\text{N/Kg}$.



1. Quelles sont les forces appliquées sur l'autoporteur
2. En utilisant le polygone dynamique. Trouver les caractéristiques de la force de la réaction.
3. En utilisant la méthode analytique, trouver les caractéristique de la force de réaction.

Résumé : en cas d'absence de frottement la force de réaction exercée par une surface sur un corps solide en contact avec elle est perpendiculaire sur la surface vers le haut.

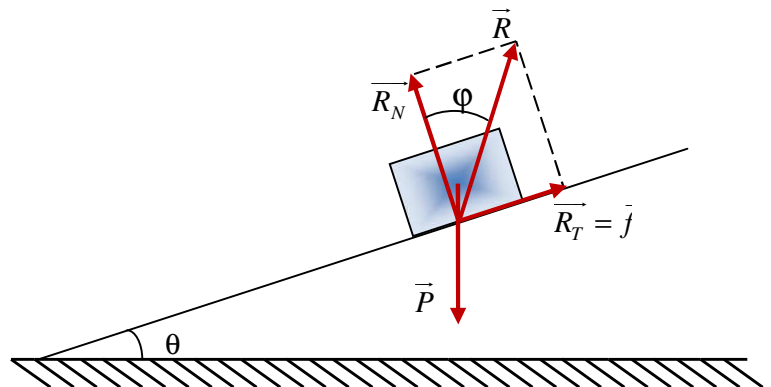
3. Equilibre d'un corps solide sur une surface en cas de frottement

Considérons le cas expérimental suivant :

Un corps solide en équilibre sur une surface rugueuse (contacte avec frottement) inclinée d'un angle θ avec l'horizontal. Le corps reste en repos tant que l'angle θ est (soit) inférieur à un angle s'appelle angle critique ou encore l'angle de frottement statique ; notée φ_0 .

Le corps est soumis à deux forces, sont poids \vec{P} et la réaction du plan incliné \vec{R} .

Le corps étant au repos, ces deux forces doivent être en équilibre (leur somme doit être nulle):



$$\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$$

On peut décomposer la réaction du plan incliné en une partie normale \vec{R}_N et une partie tangentielle \vec{R}_T , qui est due au frottement : $\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{R}_T$

L'angle $\varphi = (\vec{R}, \vec{N})$ s'appelle l'angle de frottement

Si l'on augmente l'inclinaison (c-à-d augmenter θ) donc φ l'angle de frottement augmente, l'équilibre reste possible aussi longtemps que $\varphi < \varphi_0$, alors l'équilibre n'est plus possible, et le corps doit glisser. Il existe donc une valeur critique de l'inclinaison, c-à-d une valeur critique de l'angle de frottement s'appelle angle de frottement statique φ_0 .

On appelle coefficient de frottement la grandeur sans unité définie par : $K = \tan \varphi$

D'après le schéma précédente (en utilisant les composantes de \vec{R}) on écrit : $K = \tan \varphi = \frac{R_T}{R_N}$

On appelle coefficient de frottement statique la grandeur sans unité définie par : $K_0 = \tan \varphi_0$

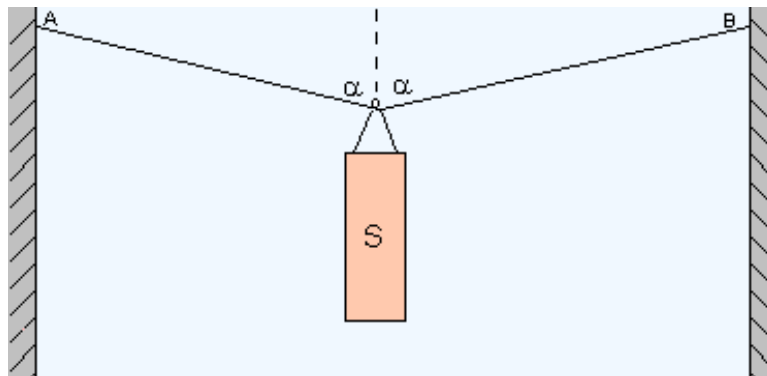
Exercice :

Dans tous les exercices, on prendra $g=9,81\text{N.kg}^{-1}$.

Solide suspendu:

Un objet S de masse $m=55\text{kg}$ est suspendu par deux câbles fixés sur un anneau. Les câbles sont fixés en deux points A et B situés sur la même horizontale. L'angle que fait la verticale de l'anneau avec chacun des deux câbles a pour mesure $\alpha=70^\circ$.

1. Quelles sont les forces exercées sur le système {objet S + anneau}?
2. Quelle relation existe-t-il entre ces vecteurs forces?
3. Déterminer les valeurs T_1 et T_2 des tensions des câbles.



Véhicule en mouvement rectiligne uniforme:

Un véhicule, de masse $m=1300\text{kg}$, roule à vitesse constante $V=90\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ sur une route rectiligne et horizontale. L'ensemble des forces s'opposant à l'avancement est équivalent à une force unique, opposée au vecteur vitesse, de valeur $f=800\text{N}$.

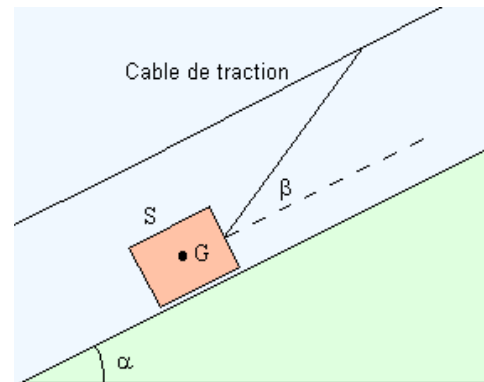
1. Déterminer la valeur de la force motrice développée par le moteur.
2. Le véhicule aborde, à présent, une côte formant un angle de 14° avec l'horizontale. Quelle doit être la nouvelle valeur de la force motrice si le conducteur maintient la même vitesse et que l'ensemble des forces s'opposant à l'avancement est toujours équivalent à une force unique, opposée au vecteur vitesse, de valeur $f=800\text{N}$?

Mouvement sur un plan incliné:

Un solide de masse $m=5\text{kg}$ glisse sans frottement sur un plan incliné d'angle $\alpha=15^\circ$ par rapport à l'horizontale. Il est entraîné à vitesse constante par un câble faisant un angle $\alpha=20^\circ$ avec la ligne de plus grande pente du plan incliné.

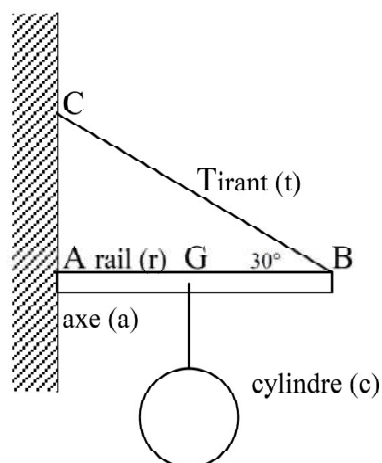
1. Déterminer la tension du fil de traction.
2. Déterminer la réaction du plan incliné.

Exercice :



Lors d'une opération de maintenance effectuée sur une repasseuse automatique, on doit sortir un cylindre d'acier dont la masse est $m_c = 300\text{ kg}$.

1. Calculer la valeur du poids ρP_c de ce cylindre. (On prendra $g = 10\text{ N/kg}$).
2. Le cylindre est soulevé à l'aide d'une potence à tirant constituée d'un rail (r) mobile autour d'un axe (a) maintenu horizontal par un tirant (t).
On se propose d'étudier l'équilibre du rail (r) lorsque le cylindre est situé sur la verticale passant par G . Ce rail est soumis à trois forces dont l'une est totalement déterminée et les deux autres partiellement définies :

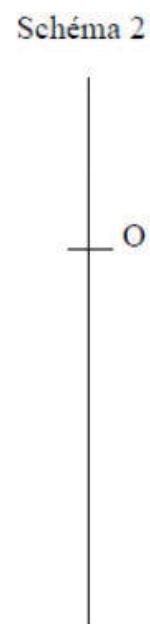
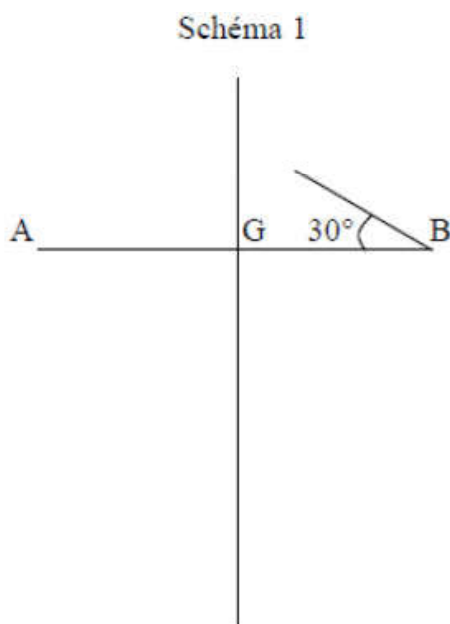


\vec{P} : Poids total du rail et du cylindre

\vec{F}_1 : Force exercée par le tirant sur le rail.

\vec{F}_2 : Force exercée par l'axe sur le rail.

- Représenter le poids \vec{P} de valeur 5 000 N sur le schéma 1 suivant.
- Déterminer sur le schéma 1, le point de concours I des droites d'action des trois forces puis tracer celle de \vec{F}_1
- Construire le dynamique des forces : $\vec{P} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ à partir du point O (schéma 2).
- Déterminer graphiquement les valeurs de \vec{F}_1 et \vec{F}_2 . Echelle : 1 cm pour 1000 N.



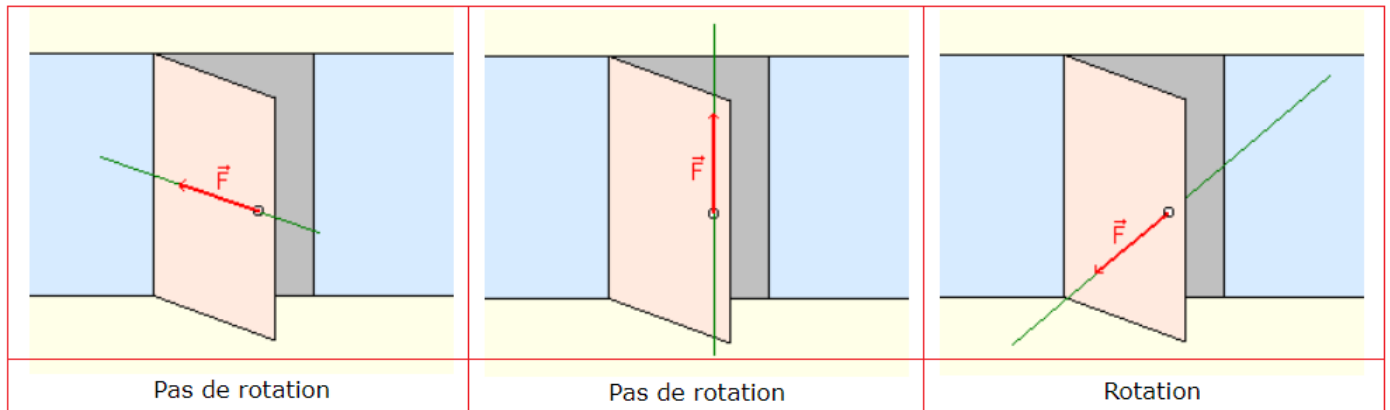
Equilibre d'un solide en rotation autour d'un axe fixe

I-Effet d'une force sur la rotation d'un solide :

1-Activité 1:

La rotation d'une porte autour d'un axe (Δ).

Si on exerce une force sur une porte ouverte on constate :



Pour qu'une force \vec{F} ait un effet sur la rotation d'un solide, il faut :

- Sa direction ne soit pas parallèle à l'axe de rotation.
- Sa direction ne rencontre pas l'axe de rotation.

2-Conclusion :

L'effet d'une force sur la rotation d'un solide autour d'un axe fixe ne dépend pas seulement de l'intensité de la force mais aussi de sa direction. L'effet d'une force est d'autant plus grand que celui est placé loin de l'axe de rotation.

II-Moment d'une force par rapport à un axe fixe :

1-Expérience:

La plaque (P) peut tourner autour de l'axe (Δ) passant par O, on suspend au point A un corps (S) et on exerce de l'autre côté une force \vec{F}_B au point B. Pour rétablir l'équilibre de la plaque, on change l'intensité et la direction de la force.

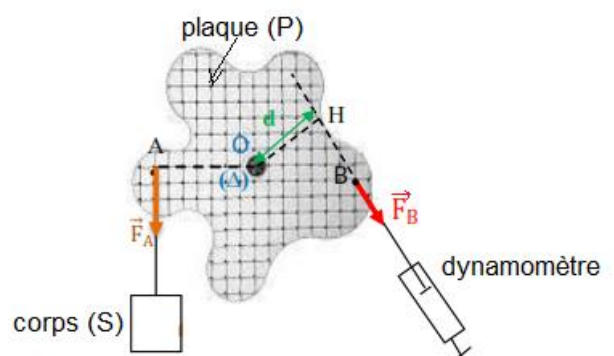


Tableau des résultats :

| | | | | | |
|------------------------|------|------|------|------|------|
| F_B en (N) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| d en (cm) | 12 | 6 | 4 | 3 | 2,4 |
| $F_B \cdot d$ en (N.m) | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 |

-Observation :

Lorsque l'intensité de la force \vec{F}_B diminue, la distance d augmente.
Le produit $F_B \cdot d$ reste constante, il s'appelle le moment de la force \vec{F}_B .

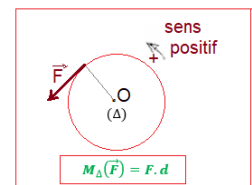
2-Définition du moment d'une force :

Le moment d'une force \vec{F} par rapport à un axe est le produit de l'intensité de cette force par la distance d entre la droite d'action de la force et l'axe de rotation.

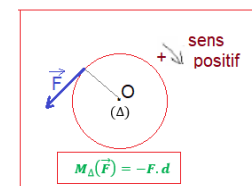
Le moment d'une force est une grandeur algébrique.

$$M_{\Delta}(\vec{F}) = \pm F \cdot d \begin{cases} F: \text{intensité de la force en (N)} \\ d: \text{la distance entre la direction de } \vec{F} \text{ et l'axe } \Delta \text{ en (m)} \\ M_{\Delta}(\vec{F}): \text{le moment de la force } \vec{F} \text{ par rapport à } (\Delta) \text{ en (N)} \end{cases}$$

-Si la force \vec{F} tend à faire tourner le solide dans le sens positif choisi : $M_{\Delta}(\vec{F}) = F \cdot d$



-Si la force \vec{F} tend à faire tourner le solide dans le sens contraire au sens choisi : $M_{\Delta}(\vec{F}) = -F \cdot d$



III-Equilibre d'un solide en rotation autour d'un axe fixe :

1-Etude de l'équilibre de la plaque (P)

La plaque (P) est soumise à :

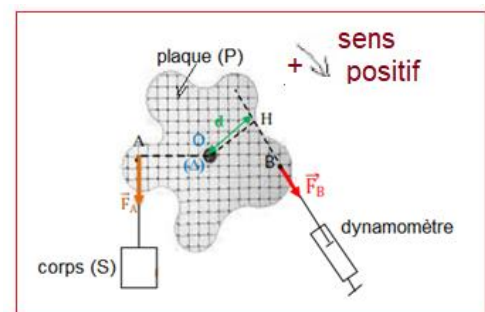
\vec{F}_A : force exercée par le corps (S) ; son moment est : $M_{\Delta}(\vec{F}_A) = -F_A \cdot OA$

\vec{F}_B : force exercée par le dynamomètre ; son moment est : $M_{\Delta}(\vec{F}_B) = F_B \cdot OH$

\vec{R} : force exercée par l'axe de rotation ; son moment est nul $M_{\Delta}(\vec{R}) = 0$

\vec{P} : poids de la plaque ; son moment est nul $M_{\Delta}(\vec{P}) = 0$

Puisque : $F_A \cdot OA = F_B \cdot OH$ donc : $F_B \cdot OH - F_A \cdot OA = 0$



$$M_{\Delta}(\vec{F}_A) + M_{\Delta}(\vec{F}_B) + M_{\Delta}(\vec{R}) + M_{\Delta}(\vec{P}) = 0$$

2-Théorème des moments :

Lorsqu'un solide, en rotation autour d'un axe fixe, est en équilibre, la somme algébrique des moments de toutes les forces qui s'exercent sur lui, par rapport à cet axe, est nulle. $\sum M_{\Delta}(\vec{F}) = 0$

3-Condition d'équilibre :

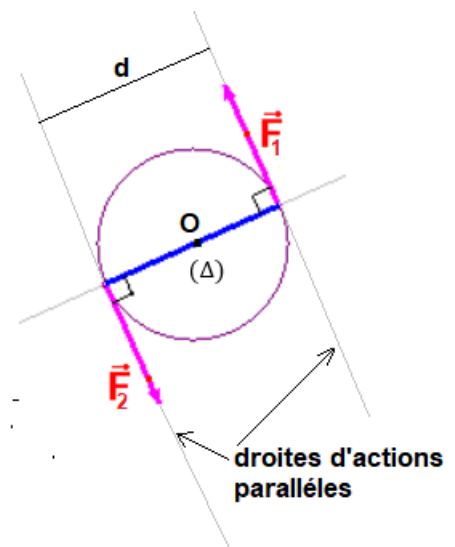
Lorsqu'un solide est en équilibre, les conditions suivantes doivent être vérifiées :

- 1^{ère} condition : Immobilité du centre de gravité G : $\sum \vec{F} = \vec{0}$
- 2^{ème} condition : absence de rotation autour de l'axe de rotation : $\sum M_{\Delta}(\vec{F}) = 0$

IV-Moment d'un couple de forces :

1-Définition d'un couple de forces :

Un couple de force $(\vec{F}_1 ; \vec{F}_2)$ est un ensemble de deux forces parallèles, de sens contraires, de même intensité $F = F_1 = F_2$ et n'ayant pas la même droite d'action.



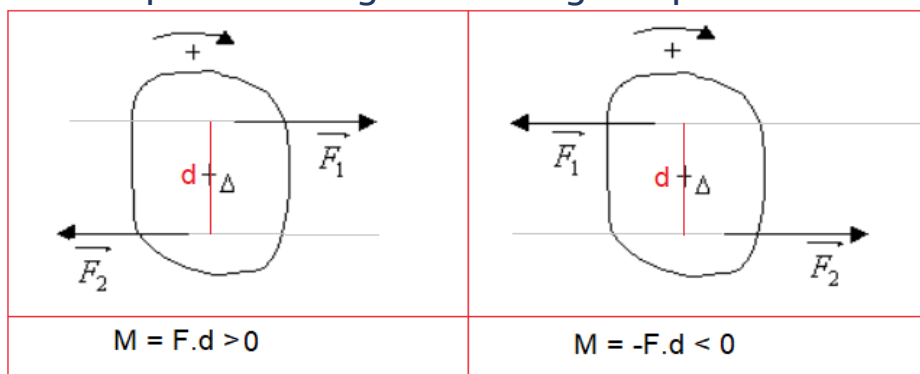
$(\vec{F}_1 ; \vec{F}_2)$ est un couple si $\begin{cases} \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0} \\ \vec{F}_1 \text{ et } \vec{F}_2 \text{ ont des droites d'action différentes} \end{cases}$

2-Moment d'un couple de forces:

Le moment M d'un couple de forces $(\vec{F}_1 ; \vec{F}_2)$ est égal au produit de l'intensité commune F des deux forces par la distance d séparant les deux droites d'action.

$$M = \pm F \cdot d$$

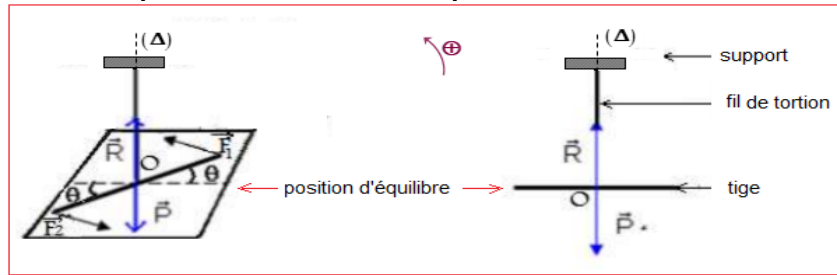
Le moment d'un couple est une grandeur algébrique.



V- Moment de couple de torsion :

1-Couple de torsion :

La tige est suspendue par un fil métallique :



La tige est en équilibre sous l'action de son poids \vec{P} et de la force \vec{R} exercée par le fil de torsion.

$$\vec{P} + \vec{R} = \vec{0} \quad \text{et} \quad M_{\Delta}(\vec{P}) + M_{\Delta}(\vec{R}) = 0$$

On applique à la tige un couple de forces $(\vec{F}_1 ; \vec{F}_2)$, la tige tourne d'un angle θ .

La tige est soumise à :

$(\vec{F}_1 ; \vec{F}_2)$ un couple de forces de moment $M(C)$

\vec{P} : le poids de la tige

\vec{R} : la force exercée par le fil de torsion

$\sum \vec{f}_i$: les forces de rappels constituent un couple appelé couple de torsion $M(T)$.

D'après les conditions d'équilibre on a :

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{P} + \vec{R} + \sum \vec{f}_i = \vec{0}$$

$$M_{\Delta}(\vec{F}_1) + M_{\Delta}(\vec{F}_2) + M_{\Delta}(\vec{P}) + M_{\Delta}(\vec{R}) + M(T) = 0$$

$$M_{\Delta}(\vec{P}) = M_{\Delta}(\vec{R}) = 0 \quad \text{et} \quad M_{\Delta}(\vec{F}_1) + M_{\Delta}(\vec{F}_2) = M(C)$$

$$M(T) = -M(C)$$

2-Expressin du couple de torsion :

N exerce sur la tige in couple de forces de moment $M(C) = F \cdot d$ et on mesure l'angle θ . On obtient les résultats suivants :

| | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $F(N)$ | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| $d(m)$ | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,10 |
| $M(C) = F \cdot d$ | 0,004 | 0,006 | 0,012 | 0,016 | 0,024 | 0,030 |
| $\theta (^{\circ})$ | 9 | 14 | 28 | 37 | 55 | 69 |
| $\theta(rad)$ | 0,16 | 0,24 | 0,48 | 0,64 | 0,96 | 1,20 |

Le graphe est une fonction linéaire son équation s'écrit : $M(C) = C \cdot \theta$

C : est le coefficient de proportionnalité qui s'appelle constante de torsion en ($N.m.rad^{-1}$).

$$C = \frac{\Delta M(C)}{\Delta \theta}$$
$$C = \frac{0,03 - 0}{1,2 - 0} = 2,5 \cdot 10^{-2} N.m.rad^{-1}$$

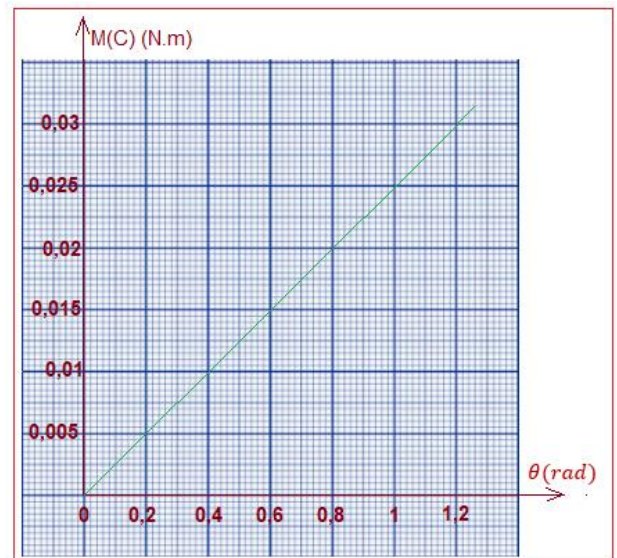
La valeur de C dépend de la longueur du fil, de sa section et de sa nature.

θ : angle de torsion en (rad)

Puisque : $M(T) = -M(C)$

L'expression du moment de couple de torsion est :

$$M_T = -C \cdot \theta$$



I) Moment d'une force:

1) ÉTUDE EXPÉRIMENTALE :

a) Montages expérimentaux

Montage n°1 :

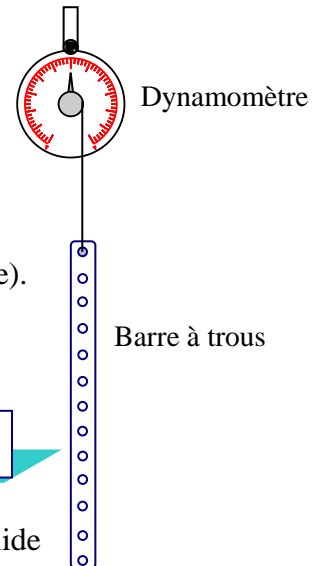
A l'aide du dynamomètre, On mesure le poids de la barre.

$$P_1 = \dots 0,3 \text{ N ou } 0,4 \text{ N} \dots$$

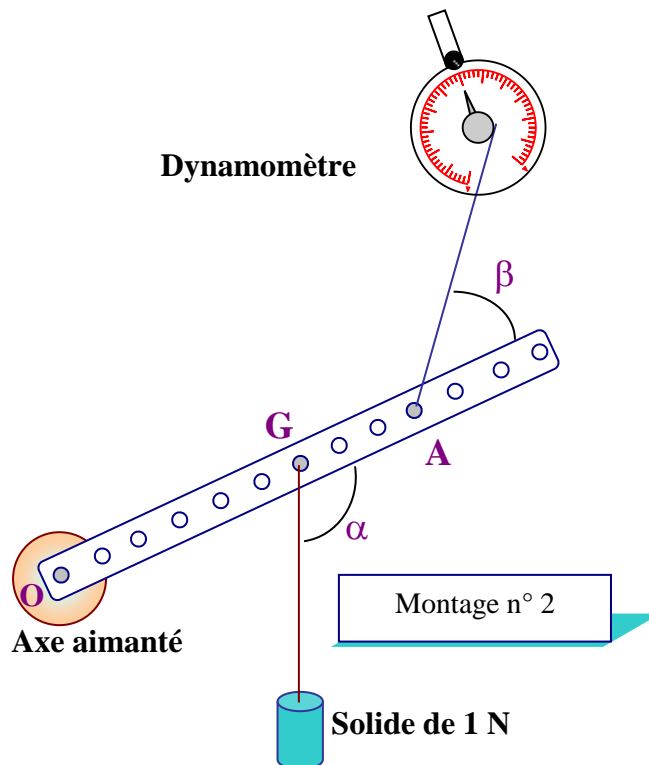
Montage n°2 :

Réaliser le montage ci-contre, Le système doit être en équilibre (immobile).

- Noter les valeurs des distances
OG = et OA =
- À l'aide d'un rapporteur, noter les valeurs des angles :
 $\alpha = \dots$ et $\beta = \dots$
- Déterminer la valeur P du poids du système :
On note P_1 la valeur du poids de la barre et P_2 celle du poids du solide
 $P = P_1 + P_2$ $P = 1,3 \text{ N}$ ou $1,4 \text{ N} \dots$
- Noter la valeur F de la force exercée par le dynamomètre : $F = \dots \dots \dots \text{ N}$



Montage n° 1

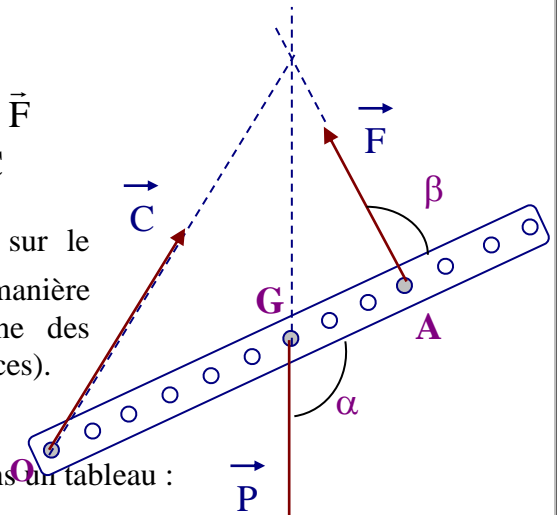


Montage n° 2

b) Bilan des forces

- Action de la terre sur le système {Barre ; Solide} : \vec{P}
- Action du dynamomètre {D} sur le système {Barre ; Solide} : \vec{F}
- Action de l'axe de rotation sur le système {Barre ; Solide} : \vec{C}

Représentons de manière qualitative, les forces qui agissent sur le système {Barre ; Solide}. La direction de \vec{C} est obtenue de telle manière que les directions des trois forces soient concourantes (une des conditions d'équilibre d'un solide en translation soumis à trois forces).



c) Mesures expérimentales

Chaque binôme ayant noté ses mesures regroupons les valeurs dans un tableau :

| Binôme | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| OG (cm) | 17,5 | 17,5 | 17,5 | 17,5 | 17,5 | 18 | 17,5 | 17,5 | 17,5 | 17,5 | 17,5 | 17,5 |
| P (N) | 1,3 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,2 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| α (°) | 120 | 102 | 115 | 112 | 116 | 80 | 99 | 90 | 90 | 105 | 120 | 65 |
| OA (cm) | 35 | 27,5 | 30 | 30 | 27,5 | 36 | 22,5 | 22,5 | 35 | 35 | 32,5 | 25 |
| F (N) | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 1,1 | 0,9 | 0,7 | 1,1 | 1,3 | 1 | 0,8 | 0,7 | 1 |
| β (°) | 140 | 78 | 120 | 40 | 65 | 120 | 82 | 58 | 45 | 125 | 62 | 115 |

d) Interprétation des mesures

L'objectif est de déterminer une quantité qui reste constante dans chaque cas.

Les élèves font plusieurs tentatives afin de trouver une relation entre OG; P; α ; OA ; F et β . Deux binômes (7 et 5) qui ont travaillé sur leurs propres mesures, on fait remarquer que les produits $OG \times P$ et $OA \times F$ sont égaux.

Comparons les produits $OG \times P$ et $OA \times F$ dans chaque cas et déterminons l'écart Δ entre ces deux valeurs :

| Binôme | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $OG \times P$ | 22,75 | 24,50 | 22,75 | 22,75 | 24,50 | 21,60 | 24,50 | 24,50 | 24,50 | 24,50 | 24,50 | 24,50 |
| $OA \times F$ | 28,00 | 24,75 | 24,00 | 33 | 24,75 | 25,20 | 24,75 | 29,25 | 35 | 28 | 22,75 | 25,00 |
| Δ | 5,25 | 0,25 | 1,25 | 10,25 | 0,25 | 3,60 | 0,25 | 4,75 | 10,50 | 3,50 | 1,75 | 0,50 |

On constate que le produit est constant (Δ faible) dans certains cas (2 ; 3 ; 5 ; 7 ; 11 et 12) ; alors que pour d'autre il avoisine les 45 % de la mesure. **Donc, on ne peut admettre cela comme une loi.** Représentons les forces dans le cas 7 cité ci-dessus :

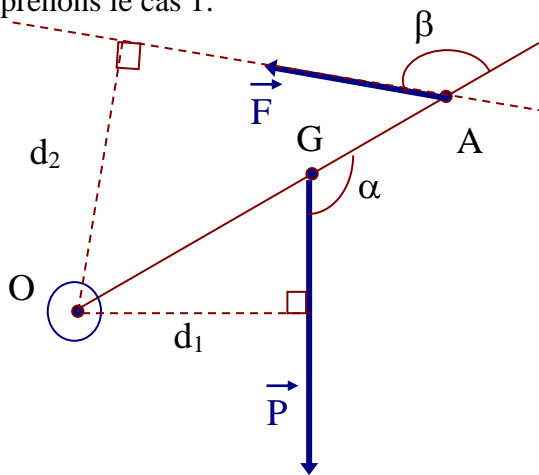
Donc la relation :

$$F \times OA = P \times OG$$

N'est valable que dans les cas particuliers où $\vec{F} // \vec{P}$; mais dans les autres cas :

$$F \times OA \neq P \times OG$$

Reprenons le cas 1:



représentons les forces qui sont capables de faire tourner la barre OA autour de l'axe de rotation O, c'est à dire \vec{F} et \vec{P} . On voit, intuitivement, que \vec{C} n'intervient pas dans la rotation de la barre ; on verra pourquoi par la suite.

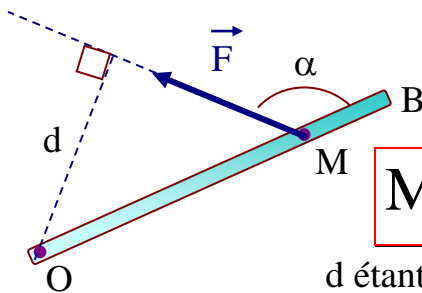
Représentons la projection orthogonale d_2 et d_1 de l'axe O sur les directions des forces \vec{F} et \vec{P} respectivement.

En utilisant la trigonométrie dans un triangle rectangle, on obtient :

2) DEFINITION :

À partir des mesures expérimentales précédentes, on peut définir une grandeur physique, qui reste invariante dans certaines conditions.

Soit une tige OB mobile autour de l'axe O, soumise à une force \vec{F} au point M. Le moment de la force \vec{F} par rapport à O, noté $M_{\vec{F}/O}$ s'écrit :



$$M_{\vec{F}/O} = \pm F \times OM \sin(\alpha) \quad \text{ou} \quad M_{\vec{F}/O} = \pm F \times d$$

d étant la plus courte distance entre de O par rapport à la direction de \vec{F}
Unité du moment d'une force : le newton.mètre (N.m)

Le moment d'une force par rapport à un axe, peut être définie comme la capacité d'une force à faire tourner le solide autour de l'axe, dans un sens ou dans l'autre, plus ou moins vite.

II) THÉORÈME DES MOMENTS

Soit un solide assujéti à tourner autour d'un axe Δ , passant par O.

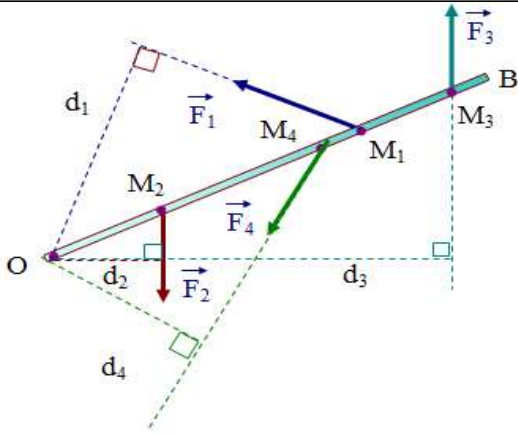
Le solide est en équilibre autour de O, si la somme des moments des forces qui le font tourner dans un sens est égale à la somme des moments des forces qui le font tourner dans l'autre sens.

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

Dans l'exemple considéré (voir figure), on considère que la barre est soumise à cinq forces ; en comptant l'action de l'axe de rotation sur la barre.

$$M_{\vec{F}_1/O} + M_{\vec{F}_3/O} = M_{\vec{F}_2/O} + M_{\vec{F}_4/O} \quad \Rightarrow \quad F_1 d_1 + F_3 d_3 = F_2 d_2 + F_4 d_4$$

Sinon on choisit un sens positif de rotation, et le théorème des moments devient :



Le solide en rotation autour d'un axe est en équilibre si la somme algébrique des moments des forces est nulle.

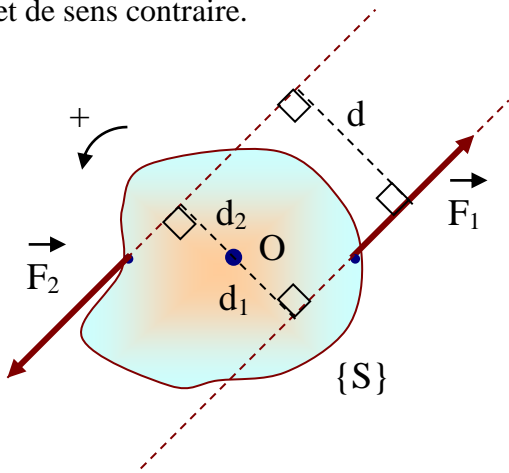
$$M_{\vec{F}_1/O} + M_{\vec{F}_3/O} - M_{\vec{F}_2/O} - M_{\vec{F}_4/O} = 0$$

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

III) COUPLE DE FORCES

Soit un solide $\{S\}$ mobile autour d'un axe O , soumis à un couple de forces $(\vec{F}_1; \vec{F}_2)$

Un couple de forces est constitué de deux forces de directions parallèles (distantes de d), de même valeur F et de sens contraire.



Cas 1 : (voir figure ci-contre)

Déterminons le moment total $M_{T/O}$, choisissons un sens de rotation positif.

$$M_{\vec{F}_1/O} = +F_1 \cdot d_1 \quad \text{et} \quad M_{\vec{F}_2/O} = +F_2 \cdot d_2$$

$$M_{T/O} = M_{\vec{F}_1/O} + M_{\vec{F}_2/O} = F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2$$

$$\text{or } F_1 = F_2 \text{ donc on peut écrire : } M_{T/O} = F \cdot (d_1 + d_2)$$

$$\text{de plus } d_1 + d_2 = d \quad ; \quad \text{donc } \boxed{M_{T/O} = F \times d}$$

Cas 2 : les deux forces sont situées du même côté de l'axe de rotation (voir figure ci-contre).

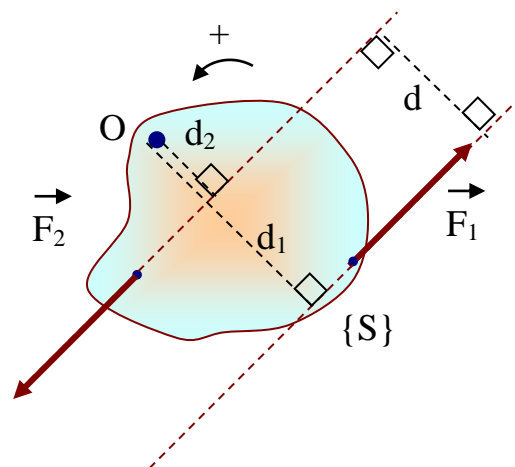
Déterminons le moment total $M_{T/O}$

$$M_{\vec{F}_1/O} = +F_1 \cdot d_1 \quad \text{et} \quad M_{\vec{F}_2/O} = -F_2 \cdot d_2$$

$$\text{donc } M_{T/O} = F_1 \cdot d_1 - F_2 \cdot d_2 \quad \text{or } F_1 = F_2 \text{ donc}$$

$$M_{T/O} = F \cdot (d_1 - d_2), \quad \text{de plus } d_1 - d_2 = d$$

$$\text{en conclusion : } \boxed{M_{T/O} = F \times d}$$



Unité 7 : équilibre d'un corps solide susceptible de tourner autour d'un axe fixe.

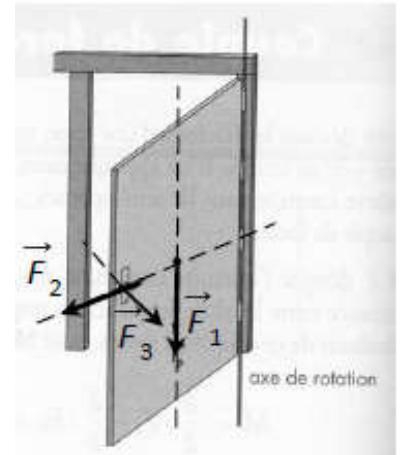
توازن جسم صلب قابل للدوران حول محور ثابت

I. Moment d'une force par rapport à un axe fixe

1. Effet d'une force sur la rotation d'un corps solide mobile autour d'un axe fixe.

On exerce sur une porte ouverte 3 forces différentes

- la force \vec{F}_1 ne mis pas la porte en mvt de rotation car \vec{F}_1 a une direction parallèle à l'axe de rotation.
- La force \vec{F}_2 ne mis pas non plus la porte en mvt car la direction de \vec{F}_2 coupe l'axe de rotation.
- La force \vec{F}_3 provoque une rotation de la porte par ce que la direction de \vec{F}_3 et l'axe de rotation ni parallèle ni concourante



Nous admettrons que :

Lorsque la droite d'action de la force exercée sur un solide et son axe de rotation sont concourante ou parallèles, l'effet de rotation est nul.

2. Moment d'une force par rapport à un axe fixe

Nous avons vue dans le paragraphe précédent, que l'efficacité d'une force d'être susceptible de mettre le solide en rotation dépend de l'intensité de la force et de la position de la droite d'action par rapport à l'axe de rotation.

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

Définition :

Le moment d'une force par rapport à un axe (Δ) est le produit de la valeur F de cette force et la distance d séparant la direction de la force et l'axe de rotation. Est notée $M_{(\Delta)}(\vec{F})$ est vaut :

$$M_{(\Delta)}(\vec{F}) = \pm F.d$$

Le moment de la force est une grandeur algébrique. Pour déterminer le signe de moment on choisi arbitrairement un sens positif de rotation se solide.

- $M_{(\Delta)}(\vec{F}) = + F.d$: si la force \vec{F} exercée seule sur le solide le fait tourner dans le sens positif.
- $M_{(\Delta)}(\vec{F}) = - F.d$: si la force \vec{F} exercée seule sur le solide le fait tourner dans le sens contraire du sens positif choisi.

II. Equilibre d'un solide susceptible d'être en mouvement de rotation autour d'un axe fixe.

1. Le théorème des moments

Lorsqu'un solide mobile autour d'un axe fixe est en équilibre, la somme algébrique des moments des forces qui agissent sur le solide est nulle : $\sum_i M_{(\Delta)}(\vec{F}_i) = 0$

2. Conditions d'équilibre

Lorsqu'un solide en rotation autour d'un axe fixe est en équilibre, deux conditions doivent être satisfaites.

- La somme vectorielle de forces est nulle $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$: immobilité du centre d'inertie
- La somme algébrique de moments est nulle $\sum_i M_{(\Delta)}(\vec{F}_i) = 0$: absence de rotation autour de l'axe.

III. Moment du couple de deux forces

1. Couple de deux forces

Lorsqu'un automobiliste veut faire tourner son véhicule, il exerce sur le volant un ensemble de deux forces opposées. L'ensemble de ces deux forces constitue un couple de forces.

Définition :

On appelle couple de forces l'ensemble de deux forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 , de même valeur F , de même direction, de sens contraire et de droites d'action différentes.

2. Moment d'un couple

2.1. Définition

Le moment M d'un couple de forces orthogonales à un axe de rotation Δ est le produit de la valeur commune F des deux forces par la distance d séparant les deux droites d'action.

$$M = \pm F.d$$

- M : moment du couple en N.m sera notée aussi $M_{\Delta}(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$
- F : intensité commune des deux forces qui constituent le couple en N
- d : distance séparant les droites d'action des deux forces en m

Remarque : le moment d'un couple ne dépend pas de la position de l'axe de rotation.

2.2. Couple et sens de rotation

Un couple tend à faire tourner un solide dans un sens donné.

Le moment d'un couple est une grandeur algébrique dont le signe dépend du sens de rotation choisi.

- Un couple qui tend à faire tourner le solide dans le sens positif choisi, a un moment positif : $M = F.d$ le moment est dit moteur
- Un couple qui tend à faire tourner le solide dans le sens contraire du sens positif choisi, a un moment négatif : $M = -F.d$ le moment est dit résistant.

Remarque : dans de nombreux cas, les forces qui sont à l'origine du couple sont difficiles à déterminer. Le couple est alors uniquement caractérisé par son moment. De tels couples sont appelés couples de forces réparties.

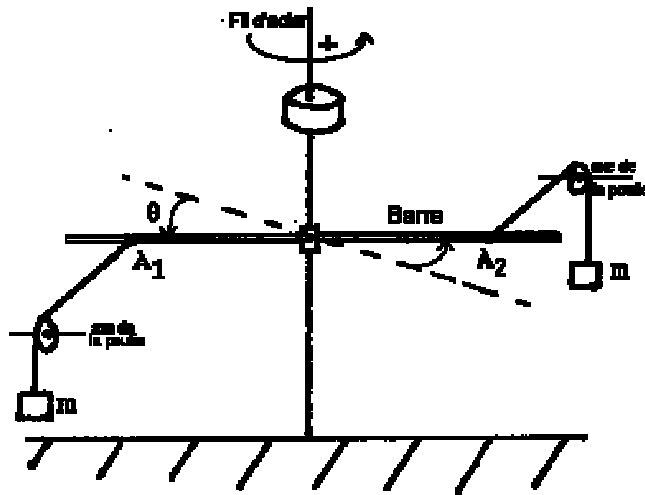
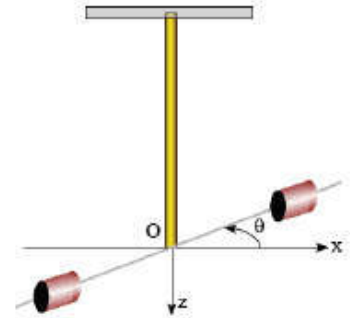
IV. Moment du couple de torsion

Un pendule de torsion est un solide suspendu à un fil métallique vertical, le centre de masse étant sur l'axe du fil métallique, 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 :

$$M_c = -C.\theta$$

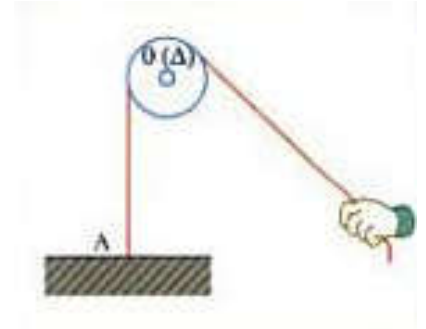
La constante C dite constante de torsion dépend de la longueur et du diamètre du fil et de la nature du matériau constituant le fil. Sa unité est $N.m.rad^{-1}$.



Exercices d'applications :

Exercice 1

Un fil de masse négligeable passe dans la gorge d'une poulie mobile autour d'un axe fixe (Δ) horizontal, passant par O. l'un des extrémités du fil est attaché en A, à un support, comme l'indique la figure ci-contre. Une main tire l'autre extrémité exerçant une force \vec{F} dont l'intensité, à l'équilibre, est de 6N.

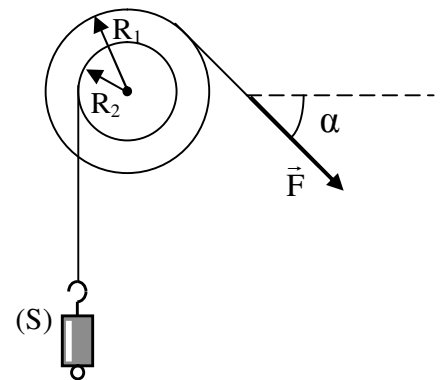


1. Faire le bilan des forces qui s'exercent sur le système constitué par le fil et la poulie, représenter le dispositif.
2. Pour chaque force, exprimer le moment par rapport à l'axe Δ
3. .
 - a. Ecrire la condition d'équilibre de rotation de la poulie.
 - b. En déduire l'intensité de la force \vec{F} exercée par le support sur le fil au point A.

Donnée : le rayon de la poulie sera noté r

Exercice 2 :

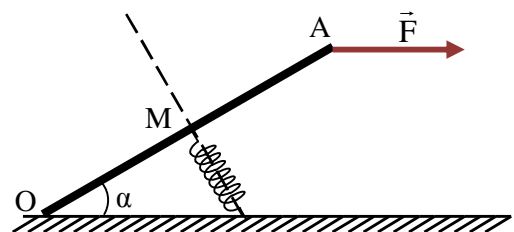
Une poulie différentielle de masse négligeable, à deux gorges de rayons respectifs R_1 et R_2 tel que $R_1 = 2R_2$ susceptible de tourner autour d'un axe fixe horizontal passant par son centre O. un fil de masse négligeable enroulé sur la gorge de rayon R_2 , supporte un objet S de masse $m=200g$. on mis la poulie en équilibre par un fil enroulé sur l'autre gorge est tendu par la force \vec{F} incliné de $\alpha = 45^\circ$ par rapport à l'horizontale. On donne $g=10N/Kg$



1. Faire le bilan de toutes les forces qui s'exercent sur la poulie en équilibre.
2. Ecrire l'expression de moment de chaque force par rapport à l'axe de rotation (Δ).
3. appliquant le théorème des moments, déterminer l'intensité F pour réaliser l'équilibre.
4. Déterminer les caractéristiques de la réaction de l'axe de rotation.

Exercice 3 :

Une pédale d'accélérateur OA de poids négligeable de longueur ℓ tourne autour d'un axe fixe horizontale passant par O. on exerce une force \vec{F} à l'extrémité A de valeur $F = 20N$. la pédale est en équilibre quand le ressort fixé en son milieu M prend une direction qui lui est perpendiculaire, la pédale fait un angle $\alpha=30^\circ$ avec l'horizontale à l'équilibre.



1. Faire inventaire les forces exercent sur la pédale.
2. Appliquant le théorème des moments, déterminer l'expression de la valeur de tension de ressort en

fonction de F et α . Calculer-la.

- Déduire la constante de raideur de ressort sachant que l'élongation soit $\Delta\ell = -8\text{cm}$.
- Déterminer les caractéristiques de la réaction de l'axe de rotation sur la pédale.

Exercice 4 :

Une tige homogène de longueur l et de poids \vec{P} est mobile autour d'un axe horizontal Δ perpendiculaire à cette tige en son milieu O . On applique à l'extrémité A une force \vec{F}_1 perpendiculaire à la tige et à l'extrémité B une force \vec{F}_2 verticale. \vec{F}_1 et \vec{F}_2 sont toutes deux orthogonales à Δ (figure 1).

- Calculer les moments des forces exercées sur la tige par rapport à Δ .

Données numériques : $\alpha = 30^\circ$, $l = 10\text{ cm}$, $P = 1\text{ N}$, $F_1 = 1\text{ N}$, $F_2 = 3\text{ N}$

- Calculer les moments des forces exercées sur la tige par rapport à un axe de rotation passant par le point B .

- Déterminer dans quel sens tourne la tige T lorsque l'axe de rotation passe par le point B .

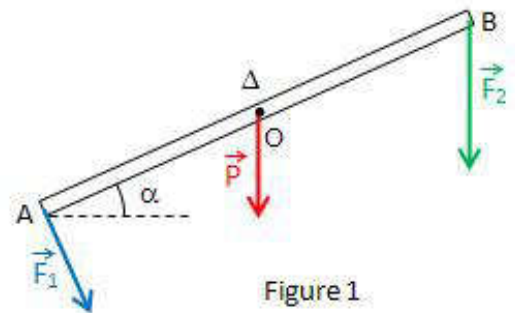


Figure 1

Exercice 5 :

Une poutre dont le poids est $P=100\text{N}$ et dont la longueur est $\ell = 1,0\text{m}$ supporte une charge dont le poids est $P_1=300\text{N}$ à son extrémité droite. Un câble relié à un mur maintient la poutre en équilibre. (figure 2)

- Faire le bilan des forces qui s'exercent sur la poutre.
- Quelle doit être la tension du câble pour assurer l'équilibre de la poutre ?
- Quelles sont les composantes (horizontale et verticale) de la force exercée par le mur sur la poutre ?

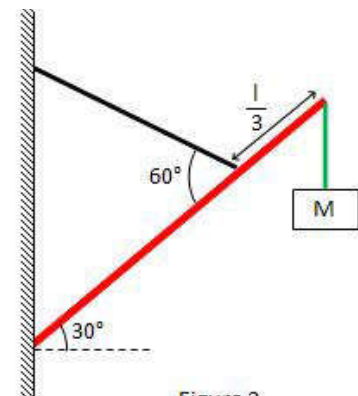
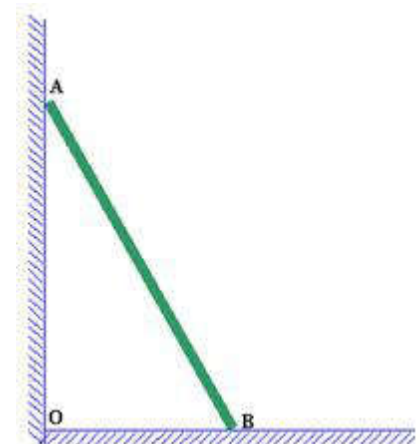


Figure 2

Exercice 6 :

Une barre homogène AB de longueur $l = 2\text{ m}$ est en équilibre comme l'indique la figure. Les points O , A et B sont dans un même plan vertical. La barre fait un angle $\alpha = 40^\circ$ avec le mur vertical qui est lisse. La masse de la barre est $m = 10\text{ kg}$. On prendra $g = 10\text{ N.kg}^{-1}$

- Faire le bilan des forces qui s'exercent sur la barre.
- Énoncer les conditions d'équilibre de la barre.
- Représenter les forces qui s'exercent sur la barre.
- On suppose que la barre est susceptible d'être en mouvement de



rotation autour d'un axe passant par B. En utilisant le théorème des moments, calculer l'intensité de la force exercée en A par le mur sur la barre.

5. Calculer l'intensité de la force exercée en B par le sol sur la barre.

Première Partie :
La chimie autour
de nous
Unité 1
2 H

الأنواع الكيميائية

Les espèces chimiques



Tronc Commun
Chimie

I – Les espèces chimiques :

1 – Activité :

Les fruits comme beaucoup d'autres produits qui proviennent de la nature ou qui sont fabriqués, renferment plusieurs substances chimiques.

Dieu nous a doté de 5 sens. Ils vont nous permettre d'acquérir les premières informations sur un objet ou un produit : Couleur, forme, structure, s'il contient du sucre, du sel, si son odeur est agréable ou pas

a- Citer les cinq sens et reporter-les dans le tableau suivant qu'il faut compléter.





| Caractéristiques \ Sens | Vue | Toucher | Goût | Odorat | Ouïe |
|-------------------------|-----|---------|------|--------|------|
| Coloré | * | | | | |
| Sucré | | | * | | |
| Parfumé | | | | * | |
| Lisse | | * | | | |
| Salé | | | * | | |
| Acide | | | | | |
| Contient de l'eau | | | | | |
| Gras | | | | | |
| Contient de gaz | | | | | |

b- Les sens sont-ils suffisants pour caractériser les constituants d'un produit courant ?

Les sens ne peuvent pas identifier tous les constituants du fruit.

c- Pour mettre en évidence les caractéristiques qui ne peuvent pas être reliées aux cinq sens, on propose les tests expérimentaux suivants :

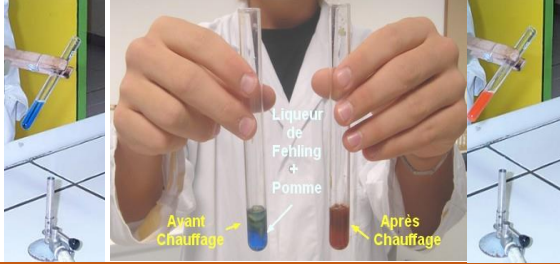
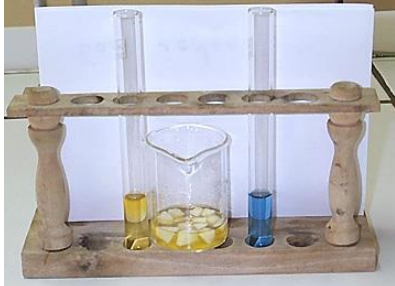

| L'espèce à identifier | Test d'identification | | Résultat du test |
|-----------------------|--|---|----------------------------|
| | Expérience | Application | |
| Eau | On dépose un peu de sulfate de cuivre anhydre sur le quartier de pomme. Le sulfate de cuivre anhydre vire au bleu. |   | La pomme contient de l'eau |

substances chimiques مواد كيميائية
cinq sens الحواس الخمس

constituants مكونات
anhydre لا مائي

Gras دهن
Lisse أملس

fabriqués مصنع
Parfumé معطر

| | | | |
|----------------|--|---|---|
| Glucose | Lorsqu'on chauffe le tube à essai qui contient un morceau de pomme en présence de liqueur de Fehling , il apparaît un précipité rouge brique. |  | La pomme contient du glucose |
| Acidité | En présence du mélange {morceaux de pomme, eau distillée}, le BBT vire au jaune. |  | La pomme est acide |
| Amidon | On creuse une cavité dans la pomme de terre et on y dépose un peu d' eau iodée . L'eau iodée prend une teinte bleue. |  | La pomme de terre contient de l'amidon |

2 – Résumé :

Substance est un **matériau** (Solide – Liquide – Gaz) composé de plusieurs espèces chimiques, *par exemple* : pomme, orange, lait ...

Espèce chimique est un ensemble constitué d'un seul type d'entités chimiques (**corps pur**), *par exemple* : eau, fer, glucose ...

L'**utilisation des cinq sens** ne suffit pas pour **identifier la présence de toutes** les espèces chimiques.

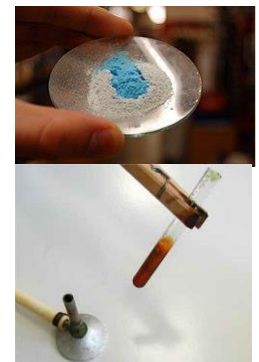
Pour **mettre en évidence la présence** :

■ **De l'eau** : On utilise un réactif : Le **sulfate de cuivre II anhydre** de couleur **blanche** qui devient **bleu** en présence de l'eau.

■ **Du glucose** : On utilise un réactif : La **liqueur de Fehling** de couleur **bleu** qui forme un **précipité rouge brique** en présence de glucose, après **chauffage**.

■ **De l'acidité** : On peut utiliser du **papier pH**, un **indicateur coloré** ou un **pH – mètre**. Une espèce est **acide** si son **pH < 7**, quand le **pH = 7**, elle est **neutre** et elle est **basique** quand son **pH > 7** à **25 °C**.

■ **De l'amidon** : On utilise un réactif : L'**eau iodée** de couleur **jaune** qui devient **bleue – nuit** en présence de l'amidon.



indicateur coloré كاشف ملون
liqueur de Fehling محلول الفيهلين

corps pur جسم خالص
rouge brique أحمر آجري

précipité راسب

amidon النشا

- **Du dioxyde de carbone** : On utilise un réactif : L'eau de chaux claire qui se trouble par la formation d'un précipité blanc en présence du dioxyde de carbone.



II – Classification des espèces chimiques :

Il existe différentes façons de classer les espèces chimiques présentes dans les substances naturelles et synthétiques, y compris :

1 – Espèces chimiques organiques et inorganiques :

On appelle **espèces chimiques organiques**, les espèces dont la **combustion complète** conduit à la formation de **dioxyde de carbone CO_2** et d'eau **H_2O** .

par exemple : l'éthanol, le butane, le propane, le méthane, le glucose, la cellulose...

Les autres espèces sont des **espèces chimiques inorganiques**.

par exemple : le fer, le cuivre, le chlorure de sodium, le carbone, le graphite, ...

2 – Espèces chimiques naturelles et/ou synthèses :

Les espèces chimiques naturelles sont celles qui existent dans la nature (**végétaux**, **animaux**, **minéraux**).

par exemple : Le **caoutchouc naturel** provient du latex qui est la sève de l'hévéa.

Le **sel de cuisine** est une espèce chimique que l'on extrait de l'eau de mer.

Les espèces chimiques synthétiques sont préparées par l'Homme à l'aide de transformations chimiques (qui sont identiques aux espèces chimiques naturelles ont exactement les mêmes propriétés).

par exemple : Le **caoutchouc synthétique**, le **diamant synthétique** ...

Les espèces chimiques artificielles sont des espèces chimiques synthétiques qui n'existent pas dans la nature.

par exemple : Le **nylon**, le **plastique**, le **verre**, l'**acier**



III – La sécurité au laboratoire de chimie :

Il faut être extrêmement prudent quand on utilise des produits chimiques pendant les séances de travaux pratiques. Les produits portent sur leurs flacons un pictogramme indiquant les risques potentiels.

| | | | |
|----------------------|---|--|--|
| Pictogramme | | | |
| Signification | Produits inflammables , ils sont donc à utiliser loin d'une flamme ou d'une source de chaleur. | Produits toxiques , ils peuvent donner la mort à faibles doses et doivent être manipulés extrême précaution et des protections adéquates. | Produits corrosifs , ils s'attaquent aux tissus biologiques ainsi qu'aux matériaux. |

dioxyde de carbone ثنائي أكسيد الكربون
 substances naturelles مواد طبيعية
 combustion complète احتراق كامل
 transformation chimique تحول كيميائي
 sécurité au laboratoire سلامة المختبر

organiques عضوي
 inorganiques غير عضوي
 caoutchouc مطاط
 synthétique صناعي
 artificielle اصطناعي

réactif متفاعل
 trouble معكر
 formation تكون
 propriétés الخواص
 flacon قارورة

Les espèces chimiques. Cours.

I - Notion d'espèce chimique.

II - Classement des espèces chimiques.

III - Origine naturelle ou synthétique.

I- Notion d'espèce chimique :

1)- Définition de l'espèce chimique.

Un ensemble d'entités moléculaires, ioniques ou atomiques identiques constitue une espèce chimique.

Toute espèce chimique peut être représentée par une formule.

Exemple : l'eau ,le chlorure de sodium (sel de cuisine) .

- Questions : le coca-cola est-il une espèce chimique ? Le lait ? Le miel ?

2)- Objets et espèces chimiques.

Un aliment ou un objet est souvent constitué de nombreuses espèces chimiques.

Exemple : le coca-cola , le lait , le miel

Les premières informations peuvent être données par nos cinq sens (la vue, le goût, le toucher, l'odorat et l'ouïe).

- La vue : indique la couleur, la forme, la structure à notre échelle.
- Le goût : renseigne sur la présence de certaines substances (goût sucré, salé).
- Le toucher : il permet d'explorer l'objet et de repérer des modifications de structure.
- L'odorat : il permet de caractériser la présence de gaz à l'odeur agréable ou non.
- L'ouïe : elle permet de mettre en évidence la présence d'un dégagement gazeux.

Les espèces chimiques peuvent être dangereuses. On ne peut pas tout goûter.

Les sens ne sont pas des capteurs infallibles et ne suffisent pas.

Pour approfondir la connaissance du produit, de l'objet ou de l'aliment, il faut réaliser des tests rigoureux.

C'est l'un des rôles de la chimie. Il faut réaliser une analyse chimique.

3)- Analyse chimique.

Une analyse chimique consiste en une suite de tests chimiques permettant de confirmer la présence ou l'absence d'espèces chimiques

Connaître un test chimique :

- C'est connaître le réactif du test et son protocole opératoire.
- C'est aussi reconnaître si le test est positif ou non.

4)- Quelques tests chimiques.

a)- Test au sulfate de cuivre anhydre.

C'est une poudre blanche qui bleuit en présence d'eau. Ce test est spécifique de la présence d'eau.

Mode opératoire :

À l'aide d'une spatule, déposer un peu de sulfate de cuivre II anhydre dans une coupelle.

- Laisser tomber une à deux gouttes de produit à tester.
- Résultat du test : le test est positif si la poudre blanche bleuit. Le test est négatif si la poudre blanche ne bleuit pas.

b)- Test à l'eau de chaux.

L'eau de chaux est un liquide transparent qui se trouble en présence de dioxyde de carbone.

Ce test est spécifique de la présence de dioxyde de carbone.

c)- Test au papier pH.

Ce test révèle la présence d'espèces chimiques acides, neutres ou basiques.

Il n'est pas spécifique d'une espèce chimique.

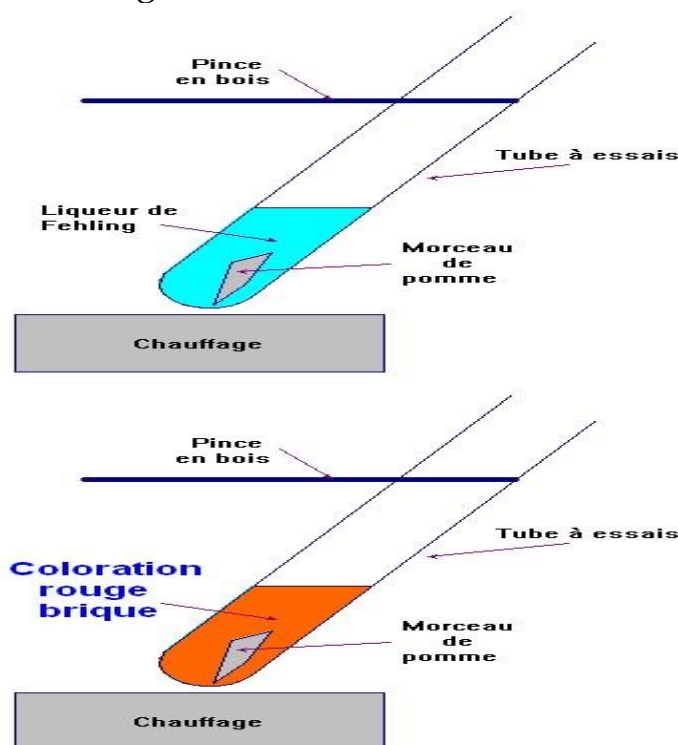
Mode opératoire : on plonge un agitateur en verre dans la solution à tester.

On met en contact l'extrémité de l'agitateur et un morceau de papier pH placé dans une coupelle.

Résultat du test : on déduit à l'aide de l'échelle des teintes de pH un ordre de grandeur de la valeur du pH de la solution .

Remarque : Ce test n'est pas spécifique d'une espèce chimique.

d)- Test à la liqueur de Fehling.






La liqueur de Fehling est un liquide bleu qui par chauffage en présence de certains sucres donne un précipité rouge brique.

- Ce test est spécifique de la présence de certains sucres (comme le glucose).

II- Classement des espèces chimiques.

1)- Dangers des espèces chimiques.

Il y a 4 catégories d'espèces chimiques suivant les critères de dangers les plus importants.

| | | | |
|--|---|---|--|
| 1 : Les espèces chimiques inflammables | 2 : Les espèces chimiques corrosives | 3 : Les espèces chimiques nocives ou irritantes | 4 : Les espèces chimiques toxiques |
| Elles prennent feu au contact d'une flamme : alcool, essence, butane | Elles détruisent la peau ou certains matériaux : acide sulfurique, nitrique, la soude | Elles provoquent une gêne provisoire : ammoniac | Elles provoquent des troubles comme : maux de tête, diarrhées, comas : monoxyde de carbone. |
|  Inflammable |  Corrosif |  Nocif ou Irritant |  Toxique |
| Il faut impérativement respecter les consignes de sécurité. | | | |
| 1 : il faut éloigner ces espèces chimiques de toute flamme. | 2 : il faut manipuler ces espèces chimiques avec les gants et les lunettes. | 3 : Il faut porter les gants et les lunettes et travailler dans un endroit ventilé. | 4 : Il faut éviter tout contact avec la peau, toute inhalation, toute ingestion. |

2)- Espèces chimiques organiques et inorganiques.

On appelle espèces chimiques organiques, les espèces dont la combustion complète conduit à la formation de dioxyde de carbone et d'eau.

Les autres espèces sont des espèces chimiques inorganiques.

Exemples d'espèces chimiques organiques : l'alcool éthylique ou éthanol, le butane, le propane, le méthane, le glucose, la cellulose...

Exemples d'espèces chimiques inorganiques : le fer, le cuivre, le chlorure de sodium, le carbone, le graphite, le diamant, le carbonate de calcium...

III- Origine naturelle ou synthétique.

1)- Origine naturelle.

- Les espèces chimiques naturelles sont celles qui existent dans la nature.
- Le caoutchouc naturel provient du latex qui est la sève de l'hévéa.
- Le sucre (saccharose) est présent dans la betterave et la canne à sucre.
- Le sel de cuisine est une espèce chimique que l'on extrait de l'eau de mer

2)- Origine synthétique.

- Les espèces chimiques synthétiques sont préparées par l'Homme à l'aide de transformations chimiques.
- Les espèces chimiques synthétiques sont identiques aux espèces chimiques naturelles et ont exactement les mêmes propriétés.
- Les espèces chimiques artificielles sont des espèces chimiques synthétiques qui n'existent pas dans la nature.

Partie I : chimie qui nous entoure

Unité 1 : Espèces chimiques

Objectifs :

➤ savoirs

- Savoir que certaines espèces chimiques proviennent de la nature et d'autres de la chimie de synthèse

➤ Savoir-faire

- Savoir utiliser ses cinq sens pour une analyse élémentaire d'un produit.

I. Notion d'espèce chimique

On appelle espèce chimique la substance chimique pure qu'est caractérisée par des propriétés physiques constantes (propres).

L'espèce chimique peut être un ensemble d'entités moléculaire, ioniques ou atomiques identiques.

Exemple :

- L'eau est constituée de molécules dont la formule est H_2O
- Le fer est constitué d'atomes dont la formule est Fe.
- Le sel ou chlorure de sodium (NaCl) est composé d'ions Na^+ et d'ions Cl^- .

II. Les espèces chimiques naturelles et synthétiques

- Les espèces chimiques naturelles sont celles qu'existent dans la nature.
- Les espèces chimiques synthétiques sont préparées par l'homme dans les laboratoires ou dans les unités industriels à l'aide de transformations chimiques
- Les espèces chimiques artificielles sont des espèces chimiques synthétiques qui n'existent pas dans la nature.

III. Mise en évidence de certaines espèces chimiques dans des produits naturels

La plupart des aliments et objets utilisés au quotidien sont constitués de nombreuses espèces chimiques.

Il est utile en chimie de savoir identifier les espèces chimiques contenues dans un aliment ou un objet.

Exemple : la pomme contient de l'eau, des sucres, des colorants.....

a. Par les sens :

La première partie d'une analyse consiste à utiliser ses 5 sens : vue, toucher, odorat, ouïe, goût.

Activité : compléter le tableau ci-dessous.

Cours de chimie de tronc commun scientifique et technologie

| Sens Orange | Vue | Toucher | Ouïe | Odorat | Goût |
|------------------------|------|---------|------|--------|------|
| Est coloré | Oui | **** | **** | **** | **** |
| Est odorant | **** | **** | **** | Oui | **** |
| Contient de l'eau | **** | **** | **** | **** | **** |
| Contient des gaz | Oui | **** | **** | **** | **** |
| Contient du sucre | **** | **** | **** | **** | Oui |
| Contient de la graisse | **** | Oui | **** | **** | Oui |
| Contient de l'acide | **** | **** | **** | **** | Oui |

Rq. : certaines produit ne doivent ni être sentis ni être doutés car ils présentent des risques pour la santé.

b. Par certains tests chimiques simples

Quand les sens ne permettent pas d'identifier une espèce chimique il faut mettre en œuvre des tests spécifiques :

Tests chimiques simples de mise en évidence de quelques substances chimiques

1. Test de mise en évidence de l'eau grâce au sulfate de cuivre anhydre.

Le sulfate de cuivre anhydre (déshydratée) est une poudre blanche qui bleuit en présence d'eau.

Mode opératoire :

- À l'aide d'une spatule, déposer un peu de sulfate de cuivre II anhydre dans une coupelle.
- Laisser tomber une à deux gouttes de produit à tester.

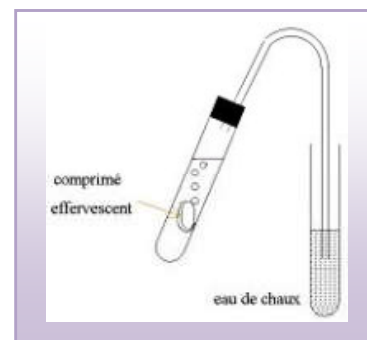
Résultat du test : le test est positif si la poudre blanche bleuit. Le test est négatif si la poudre blanche ne bleuit pas.

2. Test de mise en évidence du gaz carbonique (ou dioxyde de carbone CO₂) grâce à l'eau de chaux

L'eau de chaux est un liquide transparent qui se trouble en présence de dioxyde de carbone.

Mode opératoire :

- Faire passer le gaz à tester dans de l'eau de chaux.



Résultat du test : le test est positif si l'eau de chaux se trouble.

Le test est négatif dans le cas contraire.

3. Test de l'acidité grâce au papier pH

Remarques :

- Lorsque le $\text{pH} < 7$ la solution est dite acide. Lorsque le $\text{pH} = 7$ la solution est qualifiée de neutre.

Enfin lorsque le $\text{pH} > 7$ le milieu est dit basique.

- Lorsqu'on utilise une solution très colorée, la coloration de la solution peut fausser la teinte du papier

pH et donc induire une erreur sur la valeur du pH déduite.



4. Test du glucose grâce à la liqueur de Fehling

La liqueur de Fehling est un liquide bleu qui par chauffage en présence de certains sucres donne un précipité rouge brique.

Ce test est spécifique de la présence de certains sucres (comme le glucose qui est un sucre rapide).

5. Test des graisses grâce à du papier calque.

Sur du papier calque les matières grasses laisse des tâches et auréoles graisseuses bien visibles.

6. Test de l'amidon grâce à l'eau iodée.

L'eau iodée permet de mettre en évidence l'amidon.

En présence d'amidon l'eau iodée de coloration légèrement brunâtre prend une coloration bleue foncée.

Cette coloration bleue foncée met en évidence l'amidon (sucre lent présent dans les pâtes, pommes de terre ...)

IV. La sécurité au laboratoire de chimie

Cours de chimie de tronc commun scientifique et technologie

Exercice n°1

1. Vrai ou faux
 - a. Les produits naturels ne renferment aucune espèce chimique.....
 - b. Le pH d'une solution aqueuse renseigne sur l'acidité de cette solution.....
 - c. Le caoutchouc est un produit naturel que l'homme sait synthétiser.....
 - d. L'homme sait synthétiser tous les produits naturels.....
 - e. Quelle que soit la nature d'une solution, on peut mesurer son pH.....
2. QCM (crocher la bonne réponse)
 - a. Le test de la présence d'eau est réalisé :
 - Avec du sulfate de cuivre anhydre ;
 - Avec l'eau de chaux ;
 - Par chauffage (on observe la vapeur d'eau qui se dégage).
 - b. Le papier-pH sert :
 - à mesurer l'acidité d'une solution ;
 - à détecter la présence de colorants ;
 - à tester la présence de graisse.
 - c. Le test à la liqueur de Fehling sert à caractériser la présence de :
 - Chlorure de sodium ;
 - Glucose ;
 - Tous les sucres.

Exercice n°2

Un détergent liquide est soumis à des tests chimiques. Les résultats de ces tests sont regroupés dans le tableau suivant:

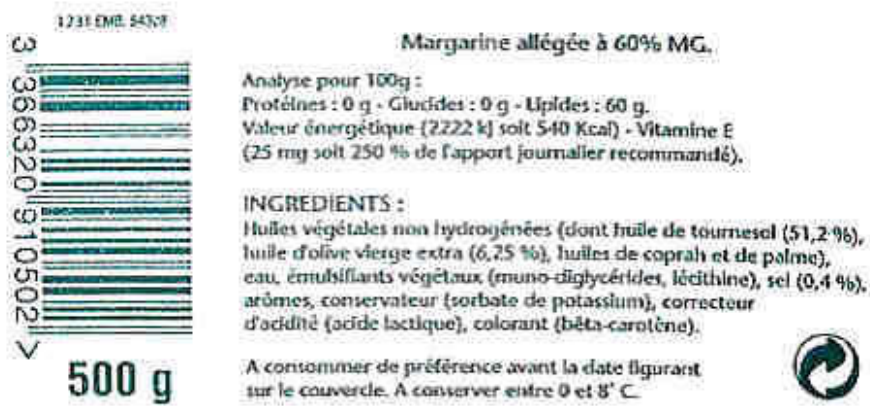
1. Le test au sulfate de cuivre anhydre est-il positif ou négatif?
2. Le test à la liqueur de Fehling est-il positif ou négatif? Faire un schéma annoté de l'expérience
3. Quelles informations peut-on tirer de ces tests?

Données : papier pH rouge donc pH = 2

Exercice n°3

La photographie de l'étiquette d'une margarine est donnée ci-dessous.

| <i>Tests</i> | <i>Résultats</i> |
|----------------------------------|-------------------------|
| <i>Sulfate de cuivre anhydre</i> | <i>Bleu foncé</i> |
| <i>Papier pH</i> | <i>Le papier rougit</i> |
| <i>Liqueur de Fehling</i> | <i>Bleu</i> |



1231 EMB. 54307

5069320910502


500 g

Margarine allégée à 60% MG.

Analyse pour 100g :
Protéines : 0 g - Glucides : 0 g - Lipides : 60 g.
Valeur énergétique (2222 kJ soit 540 Kcal) - Vitamine E
(25 mg soit 250 % de l'apport journalier recommandé).

INGREDIENTS :
Huiles végétales non hydrogénées (dont huile de tournesol (51,2%),
huile d'olive vierge extra (6,25 %), huiles de coprah et de palme),
eau, émulsifiants végétaux (mono-diglycérides, lécithine), sel (0,4 %),
arômes, conservateur (sorbate de potassium), correcteur
d'acidité (acide lactique), colorant (bêta-carotène).

A consommer de préférence avant la date figurant
sur le couvercle. A conserver entre 0 et 8° C.



1. Citer trois ingrédients naturels présents dans cette margarine.
2. Citer un ingrédient synthétique présent dans cette margarine.
3. Citer une autre huile végétale naturelle que celles qui sont annoncées par l'étiquette.
4. Quel est le rôle d'un conservateur?

Activité : (document pour l'élève)

1- Mettre en évidence quelques substances chimiques par les sens

L'étude sera réalisée à partir d'un produit courant : l'orange.

Prendre une orange, après avoir observé leur aspect extérieur, on la coupe en deux, puis on la regarde, on la touche, on la goûte. Complétez le tableau suivant :

| Sens Orange | Vue | Toucher | Ouïe | Odorat | Goût |
|------------------------|-----|---------|------|--------|------|
| Est coloré | Oui | **** | **** | **** | **** |
| Est odorant | | | | | |
| Contient de l'eau | | | | | |
| Contient des gaz | | | | | |
| Contient du sucre | | | | | |
| Contient de la graisse | | | | | |
| Contient de l'acide | | | | | |

2- Mettre en évidence quelques substances chimiques par des tests simples.

Les tests chimiques simples permettent de vérifier ou de compléter le travail des sens. En utilisant vos acquis du collège. Proposer quelques tests pour déterminer la présence de quelques espèces chimiques.

| Test chimique | La substance à analyser | Résultat de test |
|---|-------------------------|--------------------------------|
| Sulfate de cuivre anhydre (déshydratée) poudre de couleur blanche | L'eau | Deviens bleu en présence d'eau |
| | | |
| | | |
| | | |

Extraction et caractérisation d'espèces chimiques. Cours.

- I- Extraction d'espèces chimiques.
- II- La chromatographie.

I- Extraction d'espèces chimiques.

1)- Historique.

Le plus souvent, l'Homme se trouve confronté à des substances qui sont des mélanges d'espèces chimiques. Il faut parfois les séparer pour les utiliser.

Pour ce faire, il utilise différentes techniques d'extraction comme :

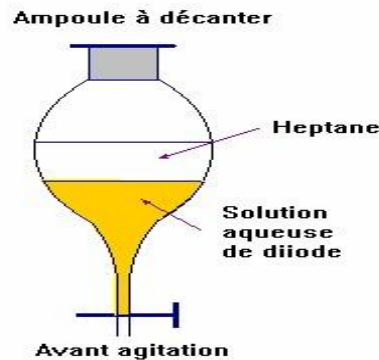
- **L'expression ou pressage** : consiste à presser les fruits ou les plantes pour en extraire le jus, l'huile (pressage des graines), le suc... (jus de canne à sucre (ou vesou) : broyage des tiges) ;
- **La filtration** permet de séparer les constituants d'un mélange solide-liquide.
- **La décantation solide – liquide** : laisser reposer une eau boueuse pour avoir de l'eau limpide
- **La décantation liquide – liquide** : consiste à sépare les espèces liquides non miscibles, de densités différentes.
- **L'évaporation** permet d'éliminer une ou plusieurs espèces sous forme de vapeur
- **L'extraction par solvant** consiste à laisser un végétal au contact du solvant froid ou chaud afin que certains de ses constituants s'y dissolvent :
 - **l'enfleurage** est une extraction d'espèces aromatiques préféré pour les plantes fragiles. On les dépose sur des graisses inodores, (solide ou liquide, froide ou chaude) puis on récupère les arômes par malaxage des graisses avec de l'alcool.
 - **la macération** consiste à mettre une plante dans un solvant généralement froid pendant quelques heures à quelques semaines pour récupérer les arômes et les espèces colorées.
 - **l'infusion** consiste à verser un liquide chaud sur la plante hachée. Ex : Un thé est préparé par infusion dans l'eau chaude des feuilles de théier séchées. La technique est similaire pour le café.
 - **la décoction** consiste à chauffer un végétal (généralement les parties les plus dures des plantes telles que les racines, les graines ou l'écorce) avec de l'eau, jusqu'à ébullition. La tisane de queues de cerises en est une illustration.
- **L'hydrodistillation** est l'un des plus anciens procédés d'extraction. Cette technique remonte au moins à l'Ancienne Égypte. Elle permet d'obtenir les huiles essentielles, composés odorants d'origine végétale pour les fleurs, les fruits, les écorces d'arbre ...

2)- L'extraction par un solvant.

Expérience : Extraction du diiode présent dans une solution.

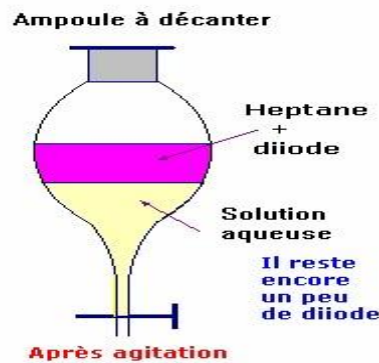
Protocole expérimental :

introduire le mélange (solution aqueuse d'iodure de potassium et de diiode) dans l'ampoule à décanter puis ajouter délicatement le solvant (hexane ou pentane : solvant organique liquide incolore moins dense que la solution aqueuse et non miscible)



Agiter, laisser décanter et dégazer.

Observation : On observe deux phases, la phase inférieure qui est pratiquement décolorée et la phase supérieure qui contient le diiode dans le solvant qui est violette.



Interpretation : le diiode a été extrait par le solvant organique.

Remarque : On récupère la phase contenant le diiode et le solvant et après évaporation du solvant, on recueille le diiode à l'état solide.

Conclusion : L'extraction par un solvant consiste à dissoudre l'espèce chimique recherchée dans un solvant non miscible avec l'eau et à séparer les deux phases obtenues.

L'extraction par un solvant se réalise dans une ampoule à décanter. Le choix du solvant dépend de l'espèce chimique recherchée.

L'espèce chimique doit être plus soluble dans le solvant que dans l'eau.

3)- L'entraînement à la vapeur ou hydrodistillation ou distillation simple.



Dans l'entraînement à la vapeur, l'ébullition du mélange d'eau et du produit crée un courant de vapeurs.

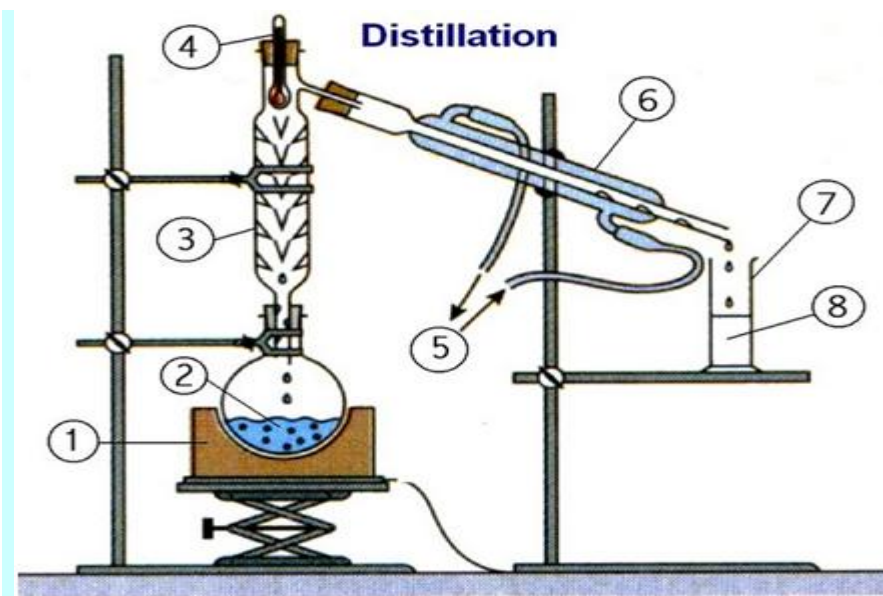
Ce courant de vapeurs est constitué de vapeurs d'eau et de vapeurs des huiles essentielles du produit.

On condense ce mélange gazeux pour obtenir un distillat. Ce distillat est constitué d'eau à l'état liquide et des huiles essentielles à l'état liquide.

Les huiles essentielles étant peu miscibles avec l'eau et moins dense que l'eau, elles surnagent.

Exemple : on extrait par entraînement à la vapeur, l'huile essentielle des fleurs de lavande. Cette huile essentielle est un mélange dont le principal constituant est l'acétate de linalyle (ester peu soluble dans l'eau).

4)- La distillation ou distillation fractionnée



Elle permet de séparer les espèces chimiques constituant un mélange liquide.

Le mélange à distiller est placé dans un ballon surmonté d'une colonne à distiller : colonne de Vigreux.

On chauffe le ballon jusqu'à ébullition du mélange. Les vapeurs des différentes espèces chimiques montent dans la colonne à distiller.

La colonne à distiller permet de séparer les différentes espèces chimiques. En tête de colonne à distiller, on trouve l'espèce chimique la plus volatile.

Les autres se condensent et retombent dans le ballon.

L'espèce chimique la plus volatile est condensée grâce au réfrigérant. On recueille le distillat.

II- La chromatographie.

1)- Chromatographie sur couche mince (C.C.M).

Cette technique permet de séparer les espèces chimiques présentes dans un mélange homogène.

Pour effectuer une C.C.M, on utilise :

- Une phase fixe sur laquelle une goutte de mélange à séparer est déposée.
- La phase fixe est constituée d'une mince couche de gel de silice déposée sur une plaque d'aluminium.
- Une phase mobile ou éluant : le solvant dans lequel les constituants du mélange sont plus ou moins solubles.

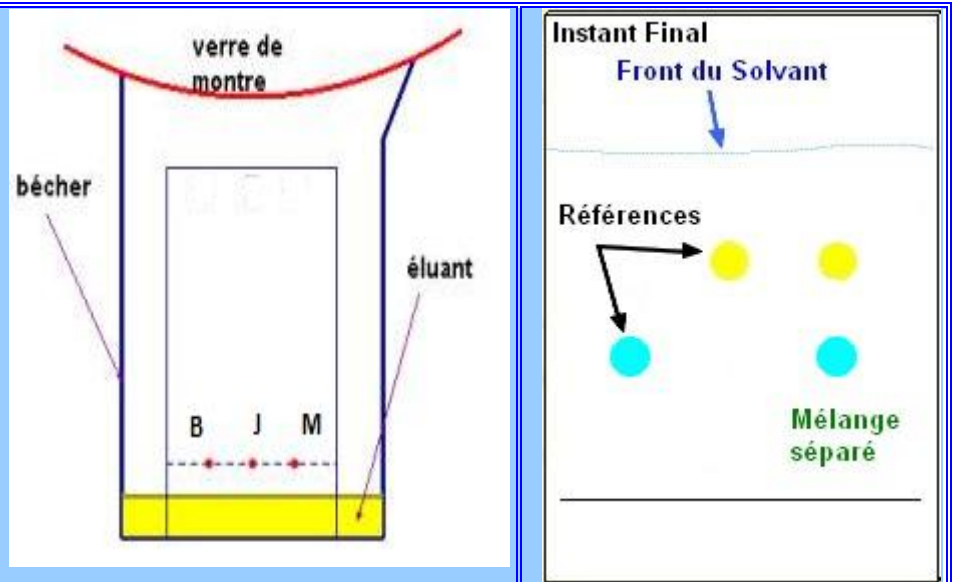
Observations :

- L'éluant migre le long de la phase fixe en entraînant les constituants du mélange qui se déplacent à des vitesses différentes. On admet qu'une espèce chimique très soluble dans l'éluant migre beaucoup plus vite qu'une substance peu soluble

- Pour un éluant et un support donnés, une espèce chimique migre de la même façon qu'elle soit pure ou dans un mélange.

Placer la plaque dans le bécher et recouvrir du verre de montre.

- Laisser évoluer l'ensemble jusqu'à ce que l'éluant arrive à 1 cm du haut de la plaque environ.
- Sortir la plaque et laisser sécher.



2) Révélation du chromatogramme :

Dans le cas de composés colorés , le chromatogramme est directement exploitable .

Dans le cas de composés incolores , il est nécessaire de faire apparaître les tâches : c'est l'étape de révélation .On peut pour cela utiliser une lampe à ultraviolet.

3)- Chromatographie et séparation.

La chromatographie permet la séparation des constituants d'un mélange.

Les espèces chimiques étant entraînées à des vitesses différentes peuvent être séparées.

4)- Chromatographie et analyse.

La chromatographie est aussi une technique d'analyse. Elle permet d'identifier les espèces chimiques présentes dans un mélange.

Des espèces chimiques identiques migrent à des hauteurs identiques sur une même plaque de chromatographie.

Pour identifier une espèce d'un mélange , on calcule son rapport frontal $R_f = \frac{h}{H}$ où :

- h la distance que la tâche a parcourue depuis la ligne de dépôt .
- H la distance parcourue par l'éluant (la distance entre la ligne de dépôt et le front du solvant) .

Le rapport frontal est spécifique à chaque espèce chimique pour un éluant donné.

Extraction, séparation et identification d'espèces chimiques

I-Extraction d'espèces chimiques :

1)- Historique :

Depuis l'antiquité, l'homme utilise les végétaux pour extraire des colorants, des parfums, des médicaments, tout en utilisant des méthodes traditionnelles comme :

***L'expression (ou pressage)** : cette opération Consiste à « faire sortir » un produit en exerçant une pression.

Exemple : pressage d'olive pour obtenir de l'huile.

***La décantation** (solide / liquide) et (liquide / liquide) : On sépare des espèces chimiques non miscibles, de densités différentes.

Exemple : eau boueuse et cas des liquides non miscibles (Figure 1).



fig 1

***La filtration** : on sépare les constituants d'un mélange solide-liquide (figure 2).

***Décoction** : on place les plantes dans de l'eau froide ; le tout est porté en ébullition est les constituants se dissolvent dans l'eau. Cette méthode est très ancienne.

Toutes ces techniques connues depuis longtemps ont été perfectionnées et sont toujours utilisées.



fig 2

2)-L'extraction par solvant

2-1-Principe:

L'extraction par un solvant (ou extraction liquide -liquide) permet d'extraire une espèce chimique **dissoute dans un solvant**, à l'aide d'un **autre solvant**, appelé **solvant extracteur**.

2-2-Choix du solvant extracteur :

L'extraction par un solvant consiste à dissoudre l'espèce chimique recherchée dans un solvant non miscible avec l'eau et à séparer les deux phases obtenues.

En plus l'espèce chimique à extraire doit être plus soluble dans le solvant à extracteur que dans l'eau. Ce qui permet de les séparer en utilisant une ampoule à décanter.

2-3-Extraction du diiode présent dans une solution :

-On introduit le mélange d'une solution aqueuse d'iodure de potassium et de diiode dans l'ampoule à décanter (figure 3).

-On ajoute le solvant (heptane), on agite et on laisse décanter et dégazer le mélange.

-On observe deux phase (figure 4) :

- La phase inférieure qui est pratiquement décolorée.
- La phase supérieure qui contient le diiode dans le solvant de coloration violette.

-On récupère le diiode et le solvant. Après évaporation du solvant, on recueille le diiode (solide).

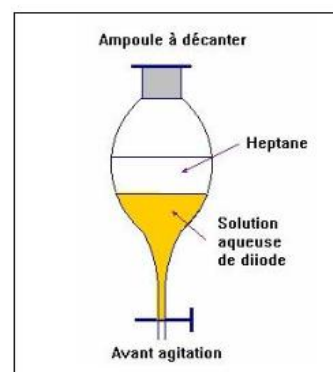


fig 3

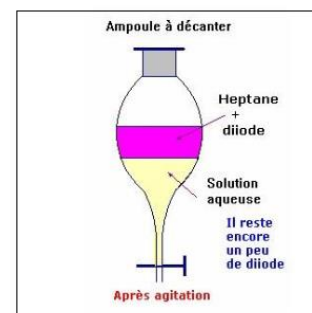


Fig 4

3)-Extraction par hydrodistillation :

الاستخراج بالتقطير المائي

-L'extraction de l'huile essentielle de lavande

Dans un ballon, on introduit 10g de fleurs de lavande et on ajoute 100mL d'eau distillée. On chauffe à ébullition pendant environ 30min jusqu'à obtenir 70mL de distillat (figure 5).

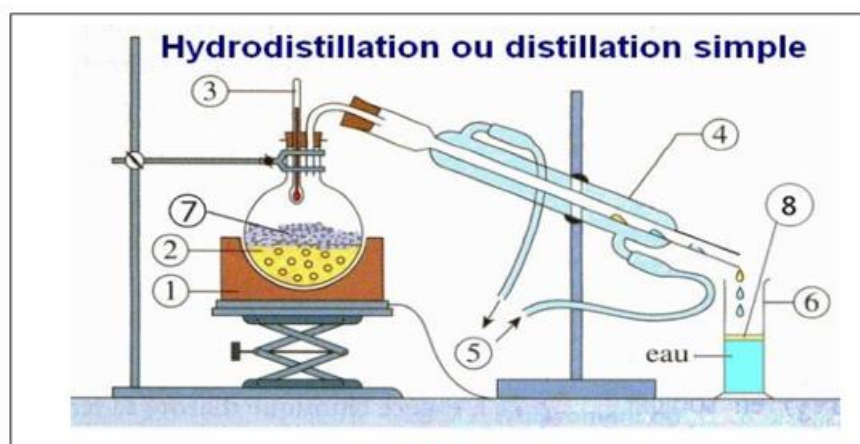


Fig 5

- 1-chauffe ballon
- 2-eau bouillante
- 3-thermomètre
- 4-réfrigérant à l'eau
- 5-entrée et sortie de l'eau
- 6-éprouvette graduée
- 7- plante
- 8-distillat

Le distillat obtenu ne permet pas la récupération de l'huile essentielle par simple décantation. Nous allons extraire cette huile essentielle à l'aide d'un solvant organique : le cyclohexane.

Dans une ampoule à décanter on place le distillat on y ajoute 3g de chlorure de sodium et 10mL de cyclohexane.

On agite l'ampoule à décanter on laisse reposer.

On recueille dans un bécher la phase organique.

Le tableau ci-dessous présente la solubilité de l'acétate de Linalyle dans le cyclohexane :

| | Eau | eau salée | cyclohexane | Acétate de Linalyle |
|--------------------------------|-------|-----------|-------------|---------------------|
| Densité | 1 | 1,1 | 0,78 | 0,89 |
| Solubilité dans l'eau | | | nulle | faible |
| Solubilité dans l'eau salée | | | nulle | très faible |
| Solubilité dans le cyclohexane | nulle | nulle | | très faible |

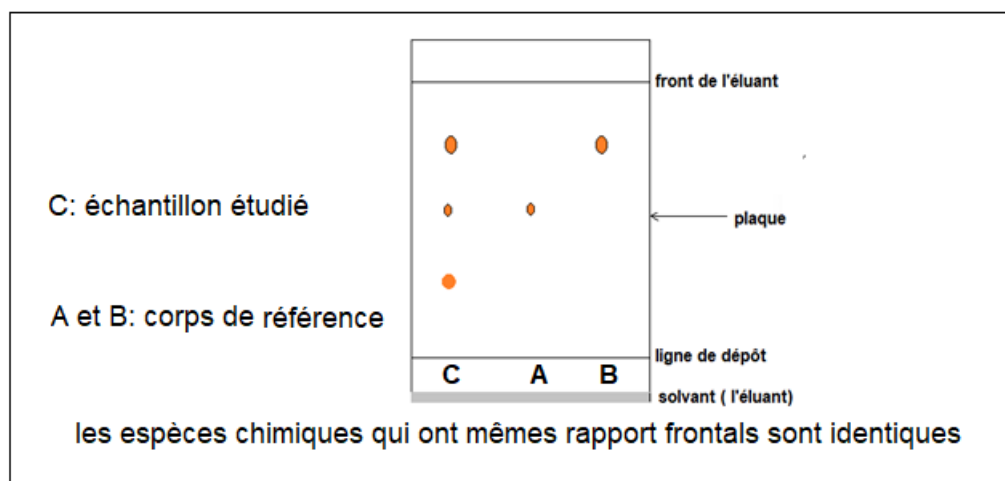
II- La chromatographie :

1-chromatigraphie sur une couche mince (C.C.M) :

Cette technique permet de **séparer** et **identifier** des espèces chimiques présentes dans un mélange.

Pour effectuer une C.C.M, on utilise :

- Une phase fixe est constituée d'une mince couche de gel de silice déposée sur une plaque d'aluminium ou de plastique.
- Une phase mobile ou éluant : c'est le solvant dans lequel les constituants du mélange sont plus ou moins solubles.



-L'éluant migre le long de la phase fixe en entrainant les constituants du mélange qui se déplacent à des vitesses différentes. On peut ainsi les séparer.

-Une espèce chimique très soluble dans l'éluant migre beaucoup plus vite qu'une substance peu soluble.

-des espèces chimiques identiques migrent à des hauteurs identiques sur une même plaque de chromatographie.

2) Révélation du chromatogramme

Dans le cas des composés colorés, le chromatogramme est directement exploitable.

Dans le cas de composés incolores, il est nécessaire de faire apparaître les taches : c'est l'étapes de révélation. On peut pour cela utiliser une lampe à ultraviolet ou les cristaux d'iode.

3) Exploitation de chromatogramme :

Rapport frontal R_f :

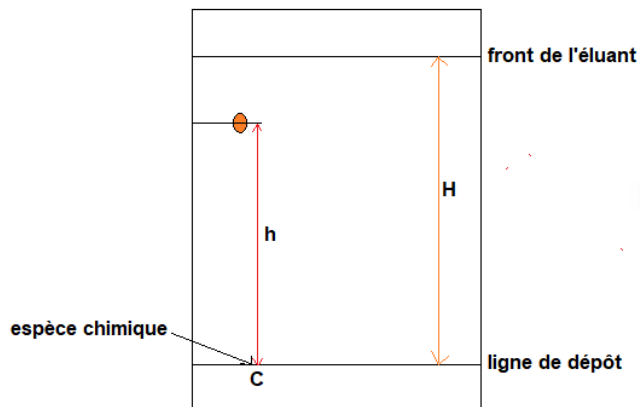
Le rapport frontal R_f d'une espèce chimique, dans un éluant donné, est défini par : $R_f = \frac{h}{H}$

Avec : h : distance parcourue par la tâche depuis la ligne de dépôt

H : La distance parcourue par l'éluant (entre la ligne de dépôt et le front de l'éluant).

-Si le corps étudié ne présente qu'une seule tâche après révélation on dit qu'il est pur.

-On compare les rapports frontaux des taches laissées par l'échantillon étudié aux rapports frontaux des taches laissées par des corps de références, il est possible de déterminer la composition de l'échantillon.



4) Caractéristiques physiques d'une espèce chimique :

Une chimique possède des caractéristiques physiques qui lui sont propres :

4-1-Températures de changement d'état :

La température d'ébullition est la température à laquelle s'effectue le passage de l'état liquide à l'état gazeux d'une espèce.

La température de fusion est la température à laquelle s'effectue le passage de l'état solide à l'état liquide d'une espèce.

4-2-Densité :

La densité d'un corps solide ou liquide par rapport à l'eau est le rapport de la masse d'un certain volume du corps par la masse du même volume d'eau. $d = \frac{m_{sub}}{m_{eau}}$ ou $d = \frac{\rho}{\rho_{eau}}$

ρ : masse volumique du corps ; ρ_{eau} : masse volumique de l'eau.

C'est une grandeur sans unité.

4-3- La solubilité :

Elle exprime la masse d'une substance que l'on peut dissoudre dans un litre d'un solvant donné. Elle s'exprime en général en g/L .

Unité 2 : Extraction, séparation et identification des espèces chimiques

Objectifs :

➤ Savoirs

- A l'aide d'un tableau de données (températures de changement d'état, solubilités, masses volumiques), à pression atmosphérique et pour une température connue :
 - Prévoir l'état physique d'une espèce chimique ;
 - Choisir un solvant approprié pour faire une extraction ;
 - Prévoir le liquide surnageant dans un système constitué de deux liquides non miscibles.

➤ Savoir-faire

- Reconnaître et nommer la verrerie de laboratoire.
- Utiliser une ampoule à décanter, un dispositif de filtration, un appareil de chauffage dans les conditions de sécurité.
- Mettre en œuvre une technique d'extraction
- Interpréter les informations de l'étiquette d'un flacon (risques, sécurité, paramètres physique).
- S'informer sur les risques et les consignes de sécurité à respecter lors des manipulations, en particulier des solvants organiques.
- Réaliser une chromatographie sur couche mince.

Introduction

Ce que l'on recherche lorsque l'on fait du thé, c'est le goût et les arômes qui sont contenues dans les feuilles. Pour obtenir un bon thé, il faut faire passer ces substances des feuilles à l'eau (elles sont donc solubles dans l'eau)

Le chimiste dira que l'on a extrait les colorants et arômes du thé par un solvant (l'eau).

Nous allons voir dans ce cours quelques techniques d'extractions.

Qu'est ce qu'une extraction

I. Techniques d'extractions

On dit qu'on réalise l'extraction d'une espèce chimique contenu dans un mélange si on parvient à le faire sortir de ce mélange. Donc l'extraction consiste à retirer (extraire) une ou des espèces chimiques d'un produit (mélange) solide ou liquide.



Cours de chimie de tronc commun scientifique et technologie

Au cours de l'histoire, de nombreuses techniques ont été utilisées. Dans la suite, nous allons mettre en œuvre et étudier deux techniques très utilisables dans les laboratoires de chimie :

- Extraction par solvant
- Extraction par l'entraînement à la vapeur d'eau (hydrodistillation)

1. Extraction par solvant

a. Principe

L'extraction par solvant consiste à dissoudre l'espèce chimique recherchée dans un solvant. Celui-ci peut être de l'eau mais généralement il s'agira des solvants organiques volatiles comme cyclohexane, toluène, éther, acétone

b. Choix du solvant

- Le solvant est choisi dans lequel l'espèce chimique à extraire est très soluble.
- Le solvant doit être volatil (qui s'évapore facilement c'est à dire a une température d'ébullition basse) : il faut choisir le solvant le plus volatil pour récupérer l'extrait seul.

2. Extraction par l'entraînement à la vapeur ou hydrodistillation

La technique consiste à faire bouillir un mélange d'eau et du produit à extraire, puis on le condense dans un réfrigérant.

Il s'agit de la distillation d'un mélange d'eau et d'un produit naturel. Lorsque l'on chauffe ce mélange, les arômes et les odeurs du produit (huile essentielle) naturel sont entraînés par la vapeur d'eau. Il suffit alors de condenser les vapeurs qui se dégagent par un réfrigérant afin de récupérer les arômes.

Le liquide que l'on obtient est appelé distillat qui comporte deux phases :

- Une phase aqueuse qui est de l'eau
- Une phase organique qui consiste de l'huile essentielle.

3. Mode opératoire de l'extraction d'une espèce chimique.

Le but : Extraction de l'huile essentielle des fleurs de lavande qui présente l'odeur de lavande. Cette huile est un mélange dont le principal constituant est l'acétate de linalyle.

Étape 1 : Extraction par l'entraînement à la vapeur ou hydrodistillation

Montage expérimental : schéma de montage.

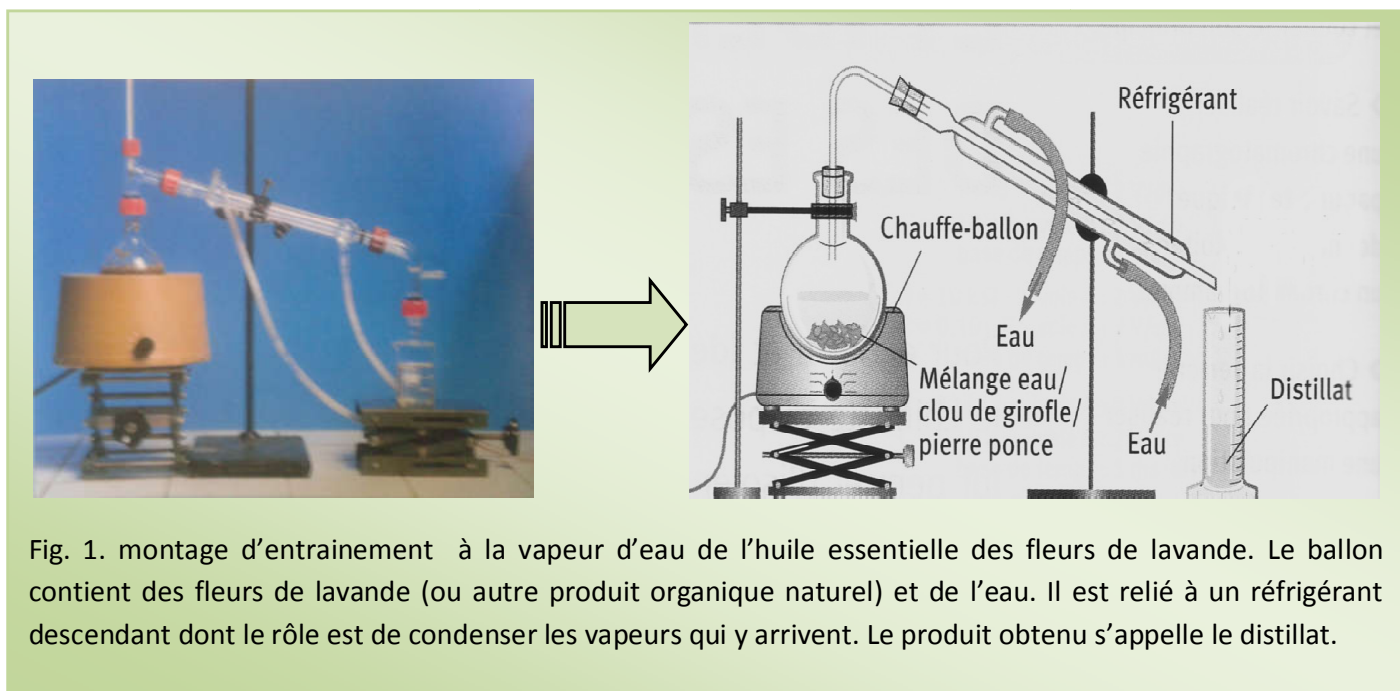
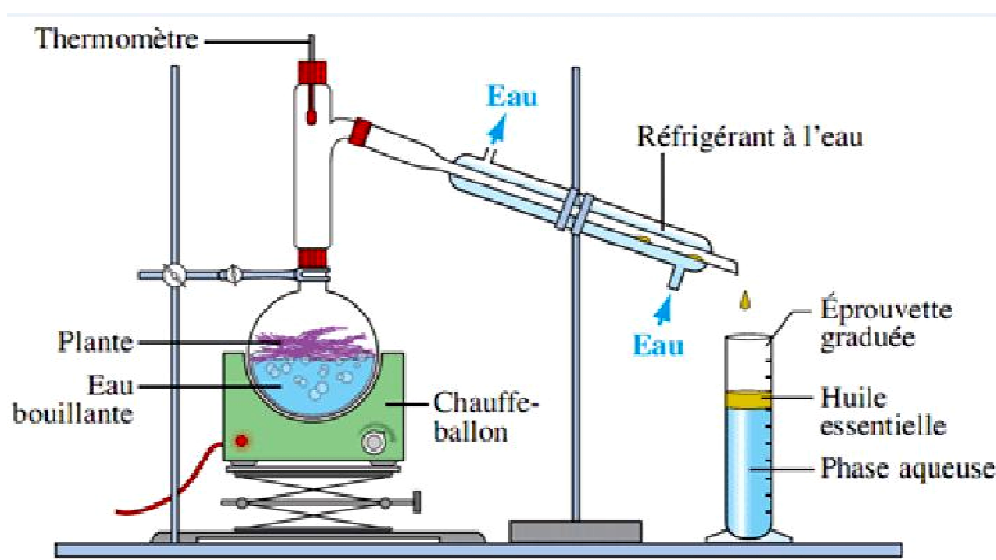


Fig. 1. montage d'entraînement à la vapeur d'eau de l'huile essentielle des fleurs de lavande. Le ballon contient des fleurs de lavande (ou autre produit organique naturel) et de l'eau. Il est relié à un réfrigérant descendant dont le rôle est de condenser les vapeurs qui y arrivent. Le produit obtenu s'appelle le distillat.



En se vaporisant, l'eau entraîne avec elle les huiles essentielles contenues dans le produit brut. Les vapeurs arrivent dans le réfrigérant. Elles se condensent, c'est-à-dire qu'elles passent de l'état vapeur à l'état liquide, formant le distillat qui contient de la phase aqueuse (l'eau) et la phase organique (l'huile essentielle).

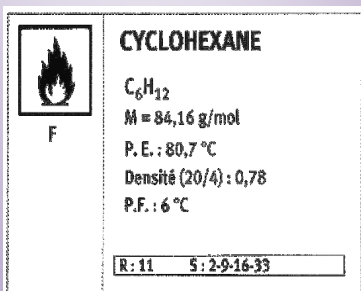
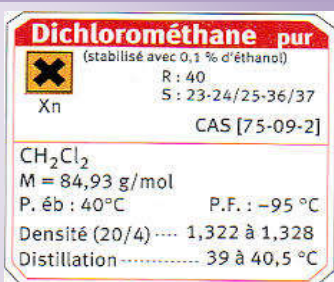
Étape 2 : Relargage

L'huile essentielle est très peu soluble dans l'eau salée que dans l'eau.

Le relargage consiste à rendre des composés organiques moins solubles dans l'eau en ajoutant du chlorure de sodium (le NaCl favorise la séparation des deux phases).

Après relargage, l'extraction sera plus facile.

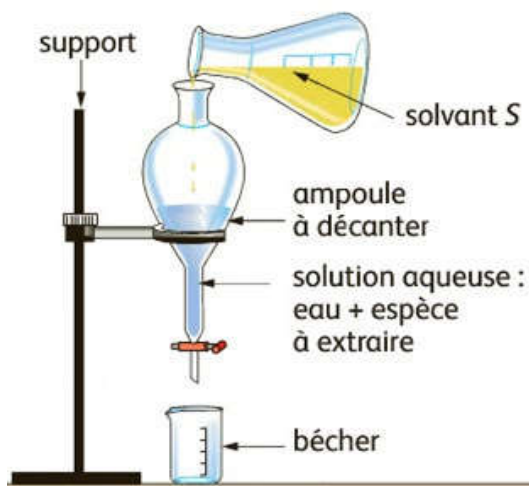
Étape 3 : Extraction par solvant



Etiquettes de quelques solvants organiques : Dichlorométhane et cyclohexane

- On introduire (on verse) le distillat dans une ampoule à décanter et on ajoute de cyclohexane. Le cyclohexane est un solvant organique volatil non miscible avec l'eau dans lequel l'huile à extraire est très soluble.

a Introduction du solvant

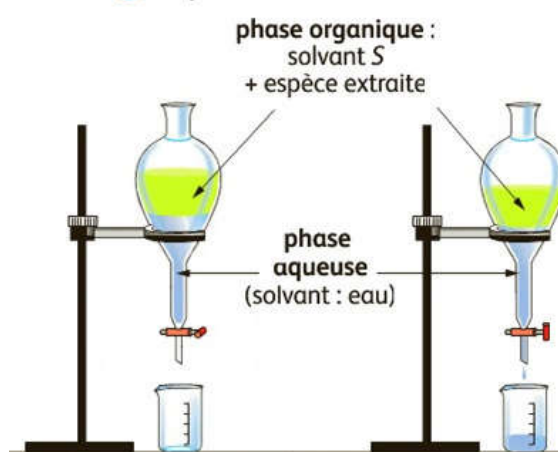


- On bouche l'ampoule à décanter puis on agite en ouvrant régulièrement le robinet de l'ampoule pour laisser s'échapper les gaz qui peuvent se former au cours de l'opération puis on laisse reposer.
- On sépare la phase organique (huile essentiel+cyclohexane) de la phase aqueuse (l'eau+sel)
- On distingue entre les phases par la densité. La phase organique est moins dense que l'eau donc elle se place au dessus et la phase aqueuse au dessous.

b Extraction



c Séparation



Après avoir évacué la phase aqueuse, on recueille la phase organique, puis on élimine l'eau restante en ajoutant le carbonate de potassium. Finalement, après filtrage, on récupère la solution

Le tableau ci-dessous résume quelques propriétés physiques de quelques solvants organiques.

| | Eau | Cyclohexane | éthanol | Dichlorométhane |
|--------------------------------------|--------|-------------|------------|-----------------|
| Densité | 1 | 0,78 | 0,8 | 1,33 |
| Température d'ébullition °C | 100 | 80,7 | 78 | 40 |
| Solubilité d'essence dans ce solvant | faible | Très bonne | Très bonne | faible |
| Miscibilité avec l'eau | **** | nulle | Très bonne | nulle |

II. Techniques de séparations et d'identifications

1. Chromatographie sur couche mince CCM

La chromatographie est une technique physique permet de séparer et identifier les espèces chimiques constituant un produit.

Il existe différents types de chromatographies. Dans la suite, nous allons réaliser seulement la technique de chromatographie sur couche mince, noté CCM.

a. Principe

- ❖ Le mélange est fixé sur un support appelé phase stationnaire (un gel de silice déposé en couche mince sur une plaque d'aluminium).
- ❖ Le mélange est entraîné par un solvant approprié (phase mobile ou éluant) qui migre par capillarité sur la plaque. Les constituants du mélange se séparent par migration différentielle : chacun d'eux est d'autant plus entraîné par l'éluant qu'il est plus soluble dans celui-ci et moins adsorbé sur la phase stationnaire.

b. Révélation

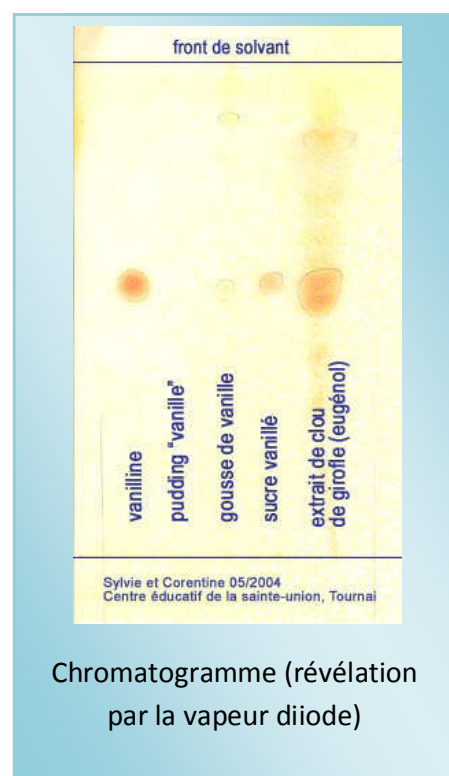
Après migration les taches doivent être révélées ; c'est la détection qui peut se faire soit :

- ❖ Par immersion dans un bain de permanganate de potassium.
- ❖ Par pulvérisation de vapeur de diiode.
- ❖ Par observation à la lumière UV (Ultra Violet) si la plaque de silice comporte un indicateur de fluorescence.

c. Chromatogramme et rapport frontal.

Le résultat de la chromatographie s'appelle le chromatogramme.

Le rapport frontal, noté R_f , est caractéristique d'un produit dans un éluant donné et pour une phase stationnaire donnée.



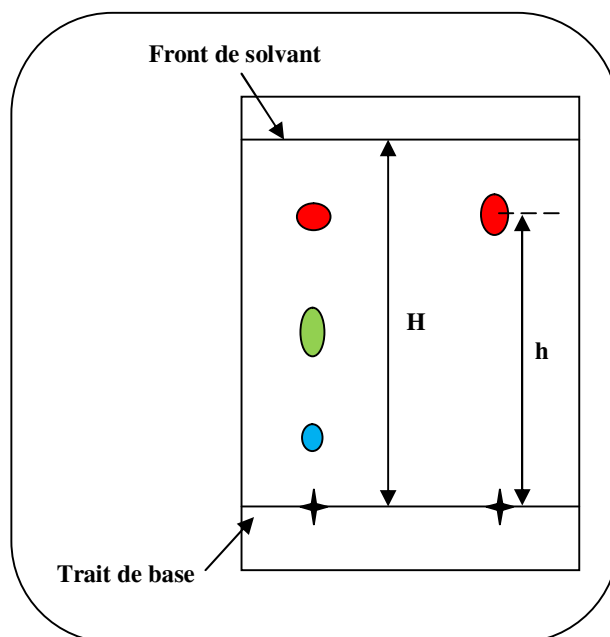
$$R_f = \frac{\text{hauteur de migration}}{\text{Hauteur de front de solvant}}$$

$$R_f = \frac{h}{H}$$

On mesure la hauteur H parcourue par le solvant et la hauteur h atteinte par chaque tâche.

Analyse de chromatogramme :

- Chaque tâche dans le chromatogramme correspond une seule espèce chimique.
- Si l'échantillon à analyser est séparé à plusieurs taches, on dit qu'il contient d'espèces chimiques différentes.
- Deux tâches ou plus présentant le même rapport frontal ou la même hauteur par rapport à la ligne de dépôt (de base) sur la même plaque sont identiques.



2. Caractéristiques physiques

Une espèce chimique (corps pur) est caractérisée par des valeurs déterminées de certaines grandeurs physiques liées à cette espèce.

a. La couleur

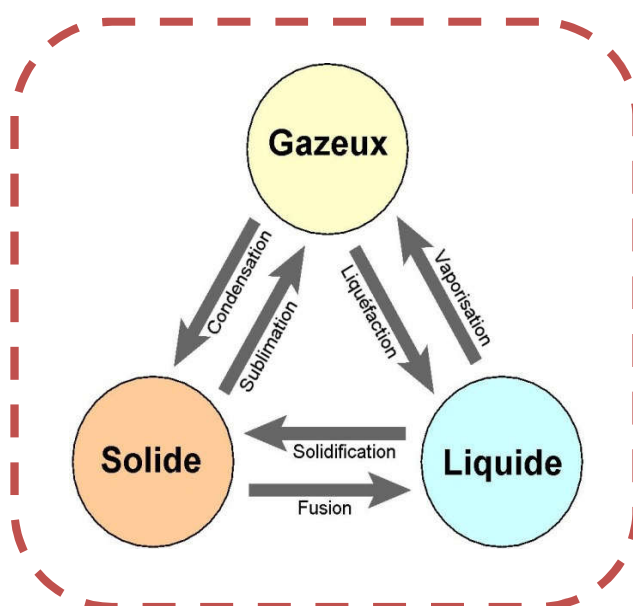
En général ; la couleur seule ne permet pas d'identifier un corps mais, quelquefois, la couleur bien particulière d'un corps permet de le classer à l'intérieur d'une catégorie précise d'espèces chimiques.

b. Les températures de fusion et d'ébullition

- La température de fusion θ_f d'une espèce chimique est la température à laquelle elle passe de l'état solide à l'état liquide sous la pression atmosphérique.
- La température d'ébullition θ_{eb} d'une espèce chimique est la température à laquelle elle passe de l'état liquide à l'état vapeur sous la pression atmosphérique

Exemple : l'eau a une température d'ébullition $\theta_{eb} = 100^\circ\text{C}$ et température de fusion $\theta_f = 0^\circ\text{C}$

c. La densité



Cours de chimie de tronc commun scientifique et technologie

La densité est égale au rapport de la masse m de 1,0 L de l'espèce chimique à la masse m' de 1,0 L d'une autre substance choisie comme référence (l'eau dans le cas des liquides et des solides et l'air dans le cas des gaz). La densité est un nombre sans unité.

$$d = \frac{m}{m'}$$

La densité de l'eau est vaut 1.

- Si la densité d'une espèce est plus grande que 1. On dit que l'espèce est plus dense que l'eau.
- Si la densité d'une espèce est moins grande que 1. On dit que l'espèce est moins dense que l'eau.

d. La masse volumique

La masse volumique d'une espèce chimique est égale le rapport de sa masse m à son volume V :

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

L'unité de la masse volumique au système international est $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nous utilisons aussi l'unité g/L ou g/cm^{-3} .

e. La solubilité

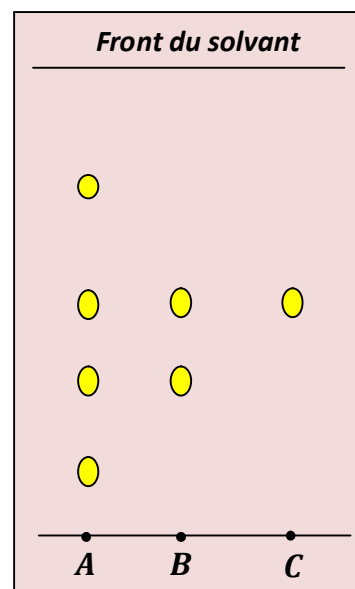
La solubilité d'une espèce chimique est la masse maximale de cette espèce que l'on peut dissoudre pour obtenir 1,0L des solutions ; elle s'exprime en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Exercice : on désire faire l'analyse d'une eau de toilette citronnée. On procède par chromatographie en utilisant trois substances :

- L'eau de toilette ;
- Une huile essentielle extraite de l'écorce d'un citron non traité et bien mûr ;
- Une espèce chimique pure : le citral.

Le chromatogramme obtenu est représenté ci-contre.

Les échantillons sont repérés par des lettres : A (eau de toilette), B (huile essentielle de citron), C (citral).



- Quels sont, parmi les produits utilisés, les produits purs ?
- Existe-t-il des constituants communs à l'eau de toilette et au citron ? si la réponse est oui, calculer le rapport frontal de ces constituants en utilisant le chromatogramme.
- Calculer le rapport frontal du citral. Conclure.

Exercice

- On réalise, en général, la chromatographie sur couche mince de plusieurs échantillons. Repérer avec soin chacun d'eux.
- Observer la répartition des taches.
 - Si le chromatogramme ne comporte qu'une seule tache, l'échantillon est une espèce chimique pure.
 - Si le chromatogramme comporte plusieurs taches, l'échantillon contient plusieurs espèces chimiques (c'est un mélange).
- Si deux chromatogrammes comportent une tache à la même hauteur, ils contiennent la même espèce chimique.
- Calculer les rapports frontaux. La hauteur de migration h d'une espèce et la distance H parcourue par le solvant se mesurent à partir de la ligne de base et vérifient la relation :
$$R_f = \frac{h}{H} \text{ (sans unité)}$$

Solution

- L'eau de toilette et l'huile essentielle extraite de l'écorce de citron donnent plusieurs taches : ce sont des mélanges. Le citral ne donne qu'une seule tache : c'est la seule espèce chimique pure.
- L'eau de toilette et le citron donnent deux taches à la même hauteur de migration. Ces deux produits ont donc deux constituants communs.

Le front du solvant est situé à 6,0 cm de la ligne de base : $H=6,0$ cm.

Conclusion : l'un des constituants communs à l'eau de toilette et à l'huile essentielle d'écorce de citron et le citral.

Les taches communes sont situées à 3,0 cm et 2,0 cm de cette ligne.

Les rapports frontaux valent :

$$R_{f_1} = \frac{3,0}{6,0} = 0,50 ; R_{f_2} = \frac{2,0}{6,0} = 0,33$$

- La tache du citral est située à la même hauteur que la tache du premier constituant commun à l'eau de toilette et au citron. Il a donc le même rapport frontal :
$$R_f = 0,50 .$$

Synthèse des espèces chimiques

I – Nécessité de la chimie de synthèse :

1–Définition :

La synthèse est la préparation d'espèce chimiques à partir d'autres espèces chimiques grâce à des transformations chimiques.

2–Chimie industrielle :

La chimie industrielle joue un rôle très important dans l'économie, elle permet d'obtenir des produits en grandes quantités et plus économiques.

On distingue trois types de chimie industrielle :

- **La chimie lourde** : qui fabrique des produits de base en grandes quantités et à faible coût comme la soude, le dichlore, l'acide chlorhydrique...
- **La chimie fine** : qui fabrique des produits répondant à des besoins très spécifiques et de faible volume de production, comme des médicaments.
- **La chimie des spécialités** : qui fabrique des produits intermédiaires (produits qui peuvent être stockés) comme les arômes, les lessives, les peintures, les roues de bicyclettes.

II– Synthèse d'une espèce chimique :

1)–Principe d'une synthèse chimique :

Réaliser une synthèse d'une espèce chimique, c'est la préparer à partir d'autres espèces chimiques grâce à une transformation chimique.

–Les espèces chimiques nécessaires à la synthèse sont appelées : les réactifs de la synthèse.

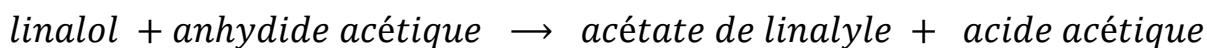
–Les espèces chimiques obtenues sont appelées : les produits de la synthèse.

2)-Synthèse de l'acétate de linalyle :

2-1-Principe :

On fait réagir un alcool de linalol sur de l'anhydride acétique, on obtient de l'acétate de linalyle et de l'acide acétique.

La réaction chimique peut s'écrire de la forme :

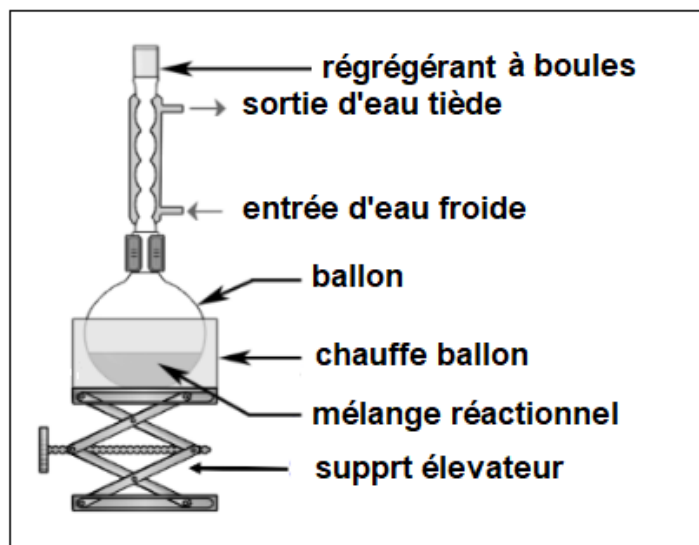


2-2- Mode opératoire :

-Dans un ballon de 250 mL , on introduit 7 mL d'anhydride acétique et 5 mL de linalol.

-On ajoute 5 grains de pierre ponce.

-On porte le ballon à ébullition, on fait circuler l'eau dans le réfrigérant. On pratique ainsi le chauffage à reflux pendant environ 40 minutes puis on arrête le chauffage.



N.B

- L'intérêt de la pierre ponce est de réguler l'ébullition.
- L'intérêt de chauffer le milieu réactionnel est d'accélérer la réaction chimique entre les deux réactifs.
- Le rôle de chauffage à reflux permet d'augmenter la vitesse de la réaction et d'éviter la perte des réactifs est des produits.
- Le rôle de réfrigérant est de condenser les vapeurs qui s'échappent du mélange.

2-3-Séparation et identification du produit :

-Élimination de l'excès d'anhydride acétique :

On ajoute de l'eau, l'anhydride restant se transforme en acide acétique, qui passe à la phase aqueuse.

-Extraction de l'acétate de linalyle :

On verse le mélange dans une ampoule à décanter on écarte la phase aqueuse et on conserve la phase organique.

Pour éliminer l'acide acétique restant on ajoute une solution de l'hydrogénocarbonate de sodium.

-Identification de l'espèce chimique :

Une chromatographie sur une couche mince peut être réalisée pour vérifier d'une part si le produit obtenu est celui désiré et d'autre part pour vérifier la pureté de produit obtenu.



L: linalol
A: acétate de linalyle
M: phase organique

Matière :
Physique Chimie

Synthèse des espèces chimiques



Niveau :
Tronc Commun

I La nécessité de la synthèse en chimie:

↳ La synthèse pour satisfaire la demande :

L'odeur, la couleur, la saveur d'un produit naturel sont dues à une ou plusieurs espèces chimiques. Lorsque la demande de ce produit est énorme, il est impératif de le synthétiser afin de ne pas épuiser les ressources naturelles.

Ex : la vanilline de synthèse, les engrais chimiques, le caoutchouc synthétique

↳ La synthèse pour préserver les ressources naturelles :

Pour ne pas voir disparaître certains produits naturels, des produits de synthèse sont créés.

Ex : les éponges synthétiques remplacent les éponges naturelles, les boules de billard en ivoire ont été remplacées par des boules en celluloïd.

↳ La synthèse pour créer des matériaux plus performants :

Des produits nouveaux aux propriétés physiques et mécaniques supérieures, remplacent des produits naturels traditionnellement utilisés.

Ex : les chaussures de ski en matériaux de synthèse, les fibres de carbone ...

II La synthèse en utilisant le chauffage à reflux

↳ Définition :

Le chauffage est utilisé pour accélérer la transformation chimique mais le chauffage à reflux permet de chauffer un mélange réactionnel, à pression atmosphérique, sans perte de réactifs ou de produits.

Le chauffage augmente la vitesse de la réaction ainsi que le rendement de la réaction.

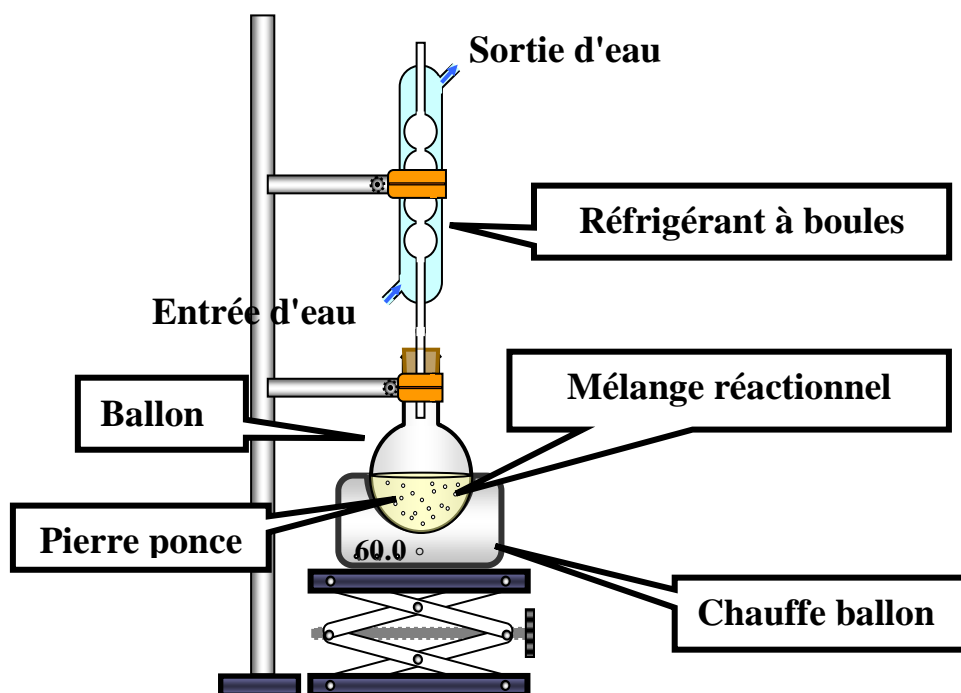
↳ Principe :

Du fait de l'augmentation de la température, certaines espèces chimiques se vaporisent, pour cela le reflux empêche la perte de réactif ou de produit par vaporisation.

Ces espèces chimiques montent alors dans le réfrigérant à boules. De l'eau froide s'écoule en permanence dans ce réfrigérant, au contact des parois les gaz refroidissent

et se liquéfient sous formes de gouttelettes sur les parois du réfrigérant et finissent par retomber dans le ballon à réaction.

↳ Chauffage à reflux :



↳ Comment obtient-on le produit de la réaction ? :

L'espèce chimique synthétisée se trouve dans le mélange réactionnel avec d'autres espèces pour l'extraire on suit les étapes suivantes :

- ♣ Le lavage.
- ♣ L'extraction :
 - ↳ **Extraction par un solvant.**
 - ↳ **Hydrodistillation.**
 - ↳ **Filtration.**
 - ↳ **Distillation fractionnée.**
- ♣ Extraction par chromatographie.

↳ Identification des espèces chimiques produits d'une réaction :

Les méthodes d'analyse chimique les plus modernes nous permettent d'identifier l'espèce chimique obtenue en comparant les propriétés physique : densité – température de fusion – température d'ébullition – couleur – odeur.... et sans oublier l'analyse chromatographique.

III Expérience TP: Synthèse du savon

Objectif : synthèse du savon.

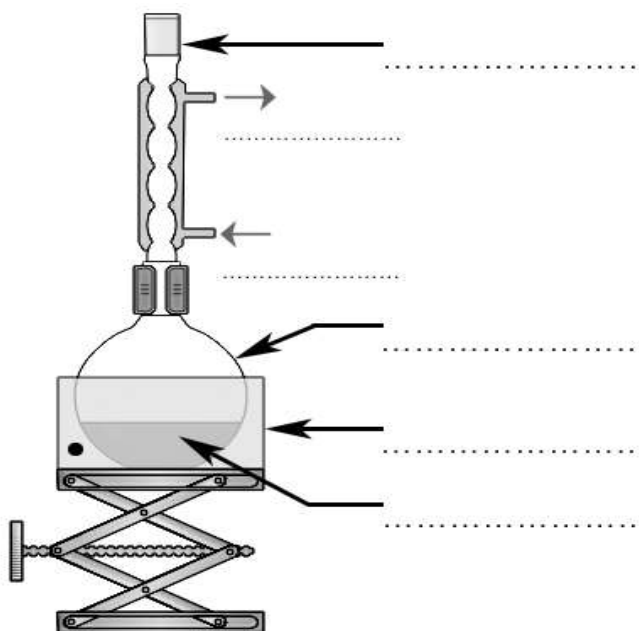
Protocole opératoire:

- ✓ Dans un ballon de 250 mL, on introduit :
 - 30 mL **d'huile d'olive**, mesurés à l'éprouvette graduée ;
 - 60 mL d'une solution aqueuse **d'hydroxyde de sodium**, mesurés à l'éprouvette graduée (solution très corrosive !) ;
 - 60 mL **d'éthanol**, mesurés à l'éprouvette graduée
 - quelques grains de pierre ponce pour réguler l'ébullition.
- ✓ On chauffe le mélange pendant 30 min.
- ✓ On laisse refroidir puis on verse le mélange dans une solution *saturée* de chlorure de sodium
- ✓ On filtre

Le rôle de l'éthanol : favoriser le contact entre les réactifs

Question 1

Compléter le schéma ci-dessus avec les mots suivants : mélange réactionnel, ballon, chauffe-ballon, réfrigérant à boules, entrée d'eau froide, sortie d'eau tiède.



Question 2

Associez chacun de ces éléments présents dans le dispositif expérimental avec le rôle qu'il y joue :

- | | | |
|-----------------------|---|---|
| La pierre ponce | • | • permet d'éviter la perte de réactifs ou de produits |
| L'éthanol | • | • permet de réguler l'ébullition |
| Le chauffage à reflux | • | • permet de favoriser le contact entre les réactifs |

Exercice d'application :

L'acide benzoïque $C_6H_5CO_2H$ (solide blanc), est un conservateur présent dans de nombreuses boissons sans alcool. Il peut être préparé par synthèse en laboratoire.

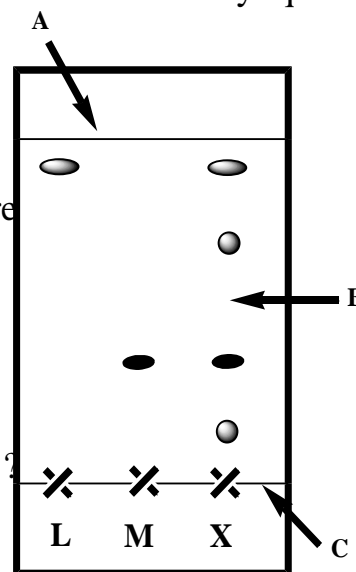
Principe de cette synthèse : l'oxydation, en milieu basique et à chaud de l'alcool benzylique $C_6H_5CH_2OH$ par les ions permanganate MnO_4^- en excès, conduit à la formation d'ions benzoate $C_6H_5CO_2^-$ et de dioxyde de manganèse MnO_2 (solide brun).

Dans un ballon bicol posé sur un valet et sous la hotte un volume d'alcool benzylique puis Après avoir versé lentement une solution aqueuse de permanganate de potassium dans le ballon, on porte le mélange à ébullition douce pendant 10 minutes environ.

Afin de caractériser le produit formé, on réalise une chromatographie sur couche mince du mélange obtenu en utilisant un éluant.

Sur la plaque chromatographique on dépose des gouttes de : l'alcool benzylique (L) acide benzoïque (M) et le mélange réactionnel (X).

- 1) Quel est le rôle du reflux
- 2) Nommer sur ta copie les composantes de la figure ci-contre repérés par les lettres A, B et C.
- 3) Combien d'espèces chimiques se trouvent dans le mélange réactionnel (X) ? Est ce qu'on peut les reconnaître ?
- 4) Quelles sont facteurs qui agissent sur la R_f le rapport frontal ?
- 5) Calculer $R_f(L)$ le rapport frontale de l'alcool benzylique.



Solution :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Unité 3 : la synthèse d'espèces chimiques

Objectifs :

Savoirs et savoir-faire

- Savoir ce qu'est une synthèse
- Savoir caractériser une espèce chimique
- Suivre un protocole de synthèse en respectant les consignes (sécurité, protection de l'environnement).
- Proposer une méthode expérimentale pour comparer deux espèces chimiques.
- Interpréter, discuter et présenter les résultats d'une analyse comparative.

I. Nécessité de la chimie de synthèse.

1. **Définition** : on dit qu'on fait la synthèse d'une espèce chimique si on prépare cette espèce soit à partir des corps simples des éléments qui la constituent, soit à partir de corps composés plus simples qu'elle (dans ce dernier cas, on fait une héli-synthèse).

Dans la chimie de synthèse, on distingue essentiellement deux secteurs : la chimie lourde et la chimie fine.

- La chimie lourde produit plusieurs millions de tonnes d'une espèce chimique par an ;

Ex : Matières plastiques comme le polyéthylène (bouteille d'eau, de lait, récipient, sacs...).

- La chimie fine produit des substances en petites quantité. Les molécules synthétisées sont très complexes.

2. Limites de l'extraction naturelle

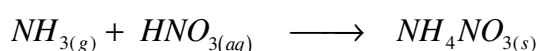
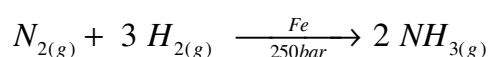
Lorsque la production d'une espèce chimique par extraction ne permet plus de satisfaire les besoins, on envisage la synthèse de cette espèce chimique, il en est de même pour créer des produits qui n'ont pas d'origine naturelle pour des besoins bien particuliers.

Il y a la chimie lourde fabrique en peu d'étapes des produits en grande quantités à partir de matières premières facilement disponibles.

Et la chimie fine utilise les produits de la chimie lourde et des extraits animaux et végétaux pour élaborer des substances complexes.

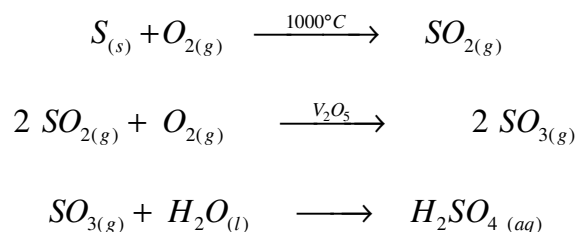
3. Exemples

- Synthèse de l'ammoniac et l'ammonitrate engrais le plus utilisé en France.



Cours de chimie de tronc commun scientifique et technologie

➤ Synthèse de l'acide sulfurique à partir du soufre issu du gaz de Lacq



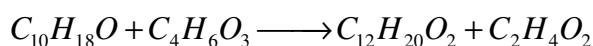
Le tableau ci-dessous présente quelques synthèses et la cause de leur mise en œuvre industrielle.

| Secteurs | « Produit » naturel | Cause de la mise en œuvre de la synthèse | « Produit » de synthèse |
|--------------------|--|--|--|
| Agriculture | Engrais naturel (Fumier, lisier). (non contrôle des quantités NPK) | Mise en place de l'agriculture intensive : grande demande d'engrais | Engrais chimiques : engrais azoté, engrais phosphatés ou engrais potasiques |
| Habillement | Fibres textiles naturelles : laine, coton, soie, lin ... Fibres artificielles : soie artificielle (ou rayonne) ... | Augmentation de la population mondiale et forte demande de vêtements | Fibres textiles synthétique (Nylon (résistante, élastique et pas chère). Lycra, tergal polyesters... |
| Teinture | Colorants d'origine végétale : alizarine (provenant de la garance) ou indigo extrait du pastel servant notamment à la teinture des jeans | Forte demande et nécessité d'obtenir des produits moins onéreux | Alizarine : (1 kg d'alizarine a le même pouvoir colorant que 100 kg de racines de garance). Indigo de synthèse. |
| Pharmacie | Produit extraits des plantes (Décoction de plantes écorces...) | Obtention par synthèse de médicament très efficace | Aspirine de synthèse (coût, pas inconvénients...) |

II. Synthèse d'une espèce chimique

Nous allons réaliser la synthèse d'une espèce chimique utilisée en parfumerie : l'acétate de linalyle.

L'acétate de linalyle se forme par réaction entre le linalol et l'anhydride acétique ; l'équation de la réaction s'écrit :



A. Préparation de l'acétate de linalyle

Expérience :

- Dans un ballon bien sec, introduire 5 mL de linalol, 10 mL d'anhydride acétique (produit dangereux à manipuler sous la hotte) et quelques grains de pierre ponce (pour régulariser l'ébullition).
- Agiter, puis adapter sur le ballon un réfrigérant vertical. Faire couler l'eau dans le réfrigérant (eau entrant à la partie inférieure du réfrigérant et eau tiède sortant à la partie supérieure du réfrigérant).
- Avec le chauffe-ballon, porter le mélange à ébullition. Modifier ensuite le chauffage de manière à entretenir l'ébullition sans bouillonnement excessif.

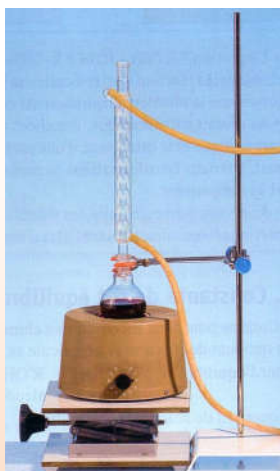


Fig. 1. Chauffage à reflux du mélange de linalol et d'anhydride acétique. La réaction s'effectue à température élevée et sans perte de matière.

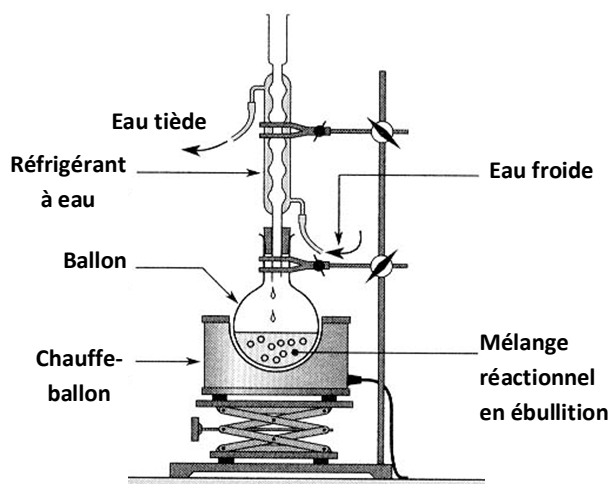


Fig. 2. Chauffage à reflux avec réfrigérant à eau. Le réfrigérant est, dans le montage utilisé pour cette réaction, un réfrigérant à boules

Observation ► Le mélange réactionnel bout. Des gouttes liquide tombent régulièrement du réfrigérant dans le mélange (fig.1 et fig.2).

Interprétation ► Le mélange réactionnel est en ébullition ; des vapeurs des réactifs et des produits se forment et s'élèvent dans le réfrigérant. À l'intérieur du réfrigérant la température est de l'ordre de 15°C, très inférieure à la température d'ébullition des réactifs et produit. Ceux-ci se condensent (c'est-à-dire passant de l'état vapeur à l'état liquide) et font retour dans le ballon (fig.6). le chauffage s'effectue donc sans perte de matière.

Si on ne dispose pas d'un réfrigérant à eau, on peut utiliser un réfrigérant à air (fig.7)

Chauffer à reflux, c'est maintenir un mélange réactionnel à ébullition et condenser les vapeurs qui s'échappent grâce à un réfrigérant ascendant. De cette manière, il n'y a pas de perte de matière.

Grâce au chauffage à reflux, la réaction s'effectue à température élevée ; cela permet de la rendre nettement plus rapide.

B. Élimination de l'excès d'anhydride acétique.

L'anhydride acétique a été utilisé en excès ; il en reste donc lorsque la réaction est terminée. On élimine l'excès par réaction avec l'eau et en refroidissant.

L'anhydride acétique est transformé en acide acétique, miscible à l'eau, qui passe dans la phase aqueuse.

C. Extraction de l'acétate de linalyle

L'acétate de linalyle est le constituant principal de la phase organique (ici la phase supérieure).

- On verse le mélange dans l'ampoule à décanter, on laisse reposer, on écarte la phase aqueuse (la phase inférieure) et on conserve la phase organique dans l'ampoule à décanter.
- On élimine l' « acidité » restante en ajoutant, avec précaution, de l'hydrogénocarbonate de sodium (jusqu'à ce que l'effervescence cesse).
- On lave en ajoutant 20 mL d'eau, puis on élimine de nouveau la phase aqueuse. On récupère la phase organique que l'on sèche avec une petite quantité de chlorure de calcium et on la met en réserve dans un flacon bouché.

III. Espèce synthétique et extrait naturel

1. Une espèce synthétique : l'acétate de linalyle

L'acétate de linalyle est une espèce chimique vendue, pratiquement pure, dans le commerce. Son odeur laisse à penser que l'acétate de linalyle est responsable de l'odeur de la lavande.

2. Chromatographie comparative

Nous disposons de quatre substances à comparer par chromatographie sur couche mince : de l'huile essentielle extraite de la lavande, de l'acétate de linalyle préparé par synthèse (unité précédente), de l'acétate de linalyle du commerce (qui servira de référence) et du linalol.

A. Réalisation de la chromatographie

- Sur une plaque de chromatographie, on effectue, avec des capillaires, quatre dépôts. De gauche à droite, on :
- Dépôt A : linalol (en solution dans le dichlorométhane)
 - Dépôt B : acétate de linalyle du commerce (en solution dans le dichlorométhane)
 - Dépôt C : acétate de linalyle synthétisé en classe (en solution dans le dichlorométhane)

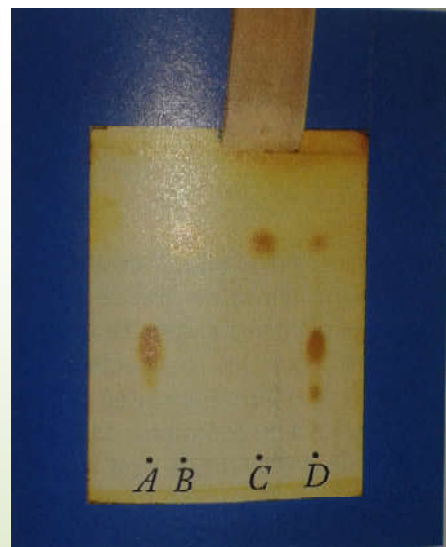


Fig. 3. Le chromatogramme révélé. Les trois taches au même niveau permettent d'affirmer que l'essence de lavande contient de l'acétate de linalyle et que l'espèce synthétisée à l'unité précédente est de l'acétate de linalyle.

- Dépôt D : huile essentielle de lavande dans le dichlorométhane.
- On place la plaque dans la cuve à élution préparée ; l'éluant est le dichlorométhane.
- Quand l'éluant s'est suffisamment élevé, on sèche la plaque et on introduit dans une petite cuve contenant du sable de fontainebleau et du diiode.
- On effectue ainsi la révélation : des taches brunes apparaissent ; on les cerne avec un crayon noir et on obtient le chromatogramme photographié à la figure ci-contre (figure 3).

B. Analyse du chromatogramme

La répartition des taches sur le chromatogramme permet d'affirmer, pour chaque dépôt, que :

- Le linalol du commerce (dépôt A) est une espèce pratiquement pure puisqu'il ne produit qu'une seule tache.
- L'acétate de linalyle du commerce (dépôt B) est une espèce pratiquement pure puisqu'il ne donne qu'une seule tache.
- Le produit obtenu par synthèse (dépôt C) est de l'acétate de linalyle pratiquement pure (il ne contient pas de linalol ; celui-ci a été éliminé par lavage successifs).
- L'huile essentielle de lavande (dépôt D) contient au moins 3 espèces, dont le linalol et l'acétate de linalyle, puisque le chromatogramme met en évidence trois taches.
- L'acétate de linalyle préparé par synthèse et celui qui est contenu dans l'essence de lavande constituent la même espèce chimique, identique à l'acétate de linalyle du commerce (les trois taches sont au même niveau).

C. Conclusion

La chromatographie montre que, du point de vue chimique, il y a identité entre l'espèce chimique synthétisée et celle qui est présente dans l'extrait naturel de lavande. Généralisations :

Une espèce chimique de synthèse est identique à la même espèce extraite d'un mélange naturel

LE MODÈLE DE L'ATOME

I-L'évolution historique de l'atome : (voir activité)

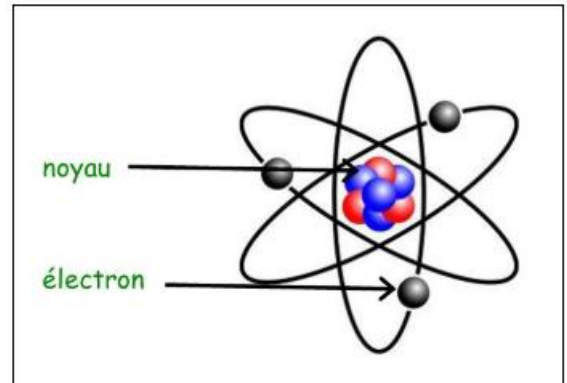
II-Structure de l'atome :

1-Modélisation de l'atome :

Le modèle de l'atome est constitué d'un **noyau** autour duquel gravitent des **électrons**.

Les **électrons** tournent autour du noyau dans une zone sphérique délimitant la taille de l'atome appelée **nuage électronique**.

Le **noyau** de l'atome est constitué de particules appelés **nucléons**, les **neutrons** et les **protons**.



2-Constituants de l'atome :

L'atome est constitué d'un noyau et d'électrons.

2-1-Les électrons :

La masse de l'électron e^- est : $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Sa charge électrique est : $q_e = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Remarque : e est appelé charge élémentaire $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

2-2-Le noyau :

Il est constitué de particules élémentaires : les protons et les neutrons appelés nucléons.

| Proton p | Neutron n |
|--|---|
| Chargé positivement : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ sa masse : $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ | Particule neutre électriquement sa masse : $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ |

Le **nombre de protons** du noyau s'appelle le **nombre de charge** ou le **numéro atomique** et se note Z.

Le nombre totale du **nucléons** (protons et neutrons) est noté : $A = Z + N$
N est le nombre total de neutrons.

Remarques :

- La masse du proton est la masse du neutron sont identiques
- La masse du proton est 1836 fois la masse de l'électron $m_p = 1836 m_e$
- Un atome est électriquement neutre, il possède autant de protons que d'électrons.

3-Symbole du noyau atomique :

On représente le noyau d'un atome par le symbole :

$${}^A_Z X \begin{cases} A: \text{nombre de masse} \\ Z: \text{numéro atomique} \\ X: \text{symbole de l'élément chimique} \end{cases}$$

Exemple :

| L'atome | symbole | numéro atomique Z | nombre de nucléons A | nombre de neutrons N |
|-----------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| Hydrogène | 1_1H | 1 | 1 | 0 |
| Oxygène | ${}^{16}_8O$ | 8 | 16 | 8 |
| Chlore | ${}^{35}_{17}Cl$ | 17 | 35 | 18 |

4-Masse de l'atome :

La masse de l'atome = la masse du noyau + La masse des électrons

$$m_{atome} = m_{noyau} + m_{électrons}$$

$$m_{atome} = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n + Z \cdot m_{électrons}$$

La masse des électrons est négligeable devant celle des nucléons ($m_p \approx m_n \approx m_e \approx 1836 m_e$) :

$$m_{atome} = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n$$

III- L'élément chimique :

1-Isotope :

Les isotopes sont des atomes qui ont mêmes numéro atomique Z et des nombres de nucléons A différents (ils diffèrent par leur nombre de neutrons).

Exemple isotopes de carbone :



2-Les ions :

Un ion est un atome qui a perdu ou gagné un ou plusieurs électrons.

Un atome qui **perd** des électrons devient chargé positivement est un **cation**.

Exemples : Na^+ ; Al^{3+}

Un atome qui **gagne** des électrons devient chargé négativement est un **anion**.

Exemples : Cl^- ; O^{2-}

IV-Répartition des électrons d'un atome :

1-Les couches électroniques :

Les électrons sont en mouvement autour du noyau : on parle du « cortège électronique » du noyau.

Les électrons d'un atome se **répartissent** dans des **couches électroniques** autour du noyau. Chaque couche est représentée par une lettre K, L, M pour les atomes qui ont $Z \leq 18$.

2-Règles de remplissage des couches électroniques :

Première règle : Une **couche électronique** ne peut contenir qu'un nombre limité d'électrons.

- ❖ **La couche K** (première couche) peut contenir un maximum de 2 électrons.
- ❖ **La couche L** (deuxième couche) peut contenir un maximum de 8 électrons.
- ❖ **La couche M** (troisième couche) peut contenir un maximum de 8 électrons.

Deuxième règle : Le **remplissage** des couches électroniques s'effectue en commençant par la couche K. Lorsqu'une couche est **saturée** on remplit la couche L et ainsi de suite.

Remarque : Lorsqu'une couche est **pleine** on dit qu'elle est **saturée**.

3-Structure électronique de l'atome :

La **structure électronique** est composée des **lettres** correspondant aux couches K, L, M écrites entre parenthèses. On place en exposant en haut à droite, le nombre d'électrons présents dans la couche.

La **dernière couche** de la structure électronique est appelée **couche externe**. Les **autres occupés** par les électrons sont nommées **couches internes**.

Exemples :

❖ L'atome de soufre S : $Z = 16$.La structure électronique : $(K)^2(L)^8(M)^6$

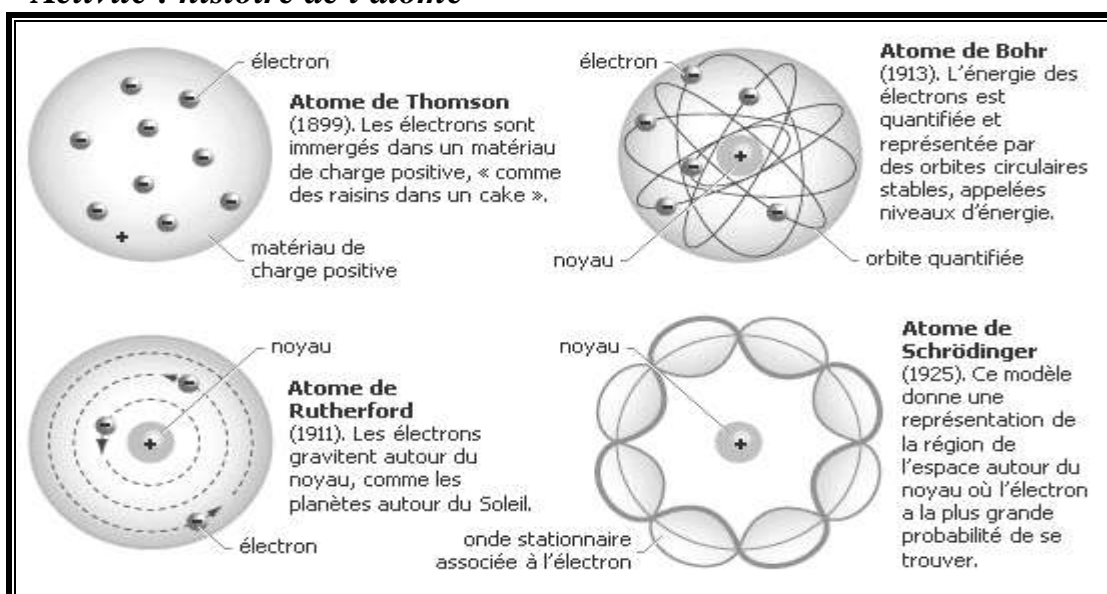
❖ L'ion aluminium Al^{3+} : $Z = 13$

L'atome d'aluminium possède 13 électrons, il a perdu 3 électrons, il reste 10 électrons. La structure électronique : $(K)^2(L)^8$

LE MODELE DE L'ATOME

I) Model de l'atome : Animation N°1

Activité : histoire de l'atome

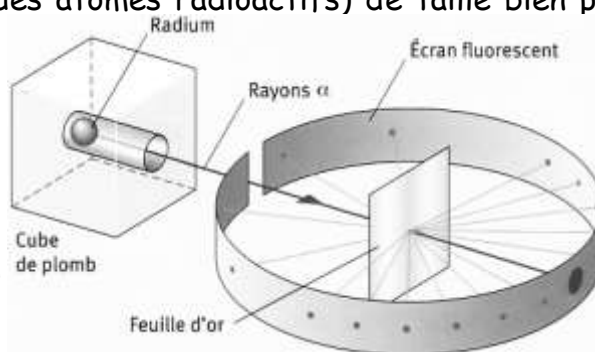
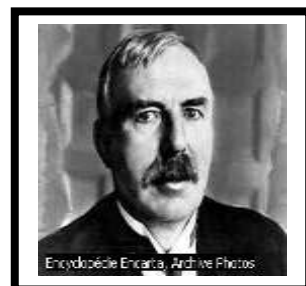


L'expérience de Rutherford Ernest (1871-1937)

En 1909, la structure de l'atome reste encore du domaine des hypothèses. Le physicien britannique Ernest Rutherford (1871 - 1937), voulant vérifier le modèle de Thomson, réalise avec deux de ses élèves une expérience décisive.

Il bombarde une très fine feuille d'or avec des particules alpha (noyaux d'hélium chargés positivement et émis par des atomes radioactifs) de taille bien plus petite que les atomes d'or.

En s'appuyant sur les connaissances de l'époque sur la matière, il s'attend à voir les particules rebondir sur la feuille d'or ; il est stupéfait de voir que la plupart de ces particules alpha la traversent, comme si elle était faite de « trous ».. Il observe en effet que seule une infime minorité de particules alpha semble rebondir sur la feuille d'or.



Le model actuel de Erwin Schrödinger (1887-1961)



Erwin Schrödinger
(1887-1961)

1926 : le modèle quantique

Il faut abandonner le concept de trajectoire de l'électron. Celui-ci est délocalisé dans le nuage électronique : on parle de probabilité de présence de l'électron autour du noyau.

II) Les constituants de l'atome :

l'atome a une structure *lacunaire* et électriquement neutre et elle est constituée d'un noyau (chargé positivement) et des électrons ou d'un nuage électronique (chargé négativement)

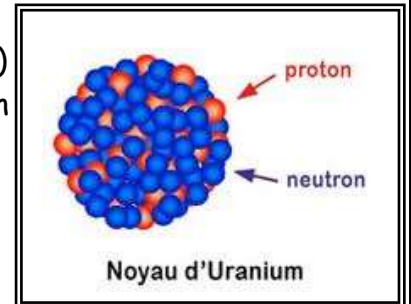
1) les électrons :

le nuage électronique, chargé négativement, est constitué d'électrons qui gravitent autour du noyau

- symbole : e^-
- charge : $-e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- masse : $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
- propriétés : tous les électrons sont identiques et chargé négativement.

2) Le noyau :

le noyau est formé des nucléons : protons (chargé positivement) et neutrons (non chargé). La taille du noyau (10^{-15} mètre) est environ 100 000 fois plus petite que celle de l'atome (10^{-10} mètre)



□ Les protons

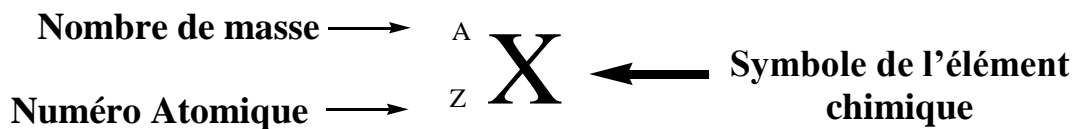
- symbole : p
- charge : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- masse : $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- propriétés : tous les protons sont identiques et chargé positivement.

□ Les neutrons

- symbole : n
- charge : pas de charge
- masse : $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- propriétés : tous les neutrons sont identiques.

III) Notation symbolique d'un atome :

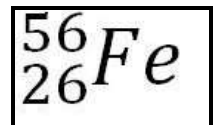
Un atome de symbole chimique X dont le noyau comporte Z proton , A nucléons et (A - Z) neutrons est noté :



Exercice 1 :

Le symbole de l'élément chimique fer est ${}^{56}_{26}\text{Fe}$. Donner le nombre : protons ; nucléons ; électrons et neutrons.

- le nombre de protons Z : 26
- le nombre de nucléons A : 56
- le nombre d'électrons : 26 car l'atome est électriquement neutre donc c'est Z
- le nombre de neutrons : 30 Nbre de nucléons (A) = Nbre de neutrons + Nbre de protons



IV) Masse d'un atome :

Activité :

Calculer la masse de l'atome de lithium Li puis la masse du noyau de l'atome de lithium

on donne ${}^7_3\text{Li}$ et $m_p = m_n = 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Réponse :

- le nombre de protons Z : 3
- le nombre de nucléons A : 7
- le nombre d'électrons : 3 car l'atome est électriquement neutre donc c'est Z
- le nombre de neutrons : 4 Nbre de nucléons (A) = Nbre de neutrons + Nbre de protons

$$m(X) = Z \times m_e + (A - Z) \times m_n + Z \times m_p$$

- la masse de l'atome de lithium Li :

$$m(\text{Li}) = 3 \times m_e + (7 - 3) \times m_n + 3 \times m_p = 1,1 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

- la masse du noyau de l'atome de lithium:

$$m_N(X) = (A - Z) \times m_n + Z \times m_p$$

$$m_N(\text{Li}) = (7 - 3) \times m_n + 3 \times m_p = 1,1 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

- On remarque que :

- ↪ la masse d'un neutron est sensiblement égale à celle d'un proton.
- ↪ La masse d'un électron est négligeable devant la masse d'un nucléon.
- ↪ La masse d'un atome est concentrée en son noyau.

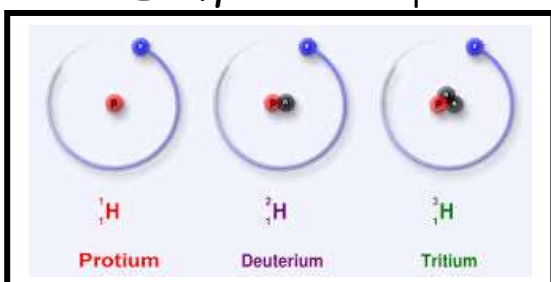
$$m(\text{Atome}) = m(\text{Noyau}) = A \times m_p$$

V) Les Isotopes d'un atome :

Des atomes sont isotopes s'ils possèdent le même numéro atomique Z et ils diffèrent par leur nombre de nucléons A , et plus précisément par leur nombre de neutrons

Les propriétés chimiques des isotopes sont presque identiques car ces isotopes ont le même nombre d'électrons .

Exemple : les isotopes de l'atome d'hydrogène :



Protium 99,985%



Deutérium 0,015%



tritium traces

| | |
|---|--|
| les isotopes de l'atome de oxygène ^{16}O (99,76 %) ; ^{17}O (0,004%), et ^{18}O (0,2%) | $^{16}_8\text{O}$ $^{17}_8\text{O}$ $^{18}_8\text{O}$ |
| les isotopes de l'atome de chlore ^{35}Cl (75,77 %) et ^{37}Cl (24,23 %) | $^{35}_{17}\text{Cl}$ $^{37}_{17}\text{Cl}$ |
| les isotopes de l'atome de carbone ^{12}C (98,99 %) ; ^{13}C (1,11%), et ^{14}C (trace) | $^{12}_6\text{C}$ $^{13}_6\text{C}$ $^{14}_6\text{C}$ "un atome de ^{14}C pour mille milliards d'atomes de carbone ^{12}C " |

Exercice 2:

Donner le nombre de : protons, nucléons, électrons et neutrons des isotopes du carbone on

donne $^{14}_6\text{C}$; $^{13}_6\text{C}$; $^{12}_6\text{C}$

Réponse :

| | Nbre protons | Nbre nucléons | Nbre électrons | Nbre neutrons |
|-------------------|--------------|---------------|----------------|---------------|
| $^{12}_6\text{C}$ | | | | |
| $^{13}_6\text{C}$ | | | | |
| $^{14}_6\text{C}$ | | | | |

VI) Les Ions monoatomiques :

Un ion monoatomique est un atome qui a gagné ou perdu, un ou plusieurs électrons.

Un atome qui gagne un ou plusieurs électrons est chargé négativement, c'est donc un anion (en effet, l'atome a gagné 1 ou plusieurs charges électriques négatives) .

Un atome qui perd un ou plusieurs électrons est chargé positivement, c'est donc un cation (en effet, l'atome a perdu 1 ou plusieurs charges négatives, il devient donc chargé positivement).

Tableau des ions monoatomiques ions polyatomiques

| Nom | Symbole | Nom | Symbole |
|------------------------|------------------------------|---------------|--------------------|
| Ion permanganate | MnO_4^- | Ion fluorure | F^- |
| Ion dichromate | $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ | Ion chlorure | Cl^- |
| Ion sulfate | SO_4^{2-} | Ion bromure | Br^- |
| Ion sulfite | SO_3^{2-} | Ion Iodure | I^- |
| Ion hypochlorite | ClO^- | Ion oxyde | O^{2-} |
| Ion méthanoate | HCO_2^- | Ion sulfure | S^{2-} |
| Ion hydrogénocarbonate | HCO_3^- | Ion hydroxyde | HO^- |
| Ion nitrite | NO_2^- | Ion cyanure | CN^- |
| Ion nitrate | NO_3^- | Ion carbonate | CO_3^{2-} |

| Nom | Symbole | Nom | Symbole |
|------------------------|--|---------------|-------------------------------|
| Ion sodium | Na ⁺ | Ion hydrogène | H ⁺ |
| Ion potassium | K ⁺ | Ion hydronium | H ₃ O ⁺ |
| Ion manganese | Mn ²⁺ | Ion ammonium | NH ₄ ⁺ |
| Ion magnesium | Mg ²⁺ | Ion fer II | Fe ²⁺ |
| Ion calcium | Ca ²⁺ | Ion fer III | Fe ³⁺ |
| Ion plomb | Pb ²⁺ | Ion Cuivre II | Cu ²⁺ |
| Ion chrome | Cr ³⁺ | Ion aluminium | Al ³⁺ |
| Ion lithium | Li ⁺ | Ion argent | Ag ⁺ |
| Ion monomethylammonium | CH ₃ NH ₃ ⁺ | Ion zinc | Zn ²⁺ |

VII) Les composés ioniques :

Un composé ionique est formé d'ion positif : cation et d'ion négatif : anion à condition que la somme des charges positives et négatives soit nulle " *autant de charges positive que de charges négative*"

Nom d'un composé ionique :

Quand on écrit le nom d'un composé ionique, l'anion vient en premier et le cation en second.

Exemple chlorure de sodium, carbonate de potassium

Formulation d'un composé ionique :

Quand on écrit la formule chimique d'un composé ionique, le symbole du cation vient en premier et le symbole de l'anion en second.

Exemple : chlorure de sodium : NaCl, permanganate de potassium : KMnO₄

| formule du composé ionique | Nom du composé ionique |
|---|------------------------------|
| FeS | sulfure de fer(II) |
| KMnO ₄ | permanganate de potassium |
| K ₂ Cr ₂ O ₇ | dichromate de potassium |
| CuSO ₄ | sulfate de cuivre |
| Fe ₂ (SO ₄) ₃ | sulfate de fer(III) |
| CaCO ₃ | Carbonate de calcium |
| NaHCO ₃ | Hydrogénocarbonate de sodium |
| NaCl | chlorure de sodium |
| FeCl ₃ | chlorure de fer(III) |

| Nom UICPA | Formule chimique | Nom commun | Usage ou propriété |
|------------------------|------------------|-------------------|---------------------------------|
| Oxyde d'aluminium | Al_2O_3 | Alumine | Abrasif |
| Carbonate de calcium | $CaCO_3$ | Calcaire, marbre | Construction, sculpture |
| Oxyde de calcium | CaO | Chaux | Neutralisation de lacs acides |
| Acide chlorhydrique | $HCl_{(aq)}$ | Acide muriatique | Nettoyage de métaux et du béton |
| Hydroxyde de magnésium | $Mg(OH)_2$ | Lait de magnésie | Antiacide |
| Monoxyde de diazote | N_2O | Gaz hilarant | Anesthésiant en dentisterie |
| Bioxyde de silicium | SiO_2 | Sable | Fabrication du verre |
| Carbonate de sodium | Na_2CO_3 | Cristaux de soude | Nettoyeur tout usage |
| Chlorure de sodium | $NaCl$ | Sel de table | Renforcement de goût |
| Bicarbonate de sodium | $NaHCO_3$ | Poudre à pâte | Agent de levage en pâtisserie |
| Hydroxyde de sodium | $NaOH$ | Lessive | Neutralisation des acides |
| Thiosulfate de sodium | $Na_2S_2O_3$ | Fixateur | Fixateur en photographie |

Exercice 3 :

Donner la formule des composés ionique suivants :

Sulfure d'aluminium ; Sulfate de fer (III) ; Oxyde de fer (III) et Iodure d'ammonium

Réponse :

| formule du composé ionique | Nom du composé ionique |
|----------------------------|------------------------|
| | Sulfure d'aluminium |
| | Sulfate de fer (III) |
| | Oxyde de fer (III) |
| | Iodure d'ammonium |

Exercice 4 :

Donner le nom et la formule des composés ionique qu'on peut former à partir des ions suivants:

Al^{3+} ; Ca^{2+} ; SO_4^{2-} ; Cl^- "donne votre réponse sous forme de tableau"

Réponse :

| SO_4^{2-} | Cl^- | |
|----------------|----------------|-----------|
| | | Ca^{2+} |
| | | Al^{3+} |

VIII) L'élément chimique :

1) Définition :

Les entités chimiques (atome, ion) possédant le même numéro atomique Z (c'est-à-dire le même nombre de protons) appartiennent au même élément chimique.

Exemple :

${}^{63}_{29}\text{Cu}$; ${}^{65}_{29}\text{Cu}$ et ${}^{65}_{29}\text{Cu}^{2+}$ appartiennent au même élément chimique c'est l'élément qui contient 29 proton : le cuivre

Un élément chimique est caractérisé par un symbole chimique (et un nom) qui lui sont propres

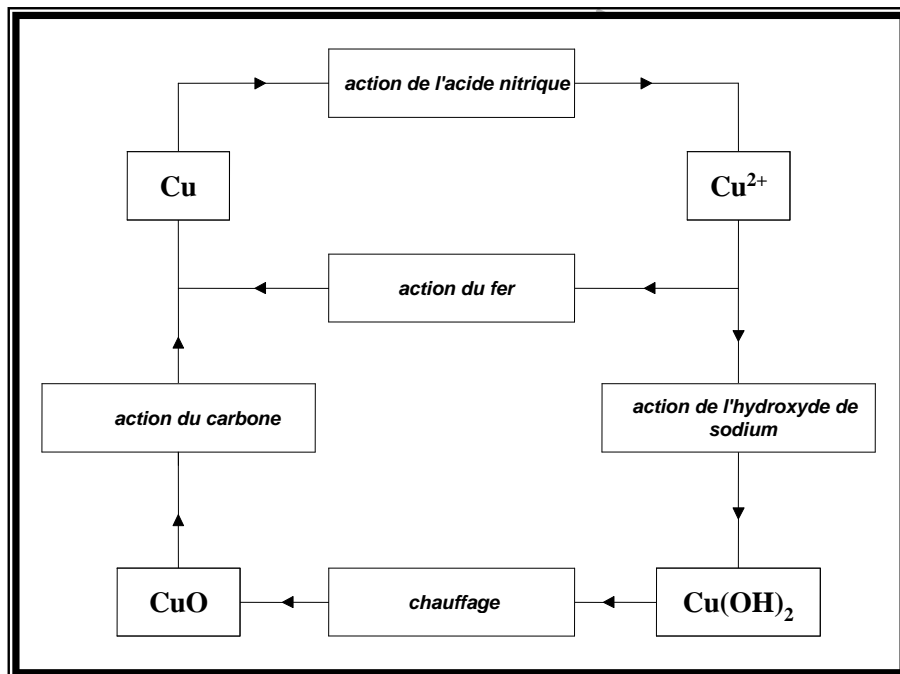
2) Conservation de l'élément chimique :

Objectif :

Mettre en évidence la conservation de l'élément cuivre Cu au cours de quelques transformations.

schéma des expériences :

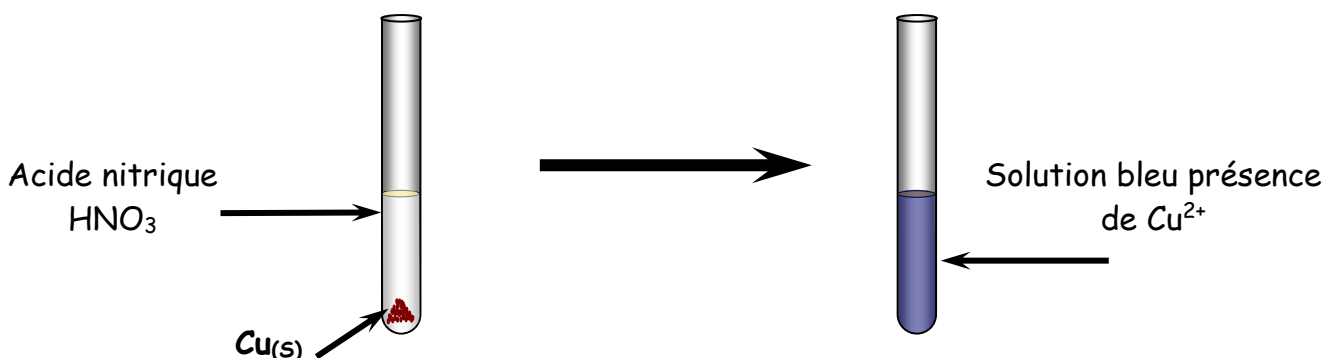
Représenter l'ensemble des transformations sous forme de cycle suivant :



TP Conservation de l'élément chimique cuivre Cu :

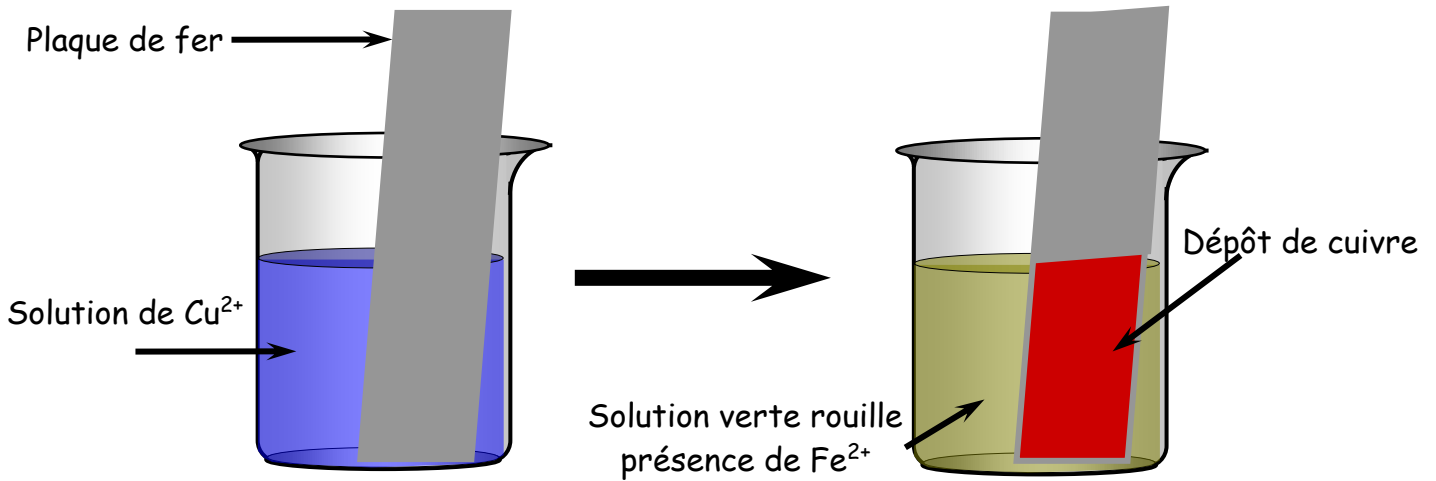
1. Action de l'acide nitrique HNO_3 sur le cuivre Cu :

Le cuivre disparaît. La solution se décolore. Un gaz roux (NO_2) apparaît



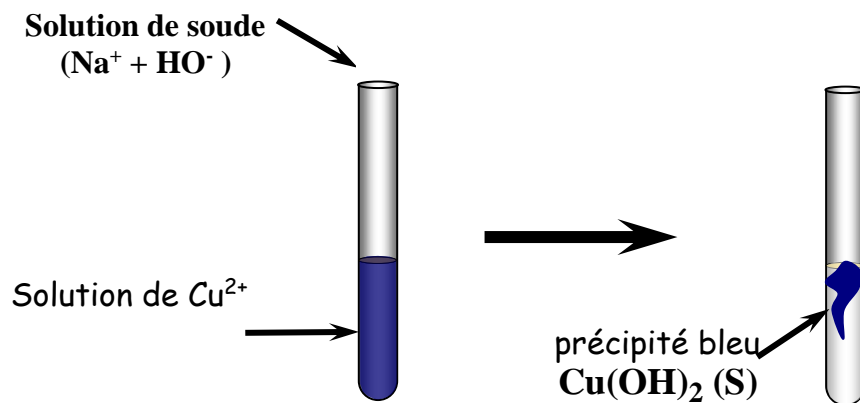
2. Action du fer sur une solution contenant des ions Cu^{2+}

Un dépôt de cuivre sur le tampon de laine de fer apparaît. La solution se décolore (disparition de la couleur bleu caractéristique des Cu^{2+}) et devienne verte rouille.



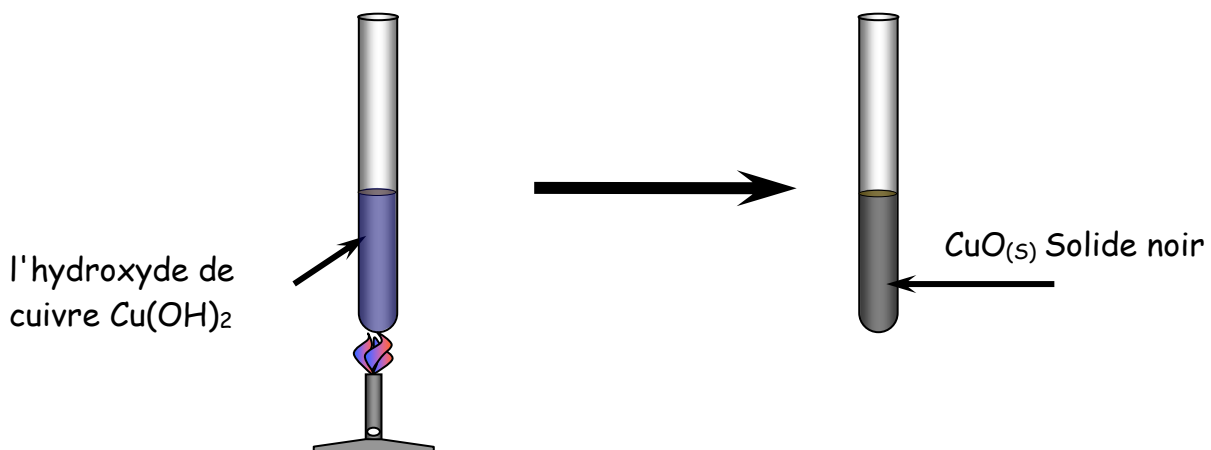
3. action de l'hydroxyde de sodium NaOH :

Solution d'hydroxyde de sodium NaOH versée dans une solution de sulfate de cuivre CuSO_4 .
Un précipité bleu surnage



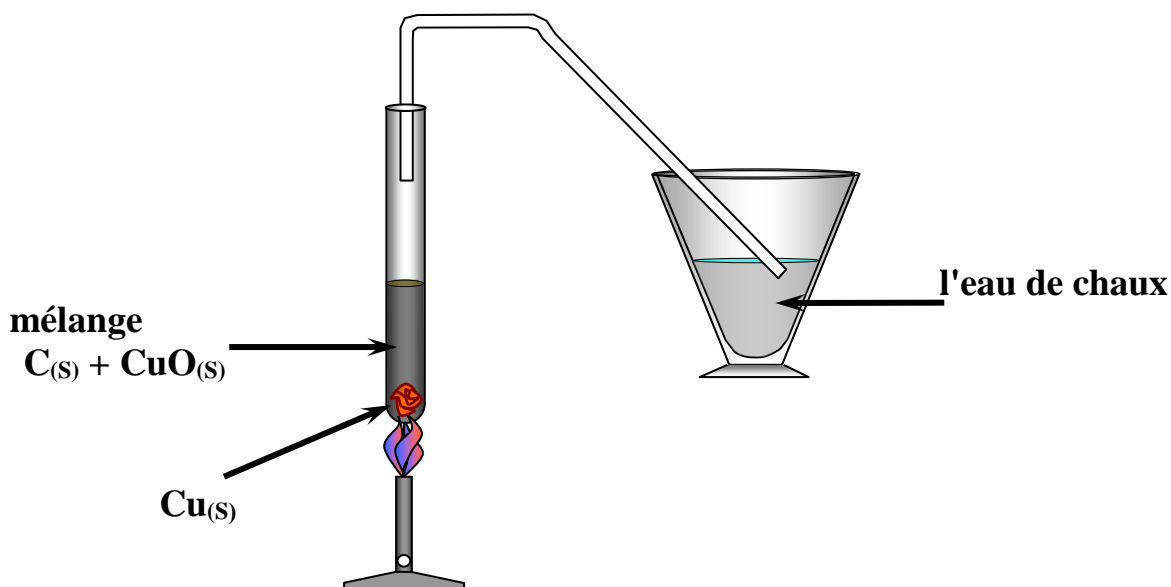
4. Chauffage de l'hydroxyde de cuivre (II) :

Le précipité d'hydroxyde de cuivre noircit (obtention de CuO)



5. Action du carbone sur l'oxyde de cuivre CuO :

Mélanger intimement une spatule de poudre de carbone et une spatule de poudre d'oxyde de cuivre (II) sur un morceau de papier. Le mélange devient incandescent. On obtient un dépôt de cuivre sur les parois du tube.



IX) Structure électronique d'un atome :

1) Les couches électroniques :

Les électrons d'un atome sont liés au noyau par une force d'attraction électrique entre charges de signes opposés. Pour arracher les électrons du noyau, il faut fournir de l'énergie à l'atome. L'expérience montre que certains électrons sont plus faciles à arracher que d'autres, donc tous les électrons d'un atome ne sont pas « *identiques* » : certains sont plus liés au noyau que d'autres ; l'attraction électrique vis-à-vis du noyau est plus forte.

Au cours du XX^{ème} siècle, fut élaboré un modèle de l'atome permettant d'interpréter la formation des ions monoatomiques et des molécules basées sur la répartition des électrons par couches électroniques.

On nomme chaque couche par lettre de l'alphabet, telle que :

- K pour la première couche
- L pour la deuxième couche
- M pour la troisième couche
- N pour la quatrième couche (et ainsi de suite)...

Les électrons les plus proches du noyau peuplent la couche K, les électrons plus lointains peuplent la couche L, les électrons encore plus lointain, la couche M ...

2) La répartition électronique :

Dans chaque couche, il y a un nombre maximal d'électrons possible ; si ce nombre est atteint, on dit que la couche est saturée.

| Couche | K | L | M |
|----------------------------|---|---|---|
| Nombre maximal d'électrons | 2 | 8 | 8 |

Nous limiterons notre étude aux éléments de numéro atomique Z inférieur ou égal à 20.

3) La structure électronique :

La structure électronique d'un atome s'obtient en remplissant successivement les couches à partir de la première c'est-à-dire la couche K, puis, lorsqu'elle est saturée, la couche L et ainsi de suite de manière à répartir tous les électrons de l'atome.

A noter que la dernière couche électronique d'un atome est aussi appelée sa couche externe, les autres couches étant appelées couches internes. Les électrons peuplant la couche externe sont appelés électrons périphériques.

Exemple : donne la structure électronique de l'atome de fluor ${}^{19}_9\text{F}$:

$Z = 9$ donc 9 protons soit 9 électrons pour l'atome neutre.

Ce qui donne la répartition électronique :

- 2 électrons dans la couche K (couche remplie ou saturée)
- 7 électrons dans la couche L (couche insaturée)

La structure électronique de l'atome de fluor est alors : $(\text{K})^2(\text{L})^7$

Exercice 5:

Donner la structure électronique des atomes : sodium Na ($Z = 11$) ; calcium Ca ($Z = 20$)
puis celle des ions : sodium Na^+ ($Z = 11$) ; calcium Ca^{2+} ($Z = 20$)

Réponse :

- Sodium Na ($Z = 11$) :

$Z = \dots\dots$ donc $\dots\dots$ protons soit $\dots\dots$ électrons pour l'atome neutre. Ce qui donne la répartition électronique :

- $\dots\dots$ électrons dans la couche K (couche remplie ou saturée)
- $\dots\dots$ électrons dans la couche L (couche remplie ou saturée)
- $\dots\dots$ électron dans la couche M (couche insaturée)

La structure électronique de l'atome de Sodium est alors :

- calcium Ca ($Z = 20$) :

$Z = \dots\dots$ donc $\dots\dots$ protons soit $\dots\dots$ électrons pour l'atome neutre. Ce qui donne la répartition électronique :

- $\dots\dots$ électrons dans la couche K (couche remplie ou saturée)
- $\dots\dots$ électrons dans la couche L (couche remplie ou saturée)
- $\dots\dots$ électrons dans la couche M (couche remplie ou saturée)
- $\dots\dots$ électrons dans la couche N (couche insaturée)

La structure électronique de l'atome de calcium est alors :

- Ion sodium Na^+ ($Z = 11$) :

$Z = \dots\dots$ donc $\dots\dots$ protons soit $\dots\dots$ électrons pour l'ion sodium. Ce qui donne la répartition électronique :

- $\dots\dots$ électrons dans la couche K (couche remplie ou saturée)
- $\dots\dots$ électrons dans la couche L (couche remplie ou saturée)

La structure électronique de l'ion sodium Na^+ est alors :

- Ion calcium Ca^{2+} ($Z = 20$) :

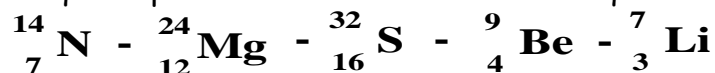
$Z = \dots\dots$ donc $\dots\dots$ protons soit $\dots\dots$ électrons pour l'ion calcium. Ce qui donne la répartition électronique :

- électrons dans la couche K (couche remplie ou saturée)
- électrons dans la couche L (couche remplie ou saturée)
- électrons dans la couche M (couche remplie ou saturée)

La structure électronique de l'ion calcium Ca^{2+} est alors :

Exercice 6:

Donner l'ion monoatomique le plus stable des éléments chimiques suivants :



Exercice 7:

La structure électronique de l'atome de soufre est $(\text{K})^2 (\text{L})^8 (\text{M})^6$. Quel est le numéro atomique de cet atome ?

Exercice 8:

L'ion sulfure possède la même formule électronique que l'atome d'argon Ar ($Z=18$). En déduire la formule de cet ion.

Exercice 9:

Un ion X^{2+} possède 8 électrons sur sa couche externe L. Identifier l'atome X et son ion à l'aide de la liste suivante : O($Z=8$) ; F($Z=9$) ; Ne($Z=10$) ; Na($Z=11$) ; Mg($Z=12$).

Exercice 10: l'atome d'aluminium

Le noyau d'un atome d'aluminium possède 13 protons et 27 nucléons.

- 1) Donner sa représentation symbolique
- 2) Donner la composition de cet atome.
- 3) Donner la structure électronique de cet atome et le nombre d'électrons sur sa couche externe.
- 4) Calculer sa masse approchée
- 5) Donner le nombre d'atomes d'aluminium contenus dans un échantillon de masse $m = 1,00 \text{ g}$
- 6) Le rayon de l'atome d'aluminium est $r = 143 \text{ pm}$. Donne sa valeur en m et en nm

Exercice 11:

On donne la structure électronique d'un atome isolé : $(\text{K})^2 (\text{L})^8 (\text{M})^5$

1. Donner en le justifiant son numéro atomique
2. En déduire la charge de son noyau .
3. Sachant que sa masse est $m = 5,18 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$, déterminer son nombre de nucléons .
4. Retrouver le nom de cet atome et donner sa représentation symbolique .

Exercice 12 :

Un ion X^{2+} possède 8 électrons sur sa couche externe L. Identifier l'atome X et son ion à l'aide de la liste suivante : O(Z=8) ; F(Z=9) ; Ne(Z=10) ; Na(Z=11) ; Mg(Z=12)

Exercice 13 :

La répartition électronique de l'atome de phosphore est : $(K)^2 (L)^8 (M)^5$

1. Combien d'électrons comporte cet atome ?
2. Combien d'électrons sont situés sur la couche externe ?
3. Quel est le numéro atomique de cet atome ? Justifier.

Exercice 14 :

Un anion a pour structure électronique $(K)^2 (L)^8 (M)^8$. Il porte une seule charge élémentaire.

1. Quelle est la structure électronique de l'atome dont il provient ?
2. Identifier l'élément chimique correspondant parmi les éléments suivants : Quel est son nom ?
P (Z=15) ; S (Z=16) ; Cl (Z=17) ; Ar (Z=18).

Exercice 15 :

Dans le tableau périodique des éléments on trouve pour l'aluminium deux valeurs : 27 et 13.

- 1- Donner la valeur et la définition du nombre A pour l'atome d'aluminium.
- 2- Même question pour Z.
- 3- Donner la composition de l'atome d'aluminium.
- 4- Donner la formule électronique de l'atome d'aluminium.
- 5- Donner la composition puis la formule électronique de l'ion aluminium Al^{3+} .

Données : $m_p = m_n = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg

Exercice 16 :

Soit un atome X dont le noyau contient 20 neutrons et a une charge totale égale à $+27,2 \cdot 10^{-19}$ C.

1. Quel est le numéro atomique du noyau ?
2. Quel est le nombre de nucléons A ?
3. Combien cet atome comporte-t-il d'électrons ?
4. Donner le symbole du noyau de cet atome.
5. Donner la structure électronique de l'atome X. Quelle est la couche externe de cet atome ?
Combien y-a-t-il d'électrons périphériques ?
6. Que peut-on dire de cet atome et des suivants dont on donne le couple (Z ; A) : (17 ; 37) et (17 ; 35) ?
7. Quel ion donnera cet atome ? Justifier la réponse. Donner la structure électronique de l'ion.

Données : charge élémentaire $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Partie II: Constitution de la matière

Unité 4 : modèle de l'atome

Objectifs :

Savoirs :

- Connaître la constitution d'un atome
- Savoir que l'atome est électriquement neutre
- Savoir que la masse d'un atome est essentiellement concentré dans son noyau
- Savoir que le numéro atomique caractérise l'élément chimique
- Connaître le symbole de quelques éléments

Savoir-faire

- Connaître et savoir le symbole A_ZX
- Evaluer la masse d'un atome en faisant la somme de celles de ses protons et de ses neutrons
- Savoir interpréter une suite de transformations chimiques en tant que conservation d'un élément.

I. La structure de l'atome

Toute la matière de l'univers est constituée à partir des atomes.

Rappelons que : l'atome est formé d'un noyau chargé positivement entouré d'électrons chargés négativement.

1. Modèle de l'atome

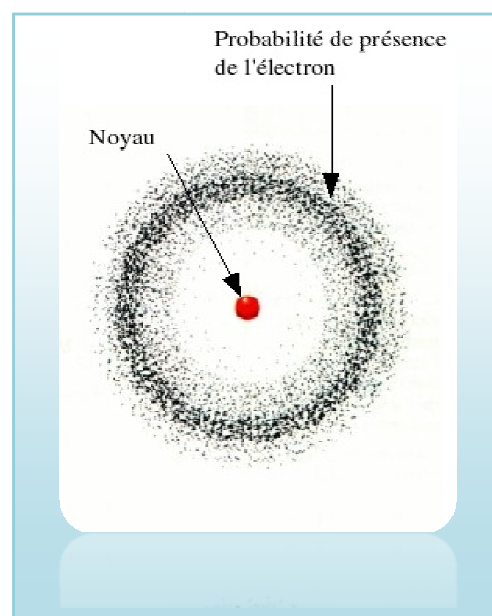
L'atome est représenté par une boule, l'ordre de grandeur de son rayon est 10^{-10} m et son noyau par une boule l'ordre de grandeur de son rayon est 10^{-15} m .

Comparaison entre le rayon de l'atome et le rayon de noyau :

$$\frac{r_a}{r_n} = \frac{10^{-10}}{10^{-15}} = 10^5$$

Le rayon de l'atome est plus grand de 10^5 fois par rapport au celui de noyau.

L'atome est donc constitué essentiellement de vide. On dit que l'atome a une structure lacunaire.



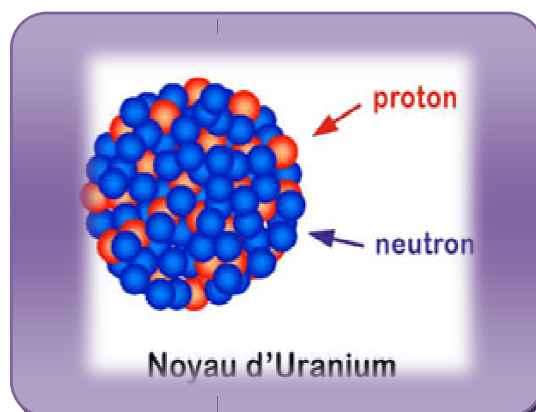
2. Le noyau de l'atome

Le noyau est constitué des particules s'appellent les nucléons.

Les nucléons sont les protons et les neutrons :

- Le proton ; noté p ; est une particule chargée d'électricité positive, sa charge électrique est vaut $q = +e = +1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ (e est la charge élémentaire et C est l'unité de la charge électrique au SI) et sa masse est $m_p \approx 1,673 \times 10^{-27} \text{ Kg}$
 - Le neutron ; noté n ; est une particule électriquement neutre de masse $m_n \approx 1,675 \times 10^{-27} \text{ Kg}$
 - Le nombre de protons que noyau contient s'appelle le numéro atomique représenté par la lettre Z .
 - Le nombre de neutrons dans le noyau est représenté par la lettre N .
 - Le nombre de nucléons d'un noyau est représenté par la lettre A tel que $A = Z + N$
- Représentation conventionnelle du noyau de l'atome (en général l'atome)

Le noyau d'un atome de symbole chimique X est représenté par : ${}^A_Z X$



Exercice résolu :

On considère le noyau représenté par ${}^{24}_{12} \text{Mg}$. Quelle est la composition de ce noyau.

Solution :

Pour ce noyau $Z = 12$ et $A = 24$.

Il comporte donc 12 protons et comme $N = A - Z = 12$ neutrons.

3. Electrons

L'électron ; noté e^- ; est une particule chargée d'électricité négative sa charge $q = -e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ et sa masse $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ Kg}$

La charge élémentaire e est la valeur absolue de la charge d'électron, il est considéré comme la charge la plus petite que l'on puisse envisager.

La charge $+Ze$ du noyau (Z protons) est compensée par la charge $-Ze$ des électrons.

Donc l'atome contient Z électrons dans son cortège électronique.

Physique et histoire

Les nucléons

- En 1919, Ernest Rutherford a donné le nom de proton au noyau de l'atome d'hydrogène.
- En 1932, James Chadwick a découvert le neutron.
- En 1932, Werner Heisenberg a fait l'hypothèse que les noyaux atomiques sont formés de protons et de neutrons

4. Masse de l'atome

La masse de l'atome est la somme de masses de tous ses compositions.

$$m\left({}_Z^AX\right) = Z \times m_p + (A - Z) \times m_n + Z \times m_e$$

On néglige la masse d'électron devant la masse de proton $m_e \ll m_p$.

On dit alors que la masse de l'atome est pratiquement égale à celle de son noyau (la masse d'un atome est concentré au noyau)

Puisque $m_p \approx m_n$, on écrit :

$$\begin{aligned} m\left({}_Z^AX\right) &= Z \times m_p + (A - Z) \times m_n \\ &= A \times m_p \end{aligned}$$

Exercice résolu : Calculer la masse de l'atome de cuivre ${}_{29}^{63}\text{Cu}$

solution :

$$m\left({}_{29}^{63}\text{Cu}\right) = 63 \times m_p = 63 \times 1,673 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$m\left({}_{29}^{63}\text{Cu}\right) = 1,054 \times 10^{-25} \text{ Kg}$$

II. L'élément chimique

1. Les isotopes

Les atomes isotopes d'un élément chimique sont les ensembles d'atomes caractérisés par le même numéro atomique Z et de nombre de nucléons A différents (i.e. nombre de neutrons différent).

Exemples : ${}^1_6\text{C}$; ${}^{13}_6\text{C}$; ${}^{14}_6\text{C}$ isotopes d'élément de carbone

| Isotopes | ${}^{12}_6\text{C}$ | ${}^{13}_6\text{C}$ | ${}^{14}_6\text{C}$ |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Abondance isotopique naturelle | 98,9% | 1,1% | Très faible |

Abondance isotopique est le pourcentage de la masse de chaque isotope dans un mélange naturelle de l'élément chimique.

2. Les ions monoatomiques

- Les ions monoatomiques s'obtiennent à partir des atomes par perte ou gain d'un ou plusieurs électrons.

Cours de chimie de tronc commun scientifique et technologie

- Un atome qui perd des électrons acquiert une charge positive, il se forme un ion positif s'appelle cation : ex. Na^+ ; K^+ ; Ca^{2+} ...
- Un atome qui gagne des électrons acquiert une charge négative, il se forme un ion négative s'appelle anion : ex. F^- ; Cl^- ; O^{2-}

3. L'élément chimique

On donne le nom d'élément chimique à l'ensemble des particules (isotopes et ions monoatomique) caractérisées par le même numéro atomique Z et son symbole chimique.

Au cours des transformations chimique il y a conservation de l'élément chimique.

III. Répartition électronique

Les électrons des atomes de numéro atomique comprise entre 1 et 18 ($1 \leq Z \leq 18$) se répartissent dans des couches électronique représenter par les lettres : K, L et M.

Les règles de remplissage des couches électroniques :

- Une couche électronique ne peut contenir qu'un nombre limité d'électrons.
 - Le nombre maximum d'électron dans les couches est :
 - 2 électrons dans la couche K.
 - 8 électrons dans la couche L.
 - 8 électrons dans la couche M.
 - La couche qui contient le nombre maximum d'électron qu'elle peut recevoir porte le nom couche saturée et dans les autres cas porte le nom de couche non saturée.
- Les électrons se plaçant d'abord dans la couche K puis, quand celle-ci est saturée, ils remplissent la couche L. quand la couche L est saturée, ils remplissent la couche M.

Exercice d'application :

Le numéro atomique de l'élément soufre est : $Z = 16$

- Ecrire la répartition des électrons de l'atome de soufre.
- Indiquer la (ou les) couche(s) interne(s) et la couche externe.
- Combien d'électrons l'atome de soufre a-t-il dans sa couche externe.
- Refaire la même question pour les éléments de aluminium Al son numéro atomique $Z=13$ et d'oxygène O son numéro atomique $Z=8$.

Deuxième Partie :
constituants de la
matière

Unité 4

4 H

نموذج الذرة

Le modèle de l'atome

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الاسلام عليكم ورحمة الله وبركاته

Tronc Commun
Chimie

I – L'évolution historique du modèle de l'atome:

1 – Activité :


Dès l'**Antiquité**, les premiers "scientifiques" **grecs** croyaient que la matière était constituée de quatre éléments : la **terre**, l'**air**, l'**eau** et le **feu**. Cette théorie **quoique simple** était le résultat d'**observations** de philosophes tels que **Thalès** et **Empédocle** lors de la **combustion** d'un morceau de **bois** « pendant la combustion, il y a production de **fumée** (air), de **vapeur d'eau** (eau) et de **cendre** (terre) ».

La **théorie atomique** la plus originale de l'époque fut proposée au V^e siècle Avant la naissance de Jésus par **Démocrite**. Ce savant philosophe énonça que la matière était constituée des particules **infiniment petites** et **indivisibles** appelées *atomos*. Entre ces particules existait un **espace vide**: la matière était donc **discontinue**. **Démocrite** n'étant pas un philosophe **très populaire** en son temps, sa théorie ne trouva aucun appui et elle fut donc **rejetée** au profit d'une théorie de la **continuité** de la matière proposée par **Aristote**.

Aristote s'appuyait sur le concept des **quatre éléments** de base de **Thalès** et affirmait que les atomos **ne pouvaient exister** puis quels sont invisibles à ses yeux. La **conception aristotélicienne** de la matière reçut l'appui des **religieux** de l'époque et traversa les siècles qui suivirent jusqu'au 18^{ème} Vers le **15^e siècle**, des savants commencèrent à progresser dans la connaissance de la matière et à mettre en **doute** les concepts aristotéliciens du monde et de la matière.


Lorsqu'en 1803 le chimiste britannique **John Dalton** (1766-1844) étudia les **réactions chimiques**, il fonda sa théorie sur l'existence de petites particules insécables, les **atomes**. La **théorie atomique de Dalton** ne fut pas **acceptée** tout de suite dans la communauté scientifique. Elle ne découlait pas d'une **observation expérimentale directe** comme les lois physiques, elle était plutôt le fruit d'une **déduction logique**. Personne n'avait jamais **vu d'atomes... alors comment y croire ?**

Sir **Joseph John Thomson** (1856-1940) physicien anglais, reçut en 1906 le **prix Nobel de physique** pour son travail sur la **conduction de l'électricité par les gaz**. S'appuyant sur les travaux du britannique **Crookes** (1832-1919), **Thomson** est à l'origine de la découverte de l'**électron** par ses expérimentations sur les **flux de particules** (électrons)



DEMOCRITE
IV^{ème} siècle AVJC

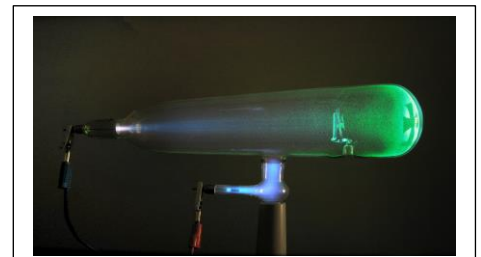
La matière est constituée de corpuscules invisibles à cause de leur extrême petitesse, indivisibles et éternels.



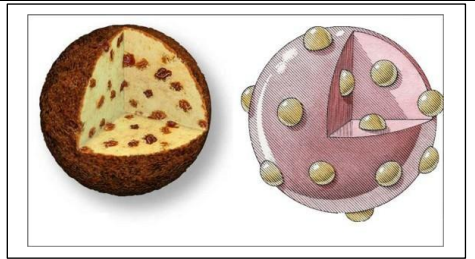
ARISTOTE
IV^{ème} siècle AVJC

Mais non ! On sait tous que la matière est constituée des quatre éléments: l'eau, la terre, le feu et l'air...

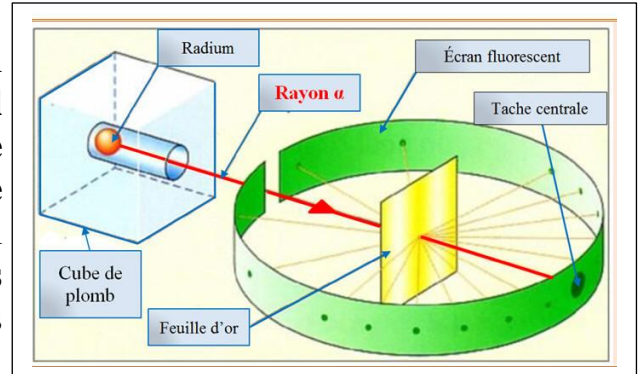
| ELEMENTS | | | |
|------------|----|-----------|-----|
| Hydrogen | 1 | Strontian | 46 |
| Azote | 5 | Barytes | 68 |
| Carbon | 5 | Iron | 56 |
| Oxygen | 7 | Zinc | 56 |
| Phosphorus | 9 | Copper | 56 |
| Sulphur | 13 | Lead | 90 |
| Magnesia | 20 | Silver | 190 |
| Linie | 24 | Gold | 190 |
| Soda | 28 | Platina | 190 |
| Potash | 42 | Mercury | 167 |



créés par des **rayons cathodiques**. Théoricien et expérimentateur, Thomson avança en 1898 la théorie du « **plum-pudding** » ou « **pain aux raisins** » sur la **structure atomique**, dans laquelle les électrons sont considérés comme des « **raisins** » **négatifs enfoncés** dans un « **pain** » de **matière positive**. On appelle souvent le **modèle de Thomson**.

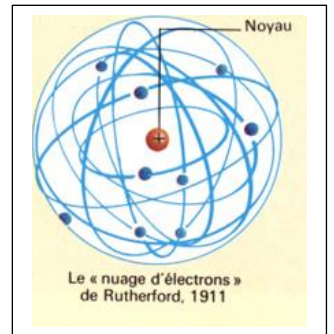


Lord **Ernest Rutherford** (1871-1937) physicien britannique, fut, en 1908, lauréat du **prix Nobel** de chimie pour ses découvertes sur la **structure de l'atome**. En bombardant une mince **feuille d'or** avec des **particules alpha** (chargées), il observa que **la plupart des particules** traversaient la feuille **sans être déviées**, alors que **certaines** (1/30000) étaient **détournées**.



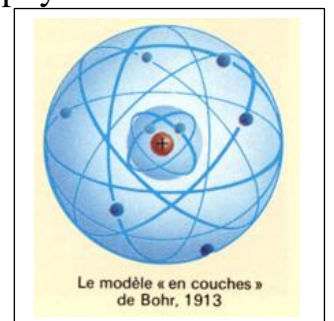
Le **nouveau modèle de l'atome** avait les caractéristiques suivantes :

- **L'atome est surtout constitué de vide** (la plupart des particules traversent la feuille d'or comme s'il n'y avait pas d'obstacle)
- Au **centre de l'atome** doit se trouver une **masse importante positive** (que Rutherford appela **noyau**) puisque les particules sont **déviées** en traversant la feuille d'or (les mêmes charges se **repoussent**). Ce noyau doit être **extrêmement petit et dense** puisqu'une très petite proportion des particules rebondit directement. **L'atome est neutre**, il y a autant de **charges positives** que de **charges négatives**. *Les charges négatives gravitent autour du noyau comme les planètes autour du soleil* dont le **diamètre d'atomes** est supérieur à **100 000 fois** le **diamètre** de leurs **noyaux**.



Le **modèle de Rutherford** fut **modifié** par Niels **Bohr** (1885-1962) physicien danois afin de le **rendre conforme** aux **nouvelles découvertes**.

Bohr obtint le **prix Nobel** en 1922, pour sa contribution à la **physique nucléaire** et à la compréhension de la **structure atomique**. Son travail s'inspira du **modèle nucléaire** de l'atome de **Rutherford**, dans lequel *l'atome est considéré comme un noyau compact entouré d'un essaim (سرب) d'électrons* dans des **orbites circulaires** qui sont **distribuées** en discontinuités.



Cependant, ce modèle a été **largement critiqué** : sur la base des recherches de **Schrödinger** (1887-1961) et **De Broglie** (1892-1987), le **modèle actuellement adopté** de l'atome est *un noyau chargé positivement entouré par un nuage électronique*.

a- Qui a découvert l'électron ?

En 1897, Thomson découvre le premier composant de l'atome, particule de charge électrique négative : c'est l'électron .

b- Quel est le modèle d'atome proposé par J.J. Thomson ?

En 1904, le premier modèle d'atome, surnommé depuis "le pudding de Thomson".

Il imagine l'atome comme une sphère remplie d'une substance électriquement positive et fourrée d'électrons négatifs "**comme des raisins dans un cake**".

c- Que déduit Rutherford de son expérience ?

Rutherford déduit que :

- ⊕ L'atome est surtout constitué de **vide** (la plupart des particules traversent la feuille d'or comme s'il n'y avait pas d'obstacle).
- ⊕ Au **centre de l'atome** doit se trouver une **masse importante positive** (que Rutherford appela **noyau**) puisque les particules sont déviées en traversant la feuille d'or (les **mêmes charges se repoussent**). Ce noyau doit être extrêmement **petit** et **dense** puisqu'une très petite proportion des particules rebondit directement.

d- Quel est le modèle d'atome proposé par Rutherford ?

L'atome est **neutre**, il y a autant de charges positives que de charges négatives. Les **charges négatives** gravitent autour du **noyau** comme **les planètes** autour du **soleil**.

2- Résumé :

↳ **Démocrite** (vers 460-370 av. J.-C.) est pensait que la matière était composée de minuscules particules **indivisibles** et **invisibles** (atomes : qu'on ne peut diviser). **Sa théorie** n'était basée que sur des **hypothèses**.

↳ **Joseph Dalton**, en 1808, savait que la masse **se conservait** au cours d'une **réaction chimique** et pour expliquer ce fait il pose les hypothèses suivantes :

- la matière est constituée d'**atomes identiques**.
- Les éléments chimiques se différencient par des atomes de **masses différentes**.

↳ **J.J. Thomson**, en 1897 découvre le premier composant de l'atome : l'**électron**, particule de charge électrique **négative**.

↳ En 1904, premier modèle d'atome, surnommé depuis "**le pudding de Thomson**".

Il imagine l'atome comme une **sphère** remplie d'une substance électriquement **positive** et fourrée d'électrons **négatifs** "**comme des raisins dans un cake**".

↳ En 1910, **Ernest Rutherford** met au point une expérience (bombardement d'une très fine feuille d'or) qui lui permet de conclure que :

- L'existence d'un très petit **noyau** situé au centre de l'atome, qui est **chargé positivement** et contient la **majorité de la masse** de l'atome.
- l'**atome** ressemble au **système soleil** et les planètes où des **électrons** tournent autour d'un **noyau** (le soleil).
- le **noyau** contient des **protons positifs**, et les **électrons** sont **négatifs** .

Donc la **matière** est caractérisée par une **structure lacunaire** tel que $\frac{d_A}{d_N} = 10^5$.

↳ 1913 - Modèle de **Bohr** : les **électrons** tournent autour du **noyau** dans des **orbites circulaires** qui sont **distribuées en discontinuités**; il explique les **spectres de raies**.

↳ En 1932, **Chadwick** découvre le **neutron**.

le **noyau** est composé de **nucléons**. Ces nucléons sont de deux sortes :

- de charge **positive**, c'est un **proton**.
- de charge **neutre**, c'est un **neutron** .

↳ Les chercheurs récents (**Schrödinger**) ont découvert qu'il est **impossible de connaître précisément la position des électrons** : ils n'ont pas de **trajectoire** bien définie. Les électrons forment un **nuage électronique**.

II – Structure de l'atome :

1 – Les électrons :

Un **électron** e^- est une **particule** très peu massive ($m_{e^-} = 9,109.10^{-31}kg$) et pourvue d'une **charge électrique négative** de $q_{e^-} = -e = -1,6.10^{-19}C$ avec e la **charge élémentaire** tel que : $e = 1,6.10^{-19}C$.

Le **Coulomb** est l'unité de charge électrique dans (SI).

2 – Le noyau :

Il est constitué de **particules élémentaires** : les **protons** P et les **neutrons** n désignés sous le nom de **nucléons**.

Le **proton** P est une particule élémentaire de masse ($m_p = 1,673.10^{-27}kg$) et porte une **charge électrique positive** de même valeur absolue que celle de l'électron ($q_p = e = 1,6.10^{-19}C$).

Le **neutron** n est une particule élémentaire de masse ($m_n = 1,675.10^{-27}kg$) et électriquement **neutre** $q_n = 0 C$.

3 – Notation symbolique du noyau :

On convient de représenter le noyau d'un atome (et lui-même) par le symbole :

$$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X \quad \text{tel que} \quad \begin{cases} A : \text{Nombre de nucléons} \\ Z : \text{Numéro atomique} \end{cases} \quad \text{avec :}$$

- X représente un **élément chimique**.
- Z (**numéro atomique** ou **nombre de charge**) représente le **nombre de protons** dans le noyau d'un atome.
- A (**nombre de nucléons** ou **nombre de masse**) représente la **somme du nombre de protons et de neutrons** du noyau de l'atome.

Remarque : Si l'on note N le **nombre de neutrons** du noyau, alors : $N = A - Z$.

EXEMPLE :

| L'atome | Symbole | numéro atomique Z | nombre de nucléons A | nombre de neutrons N |
|-------------|------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Hydrogène H | 1_1H | 1 | 1 | 0 |
| Sodium Na | ${}^{23}_{11}Na$ | 11 | 23 | 12 |
| Lithium Li | 7_3Li | 3 | 7 | 4 |
| Carbone C | ${}^{12}_6C$ | 6 | 12 | 6 |

4 – Neutralité électrique (ou électroneutralité) de l'atome :

L'ATOME EST UN ÉDIFICE (مبنى) ÉLECTRIQUEMENT NEUTRE.

Le **noyau** comporte Z **protons** de charge électrique e . Sa **charge électrique totale** est donc $Q_{\text{noyau}} = +Z.e$.

Le **nuage électronique** comporte Z **électrons** de charge électrique $-e$. Sa **charge électrique totale** est $Q_{\text{nuage}} = -Z.e$.

De telle sorte que la **charge électrique totale** de l'atome est **nulle**.

$Q_{\text{atome}} = Q_{\text{noyau}} + Q_{\text{nuage}} = +Z.e - Z.e = 0 C$ Z représente donc aussi le nombre d'électrons de l'atome

5 – Masse de l'atome :

La **masse de l'atome** est la somme de la masse de ses différents constituants :

$m(A) = Zm_p + (A - Z)m_n + Zm_{e^-}$. Si on **néglige** la masse des électrons devant celle des protons (soit $m_p \approx m_n \approx 1836 m_{e^-}$) alors la **masse approchée de l'atome** est égale à : $m(\text{atome}) \approx m(\text{noyau}) \approx Am_{\text{nucléon}}$

LA MASSE DE L'ATOME EST CONCENTRÉE DANS SON NOYAU.

EXEMPLE :

| Atome | Symbole | Z | A | Masse de l'atome en Kg |
|--------|-------------------------|----|----|--|
| Chlore | ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ | 17 | 35 | $m(\text{Cl}) \approx 35 \times 1,67 \cdot 10^{-27} = 5,84 \cdot 10^{-26}$ |
| Cuivre | ${}^{63}_{29}\text{Cu}$ | 29 | 63 | $m(\text{Cu}) \approx 63 \times 1,67 \cdot 10^{-27} = 1,05 \cdot 10^{-25}$ |

6 – Dimension de l'atome :

Le **noyau** est assimilé à une **boule dense** constituée des **nucléons** et dont son **rayon r_N** est de l'ordre de $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$.

L'**atome** est assimilé à une **sphère** dont son **rayon r_A** est voisin de celui des orbites décrites par les électrons en mouvement, r_A est de l'ordre de $0,1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$.

Le rapport du rayon de l'atome au rayon du noyau est :

$$\frac{r_A}{r_N} = \frac{10^{-10}}{10^{-15}} = 10^5$$

L'**atome** est essentiellement constitué de **vide**. Ce qui explique sa structure **lacunaire**.

III – L'élément chimique :

1 – Isotopes :

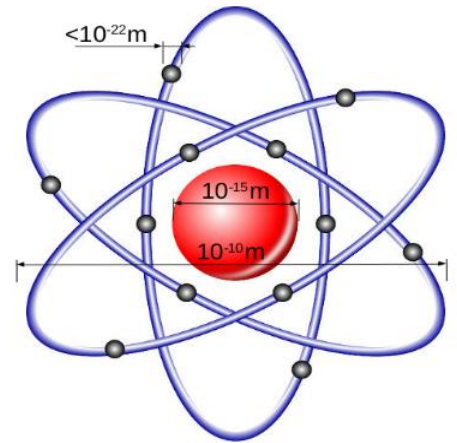
On appelle atomes isotopes les ensembles d'atomes caractérisés par le même numéro atomique Z et des nombres de nucléons A différents. Ce sont donc des ensembles d'atomes qui ne diffèrent que par le nombre de leurs neutrons.

L'**abondance naturelle** est le pourcentage en nombre d'atomes de chacun des isotopes tel que trouvé dans la nature.

| Nom d'isotope | Z | Symbole | Abo. natu | Nom d'isotope | Z | Symbole | Abo. natu |
|---------------|---|------------------|-------------|---------------|---|---------------------|-------------|
| Hydrogène 1 | 1 | ${}^1_1\text{H}$ | 99,98% | Carbone 12 | 6 | ${}^{12}_6\text{C}$ | 98,9% |
| Hydrogène 2 | 1 | ${}^2_1\text{H}$ | 0,02% | Carbone 13 | 6 | ${}^{13}_6\text{C}$ | 1,1% |
| Hydrogène 3 | 1 | ${}^3_1\text{H}$ | $10^{-4}\%$ | Carbone 14 | 6 | ${}^{14}_6\text{C}$ | Très faible |

2 – Ions monoatomique :

Un **ion monoatomique** est un atome qui a **perdu** ou **gagné** un (ou plusieurs) **électron(s)**. L'ion positif est appelé **cation** et L'ion négatif est appelé **anion**.



EXEMPLE :

| Ion | Atome | Charge d'ion | Z | A | N | Nbre d'e ⁻ |
|--|-------------------------|--------------|----|----|----|-----------------------|
| Sodium ${}^{23}_{11}\text{Na}^+$ | ${}^{23}_{11}\text{Na}$ | +e | 11 | 23 | 12 | 10 |
| Cuivre I ${}^{63}_{29}\text{Cu}^+$ | ${}^{63}_{29}\text{Cu}$ | +e | 29 | 63 | 34 | 28 |
| Cuivre II ${}^{63}_{29}\text{Cu}^{2+}$ | ${}^{63}_{29}\text{Cu}$ | +2e | 29 | 63 | 34 | 27 |
| Aluminium ${}^{27}_{13}\text{Al}^{3+}$ | ${}^{27}_{13}\text{Al}$ | +3e | 13 | 27 | 14 | 10 |
| Fluorure ${}^{18}_9\text{F}^-$ | ${}^{18}_9\text{F}$ | -e | 9 | 18 | 9 | 10 |
| Chlorure ${}^{35}_{17}\text{Cl}^-$ | ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ | -e | 17 | 35 | 18 | 18 |
| Sulfure ${}^{32}_{16}\text{S}^{2-}$ | ${}^{32}_{16}\text{S}$ | -2e | 16 | 32 | 16 | 18 |
| Nitruure ${}^{14}_7\text{N}^{3-}$ | ${}^{14}_7\text{N}$ | -3e | 7 | 14 | 7 | 10 |

Remarque :

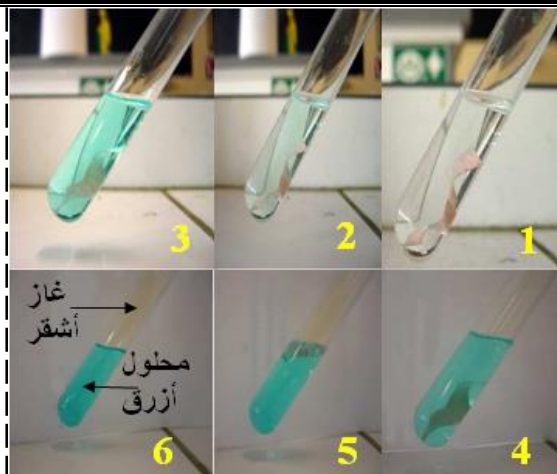
Composés ioniques est électriquement neutre, c'est-à-dire qu'il contient autant de charges positives apportées par les cations que de charges négatives apportées par les anions. Le nom de composé ionique est consisté d'un nom d'anion en premier, suivi du cation.

| Les Ions | Nom de Composés ioniques | Formule chimique |
|------------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Na^+, Cl^- | Chlorure de sodium | NaCl |
| $\text{Cu}^+, \text{O}^{2-}$ | Oxyde de cuivre I | Cu_2O |
| $\text{Cu}^{2+}, \text{S}^{2-}$ | Sulfure de cuivre II | CuS |
| $\text{Cu}^{2+}, \text{NO}_3^-$ | Nitrate de cuivre II | $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ |
| $\text{Al}^{3+}, \text{SO}_4^{2-}$ | Sulfate d'Aluminium | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ |
| $\text{Ca}^{2+}, \text{F}^-$ | Fluorure de calcium | CaF_2 |

3 – L'élément chimique :**3-1- Activité :****Exp 1: Effet de l'acide nitrique (HNO₃) sur le cuivre métallique.**

Placer un morceau de tournure de cuivre Cu dans un tube à essai et on ajoute, sous la hotte, la solution d'acide nitrique ($\text{H}^+, \text{NO}_3^-$) et après un temps, nous remarquons :

- * La libération d'un gaz toxique de couleur roux c'est le dioxyde d'azote NO_2 .
- * La solution prend la couleur bleue.
- * La disparition totale du tour de cuivre lors de l'ajout d'une quantité suffisante d'acide nitrique.

**Exp2 : Précipitation de l'élément chimique formé lors de la 1^{ère} expérience.**

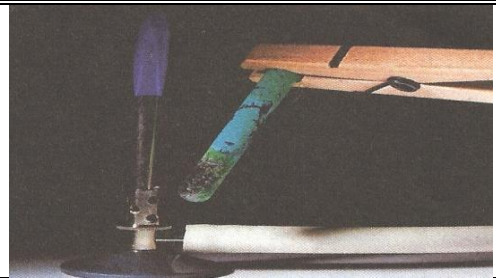
Dans un tube à essai, on met une quantité de la solution obtenue dans l'expérience précédente (solution de nitrate de cuivre II) et on ajoute une petite quantité de solution d'hydroxyde de sodium (Na^+, HO^-).

Nous remarquons : Un précipité bleu, c'est l'hydroxyde de cuivre II $\text{Cu}(\text{OH})_2$.



Exp 3: Retirer l'eau de l'hydroxyde de cuivre II.

On Filtre le **précipité** obtenu à l'expérience 2 à l'aide de **papier filtre** puis on met le **corps obtenu** $Cu(OH)_2$ dans un **tube à essai** et on le **chauffe**.
Nous remarquons : La **formation** d'un **corps noircit solide**, c'est l'**oxyde de cuivre II** CuO .

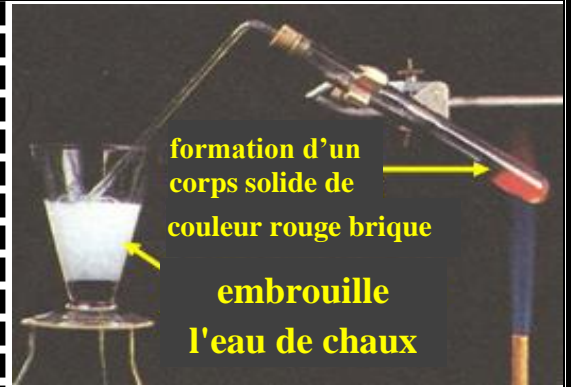
**Exp 4 : Réaction de l'oxyde de cuivre II avec du carbone.**

Nous chauffons un mélange de CuO obtenu dans l'expérience 3 et le **carbone C** dans un **tube à essai**.

Nous remarquons :

* La **libération** de gaz incolore **embrouille l'eau de chaux**.

* La **formation** d'un **corps solide** de couleur **rouge brique**.



a- Quelle est la **couleur** du métal de cuivre ? **Décrire** ce qui arrive au cuivre dans l'expérience 1.

Le **métal de cuivre** est caractérisé par le couleur **rouge-orangée**. La **disparition totale** de cuivre métallique et l'**apparition de la couleur bleue** indiquent la transformation du **cuivre métallique** en **ion de cuivre II**.

b- Identifier l'**élément chimique** mis en évidence par l'indicateur dans l'expérience 2, **décrire** ce qui arrive au cuivre dans l'expérience 2.

La **formation** d'un **précipité bleu** (l'hydroxyde de cuivre II $Cu(OH)_2$) indique que l'**ion de cuivre II** est présent dans **la solution** et que le **cuivre** est **converti** de l'ion de cuivre II **en solution** à l'ion de cuivre II dans le **complexe ionique hydroxyde de cuivre II** $Cu(OH)_2$.

c- Expliquer l'effet du **chauffage** sur l'**hydroxyde de cuivre II** $(OH)_2$, qui est transformé en **oxyde de cuivre II** CuO .

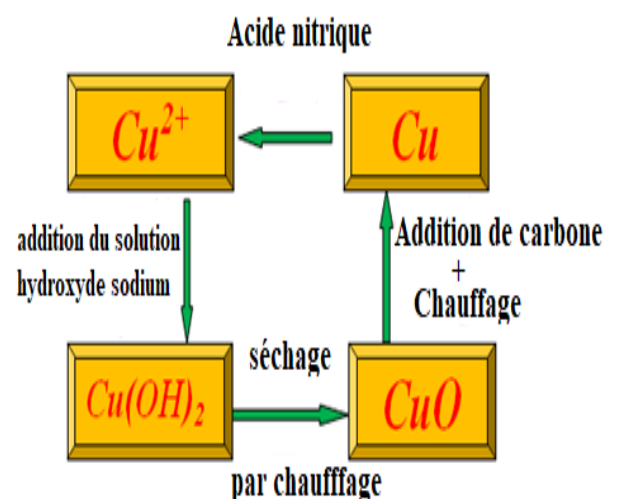
Le **chauffage** a conduit à l'**élimination de l'eau** de l'hydroxyde de cuivre II $Cu(OH)_2$.

d- Qu'est-ce qui montre l'embrouille d'eau de chaux ? Quel est le corps rouge brique formé ?

Embrouille de l'eau de chaux indique la **formation de dioxyde de carbone** CO_2 et le corps de couleur **rouge brique formé** est le **métal de cuivre** .

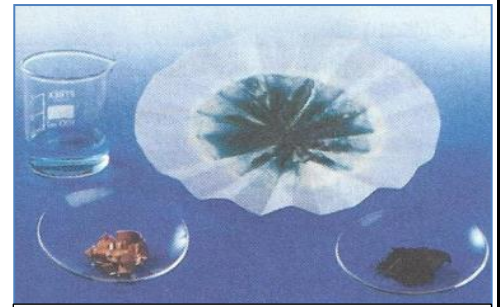
e- Compléter le schéma suivant, que déduisez-vous à travers ces transformations successives?

Au cours de ces **transformations** successives, l'**élément en cuivre** a été **conservé** malgré l'**aspect différent**.



3-2- Résumé :

- Un **élément chimique** est l'ensemble des particules (atome isolé, molécule, ion...) caractérisés par un **nombre défini de protons Z** dans leur noyau.
- Au cours des **transformations chimiques**, il y a un changement dans l'**identité des objets réactifs** sans modification des **éléments chimiques**. En général, nous disons, **les éléments chimiques sont conservés au cours des transformations chimiques**.



Différents aspects de l'élément en cuivre

Antoine Laurent de Lavoisier
«**Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme**»

III – Répartition des électrons d'un atome :**1 – Couches électroniques :**

Les électrons d'un atome se **répartissent** dans des **couches électroniques**. Chaque **couche électronique** est repérée par une lettre **K, L, M** pour les atomes $Z \leq 18$.

2 – Règles de remplissage des couches électroniques :

Première règle : Une **couche électronique** ne peut contenir qu'un **nombre limité** d'électrons.

- ✓ La **couche K** (première couche) peut contenir un maximum de **2** électrons.
- ✓ La **couche L** (deuxième couche) peut contenir un maximum de **8** électrons.
- ✓ La **couche M** (troisième couche) peut contenir un maximum de **8** électrons (seulement pour les éléments tels que $Z \leq 18$).

Deuxième règle : Le **remplissage** des couches électroniques s'effectue en **commençant** par la couche K. Lorsqu'elle est **saturée** on remplit la couche L et ainsi de suite.

REMARQUE : Lorsqu'une couche est **pleine** on dit qu'elle est **saturée**.

3 – Structure électronique de l'atome :

Définition : La **structure électronique de l'atome décrit la distribution des électrons de cet atome dans différentes couches**.

La **structure électronique** est composée des **lettres** correspondant aux **couches K, L, M**. Les **lettres** sont écrites **entre parenthèse**. On **indique le nombre d'électrons** qu'elles contiennent en **exposant haut à droite**.

REMARQUE :

- La **dernière couche** de la structure électronique contenant des électrons est appelée la **couche externe**.
- Les **autres couches** occupées par des électrons sont nommées **couches internes**.
- Les **couches externes** jouent un grand rôle dans la **chimie**, car ce sont elles qui **entrent dans les réactions** et contiennent des électrons appelés **électrons de valence**.

| L'atome ou l'ion | Z | Structure électronique |
|---------------------------------|----|--|
| Hydrogène 1_1H | 1 | (K) ¹ |
| Sodium ${}^{23}_{11}Na$ | 11 | (K) ² (L) ⁸ (M) ¹ |
| Lithium ${}^7_3Li^+$ | 3 | (K) ² |
| Fluorure ${}^{18}_9F^-$ | 9 | (K) ² (L) ⁸ |
| Aluminium ${}^{27}_{13}Al^{3+}$ | 13 | (K) ² (L) ⁸ |
| oxyde ${}^{16}_8O^{2-}$ | 8 | (K) ² (L) ⁸ |
| Chlore ${}^{35}_{17}Cl$ | 17 | (K) ² (L) ⁸ (M) ⁷ |
| Magnésium ${}^{24}_{12}Mg^{2+}$ | 12 | (K) ² (L) ⁸ |

Géométrie de quelques molécules

I – Règles de duet et de l'octet :

1-Structure des gaz rares :

| Atome | Numéro atomique | Structure électronique | Couche externe |
|------------------|-----------------|------------------------|----------------|
| <i>He</i> Hélium | $Z = 2$ | $(K)^2$ | $(K)^2$ |
| <i>Ne</i> Néon | $Z = 10$ | $(K)^2(L)^8$ | $(L)^8$ |
| <i>Ar</i> Argon | $Z = 18$ | $(K)^2(L)^8(M)^8$ | $(M)^8$ |

Les **gaz rares** (ou gaz inertes) ne participent pas à des transformations chimiques, ils sont chimiquement **stables**, leurs couches externes sont **saturées**.

2-La règle du duet :

Au cours des transformations chimiques, les éléments chimiques de numéro atomiques ($Z \leq 4$) évolue de manière à acquérir la structure électronique de l'hélium, ils ont **deux électrons** sur la couche externe.

3-La règle de l'octet :

Au cours des transformations chimiques, les éléments chimiques de numéro atomiques ($5 \leq Z \leq 18$) évolue de manière à acquérir la structure électronique de de Néon ou de l' Argon. Ils portent **8 électrons** sur leur couche externe.

Exemple :

| L'atome | Structure électronique de l'atome | Structure électronique stable | Formule de l'ion |
|----------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| <i>Li</i> : $Z = 3$ | $(K)^2(L)^1$ | $(K)^2$ | <i>Li</i> ⁺ |
| <i>Mg</i> : $Z = 12$ | $(K)^2(L)^8(M)^2$ | $(K)^2(L)^8$ | <i>Mg</i> ²⁺ |
| <i>F</i> : $Z = 9$ | $(K)^2(L)^7$ | $(K)^2(L)^8$ | <i>F</i> ⁻ |
| <i>O</i> : $Z = 8$ | $(K)^2(L)^6$ | $(K)^2(L)^8$ | <i>O</i> ²⁻ |

II-La représentation de Lewis d'une molécule :

1-La molécule :

La **molécule** est des assemblages des atomes attachés les unes des autres. La molécule est **stable** et électriquement **neutre**.

2-Liaison de covalente simple :

Une **liaison covalente** simple est la mise en commun de **deux électrons** entre deux atomes, le doublet commun est appelé **doublet liant** (chaque atome y participe par un électron).

Remarque :

On représente La liaison covalente par un trait (-) entre les symboles de deux atomes.

Exemples :

Liaison covalente **simple** : $H - H$

Liaison covalente **double** : $O = O$

Liaison covalente **triple** : $N \equiv N$

3- La représentation de Lewis d'une molécule :

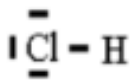
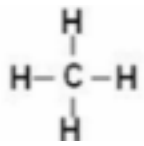
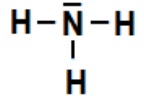
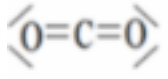
La **représentation de Lewis** d'une molécule est une **représentation des atomes** et de tous **les doublets d'électrons** (liants et non-liants) de cette molécule.

Méthode de détermination de la représentation de Lewis d'une molécule :

- ❖ Ecrire la **structure électronique** de chaque atome.
- ❖ Déterminer le **nombre global n_t** d'électrons de **couches externes** de chaque atome dans la molécules.
- ❖ Déterminer le **nombre global n_d** de doublet d'électrons : $n_d = \frac{n_t}{2}$.
- ❖ Déterminer le **nombre n_L de liaison covalente** que doit établir chaque atome pour acquérir une structure en octet (8-p) ou en duet (2-p) avec p est le nombre d'électrons d'équivalence.
- ❖ Déterminer le **nombre n'_d de doublet non liants** de chaque atome :

$$n'_d = \frac{p-n_L}{2}$$

Exemple : représenter le modèle de Lewis des molécules suivantes

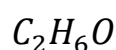
| Molécule | structure électronique | Nombre global d'é | Nombre global de doublet d'é | Nombre de liaison covalente | Nombre de doublet non liants | Représentation de Lewis |
|-----------------------|---|------------------------|------------------------------|-----------------------------|---|---|
| <i>HCl</i> | H : (K) ¹ | $n_t = 1 + 7$ | $n_d = \frac{n_t}{2}$ | H: 2 - 1 = 1 | H: $\frac{1-1}{2} = 0$ Cl: $\frac{7-1}{2} = 3$ |  |
| | Cl: (K) ² (L) ⁸ (M) | $n_t = 8$ | $n_d = 8$ | Cl: 8 - 7 = 1 | H: $\frac{1-1}{2} = 0$ C: $\frac{4-4}{2} = 0$ | |
| <i>CH₄</i> | H : (K) ¹ | $n_t = 4 + 4$ | $n_d = \frac{8}{2}$ | H: 2 - 1 = 1 | H: $\frac{1-1}{2} = 0$ Cl: $\frac{5-3}{2} = 1$ |  |
| | C: (K) ² (L) ⁴ | $n_t = 8$ | $n_d = 4$ | C: 8 - 4 = 4 | C: $\frac{4-4}{2} = 0$ O: $\frac{6-2}{2} = 2$ | |
| <i>NH₃</i> | H : (K) ¹ | $n_t = 3 + 5$ | $n_d = \frac{8}{2}$ | H: 2 - 1 = 1 | H: $\frac{1-1}{2} = 0$ Cl: $\frac{7-1}{2} = 3$ |  |
| | N: (K) ² (L) ⁵ | $n_t = 8$ | $n_d = 4$ | N: 8 - 5 = 3 | H: $\frac{1-1}{2} = 0$ C: $\frac{4-4}{2} = 0$ | |
| <i>CO₂</i> | C: (K) ² (L) ⁴ | $n_t = 4 + 2 \times 6$ | $n_d = \frac{16}{2}$ | C: 8 - 4 = 4 | H: $\frac{1-1}{2} = 0$ Cl: $\frac{5-3}{2} = 1$ |  |
| | O: (K) ² (L) ⁶ | $n_t = 16$ | $n_d = 8$ | O: 8 - 6 = 2 | C: $\frac{4-4}{2} = 0$ O: $\frac{6-2}{2} = 2$ | |

III-Isomères :

1-Les formules des molécules :

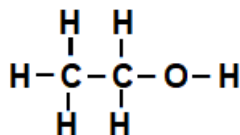
Formules brute : indique le **symbole** et le **nombre** des atomes présents.

Exemple :



Formule développée : elle fait apparaître toutes les atomes et toutes les liaisons entre les atomes de la molécule.

Exemple :



Formule semi-développée : indique les types de liaison entre les atomes principaux.

Exemple :



2-Isomère :

Des **isomères** sont des composés qui ont **mêmes formules brutes** mais des **formules développées différentes** (qui ont des propriétés physiques et chimiques différentes).

Exemple :

La formule brute $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ donne deux isomères :

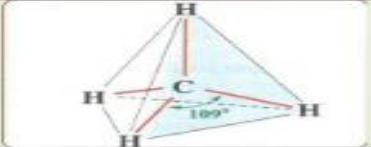

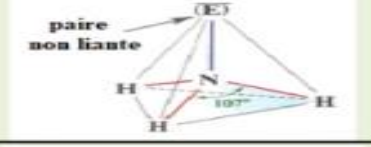

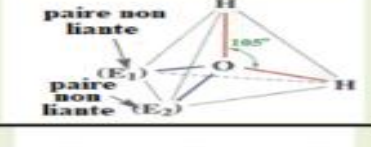


L'éthanol : $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$ et l'oxyde de diméthyle : $\text{CH}_3 - \text{O} - \text{CH}_3$

IV- Géométrie des molécules :

1-Géométrie spatiale des molécules :



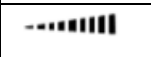
La géométrie de la molécule résulte des répulsions entre les **doublets liants** et **non liants** qui se repoussent au maximum les uns des autres et la molécule prend une certaine **disposition spatiale**.

On trouve un **atome central** relié avec d'autres atomes par des **liaisons covalentes**.

| La molécule | Géométrie | Forme | Modèle moléculaire |
|----------------------|---|----------------|---|
| CH_4 |  | tétraédrique |  |
| NH_3 |  | Pyramide |  |
| H_2O |  | Plane coudée V |  |
| CO_2 | $\text{O} = \text{C} = \text{O}$ | Linéaire |  |

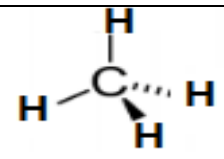
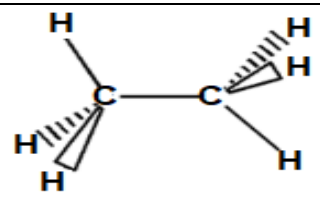
2- Représentation de Cram :

La représentation de Cram donne un aperçu de la configuration spatiale des atomes qui composent une molécule. Elle fait apparaître les liaisons en perspective :

| | |
|---|--|
|  | Liaison située dans le plan de la feuille |
|  | Liaison située en avant du plan de la feuille |
|  | Liaison située en arrière du plan de la feuille |

Exemple :

Molécule de méthane :

| | |
|---------------------------------|---|
| Molécule de méthane CH_4 |  |
| Molécule d'éthane $CH_3 - CH_3$ |  |

Géométrie de quelques molécules

I) liaisons covalentes:

1) Définition de la molécule:

La molécule est un ensemble d'atomes reliés entre eux par une ou plusieurs liaisons chimiques, appelées liaisons covalentes.

2) Type de molécules:

Il y a 3 types de molécules :

- Les molécules des corps simple : H_2 ; N_2 ; O_2 ; O_3
- Les molécules des corps composés : CO_2 ; H_2O ; CH_4 ; HCl ;
- Les macromolécule : glucose $C_6H_{12}O_6$; polymère ;

3) Formule brute :

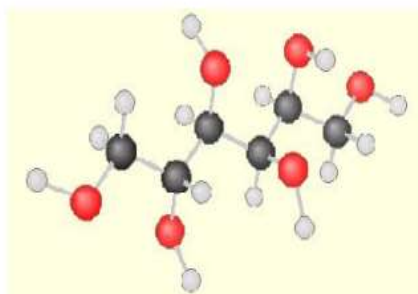
Chaque molécule, ci-dessus, est représenté par les symboles et le nombre d'atomes qui la constituent : c'est la forme la formule brute

La formule brute d'une molécule indique la nature des atomes qui la constituent et le nombre de chacun de ces atomes. Ce nombre est précisé en indice, à droite du symbole des atomes.

Exercice N°1 :

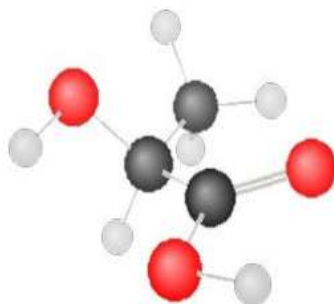
On donne différentes molécules:

(A) Le sorbitol est un édulcorant présent dans certains médicaments

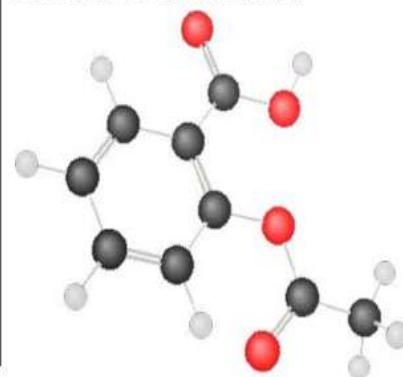


Donner leur formule brute.

(B) L'acide lactique est couramment utilisé comme acidifiant dans l'industrie alimentaire.



(C) L'aspirine est préconisée pour lutter contre la fièvre et les douleurs.



A : B : C :

4) Liaison covalente :

Dans les molécules, les atomes mettent en commun des électrons de leur couche externe. Les électrons mis en commun par deux atomes sont considérés comme appartenant à ces deux atomes.

Une liaison covalente correspond à la mise en commun de deux électrons par deux atomes, chaque atome fournissant un électron. Elle se schématise par un trait, « — ».

Les liaisons covalentes permettent aux atomes de gagner le nombre d'électrons dont ils ont besoin pour satisfaire la règle de l'octet (ou duet).

Enoncés des règles du duet et de l'octet :

□ Règle du duet:

Un atome ou un ion est stable si la couche K correspond à la couche externe et comporte deux électrons.

□ Règle de l'octet:

Un atome ou un ion est stable si la couche L ou la couche M correspond à la couche externe et comporte huit électrons.

Type de liaisons covalentes :

Deux atomes peuvent mettre en commun 2 électrons (un par atome), 4 électrons (deux par atome) ou 6 électrons (trois par atome) :

Cela conduit à des liaisons covalentes multiples :

- 2 électrons (un par atome) : liaison covalente **simple** $\text{H}-\text{H}$
- 4 électrons (deux par atome) : liaison covalente **double** $\text{O}=\text{O}$
- 6 électrons (trois par atome) : liaison covalente **triple** $\text{N}\equiv\text{N}$

II) Représentation de Lewis d'une molécule :

Technique d'élaboration d'une représentation de Lewis :

- 1) Chercher le numéro atomique de chaque atome de la molécule
- 2) Donner la structure électronique (K, L, M) de chaque atome.
- 3) Déterminer le nombre d'électrons externes de chaque atome de la molécule (n_e)
- 4) En déduire le nombre de liaisons n_l qu'il peut engager ($n_l = 8 - n_e$)
- 5) Vérifier la validité de la règle de l'octet (ou du duet) en complétant avec les doublets non liants.
- 6) Dessiner la molécule en représentant les atomes et tous ses doublets.

Exemple : on veut représenter le modèle de Lewis de la molécule de chlorure d'hydrogène **HCl**.

- 1) $\text{H}: Z=1$; $\text{Cl}: Z=17$
- 2) $\text{H}: (\text{K})^1$; $\text{Cl}: (\text{K})^2(\text{L})^8(\text{M})^7$
- 3) $\text{H}: 1$ électron externe. $\text{Cl}: 7$ électrons externes.
- 4) H établit $2-1 = 1$ doublet liant et Cl établit nécessairement $8-7 = 1$ doublet liant : un doublet liant est donc mis en commun entre ces deux atomes.
- 5) Il reste donc 3 doublets non liants à répartir autour de l'atome de chlore de façon à respecter la règle de l'octet. Le respect de la règle du duet est assuré pour l'atome d'hydrogène par la présence du doublet liant.
- 6) La représentation de Lewis de la molécule est donnée ci-contre : $\text{H}-\text{Cl}$

Doublet liant ou liaison covalente :

Le nombre de liaisons " doublet liant " que peut former un atome est égal au nombre d'électrons qu'il doit gagner pour obéir à la règle de l'octet.

Doublets non liants :

Les électrons de la couche externe d'un atome qui ne participent pas aux liaisons covalentes, restent sur cet atome et sont répartis en doublets d'électrons appelés doublets non liants.

Exercice N°2 :

Donner la représentation de Lewis des molécules suivantes :

| Molécule | Représentation de Lewis |
|--------------------|-------------------------|
| Dioxyde de carbone | |
| Hexane | |
| Ammoniac | |
| Méthane | |
| Ethanol | |
| Méthanol | |
| Acétone | |

III) Formules développées et semi-développées

Dans la formule développée d'une molécule, toutes les liaisons entre atomes apparaissent. Dans la formule semi-développée, les liaisons concernant l'hydrogène ne sont pas représentées

| Molécule | chloral | urée (formée dans le foie, éliminée par les urines) | éthanol (alcool du vin ; pur, est utilisé comme désinfectant) |
|-------------------------|---------|---|---|
| Formule développée | | | |
| Formule semi-développée | | | $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$ |

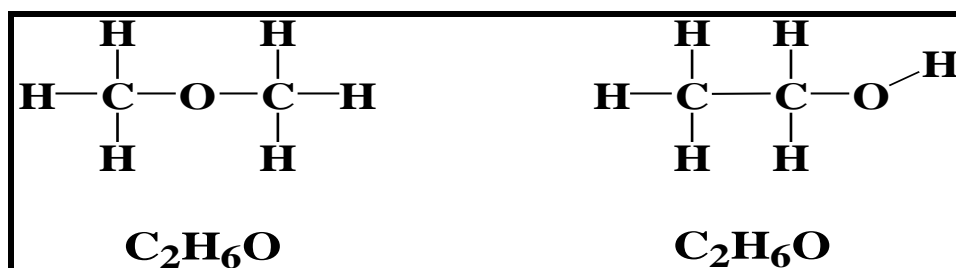
Exercice N°3 :

Donner la formule développée et semi-développée des molécules suivantes

| Formule brute | Formule développée | Formule semi-développée |
|----------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Ethane C_2H_6 | | |
| butane C_4H_{10} | | |
| propane C_3H_8 | | |

IV) Les molécules isomères :

A une même formule brute peuvent correspondre plusieurs formules semi-développées différentes. Ces différents enchaînements d'atomes correspondent à des molécules différentes dites isomères.



Les deux molécules ci-dessus correspondent à la formule brute $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$. Les atomes y vérifient la règle de l'octet ou du duet : les deux écritures sont donc correctes, et sont isomères

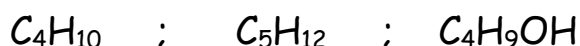
Exercice N°4 :

L'urée est une molécule organique qui a pour formule brute $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$. formée dans le foie, elle est évacuée dans les urines. Des techniques d'analyse permettent de savoir qu'il existe dans la molécule une liaison double entre les atomes de carbone et d'oxygène ainsi que l'atome de carbone est lié uniquement aux atomes d'azotes.

- 1) En déduire une représentation développée de Lewis de la molécule.
- 2) En déduire une représentation semi-développée.
- 3) Donner, une représentation développée, des isomères de cette molécule s'ils existent.

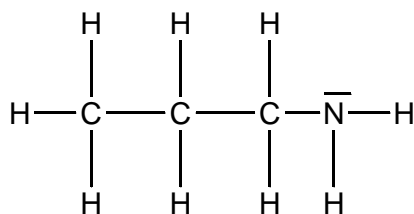
Exercice N°5 :

Sur ton cahier d'exercice, donner la formule semi-développée de tous isomères des molécules suivantes

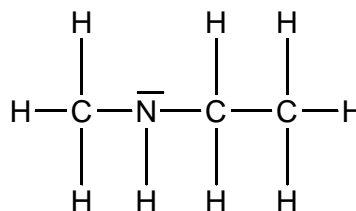


Exercice N°6 :

- 1) Donner la formule brute des 2 molécules ci-dessous :



②



①

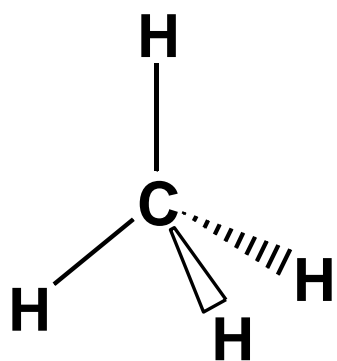
- 2) Est-ce qu'il existe d'autres molécules ayant la même formule brute ?

V) Représentation en perspective de Cram.

Règles :

- Les liaisons situées dans le plan de la feuille sont dessinées en traits pleins.
- Les liaisons situées en avant du plan de la feuille sont dessinées en traits épais.
- Les liaisons en arrière du plan de la feuille sont dessinées en pointillés

Exemple 1 : molécule de méthane CH_4



Liaison dans le plan



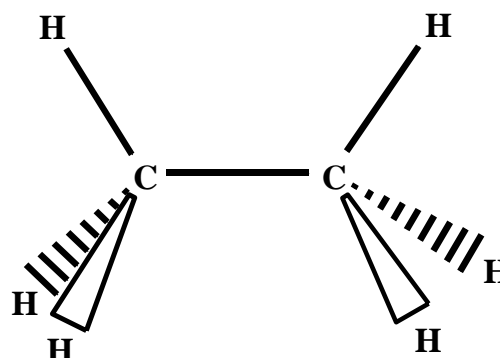
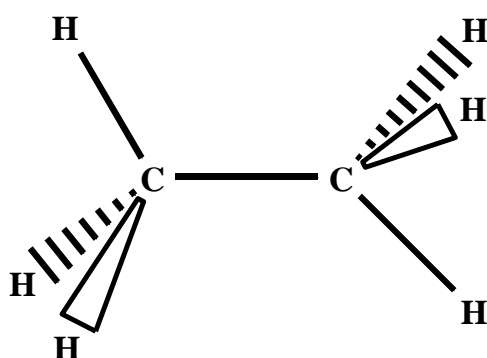
Liaison en avant du plan



Liaison en arrière du plan



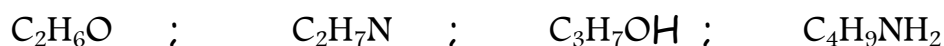
Exemple 2 : molécule de éthane C_2H_8



Applications :

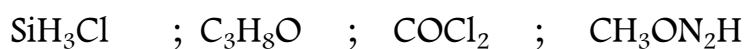
Exercice N°7 :

Donner la formule semi-développée, en respectant la notation de Lewis, de tous les isomères des molécules suivantes



Exercice N°8 :

Donner la représentation de Lewis des molécules suivantes :



Exercice N°9 : 2012/2013

1) Donner la représentation de Lewis des molécules suivantes :

- $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOCH}_3$.
- $\text{C}_2\text{H}_5\text{COCl}$.
- N_2H_2

2) Donner la formule développée, en respectant la notation de Lewis, de tous les isomères de la formule brute suivante : $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$

Unité 5 : la géométrie de quelques molécules simples

Objectifs :

Savoirs et savoir-faire

- Connaître les règles du « duet » et de l'octet.
- Rendre compte de la géométrie des molécules CH_4 , NH_3 , H_2O en se basant sur la répulsion électronique des doublets liants et non liants.
- Savoir appliquer les règles du « duet » et de l'octet pour rendre compte des charges des ions monoatomiques qui existent dans la nature.
- Donner la représentation de Lewis de quelques molécules simples.
- Donner la représentation de Cram de quelques molécules simples.

I. Les règles du « duet » et de l'octet

1. Stabilité chimique des gaz nobles

Les gaz nobles sont les éléments chimique hélium He, néon Ne, argon Ag, krypton Kr, xénon Xe et radon Rn. Ces éléments existent à l'état d'atome et, sauf dans des conditions exceptionnelles, ils ne se combinent pas avec les autres éléments. On dit que les atomes des gaz nobles sont chimiquement stables ou qu'ils présentent une **grande inertie chimique**.

À quoi est due l'inertie chimique des gaz nobles ?

Le tableau ci-après représente les répartitions électroniques des trois premiers gaz nobles :

| Hélium He (Z=2) | Néon Ne (Z=10) | Argon Ag (Z=18) |
|------------------|-----------------------------------|--|
| (K) ² | (K) ² (L) ⁸ | (K) ² (L) ⁸ (M) ⁸ |

Nous observons que la couche externe des répartitions électroniques des gaz nobles est saturée : comporte 2 électrons pour l'hélium et 8 électrons pour le néon et l'argon.

La stabilité chimique des gaz nobles est directement liée au nombre d'électrons de leur couche externe. Celle-ci compte 2 électrons (un « duet ») pour l'hélium et 8 électrons (un octet) pour les autres cas.

Chimie et quotidienne

Les gaz nobles

- L'hélium, très peu dense, est utilisé pour gonfler les ballons météorologiques. Il entre également dans la composition des mélanges gazeux pour la plongée.
- Le néon permet de fabriquer des enseignes et des tubes lumineux.
- L'argon constitue l'atmosphère inerte des lampes à incandescence (le filament de lampe, porté à température très élevée, ne « brûle » pas).
- Le radon est utilisé en médecine pour le traitement de certains cancers.

2. Les ions monoatomiques

Les atomes des autres éléments ne peuvent exister tel quel dans la nature par ce qu'ils ne sont pas à l'état de stabilité des gaz nobles. Pour exister ils sont contraints de former des ions monoatomiques ou des molécules plus stables.

Définition : Un ion monoatomique est un atome qui a gagné ou perdu un ou plusieurs électrons.

- Les atomes qui **gagnent un ou plusieurs électrons**, gagnent une ou plusieurs charges négatives. Ils deviennent des ions négatifs (un excès d'électrons entraîne un excès de charge négative). Un **ion négatif** est un **anion**.
- Les atomes qui **perdent un ou plusieurs électrons**, perdent une ou plusieurs charges négatives. Ils deviennent des ions positifs (un défaut d'électrons entraîne un défaut de charge négative). Un **ion positif** est un **cation**.

Complétez le tableau ci-après qui comporte d'ions monoatomiques stables de quelques éléments qui se trouvent dans la nature.

| L'élément chimique | Numéro atomique Z | Répartition électronique de l'atome | L'ion correspondant | Répartition électronique de l'ion |
|--------------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| Lithium Li | 3 | | Li ⁺ | |
| Béryllium Be | 4 | | Be ²⁺ | |
| Oxygène O | 8 | | O ²⁻ | |
| Fluor F | 9 | | F ⁻ | |
| Chlore Cl | 17 | | Cl ⁻ | |
| Sodium Na | 11 | | Na ⁺ | |

Qu'est ce que vous observez ?

Nous remarquons que les atomes des éléments se transforment en ions monoatomiques plus stables de manière à acquérir un « duet » d'électrons ou un octet c'est-à-dire la répartition électronique de l'un des gaz nobles.

3. Les règles du « duet » et de l'octet

- . Règle du « duet » :

Au cours de leurs transformations chimiques, les atomes de numéro atomique inférieur ou égal à 4 ($Z \leq 4$) évoluent de manière à acquérir un « duet » d'électrons.

▪ Règle de l'octet :

Au cours de leurs transformations chimiques, les atomes de numéro atomique supérieur à 4 ($Z > 4$) évoluent de manière à acquérir un octet d'électrons sur leur couche externe

II. Représentation des molécules selon le modèle de Lewis

1. Liaison covalente

a. définition

La molécule d'eau H_2O , constituée d'un atome d'oxygène et deux atomes d'hydrogène, est une entité stable. Cette stabilité est due à des liaisons chimiques entre l'atome d'oxygène et chaque atome d'hydrogène. Ces liaisons s'établissent grâce aux électrons de la couche externe des atomes et portent le nom de liaisons covalentes.

Une liaison covalente entre deux atomes correspond à la mise en commun de deux électrons de leurs couches externe pour former un doublet d'électrons appelé doublet liant.

b. Liaison covalentes formées par un atome

La règle du « duet » pour l'hydrogène et celle de l'octet pour les autres atomes sont vérifiées pour tous les atomes d'une molécule.

Pour déterminer le nombre de liaisons covalentes qu'un atome peut habituellement former, on cherche le nombre p d'électrons présents dans sa couche externe. Pour saturer cette couche, l'atome acquiert $(8-p)$ électrons en formant $(8-p)$ liaisons covalentes.

Le nombre de liaisons covalentes que peut former un atome est égal au nombre d'électrons qu'il doit acquérir pour saturer sa couche externe à un octet d'électrons.

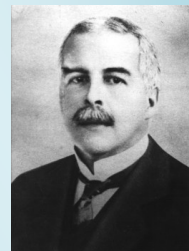
Le tableau ci-contre donne, pour les principaux atomes, le nombre d'électrons dans la couche externe et le nombre de liaisons qu'il peut habituellement former.

Types de liaisons covalentes :

- Liaison covalente simple : partage d'une seule paire d'électrons.
- Liaison covalente double : partage de deux paires d'électrons.
- Liaison covalente triple : partage de trois paires d'électrons

Point historique

Gilbert Lewis (1875-1946)



Chimiste américain, Lewis a proposé, en 1916, le modèle de la liaison covalente et la règle de l'octet. Fondées sur l'intuition, ses hypothèses n'avaient, au départ, aucun support théorique. Elles ont été confirmées par leurs conséquences et, plus tard, par les développements de la chimie théorique.

| Atome | Couche externe | Liaisons covalentes |
|-------------|----------------|---------------------|
| Hydrogène H | 1 | 1 |
| Chlore Cl | 7 | 1 |
| Oxygène O | 6 | 2 |
| Azote N | 5 | 3 |
| Carbone C | 4 | 4 |

2. Représentation de Lewis des molécules

a. Doublet liants et doublets non liants

Dans la représentation de Lewis tous les électrons de la couche externe d'un atome forment soit des doublets liants soit des doublets non liants.

Les doublets liants correspondent aux liaisons établies avec d'autres atomes et sont représentés par un trait entre ces deux atomes (par un double trait pour les liaisons doubles et par un triple trait pour les liaisons triples).

Les électrons qui ne sont pas impliqués dans des liaisons forment entre eux des doublets non liants représentés sous forme de trait au dessus du symbole de l'atome.

b. Comment établir une représentation de Lewis

Les étapes à suivre avant d'accéder à la représentation :

- Écrire la répartition électronique de chaque atome de molécule.
- Déterminer le nombre de liaison covalente que forme habituellement chaque atome de la molécule, noté n .
 - Pour l'hydrogène $n=1$
 - Pour les autres atomes ; $n=8-p$, telle que p les électrons de valence (nbre. d'électrons de la couche externe)
- Déterminer le nombre de doublets non liants ; noté n' .
 - Pour l'hydrogène pas de doublet non liant ; $n'=0$
 - Pour les autres atomes le nombre de doublet non liants est $n' = \frac{p-n}{2}$

Exercice résolu : établir la représentation de Lewis des molécules suivantes : H_2O , O_2 , NH_3 , CO_2 , CH_4 , HCl (reprendre le tableau ci-dessous en le complétant)

| molécule | Les atomes de la molécule | Répartition électronique de chaque atome | Doublet liant de chaque atome | Doublet non liant de chaque atome | Représentation de Lewis |
|----------|---------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------------|---|
| H_2O | H (Z=1) | (K) ¹ | $n= 1$ | $n'= 0$ | $H \overset{\cdot\cdot}{-} \overset{\cdot\cdot}{O} \overset{\cdot\cdot}{-} H$ |
| | O (Z=8) | (K) ² (M) ⁶ | $n= 8-6 =2$ | $n' = \frac{6-2}{2} =2$ | |
| | | | | | |
| | | | | | |

III. Géométrie spatiale de quelques molécules

1. Disposition spatiale des doublets

De nombreuses molécules sont constituées d'un atome central lié à d'autres atomes par des liaisons simples. Les doublets (liants ou non) de l'atome central, chargés négativement, se repoussent. La géométrie de la molécule correspond à la disposition spatiale qui éloigne au maximum les doublets deux à deux. Dans le cas où l'atome est entouré de 4 doublets, il se trouve au centre d'un tétraèdre et les doublets suivant les 4 directions joignant le centre du tétraèdre à ses sommets.


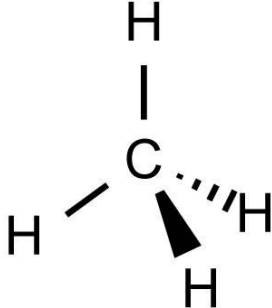


2. Application à quelques molécules

| Molécule | Géométrie | Modèles moléculaires |
|---|-----------|----------------------|
| <p><i>Le méthane, de formule CH_4, est le constituant principal du gaz de ville utilisé pour chauffage domestique. Sa représentation de Lewis fait apparaître 4 doublets liants C—H ; les 4 liaisons se disposent suivant les 4 directions caractéristiques d'un tétraèdre régulier. En conséquence, la molécule de méthane a une structure tétraédrique</i></p> | | |
| <p><i>L'ammoniac, de formule NH_3, est un produit industriel. Il est principalement utilisé pour fabriquer des engrais. Sa représentation de Lewis met en évidence 3 doublets liants N—H et un doublet non liant (E) sur l'atome d'azote. Les 3 liaisons N—H et la direction N—(E) se disposent suivant les 4 directions caractéristiques du tétraèdre. En conséquence, la molécule d'ammoniac a une structure pyramidale.</i></p> | | |
| <p><i>L'eau, de formule H_2O, est partout présente dans notre environnement ; c'est grâce à elle que la vie est possible sur la terre. Sa représentation de Lewis met en évidence 2 doublets liants O—H et deux doublets non liants (E1) et (E2) sur l'atome d'oxygène. Les 2 liaisons O—H et les 2 directions O—(E1) et O—(E2) se disposent suivant les directions caractéristiques du tétraèdre. En conséquence, la molécule d'eau est coudée.</i></p> | | |

La théorie de la répulsion minimale des doublets permet de rendre compte de la géométrie des molécules de méthane (tétraédrique), d'ammoniac (pyramidale) et d'eau (coudée).

IV. La représentation de Cram

La représentation de Cram permet de représenter simplement la géométrie de quelques molécules. Elle consiste à utiliser les conventions suivantes (conventions de la représentation de Cram).

| | | |
|---|--|---|
|  | Un trait plein correspond à une liaison dans le plan de représentation. |  |
|  | Un triangle en contours pleine correspond à une liaison qui pointe vers l'avant du plan de représentation. | |
|  | Un triangle hachuré représente une liaison qui pointe vers l'arrière du plan de représentation. | |

Deuxième Partie :
constituants de la
matière
Unité 5
4 H

هندسة بعض الجزيئات
La géométrie de quelques molécules



I – Règles du DUET et de l'OCTET :

1 – Activité :

L'hélium He ($Z = 2$), le néon Ne ($Z = 10$) et l'argon Ar ($Z = 18$) sont des éléments qui n'existent sur la nature que sous la forme d'atomes isolés. Ce sont des gaz qui ne réagissent pas, ils sont qualifiés de «nobles».

a- Ecrire la structure électronique de ces éléments.

La structure électronique est : $He : (K)^2$, $Ne : (K)^2(L)^8$, $Ar : (K)^2(L)^8(M)^8$.

b- La couche externe de chaque atome est-elle saturée ou non ?

La couche externe de chaque atome est saturée car elle contient le nombre maximum d'électrons.

c- Ecrire la structure électronique de l'atome de lithium Li ($Z = 3$) et l'atome de chlore Cl ($Z = 17$). Les deux atomes ont-ils une stabilité chimique ?

La structure électronique est : $Li : (K)^2(L)^1$ et $Cl : (K)^2(L)^8(M)^7$

Les deux atomes sont instables parce que leurs couches externes sont insaturées.

d- Ecrire la structure électronique des ions Li^+ et Cl^- . Sont-ils caractérisés par la stabilité chimique ?

La structure électronique est : $Li^+ : (K)^2$ et $Cl^- : (K)^2(L)^8(M)^8$

Les ions sont stables car leurs couches externes sont saturées.

2 – Stabilité des gaz rares ou nobles :

Les gaz rares (l'Hélium He ($Z = 2$), Néon Ne ($Z = 10$) et Argon Ar ($Z = 18$) ...) ne participent quasiment pas à des réactions chimiques, ne forment pas de molécules ou d'ions. Les gaz rares sont stables à l'état d'atome isolé car leur couche externe est saturée.

3 – Énoncé des règles :

✚ La règle du « duet » : Au cours des transformations chimiques, les éléments chimiques de numéro atomique ($Z \leq 4$) évoluent de manière à avoir la structure électronique du Hélium $He : (K)^2$. Ils ont alors deux électrons sur leur couche externe.

✚ La règle de l'« octet » : Au cours des transformations chimiques, les éléments chimiques de numéro atomique ($5 \leq Z \leq 18$) évoluent de manière à avoir la structure électronique de plus proche gaz rare dans le tableau périodique des éléments (de Néon $Ne : (K)^2(L)^8$ ou Argon $Ar : (K)^2(L)^8(M)^8$). Ils portent donc 8 électrons sur leur couche externe.

4- Application sur les ions monoatomiques stables :

Les ions monoatomiques stables vérifient les règles duet et octet.

| Atomes | Ions | Atomes | Ions |
|------------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------|
| $Na : (K)^2(L)^8(M)^1$ | $Na^+ : (K)^2(L)^8$ | $Li : (K)^2(L)^1$ | $Li^+ : (K)^2$ |
| $Mg : (K)^2(L)^8(M)^2$ | $Mg^{2+} : (K)^2(L)^8$ | $Be : (K)^2(L)^2$ | $Be^{2+} : (K)^2$ |
| $S : (K)^2(L)^8(M)^6$ | $S^{2-} : (K)^2(L)^8(M)^8$ | $F : (K)^2(L)^7$ | $F^- : (K)^2(L)^8$ |
| $Cl : (K)^2(L)^8(M)^7$ | $Cl^- : (K)^2(L)^8(M)^8$ | $O : (K)^2(L)^6$ | $O^{2-} : (K)^2(L)^8$ |

II – Les molécules :

1 – Définition :

La **molécule** est des **assemblages d'atomes** attachés les uns aux autres. La molécule est **stable** et électriquement **neutre**.

2 – Liaison covalente :

Une **liaison covalente** est une **liaison chimique** dans laquelle deux atomes se partagent **deux électrons** (un électron chacun) de leurs **couches externes** afin de former un **doublet d'électrons liant** les deux atomes. C'est une des forces qui produit l'**attraction mutuelle** entre atomes.

EXEMPLES :

Pour l'**Hydrogène** $H(Z = 1): (K)^1$ le **nombre de liaisons covalentes** possible est : $n_L = 2 - 1 = 1$, nous disons que l'atome d'**hydrogène** est **monovalent**.

Pour l'**oxygène** $O(Z = 8): (K)^2(L)^6$ le **nombre de liaison covalentes** possible est : $n_L = 8 - 6 = 2$, nous disons que l'atome d'**oxygène** est **bivalents**.

Pour l'**Azote** $N(Z = 7): (K)^2(L)^5$ le **nombre de liaisons covalentes** possibles est : $n_L = 8 - 5 = 3$, nous disons que l'atome d'**Azote** est **trivalents**.

Pour le **Carbone** $C(Z = 6): (K)^2(L)^4$ le **nombre de liaisons covalentes** possible est : $n_L = 8 - 4 = 4$, nous disons que l'atome du **Carbone** est **tétravalents**.

Remarque :

On représente la **liaison covalente** par un petit trait (-----) entre les symboles de deux atomes.

EXEMPLES :

Liaison covalente **simple** : $H - H$

Liaison covalente **double** : $O = O$

Liaison covalente **triple** : $N \equiv N$

} Liaison covalente **multiple**

3 – La représentation de Lewis d'une molécule :

La **représentation de Lewis** d'une molécule est une **représentation des atomes** et de tous les **doublets d'électrons** (liants et non-liants) de cette molécule.

Méthode de détermination de la représentation de Lewis d'une molécule :

- Écrire la **structure électronique** de chaque atome.
- Déterminer le **nombre global** n_t d'électrons de **couches externes** de chaque atome dans la molécule.
- Déterminer le **nombre global** n_d de **doublets d'électrons** : $n_d = \frac{n_t}{2}$.
- Déterminer le **nombre** n_L de **liaisons covalentes** que doit établir l'atome pour acquérir une structure en octet ($8 - p$) ou en duet ($2 - p$) suivant la règle à laquelle il est soumis avec p le **nombre d'électrons d'équivalence**.
- Déterminer le **nombre** n'_d de **doublets non liants** de chaque atome :

$$n'_d = \frac{p - n_L}{2} .$$

EXEMPLE : représenter selon le modèle de Lewis les molécules suivante :

| Molécule | PCl_3 | H_2O | CH_4 | $C_2H_4O_2$ |
|--------------------------|---|--|--|---|
| structure électronique | $P : (K)^2(L)^8(M)^5$ $Cl : (K)^2(L)^8(M)^7$ | $H : (K)^1$ $O : (K)^2(L)^6$ | $H : (K)^1$ $C : (K)^2(L)^4$ | $H : (K)^1$ $C : (K)^2(L)^4$ $O : (K)^2(L)^6$ |
| n_t | $5 + 3 \times 7 = 26$ | $2 \times 1 + 6 = 8$ | $4 + 4 \times 1 = 8$ | $4 \times 1 + 2 \times 4 + 2 \times 6 = 24$ |
| $n_d = \frac{n_t}{2}$ | $\frac{26}{2} = 13$ | $\frac{8}{2} = 4$ | $\frac{8}{2} = 4$ | $\frac{24}{2} = 12$ |
| n_L | $P : 8 - 5 = 3$ $Cl : 8 - 7 = 1$ | $H : 2 - 1 = 1$ $O : 8 - 6 = 2$ | $H : 2 - 1 = 1$ $C : 8 - 4 = 4$ | $H : 2 - 1 = 1$ $C : 8 - 4 = 4$ $O : 8 - 6 = 2$ |
| n'_d | $P : \frac{5-3}{2} = 1$ $Cl : \frac{7-1}{2} = 3$ | $H : \frac{1-1}{2} = 0$ $O : \frac{6-2}{2} = 2$ | $H : \frac{1-1}{2} = 0$ $C : \frac{4-4}{2} = 0$ | $H : \frac{1-1}{2} = 0$ $C : \frac{4-4}{2} = 0$ $O : \frac{6-2}{2} = 2$ |
| Représentat-ion de Lewis | | | | |

III – Isomères :

1 – Types de formules :

Formule Brute : Indique le **nombre** et la **nature** des atomes des différents constituants chimiques de la molécule.

Formule semi-développée : Indique le **type de liaisons** entre les atomes principaux.

Formule développée : à partir du **modèle de Lewis**, nous obtenons la formule développée en **supprimant** les **paires électroniques non liantes**.

EXEMPLE :

Formule Brute : C_4H_9N Formule semi-développée $CH_3 - C = CH - NH_2$

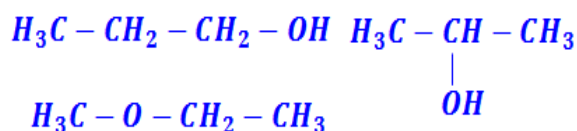
Formule développée :

2 – Isomère :

On appelle **isomères** toute espèce chimique ayant la **même formule brute** mais correspondre **plusieurs formules semi-développées différentes** (des **propriétés physiques ou chimiques différentes**).

EXEMPLE :

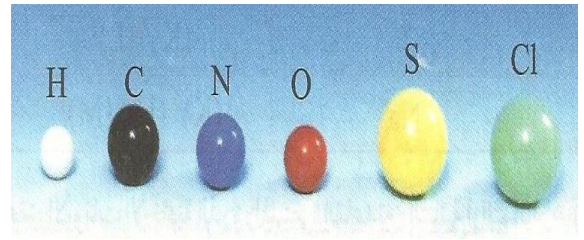
Formule Brute : C_3H_8O Les Isomères:

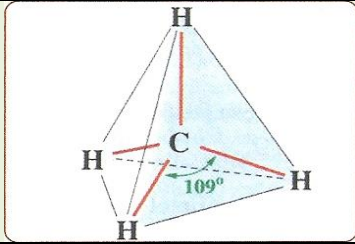
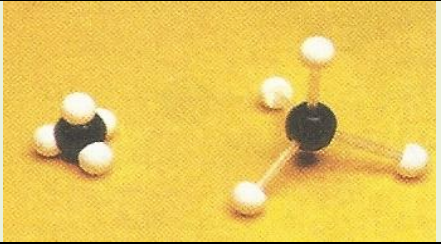
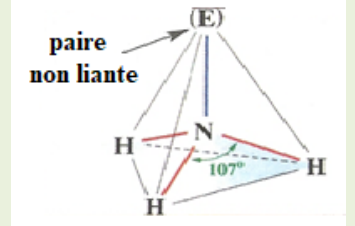
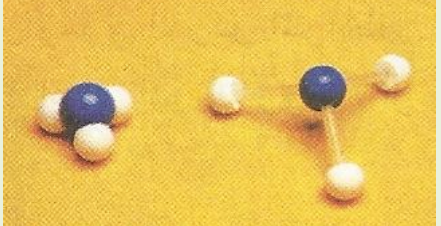
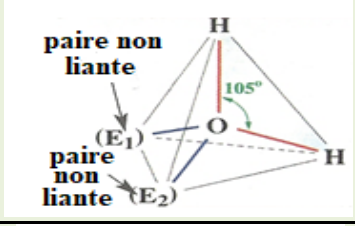
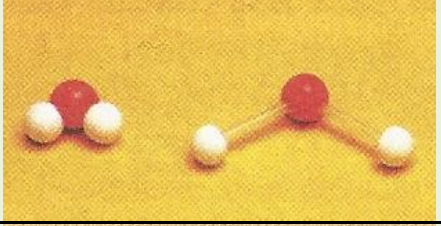



IV – Géométrie des molécules :

1 – Géométrie spatiale des molécules :




Les **doublets liants** et **non liants** se repoussent (charge négative) et la **disposition spatiale** d'une molécule est liée à cette répulsion, de façon à ce qu'ils soient **le plus loin possible**. On trouve souvent un **atome central** relié par d'autres atomes par des **liaisons covalentes**..



| La molécule | Géométrie | Forme | Modèle moléculaire |
|-------------|---|----------------|---|
| CH_4 |  | tétraédrique |  |
| NH_3 |  | Pyramide |  |
| H_2O |  | Plane coudée V |  |
| CO_2 | $O = C = O$ | Linéaire |  |

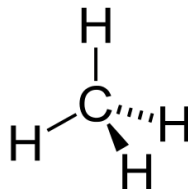
2 – Représentation de Cram :

La **représentation de Cram** donne un aperçu de **la configuration spatiale** des atomes qui composent une molécule. Elle fait **apparaître les liaisons** en perspective :

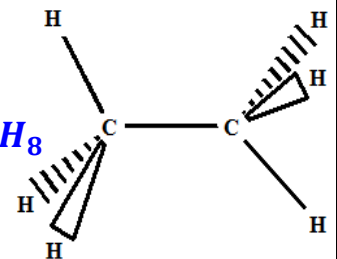
-  Liaison située **dans le plan** de la feuille.
-  Liaison située **en avant du plan** de la feuille.
-  Liaison située **en arrière du plan** de la feuille.

EXEMPLE :

Molécule de **méthane** CH_4



molécule d'**éthane** C_2H_8



Classification périodique des éléments chimiques

1-Classification périodique selon Mendeleïev :

Mendeleïev (1834-1907) eut l'idée de classer les éléments, connus à son époque, (63 éléments) en colonnes et en lignes par ordre de masses molaires atomiques croissantes, de telle manière que les éléments figurant dans une même ligne présentent des propriétés chimiques semblables.

2-Classification périodique actuelle :

De nos jours les éléments chimiques sont rangés par numéro atomique croissant.

Les éléments dont les atomes ont le même nombre d'électrons sur leur couche externe sont disposés dans une même groupe.

Les atomes ayant le même nombre de couches électroniques occupées se trouvent sur une même ligne appelé période.

Classification périodique simplifiée (les 18 premiers éléments) :

| | | Groupes | | | | | | | |
|----------|-------------------|--|--|--|--|---|---|--|--|
| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
| Périodes | Première période | 1,0 1 H (K) ¹ | | | | | | | 4,0 2 He (K) ² |
| | Deuxième période | 6,9 3 Li (K) ² (L) ¹ | 9,0 4 Be (K) ² (L) ² | 10,8 5 B (K) ² (L) ³ | 12,0 6 C (K) ² (L) ⁴ | 14,0 7 N (K) ² (L) ⁵ | 16,0 8 O (K) ² (L) ⁶ | 19,0 9 F (K) ² (L) ⁷ | 20,2 10 Ne (K) ² (L) ⁸ |
| | Troisième période | 23,0 11 Na (K) ² (L) ⁸ (M) ¹ | 24,3 12 Mg (K) ² (L) ⁸ (M) ² | 27,0 13 Al (K) ² (L) ⁸ (M) ³ | 28,1 14 Si (K) ² (L) ⁸ (M) ⁴ | 31,0 15 P (K) ² (L) ⁸ (M) ⁵ | 32,1 16 S (K) ² (L) ⁸ (M) ⁶ | 35,5 17 Cl (K) ² (L) ⁸ (M) ⁷ | 39,9 18 Ar (K) ² (L) ⁸ (M) ⁸ |

3-Les familles chimiques :

Les atomes des éléments qui appartiennent à une même colonne du tableau périodique constituent une famille chimique.

Ils possèdent le même nombre d'électrons de valence donc ils ont les mêmes propriétés chimiques.

3-1-La famille de la première colonne:

A l'exception de l'hydrogène, les éléments de la première colonne constituent la famille des **alcalins**. Ils ont la même structure électronique externe. Ils possèdent tous un électron sur leur couche externe : Li, Na et K.

| Z | Famille des alcalins | Structure électronique |
|----|----------------------|------------------------|
| 3 | Li (Lithium) | $(K)^2(L)^1$ |
| 11 | Na (Sodium) | $(K)^2(L)^8(M)^1$ |
| 19 | K (Potassium) | $(K)^2(L)^8(M)^8(N)^1$ |

3-2-La famille de la deuxième colonne :

Les éléments de la deuxième colonne constituent la famille des **alcalino-terreux**. Ils possèdent tous deux électrons sur leur couche externe : Be, Mg et Ca.

3-2-La famille de la septième colonne :

Les éléments de la 7ième colonne constituent la famille des **halogènes**. Ils possèdent tous 7 électrons sur leur couche externe : F, Cl et Br.

3-4-La familles des gaz rares :

Ce sont les éléments de la dernière colonne, ils se caractérisent par une très grande stabilité chimique grâce à leurs couches externes saturées. Ce sont des gaz monoatomiques, on les appelle les **gaz rares** (ou **inertes**) : He, Ne, Ar.

| Z | Famille des alcalins | Structure électronique |
|----|----------------------|------------------------|
| 2 | He (Hélium) | $(K)^2$ |
| 10 | Ne (Néon) | $(K)^2(L)^8$ |
| 18 | Ar (Argon) | $(K)^2(L)^8(M)^8$ |

Remarque :

Toutes les éléments de même famille donnent des ions de même charge afin d'obéir à la règle de l'octet.

Exemple : famille des halogènes : F^- ; Cl^- ; Br^- .

Classification périodique des éléments chimiques

I) Les premiers essais de la classification des éléments.

1) La découverte des éléments :

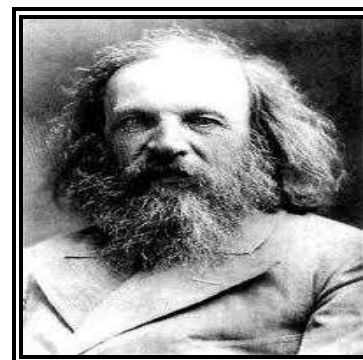
Depuis l'antiquité, on connaît quelques corps simples comme le cuivre, l'or, le fer, l'argent ou le soufre.

En 1700, seuls 12 corps simples (formés d'un seul élément) ont été isolés: l'antimoine, l'argent, l'arsenic, le carbone, le cuivre, l'étain, le fer, le mercure, l'or, le phosphore, le plomb et le soufre.

Les techniques d'analyse évoluant, le nombre des éléments connus en 1850 est multiplié par 5 : 60 éléments connus.

2) Le premier tableau de Mendeleïev.:

Dans l'année 1860, un jeune chimiste russe *Dimitri Ivanovitch MENDELEÏEV* (1834-1907), dans une lointaine université à Saint-Petersbourg, propose une première classification des éléments, en les rangeant par masse atomique croissante.



De nos jours, les éléments chimiques sont rangés par numéro atomique croissant. Les atomes ayant le même nombre d'électrons sur leur couche externe se trouvent sur une même **colonne**.

Les atomes ayant le même nombre de couches électroniques occupées se trouvent sur une même ligne appelée **période**.

| colonnes périodes | 1 | 2 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|----------------------|--|---|---|--|--|--|--|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | ¹ H hydrogène 1,0 | | | | | | | ⁴ He hélium 4,0 |
| 2 | ⁷ Li lithium 6,9 | ⁹ Be béryllium 9,0 | ¹¹ B bore 10,8 | ¹² C carbone 12,0 | ¹⁴ N azote 14,0 | ¹⁶ O oxygène 16,0 | ¹⁹ F fluor 19,0 | ²⁰ Ne néon 20,2 |
| 3 | ²³ Na sodium 23,0 | ²⁴ Mg magnésium 24,3 | ²⁷ Al aluminium 27,0 | ²⁸ Si silicium 28,1 | ³¹ P phosphore 31,0 | ³² S soufre 32,1 | ³⁵ Cl chlore 35,5 | ⁴⁰ Ar argon 39,9 |

II) Classification simplifiée des 18 premiers éléments

| Colonne période ↓ | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
|-------------------------|--|---|---|--|--|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
| 1 | H <i>Hydrogène</i> Z = 1 | | | | | | | He <i>Hélium</i> Z = 2 |
| 2 | Li <i>Lithium</i> Z = 3 | Be <i>Béryllium</i> Z = 4 | B <i>Bore</i> Z = 5 | C <i>Carbone</i> Z = 6 | N <i>Azote</i> Z = 7 | O <i>Oxygène</i> Z = 8 | F <i>Fluor</i> Z = 9 | Ne <i>Néon</i> Z = 10 |
| 3 | Na <i>Sodium</i> Z = 11 | Mg <i>Magnésium</i> Z = 12 | Al <i>Aluminium</i> Z = 13 | Si <i>Silicium</i> Z = 14 | P <i>Phosphore</i> Z = 15 | S <i>Soufre</i> Z = 16 | Cl <i>Chlore</i> Z = 17 | Ar <i>Argon</i> Z = 18 |
| 4 | K <i>Potassium</i> Z = 19 | Ca <i>Calcium</i> Z = 20 | | | | | | |

III) Les familles chimiques :

1. Définition :

- Une famille chimique est constituée de l'ensemble des éléments chimiques appartenant à une même colonne de la classification périodique.
- Les éléments appartenant à une même famille chimique possèdent des propriétés chimiques similaires.
- Les éléments d'une même colonne (donc même famille) possèdent le même nombre d'électrons sur leur couche externe.

2. Noms des familles chimiques :

1) Familles des Alcalins : Voir animation

Elle rassemble les éléments de la **première colonne** mis à part l'hydrogène;
Exemples : Sodium : Na et Lithium : Li

Ils ont un électron sur leur couche externe qu'ils perdent facilement pour donner des ions de charge +e : Li^+ , Na^+ et K^+ .

Ce sont des **métaux mous** qui réagissent très vivement avec l'eau.

2) Familles des alcalino-terreux :

Elle rassemble les éléments de la **deuxième colonne**; **Exemples** : Béryllium : Be et Magnésium : Mg

utilisé en alchimie et décrivant les métaux qui résistent au feu

Ils ont 2 électrons sur leur couche externe qu'ils perdent facilement pour donner des ions de charge +2e : Mg^{2+} , Ca^{2+} .

3) Familles des halogènes :

Elle rassemble les éléments de la **septième colonne**; **Exemples** : Fluor F et Chlore Cl,

Ils ont 7 électrons sur leur couche externe et vont donc facilement en gagner un pour former des ions de charge -e : F^- , Cl^- , Br^- , I^- .

Dans la nature, ils se trouvent sous cette forme d'ion ou sous forme de molécules diatomiques (fortement toxiques).

4) Familles des gaz rares ou nobles:

Elle contient les éléments de la **huitième** e colonne ; **Exemples** : He, Ne, Ar, Kr,

Ce sont les éléments chimiques les plus stables, ils sont inertes chimiquement.

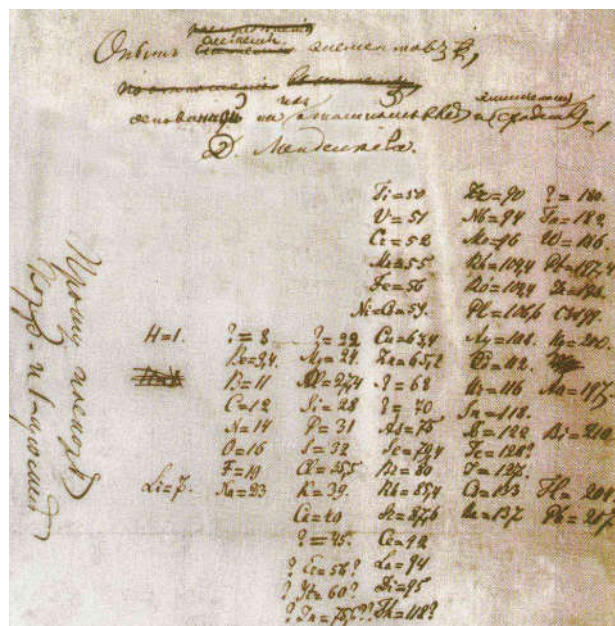
Ils sont donc gazeux et très peu présents dans l'atmosphère terrestre mis à part l'hélium, deuxième élément le plus abondant dans l'univers après l'hydrogène.

Unité 6 : Classification périodique des éléments chimiques

I. Tableau de Mendeleïev

Au cours des années, le tableau initial s'est progressivement complété par la découverte de nouveaux éléments, prévus ou non par Mendeleïev (par exemple, les gaz nobles), et on a rectifié les erreurs (par exemple, la place de l'uranium dont la masse molaire était complètement fautive : 116 au lieu de 238 !).

Les améliorations du modèle de l'atome engendrent aussi un changement important : le numéro atomique Z d'un élément, défini en 1914, remplace la masse atomique comme critère de classement.



II. La classification périodique moderne

La classification périodique complète, comportant les 118 éléments connus en novembre 2014, figure dans le rabat de couverture. Chaque élément, noté A_ZX , est représenté par son symbole chimique X, son numéro atomique Z et le nombre de nucléons A de son isotope le plus abondant dans le mélange naturel.

- La classification moderne est constituée de 18 colonnes et de 7 lignes (ou périodes).

Dans la classification périodique, les éléments sont rangés par numéros atomiques Z croissants.

Chaque case de la classification correspond à un élément (A_ZX). Tous les isotopes d'un élément se placent dans la même case.

La figure 1 ci-après présente une classification simplifiée des 18 premiers éléments.

Cours de chimie de tronc commun scientifique et technologie

| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) |
|-------------------|---|---|---|---|--|--|---|---|
| Première période | 1,0 1 H (K) ¹ | | | | | | | 4,0 2 He (K) ² |
| Deuxième période | 6,9 3 Li (K) ² (L) ¹ | 9,0 4 Be (K) ² (L) ² | 10,8 5 B (K) ² (L) ³ | 12,0 6 C (K) ² (L) ⁴ | 14,0 7 N (K) ² (L) ⁵ | 16,0 8 O (K) ² (L) ⁶ | 19,0 9 F (K) ² (L) ⁷ | 20,2 10 Ne (K) ² (L) ⁸ |
| Troisième période | 23,0 11 Na (K) ² (L) ⁸ (M) ¹ | 24,3 12 Mg (K) ² (L) ⁸ (M) ² | 27,0 13 Al (K) ² (L) ⁸ (M) ³ | 28,1 14 Si (K) ² (L) ⁸ (M) ⁴ | 31,0 15 P (K) ² (L) ⁸ (M) ⁵ | 32,1 16 S (K) ² (L) ⁸ (M) ⁶ | 35,5 17 Cl (K) ² (L) ⁸ (M) ⁷ | 39,9 18 Ar (K) ² (L) ⁸ (M) ⁸ |

Fig.1. Classification périodique simplifiée des 18 premiers éléments. Sous chaque symbole est écrite la répartition des électrons des atomes correspondants

- La classification périodique traduit le remplissage progressif des couches électroniques des atomes. Par exemple, dans la première période (hydrogène et hélium), c'est la couche K qui se remplit ; puis dans la deuxième période (du lithium au néon), c'est la couche L ; enfin dans la troisième période (du sodium à l'argon), c'est la couche M.

En outre, on constate en examinant les répartitions électroniques que les atomes appartenant à la colonne n de la classification périodique simplifiée ont tous n électrons dans leur couche externe.

D'une manière générale, dans la classification périodique complète :

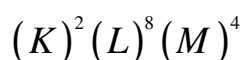
- Dans une même ligne, les atomes des éléments ont le même nombre de couches électroniques occupées.
- Dans une même colonne, les atomes des éléments ont le même nombre d'électrons dans leur couche externe.

Exercice résolu : place d'un élément dans la classification

Énoncé : Où se situe, dans la classification périodique simplifiée, l'élément de numéro atomique $Z=14$? Répondre sans regarder la classification.

Solution

- L'atome correspondant à cet élément a 14 électrons. Sa répartition électronique est :



L'élément considéré est donc :

- Dans la 3^e ligne puisque trois couches (K, L, M) contiennent des électrons ;

- Dans la 4^e colonne puisque la dernière couche est représenté par $(M)^2$: 4 électrons dans la couche M .
- Il est aisé de vérifier cette place dans la classification simplifiée de la figure ; l'élément considéré est le silicium Si.

III. Utilisation de la classification périodique

1. Les familles chimiques

a) Mise en évidence



Fig. 2. Réaction entre le dichlore et l'aluminium. Le ballon contient du dichlore (gaz) et de l'aluminium en poudre. Quand on chauffe, l'aluminium réagit vivement avec le dichlore. On obtient du trichlorure d'aluminium $AlCl_3$



Fig. 3. Réaction entre le dibrome et l'aluminium. On laisse tomber quelques gouttes de dibrome liquide Br_2 sur de l'aluminium en poudre ; on observe alors de vives incandescences. Il y a formation de tribromure d'aluminium $AlBr_3$



Fig. 4. Réaction entre le diiode et l'aluminium. On mélange du diiode I_2 (pilé dans un mortier) et de l'aluminium en poudre. La réaction se déclenche quand on ajoute quelques gouttes d'eau (catalyseur) ; elle forme du triiodure d'aluminium AlI_3 . Le dégagement de chaleur provoque l'apparition d'un nuage violet de diiode.



Fig. 5. Précipité de chlorure d'argent $AgCl$

▪ L'expérience montre que les dihalogènes Cl_2 , Br_2 , et I_2 réagissent vivement avec l'aluminium métal (figure 2, 3 et 4) pour former les trihalogénures d'aluminium $AlCl_3$, $AlBr_3$ et AlI_3 .

▪ Par ailleurs, les ions chlorure Cl^- , bromure Br^- et iodure I^- précipitent en présence d'ions argent Ag^+ ; on obtient des halogénures insolubles de formules : $AgCl$, $AgBr$, AgI (fig.5).

On constate donc que les éléments chlore Cl , brome Br et iode I ont des propriétés chimiques semblables. Or ils appartiennent à la même colonne de la classification. Cette observation est générale.

Les éléments d'une colonne de la classification périodique ont des propriétés chimiques semblables. Ils forment une famille chimique.

b) Propriétés chimiques et répartition électronique

Les atomes des éléments chimiques d'une même colonne ont le même nombre d'électrons dans leur couche externe et ils ont des propriétés chimiques semblables. Ce sont donc les électrons de la couche externe qui interviennent dans les réactions chimiques. C'est une règle fondamentale.

Cours de chimie de tronc commun scientifique et technologie

Les propriétés chimiques des éléments sont dues aux électrons de la couche externe de leur atome

c) Etude de quatre familles

- ✓ La famille des alcalins est celle de la première colonne : lithium Li, sodium Na, potassium K ... À noter que l'hydrogène H ne fait pas partie de cette famille
La couche externe des atomes alcalins comporte 1 électron fig.6
- ✓ La famille des alcalino-terreux est celle de deuxième colonne : béryllium Be, magnésium Mg La couche externe des atomes alcalino-terreux comporte 2 électrons fig. 7 .
- ✓ La famille des halogènes est celle de la colonne 17 : fluor F, chlore Cl, brome Br, iode I. la couche externe des atomes des halogènes comporte 7 électrons fig. 8.
- ✓ Les gaz nobles, caractérisés par une grande inertie chimique, constituent la famille de la colonne 18 : hélium He, néon Ne, argon Ar, krypton Kr, xénon Xe. La couche externe de l'atome d'hélium comporte 2 électrons (couche K saturée), celle des autres atomes de gaz nobles comporte 8 électrons fig. 8.

2. Formule des molécules

La formule d'une molécule dépend du nombre de liaisons covalentes que les atomes qui la constituent peuvent former. Pour chaque atome, ce nombre est habituellement égal au nombre d'électrons qu'il doit acquérir pour satisfaire la règle de l'octet.

Les propriétés de la classification périodique nous donnent immédiatement le nombre d'électrons dans la couche externe de l'atome d'un élément, même si on ne sait pas écrire sa répartition électronique complète.

Applications

- Les atomes des éléments de la quatrième colonne de la classification simplifiée ou colonne du carbone (carbone C, silicium Si...) ont 4 électrons dans leur couche externe et peuvent former 4 liaisons covalentes. On peut citer les molécules : CH_4 , C_2H_6 ..., SiH_4 , SiCl_4 ...
- Les atomes des éléments de la cinquième colonne de la classification simplifiée ou colonne de l'azote (azote N, phosphore P...) peuvent établir 3 liaisons covalentes. Exemples : NH_3 , PH_3 , PCl_3
- Les atomes des éléments de la sixième colonne de la classification simplifiée ou colonne de l'oxygène (oxygène O, soufre S...) peuvent former 2 liaisons covalentes. Exemple H_2O , H_2S ...
- Les atomes des éléments de la septième colonne de la classification simplifiée ou colonne des halogènes (F, Cl, Br, I) peuvent établir 1 liaison covalente. Exemple : HF, HCl, HBr, HI...

Exercice résolu : trouver la formule d'une molécule

Énoncé : Établir la formule de la molécule formé d'un atome d'étain Sn et d'atomes de chlore Cl.

Solution : l'élément chlore se situé dans la colonne des halogènes : son atome a 7 électrons sur sa couche externe.

Solution :

L'élément étain est dans la colonne du carbone : son atome a 4 électrons sur sa couche externe.

Un atome d'étain sature sa couche externe en formant $8-4=4$ liaisons covalente et un atome de chlore en établissant $8-7=1$ liaison covalente.

Un atome Sn peut donc se lier à 4 atomes Cl ; la molécule ainsi formée a pour formule SnCl_4 .

3. Charge des ions monoatomiques

Un atome peut se transformer en un ion monoatomique en perdant ou en gagnant un ou plusieurs électrons de manière à satisfaire les règles du « duet » ou de l'octet.

La position d'un élément dans la classification périodique donne immédiatement le nombre d'électrons dans la couche externe de l'atome correspondant.

Les atomes des éléments des colonnes 1, 2 ou 13 ont 1, 2 ou 3 électron(s). ils peuvent le(s) perdre pour former **des cations** de formule M^+ , M^{2+} ou M^{3+}

Les atomes des éléments des colonnes 15, 16 ou 17 ont 5, 6 ou 7 électrons externes. Ils peuvent gagner 3, 2 ou 1 électron(s) pour former **des anions** de formule X^{3-} , X^{2-} , X^{-} .

Exercice

Le courant électrique continu

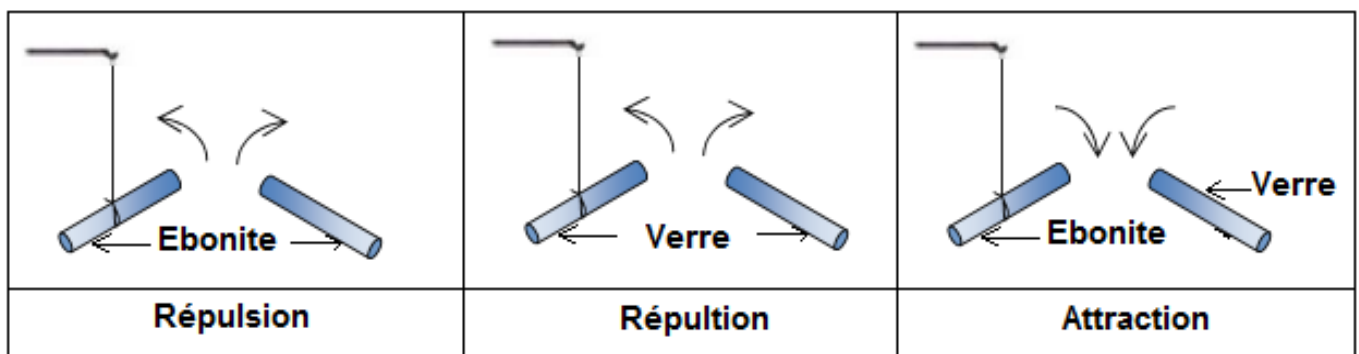
I- Phénomène d'électrisation

1-Electrisation par frottement

Si on frotte une baguette (verre, ébonite, matière plastique.) contre un chiffon (tissu de laine drap ; peau de chat) on observe que la baguette est capable d'attirer des objets très petits (cheveux, bouts de papier). On dit que la baguette s'est électrisée par frottement.

2- Deux types d'électricité :

On électrise une ébonite par frottement contre une peau de chat et une baguette en verre contre un morceau de soie.



Il existe deux sortes d'électricité : l'électricité qui apparaît sur bâton de verre est positive (+) et celle qui apparaît sur l'ébonite négative (-).

Remarque :

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

Deux corps chargés d'électricité de signes contraires s'attirent.

II-Nature du courant électrique :

1-Nature du courant dans les conducteurs électriques :

Dans les métaux les électrons libres se déplacent.

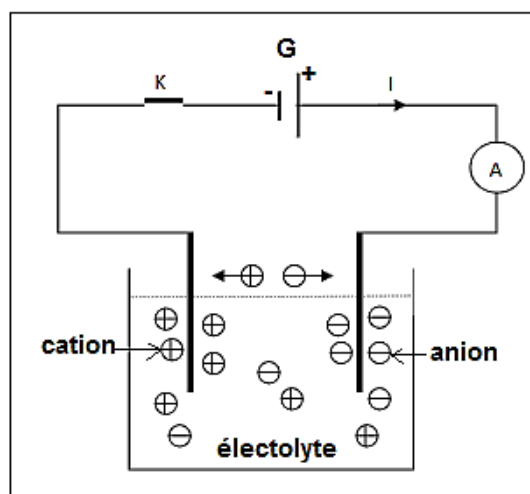
Le courant électrique dans les conducteurs métalliques est dû à un mouvement d'électrons qui circulent de la borne moins vers la borne plus à l'extérieur du générateur.

2-Nature du courant dans les solutions électrolytes :

L'électrolyte contient des ions positifs (cations) et des ions (négatifs) anions.

Les ions positifs se déplacent vers l'électrode liée à la borne positive du générateur.

Les ions négatifs se déplacent vers l'électrode liée à la borne négative du générateur.



Conclusion :

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

III- Intensité du courant électrique :

1-Quantité d'électricité :

La quantité d'électricité Q est la valeur absolue de charges électriques déplacée par les porteurs mobiles de charges.

$$Q = N \cdot e \rightarrow \begin{cases} Q: \text{quantité d'électricité en coulomb (C)} \\ N: \text{nombre d'électrons} \\ e: \text{la charge élémentaire en coulomb (C)} \end{cases}$$

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

2-Intensité de courant électrique :

L'intensité du courant électrique est le quotient de la quantité d'électricité qui traverse une section S de conducteur par la durée Δt de passage.

$$I = \frac{Q}{\Delta t} \rightarrow \begin{cases} I: \text{intensité du courant en ampère (A)} \\ Q: \text{la quantité d'électricité en coulomb (C)} \\ \Delta t: \text{durée de passage en seconde (s)} \end{cases}$$

3-Mesure de l'intensité du courant

3-1-L'ampèremètre :

On mesure l'intensité du courant électrique par des appareils appelés ampèremètres.

On distingue deux types d'appareils : les ampèremètres à aiguilles et des ampèremètres à affichage numérique ou multimètre.

Symbole d'un ampèremètre :



3-2-Branchement d'un ampèremètre :

L'ampèremètre doit être branché en série dans le circuit électrique de sorte que le courant doit pénétrer par sa borne positive.

Pour éviter de détériorer l'ampèremètre il faut choisir le meilleur calibre possible,

On commence par le calibre le plus grand existant sur l'ampèremètre.

On choisit le calibre qui donne la plus grande déviation de l'aiguille.

3-3-Lecture de l'ampèremètre :

a-Ampèremètre à aiguille :

-L'intensité du courant mesurée est donnée par la relation :

$$I = C \cdot \frac{n}{n_0} \rightarrow \begin{cases} C: \text{calibre utilisé en ampère (A)} \\ n: \text{nombre de diviation indiqué par l'aiguille} \\ n_0: \text{nombre de diviations de cadran} \end{cases}$$

-L'incertitude absolue ΔI est donnée par la relation suivante :

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

L'intensité de du courant mesuré s'écrit :

$$(I \pm \Delta I)(A) \text{ ou } (I_{\text{mesuré}} - \Delta I < I < I_{\text{mesurée}} + \Delta I)$$

-L'incertitude relative ou précision de mesure est définie par le quotient :

$$\frac{\Delta I}{I} \text{ (Peut être multiplié par 100 pour l'exprimer en pourcentage)}$$

b-Ampèremètre numérique :

La mesure est positive si le courant entre par la borne « A » et sort par la borne « COM».

Si l'un des cas apparait il faut réagir :

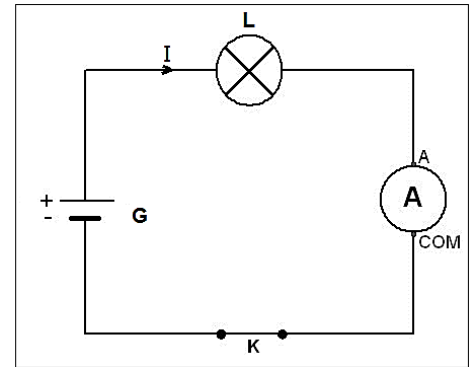
-132 Il faut inverser le branchement de l'ampèremètre.

.1 Il faut passer rapidement à un calibre plus grand.

IV-Propriétés du courant électrique

1-Montage en série :

Dans le montage en série, l'intensité du courant est la même dans tous les points d'un circuit en série.

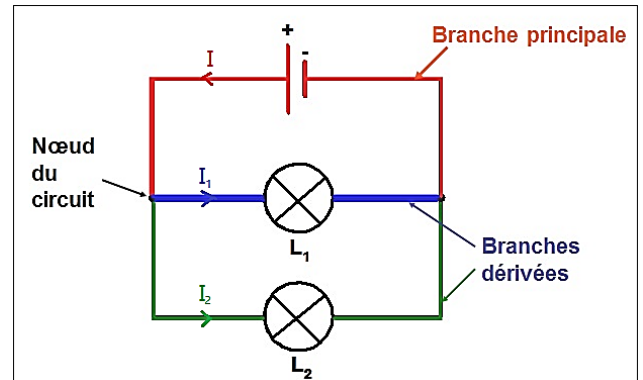


2-Montage en dérivation :

Dans un circuit en dérivation on distingue au moins deux Nœuds.

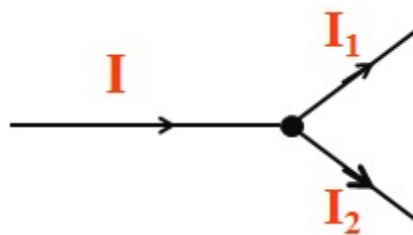
Ce montage comporte 3 branches :

- La branche principale (celle qui contient le générateur).
- et deux branches dérivées.



Loi des nœuds :

La somme des intensités des courants qui arrivent à un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui partent : $\sum I_{arrivent} = \sum I_{partent}$



$$I = I_1 + I_2$$

Le courant électrique continu

Prof. DELAHI Mohamed

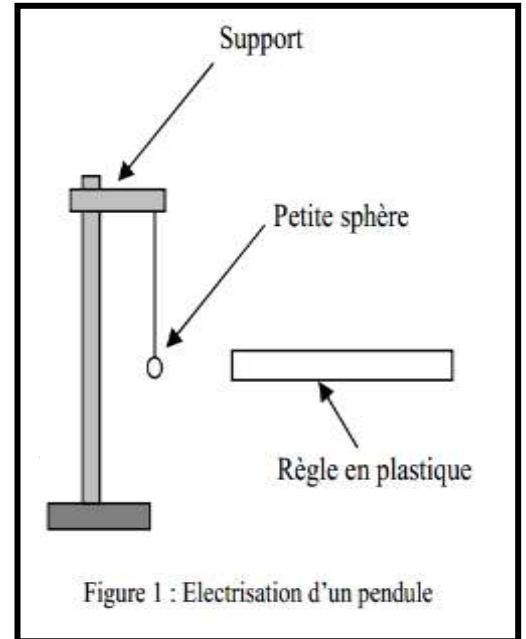
1) ÉLECTRISATION PAR FROTTEMENT

Electricite_TC

Certaines substances, lorsqu'on les frotte, sont susceptibles de provoquer des phénomènes surprenants : attraction de petits corps légers par une règle en plastique frottée, placage par frottement d'une feuille de papier sur un revêtement plastifié, redressement des cheveux avec un peigne, étincelles lorsqu'on froisse certains tissus synthétiques, décharge électrique ressentie en refermant la portière de son véhicule, en échangeant une poignée de main etc.

Le langage courant associe à ces phénomènes l'adjectif **électrique**.

Dès l'an 600 avant Jésus Christ, Thalès de Milet rapporte l'observation de l'attraction de corps légers, tels que des petits fétus de paille ou de petits fragments de plume, par un bâton d'ambre jaune (résine fossile de conifères utilisée en bijouterie) frottée. Le terme **électricité** vient du mot grec « **électros** » qui signifie « **ambre** ». L'adjectif « **électrique** » est introduit à la fin du XVI^{ème} siècle par le savant anglais William GILBERT.



2) LE COURANT ELECTRIQUE

Il existe deux types de courant.

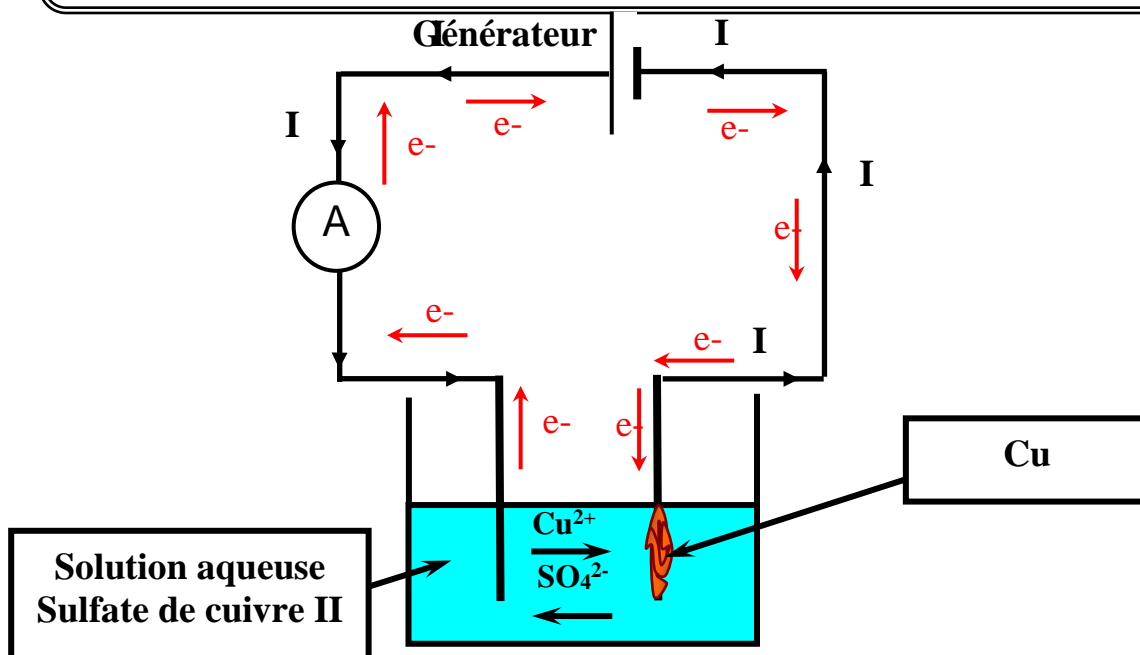
Le courant **continu**, produit de manière chimique : piles, batterie d'accumula

Le courant **alternatif**, produit avec un alternateur de façon mécanique : cas du réseau **REDAL**

1) Le sens conventionnel du courant électrique continu :

Le sens conventionnel du courant électrique dans un circuit électrique du pôle positif du générateur vers le pôle négatif

Le sens de déplacement des électrons est toujours opposé au sens conventionnel du courant électrique



3) L'INTENSITE DU COURANT ELECTRIQUE CONTINU

3-1/. Quantité d'électricité

La quantité d'électricité correspond au nombre d'électrons transportés par un courant électrique. La quantité d'électricité se désigne par la lettre : Q L'unité est le coulomb : C

Dans les métaux :

Quantité d'électricité
en C

Charge de l'électron
 $e = 1,6.10^{-19}$ C

$$Q = N \times e$$

Nombre d'électron

Dans les solutions électrolytique :

Quantité d'électricité
en C

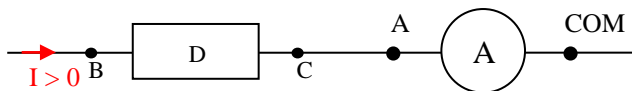
Charge de l'ion en
fonction de e

$$Q = N \times |q|$$

Nombre des ions

3-2/. Sens de branchement

Un ampèremètre mesure l'intensité circulant de la borne A (ou borne +) vers la borne COM (ou borne -) en tenant compte de son signe.



3-3/. Intensité du courant électrique

Lorsque des charges sont en mouvement, que ce soient des électrons dans un conducteur ou des ions dans un électrolyte ou dans un gaz, ou encore des charges dans le vide, le flux "courant" de charges au travers d'une surface est caractérisé par une grandeur que l'on appelle l'intensité du courant électrique.

L'intensité du courant électrique correspond au nombre de charges qui traverse une section d'un conducteur par unité de temps.

Exercice N°2 :

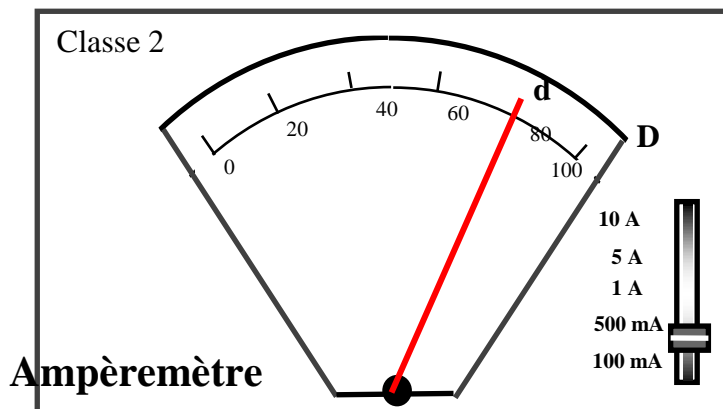
Calculer l'intensité du courant électrique sachant qu'une charge électrique de 12 C a traversé une section d'un conducteur en 1 min 20 s

Réponse :

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

3-4 / Mesure de l'intensité du courant électrique continu :  Electricite_TC

- L'intensité du courant électrique se mesure avec un **ampèremètre branché en série dans le circuit**.
- La valeur donnée par l'ampèremètre se **note I et est exprimée en Ampère** de symbole.
- L'ampèremètre doit donner une **valeur positive de l'intensité**, pour cela :
 - la **borne A** de l'appareil doit être reliée à la **borne +** du générateur.
 - la **borne COM** de l'appareil doit être reliée à la **borne -** du générateur.



Calibre en A

Nombre de division lues par l'aiguille

Nombre de division total

L'intensité du courant électrique

$$I = C \times \frac{d}{D}$$

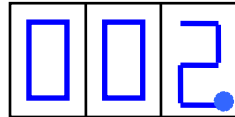
Incertitude :

3-5 / Mesure Précision d'un appareil

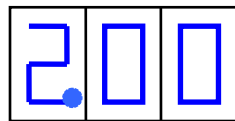
✓ Appareil à affichage numérique :

L'incertitude sur la mesure est donnée dans la notice de l'appareil sous forme d'un **pourcentage** de la valeur mesurée plus l'erreur due à l'affichage du dernier chiffre

Le choix du calibre influe sur la précision, **plus le nombre de chiffre affiché est grand, meilleure est la précision.**



La valeur mesurée est comprise entre 2V et 3V .



La valeur mesurée est comprise entre 2V et 2.01V .

✓ Appareil à aiguille :

La précision d'un appareil à aiguille dépend de sa classe.

$$\frac{\Delta I}{I} \times 100$$

Avec :

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

Exercice N°3 :

Lorsqu'on mesure un courant électrique I dans un circuit électrique, l'aiguille de l'ampèremètre se trouve à la division 70 dans un cadran de 100 division sachant qu'on a utilisé le calibre C = 100 mA et l'Ampèremètre est de classe 1.5.

- 1) Calculer l'intensité du courant électrique I
- 2) Calculer la précision de cet appareil.

Réponse :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

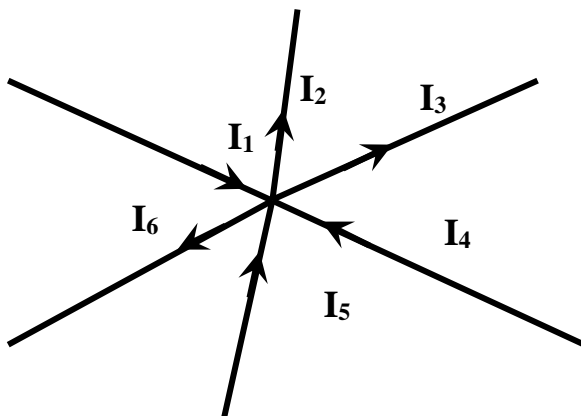
4) La loi des Noeuds :

➤ *Définition d'un nœud :*

Un nœud est un point de connexion d'au moins trois conducteurs ou plus.

➤ *Enoncé de la loi des nœuds :*

La somme des intensités des courants qui arrivent à un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui en repartent.

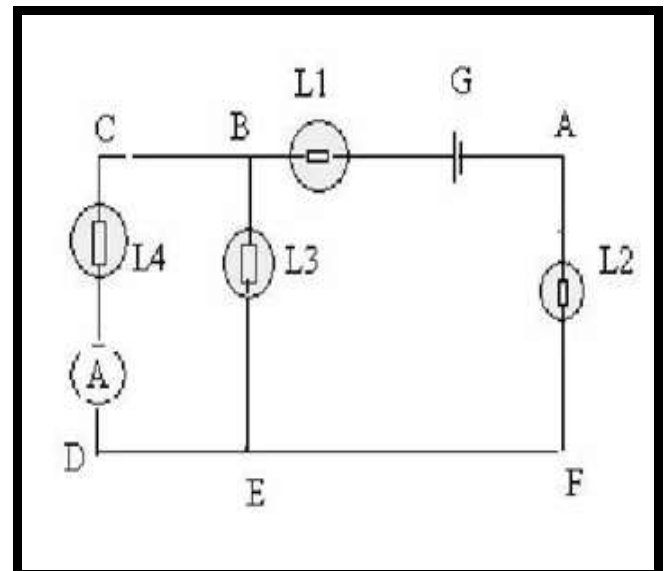


..... =

Exercice 4 :

On considère un circuit électrique ci contre:

- 1) Donner le sens du courant électrique dans le circuit
- 2) Polariser l'ampèremètre.
- 3) Donner le sens de déplacement des porteurs de charges dans le circuit.
- 4) L'aiguille de l'ampèremètre se trouve à la division 40 dans un cadran de 100 division sachant qu'on utilise la calibre $C = 500 \text{ mA}$. Calculer les intensités du courant électrique qui passent dans chaque branche sachant que l'intensité de courant qui traverse la lampe égale à $I_1 = 1 \text{ A}$

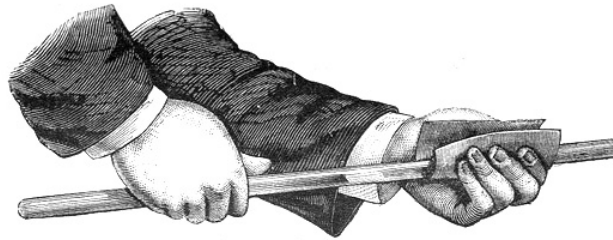


Unité 1 : courant électrique continue

I. Courant électrique

1. Electrification par frottement

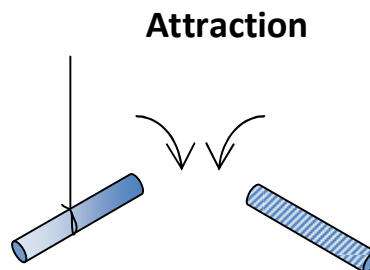
a. Expérience



On fait frotter deux bâtons de verre avec un morceau de soie et on rapproche l'une de l'autre (fig.1), et on répète la même expérience en remplaçant le verre par l'ébonite (fig.2).



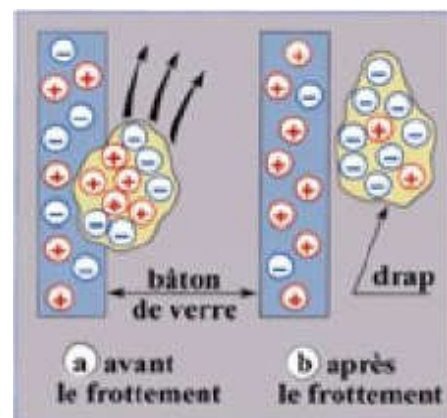
On approche un bâton d'ébonite électrisé à un bâton de verre suspendue



- Le frottement a modifié les propriétés de la surface de matière et il est devenu électrisée ou chargée d'électricité.
- Il existe deux sortes d'électricité : l'électricité qui apparaît sur le verre et celle qui apparaît sur le bâton d'ébonite.

b. Les deux types d'électricité et leurs interactions mutuelles.

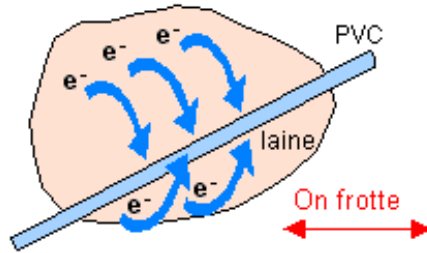
- Par convention, l'électricité qui apparaît sur le bâton verre est notée positivement (+) et celle qui apparaît sur le bâton d'ébonite est notée négativement (-).
- Deux corps qui portent des charges électriques de même signe se repoussent.
- Deux corps qui portent des charges électriques de signes contraires s'attirent.



de
sur le
même
signes

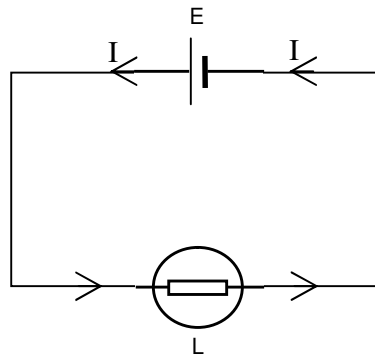
c. Explication de phénomène d'électrisation par frottement.

- Un atome est constitué d'un noyau chargé positivement et d'électrons chargé négativement.
- Lors de frottement le bâton d'ébonite arrache des électrons à la laine ou la soie et la laine arrache des électrons au bâton de verre.



2. Sens conventionnel de courant électrique

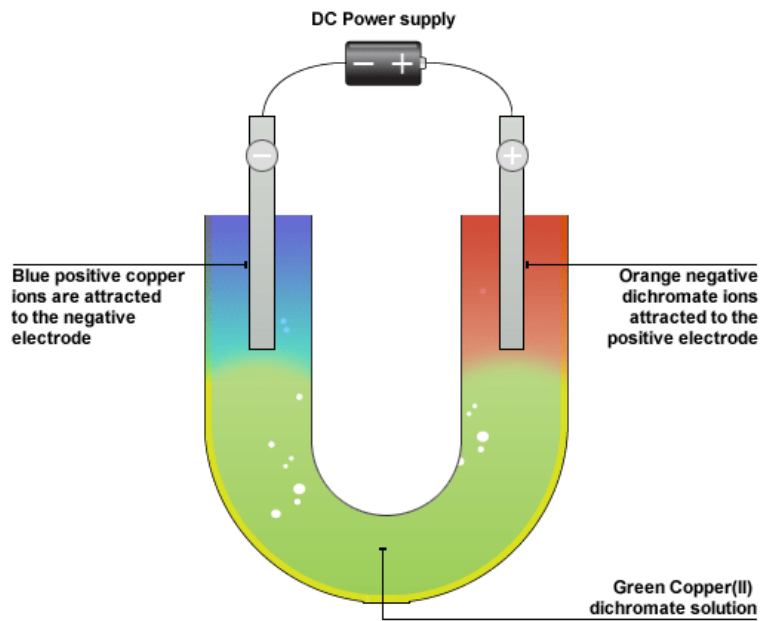
- Le courant électrique est le déplacement des charges électriques.
- Le courant circule dans un circuit électrique fermée de la borne positive vers la borne négative à l'extérieur du générateur (le pile)
- Représentation du sens conventionnelle du courant :



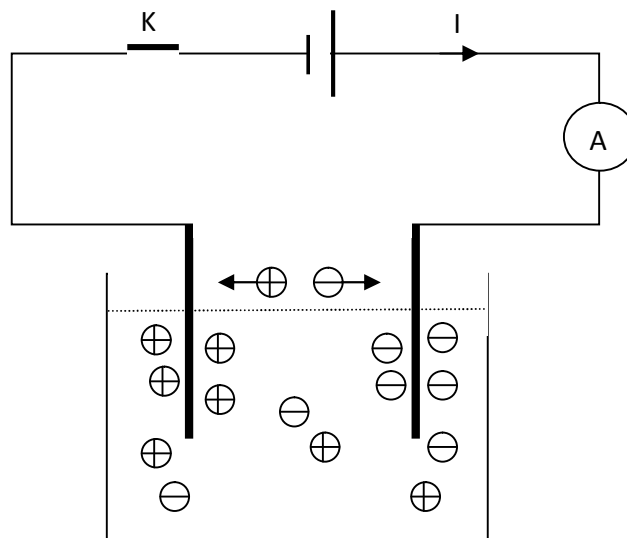
3. Nature du courant électrique dans les électrolytes

Définition : toute substance (comme le sel chlorure de sodium ou sulfate de cuivre) conductrice du courant quand est à l'état liquide ou en solution. Autrement dit, il s'agit de substances chimiques ayant la capacité de se dissocier en ions quand il est mis en solution.

L'électrolyte contient des ions positifs (cations) et des ions négatifs (anion).



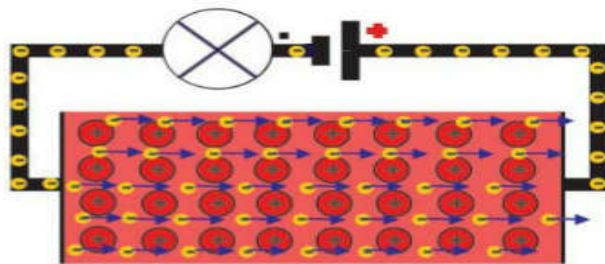
- Les ions positifs se déplacent vers l'électrode liée à la borne négative du générateur appelée cathode.
- Les ions négatifs se déplacent vers la deuxième électrode liée à la borne positive du générateur appelée anode.
- La circulation du courant est assurée par la double migration des ions. Les cations déplacent en sens conventionnel du courant et les anions en sens contraire.
- Les ions sont les porteurs mobiles de charges électriques.



4. Nature du courant dans les conducteurs métalliques.

Le courant électrique dans les conducteurs solides est dû à un mouvement d'ensemble d'électrons mobiles (appelés électrons de conduction) présents dans ces conducteurs.

Les électrons se déplacent en sens contraire que ce de courant électrique.



II. Mesure du courant électrique

1. Quantité d'électricité.

Les porteurs mobiles des charges électriques sont les ions et les électrons.

La quantité d'électricité Q (grandeur positive) est la valeur absolue de charges électriques déplacées par les porteurs mobiles des charges.

Elle est définie par la relation $Q = |q| = N \cdot \alpha \cdot e$

N : Le nombre de porteurs de charge

α : Le nombre de charge élémentaire pour chaque porteur de charge

e : La charge élémentaire $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

L'unité de Q est le Coulomb notée C

Exercice d'application : calculer la quantité d'électricité des ions Cl^- et Al^{3+} dans les deux cas suivantes :

- Pour un ion
- Pour la quantité de matière $n=1,5 \text{ mol}$ d'ions.

2. L'intensité du courant électrique.

L'intensité du courant électrique est le quotient de la quantité d'électricité qui travers une section S de conducteur par la durée Δt de passage.

L'intensité se désigne par la lettre I et son unité est l'ampère A

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

3. Mesure de courant électrique

Le courant électrique est mesuré à l'aide des appareils appelés ampèremètres.

Il y a deux types d'appareils : ampèremètre à aiguille et ampèremètre numérique ou multimètre (ou AVOMètre).

Symbole normalisé d'un ampèremètre :



Pour mesurer l'intensité du courant qui circule dans une branche de circuit électrique on branche l'ampèremètre en série avec l'appareil électrique. Le courant doit pénétrer l'ampèremètre par sa borne positive.

Pour éviter de détériorer l'ampèremètre. On a intérêt à le brancher sur le plus grand calibre. Il ne faut pas oublier de baisser le calibre, si possible, pour obtenir un affichage suffisamment précis.

Le plus petit calibre qui nous permet de faire la mesure fournit la valeur la plus précise.

3.1. Mesure par ampèremètre analogique ou à aiguille

a- Lecture sur l'ampèremètre

$$\text{L'intensité du courant mesurée par l'ampèremètre est : } I = \frac{C \times n}{n_0}$$

avec ;

C : calibre utilisé

n : nombre de divisions correspondant l'intensité mesuré

n_0 : nombre de divisions de cadran

Le calibre C correspond la valeur maximale de l'intensité de courant mesuré par l'ampèremètre.

b- L'incertitude absolue

L'incertitude absolue d'un ampèremètre est déterminée par la relation

$$\text{suivante : } \Delta I = \frac{C \times \text{classe}}{100}$$

C : calibre utilisé

Classe est une donnée technique de constructeur indiqué sur l'appareil.

On peut présenter l'intensité du courant mesuré par l'écriture suivante : $(I_{\text{mesuré}} \pm \Delta I)(A)$ ou

$$I_{\text{mesuré}} - \Delta I \leq I \leq I_{\text{mesuré}} + \Delta I$$

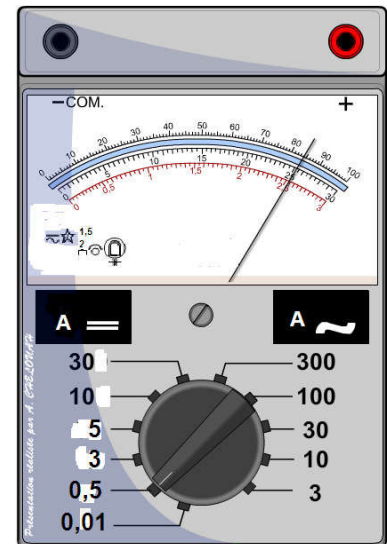
c- L'incertitude relative ou précision de mesure

Définie par le quotient : $\frac{\Delta I}{I}$ (à multiplier par 100 pour l'avoir en pourcentage)

Exercice : d'après le schéma d'ampèremètre précédente ; déterminer :

- L'intensité du courant mesuré.
- L'incertitude absolue.
- La précision de mesure.

2.2. Ampèremètre numérique



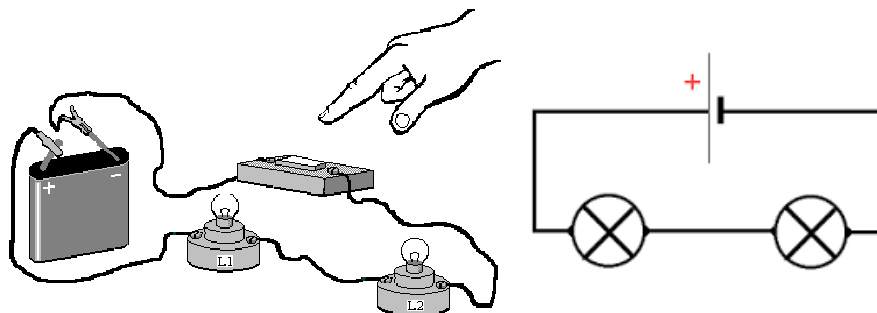


III. Propriétés du courant électrique

1. Montage en série

Le montage en série est le montage où tous les dipôles sont branchés les uns à la suite des autres.

Dans un circuit en série, l'intensité du courant est la même dans tous les composants électriques qui le constituent (y compris le générateur)



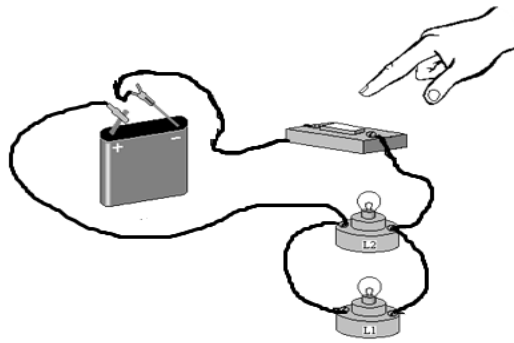
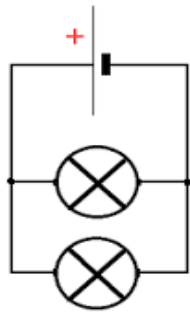
Lois d'unicité de l'intensité:

L'intensité du courant est la même en tout point d'un circuit série.

2. Montage en dérivation

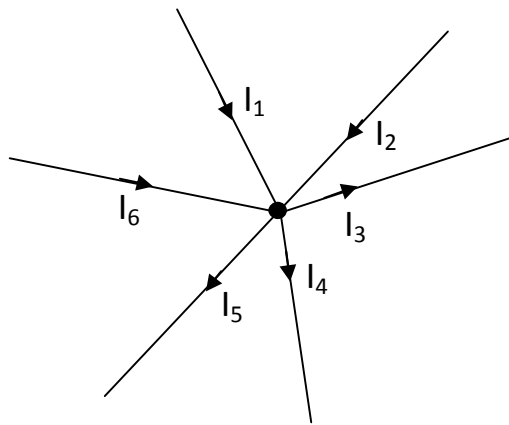
On dit qu'un circuit est en dérivation si tous les dipôles (ou séries de dipôles) sont branchés en dérivation.

Un circuit en dérivation peut être distingué d'un circuit en série car il comporte toujours au moins deux boucles.

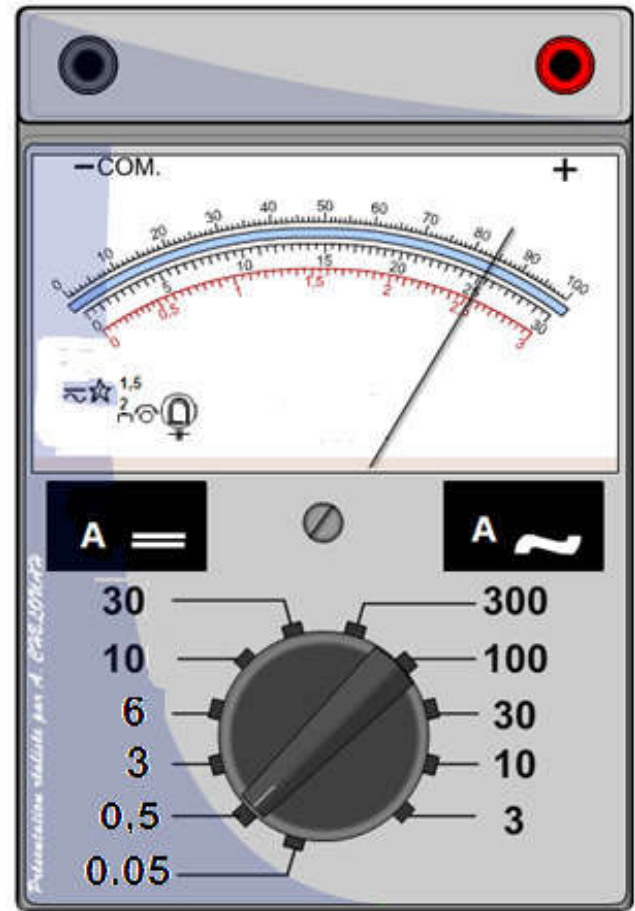
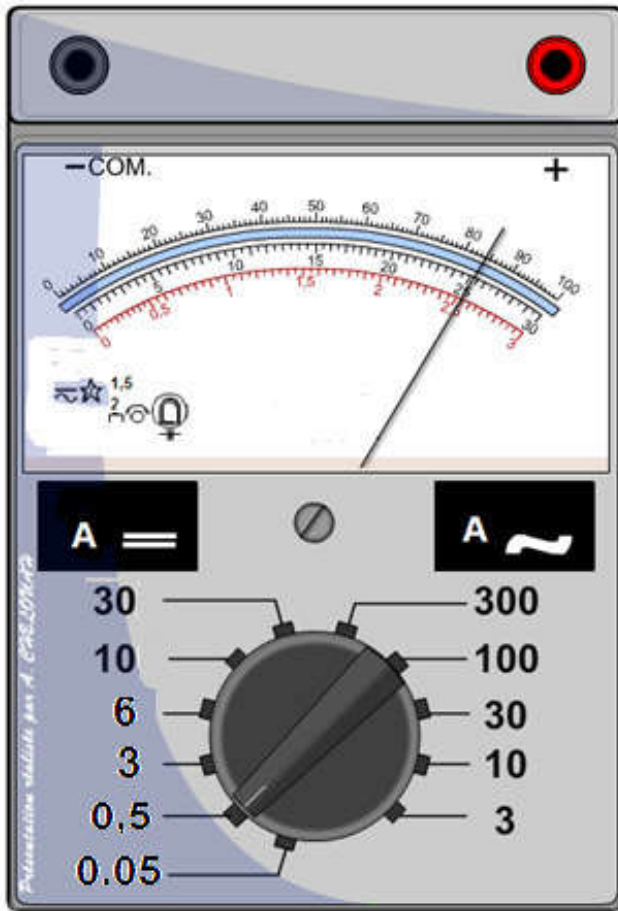
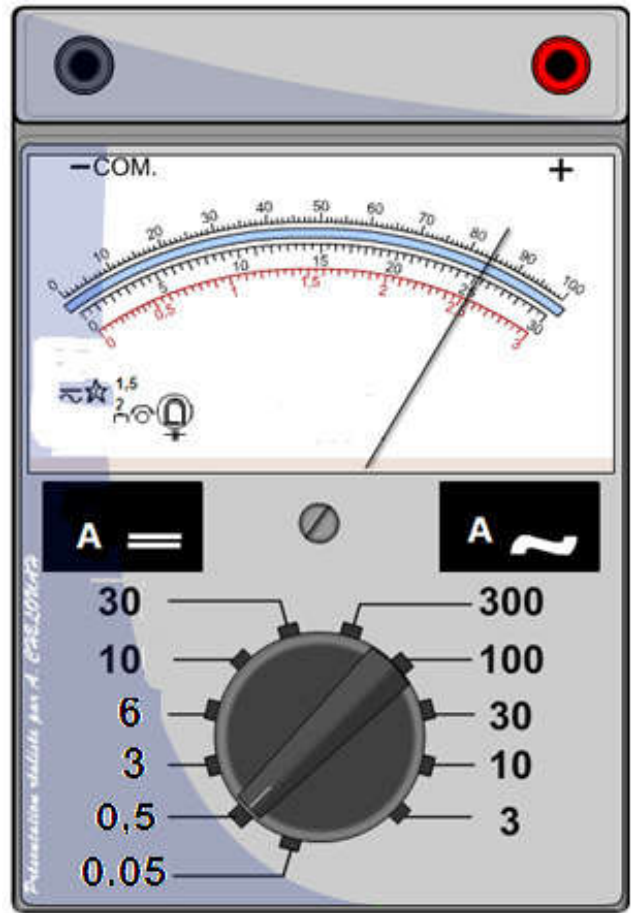
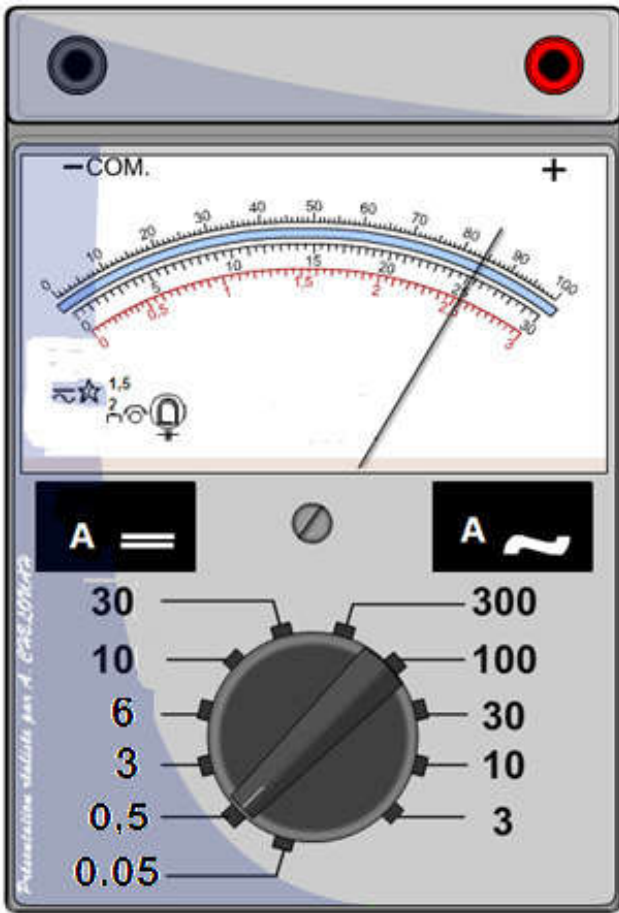


Loi de nœuds

La somme des intensités des courants qui arrivent à un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui partent : $\sum I_{\text{arrivent}} = \sum I_{\text{partent}}$



$$I_1 + I_2 + I_6 = I_3 + I_4 + I_5$$



LA TENSION ÉLECTRIQUE

I- La tension électrique

1-Notion de potentiel électrique :

Chaque point d'un circuit se caractérise par son état électrique. On l'appelle potentiel électrique, noté V et s'exprime en volt.

2-La tension électrique

La tension électrique est la grandeur physique qui exprime la différence de potentiel (ddp) entre deux points d'un circuit électrique. Le symbole de cette grandeur physique est U , son unité est le volt (V).

La tension électrique U_{AB} entre deux points A et B quelconques d'un circuit correspond à la différence de potentiels V_A et V_B entre les points A et B, on écrit :

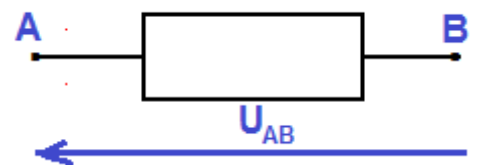
$$U_{AB} = V_A - V_B \Rightarrow \begin{cases} V_A: \text{potentiel électrique au point A en (V)} \\ V_B: \text{potentiel électrique au point B en (V)} \\ U_{AB}: \text{la tension électrique en (V) entre les points A et B} \end{cases}$$

3-Représentation de la tension électrique :

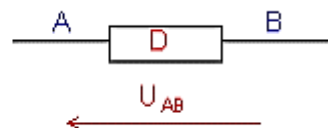
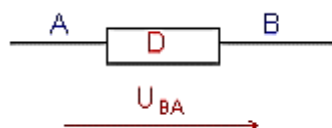
La tension électrique U_{AB} est représentée par une flèche dirigée du point B vers le point A.

4-La tension est une grandeur algébrique :

- Si $V_A > V_B \Rightarrow V_A - V_B > 0$ alors : $U_{AB} > 0$
- Si $V_A < V_B \Rightarrow V_A - V_B < 0$ alors : $U_{AB} < 0$
- Si $V_A = V_B \Rightarrow V_A - V_B = 0$ alors : $U_{AB} = 0$



La tension électrique a une valeur algébrique qu'on peut écrire $U_{AB} = -U_{BA}$



II-Mesure de la tension électrique :

1-Le voltmètre :

Un voltmètre permet de mesurer la tension électrique aux bornes d'un dipôle.

Il faut toujours brancher un voltmètre en dérivation du dipôle considéré et le courant doit rentrer par la borne « V » ou + du voltmètre et sortir de sa borne « COM » ou -.

2-Lecture de voltmètre à aiguille :

La tension mesurée U est donnée par la relation suivante :

$$U = C \cdot \frac{n}{n_0} \Rightarrow \begin{cases} C: \text{le calibre en (V)} \\ n: \text{le nombre de déviation indiqué par l'aiguille} \\ n_0: \text{le nombre de déviation de cadran} \end{cases}$$

L'incertitude absolue sur la mesure de la tension est :

$$\Delta U = \frac{C \cdot x}{100} \Rightarrow \begin{cases} C: \text{calibre utilisé} \\ x: \text{classe de l'appareil} \end{cases}$$

L'incertitude relative : $\frac{\Delta U}{U} = \frac{C \cdot x}{100 U}$

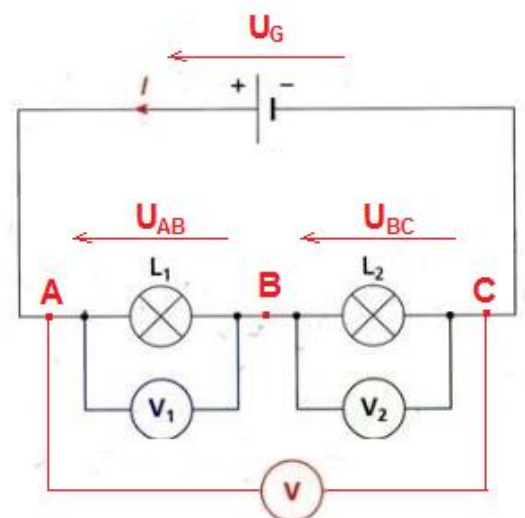
L'incertitude relative s'exprime en pourcentage, plus qu'elle est petite plus que la précision de la mesure est grande.

III-La loi des tensions dans les circuits électrique :

1-Les circuits en série :

La tension entre deux points d'un circuit est égale à la somme des tensions entre tous les dipôles montés en série entre ces deux points.

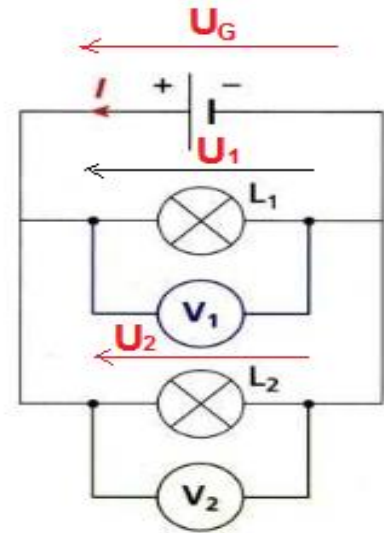
Loi d'additivité des tensions : $U_G = U_{AB} + U_{BC}$



2-Les circuits en dérivation :

Deux dipôles branchés en dérivation sont soumis à la même tension.

Loi d'unicité de tension : $U_G = U_1 = U_2$



IV-Visualisation des tensions variables :

1-L'oscilloscope :

L'oscilloscope est un appareil qui permet de visualiser et de mesurer les grandeurs du temps.

2-Visualisation d'une tension continue :

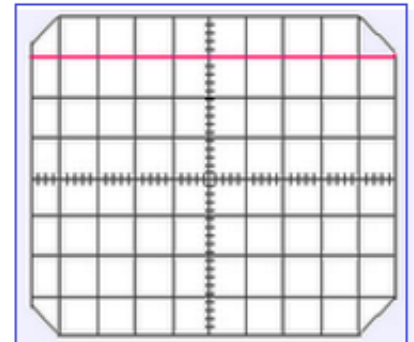
Pour déterminer la valeur de la tension U , on utilise la relation :

$$U = S_V \cdot Y \Rightarrow \begin{cases} S_V : \text{la sensibilité verticale en (V/div)} \\ Y : \text{la diviaton verticale du traie en (div)} \end{cases}$$

Exemple :

Calculer la tension mesurer par l'oscilloscope sachant que $S_V = 2V/div$

$$U = 2 \times 3 = 6V$$

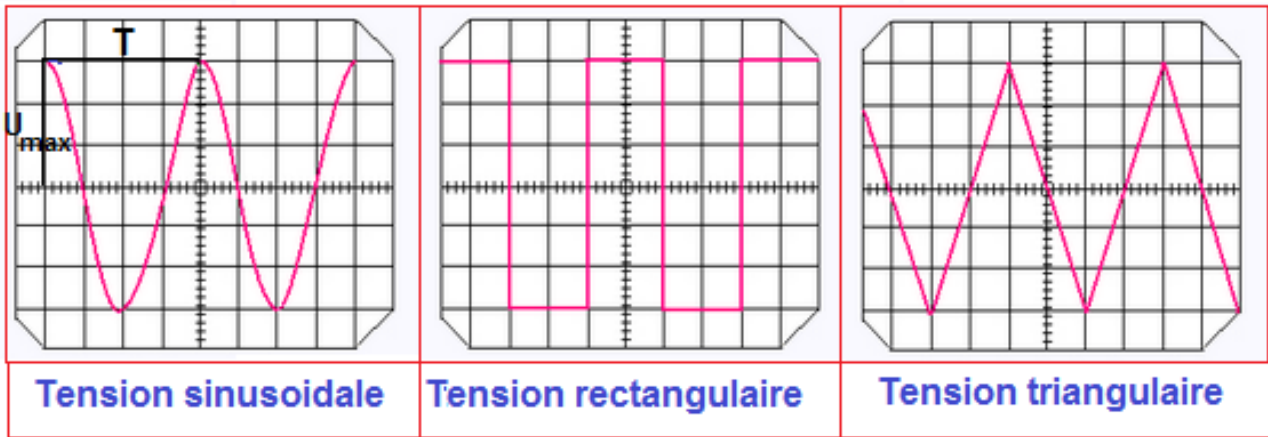


3-Visualisation d'une tension variable :

Une tension variable est une tension dont la valeur change au cours du temps.

Une tension alternative prend des valeurs positives puis négatives alternativement au cours du temps.

Exemples des tensions variables :



4- Caractéristiques d'une tension variable et périodique :

- La tension maximale U_{max} est la valeur maximale de la tension variable.
- La tension efficace U_{eff} est la valeur indiquée par l'ampèremètre lorsqu'on l'utilise pour mesurer la tension variable.

La tension maximale et la tension efficace sont liées par la relation suivante :

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

- La période T est la plus petite durée au bout de laquelle la tension se reproduit identique à elle-même. Son unité est la seconde (s).
- La fréquence f : est le nombre de périodes en une seconde. Son unité est l'Hertz (Hz). La fréquence est l'inverse de la période : $f = \frac{1}{T}$

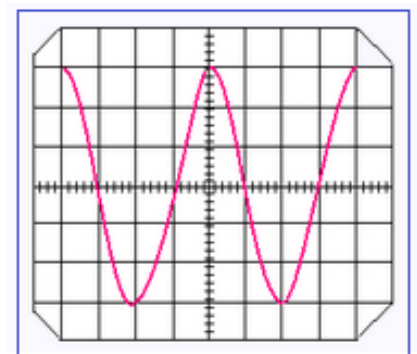
Application :

Déterminer U_{max} , T et déduire f de tension sinusoïdale.

On donne : La sensibilité verticale : $S_V = 2 \text{ V/div}$

La sensibilité horizontale : $S_H = 5 \text{ ms/div}$

Réponse :



$$U_{max} = y \cdot S_V = 3 \text{ div} \times 2 \text{ V/div} = 6 \text{ V}$$

$$T = x \cdot S_H = 4 \text{ div} \times 5 \text{ ms/div} = 20 \text{ ms} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-2}} = 50 \text{ Hz}$$

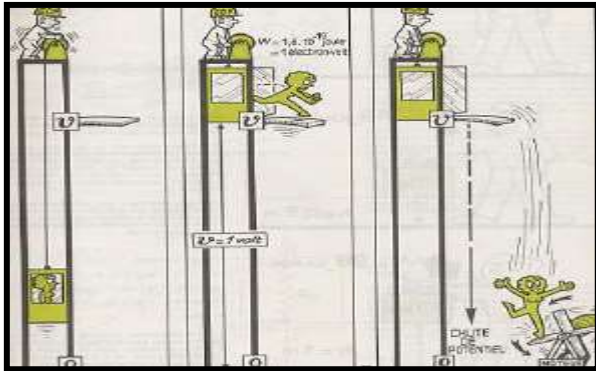
LA TENSION ELECTRIQUE

ou

Les différences de potentiels (DDP)

Prof. DELAHI Mohamed

1 – Modélisation de la tension électrique



2- Définition

La tension ou la différence de potentiel (ddp) U_{AB} (en volt) entre deux points d'un circuit est égale à la différence des potentiels électriques entre ces deux points :

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

Tension en V
Potentiel en A en V
Potentiel en B en V

3 – Unité -symbole et représentation

Unité : L'UNITE DE TENSION EST LE VOLT DE SYMBOLE V
LE SYMBOLE DE LA TENSION EST U

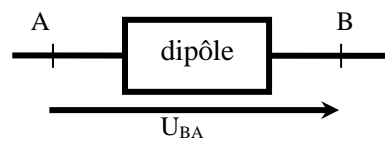
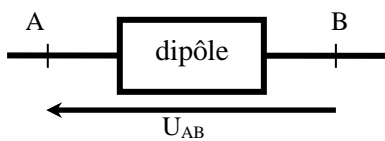
Remarque : On utilise aussi des unités multiples et sous multiples du volt. Citons en quelques-unes :
le kilovolt : $1kV = 1000 V$; le millivolt : $1 mV = 0,001 V$

ordres de grandeurs :

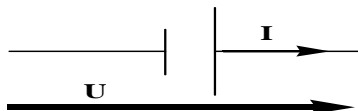
- Entre les deux extrémités d'un éclair : **100 000 V**
- Entre les bornes d'une batterie : **12 V**
- Entre les bornes d'une pile isolée : **1,5 – 4,5 V**
- Aux bornes d'une machine industrielle : **400 V**

Représentation schématique :

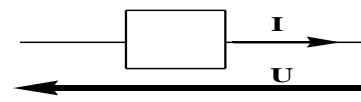
On utilise une flèche, appelée flèche tension, dont la pointe est dirigée vers la PREMIERE lettre citée.



Le sens de la flèche tension ne permet pas de connaître le sens du courant électrique. On dessine la tension par une flèche aux bornes du dipôle étudié (dipôle : appareil possédant deux bornes) et cela de manière différentes s'il s'agit d'un récepteur ou d'un générateur



Convention générateur

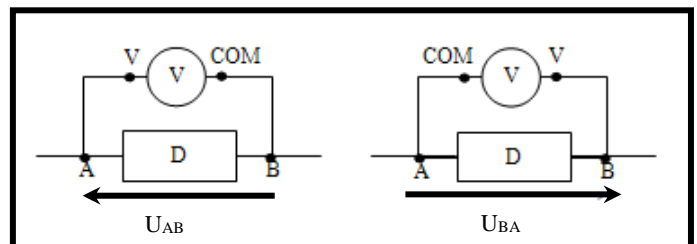


Convention récepteur

Comment mesurer une tension électrique?

La mesure de tension entre deux points d'un circuit électrique s'effectue à l'aide d'un voltmètre. On le représente comme ceci :

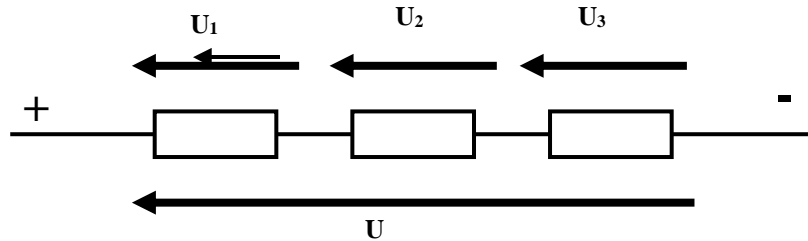
Un voltmètre se branche toujours en parallèle entre les deux point du circuit que l'on veut mesuré. La borne COM du voltmètre se branche sur la tension la plus faible.



4- Groupement de récepteurs

En série :

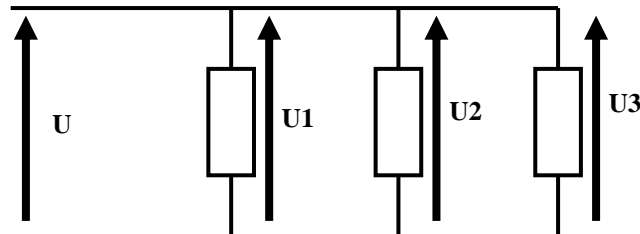
$$U = U_1 + U_2 + U_3$$



La tension U est égale à la somme des tensions U_1, U_2, U_3 , se trouvant aux bornes de récepteur.

En parallèle ou en dérivation:

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$



La tension aux bornes de chaque récepteur est égale à U .

Exercice d'application N° 1:

Dans le circuit électrique suivant :

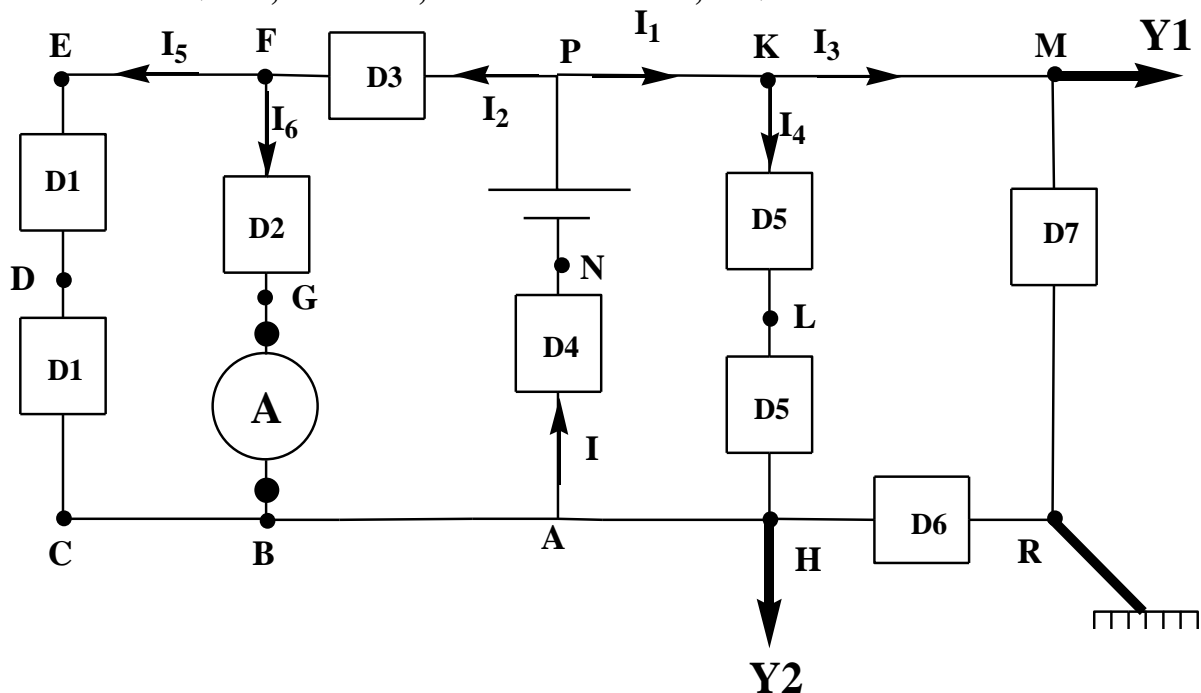
- ✓ les dipôles D1;D2;D7 sont tous des récepteurs.
- ✓ la solution électrolytique utilisée : chlorure de calcium
- ✓ le pôle négatif "com" du voltmètre numérique est lié à la borne P et le pôle positif "VΩ" est lié à la borne F (voir figure 1)
- ✓ La masse de l'oscilloscope "Noir" est lié à la borne R, l'entrée Y1 est lié à la borne M et l'entrée Y2 est lié à la borne H (voir figure 1)

Données :

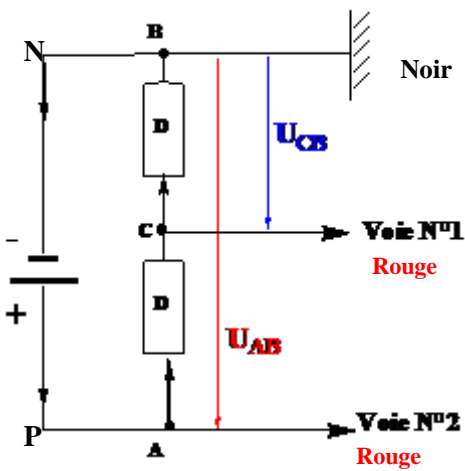
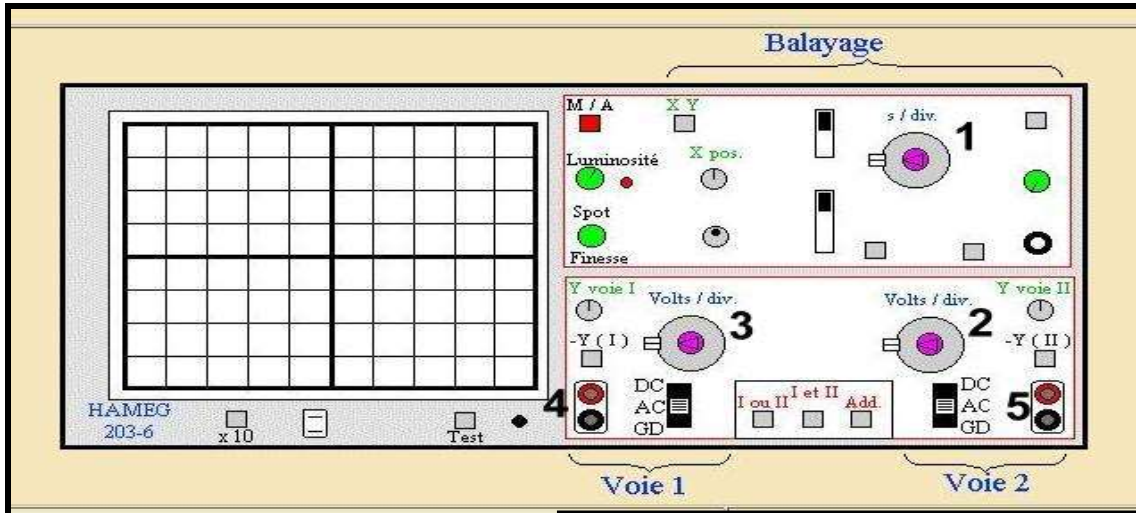
$$U_{MR} = 6V \quad ; \quad U_{NA} = -2V \quad ; \quad U_{RH} = 4V \quad ; \quad U_{BF} = -6V.$$

- 1) Calculer les tensions électriques : U_{DE} ; U_{FP} ; U_{KL} justifier.
- 2) Calculer la tension électrique U_{PN} par 2 méthodes différentes.
- 3) Donner les tensions électriques que mesure l'oscilloscope puis représente, avec 2 couleurs différentes, sur la Figure N° 3 l'écran de l'oscilloscope.

On donne : $S_{V1} = 1,5 V / div$; $S_H = 1 ms/div$; $S_{V2} = 2 V / div$



Mesure de la tension électrique grâce à un oscilloscope :



- 1- Sensibilité horizontale S_H
- 2- Sensibilité verticale S_V de la voie 2
- 3- Sensibilité verticale S_V de la voie 1
- 4- L'entrée de la voie 1
- 5- L'entrée de la voie 2

Nombre de division

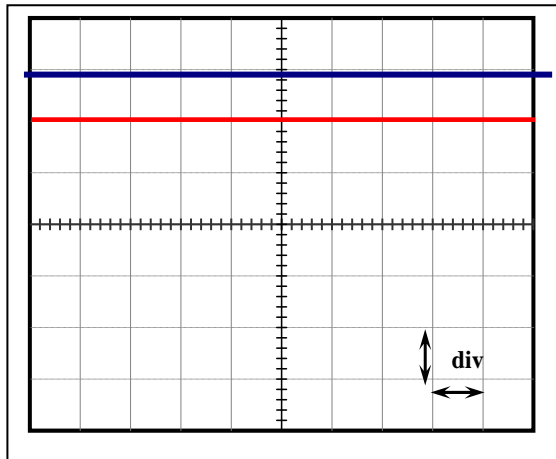
$$U_{AB} = S_V \times d$$

Sensibilité verticale S_V
de l'entrée Y_2 (v/div)

Nombre de division

$$U_{CB} = S'_V \times d'$$

Sensibilité verticale S_V
de l'entrée Y_1 (v/div)



Exercice d'application N°2:

Cherchons le générateur dans le circuit électrique

Dans le circuit électrique suivant :

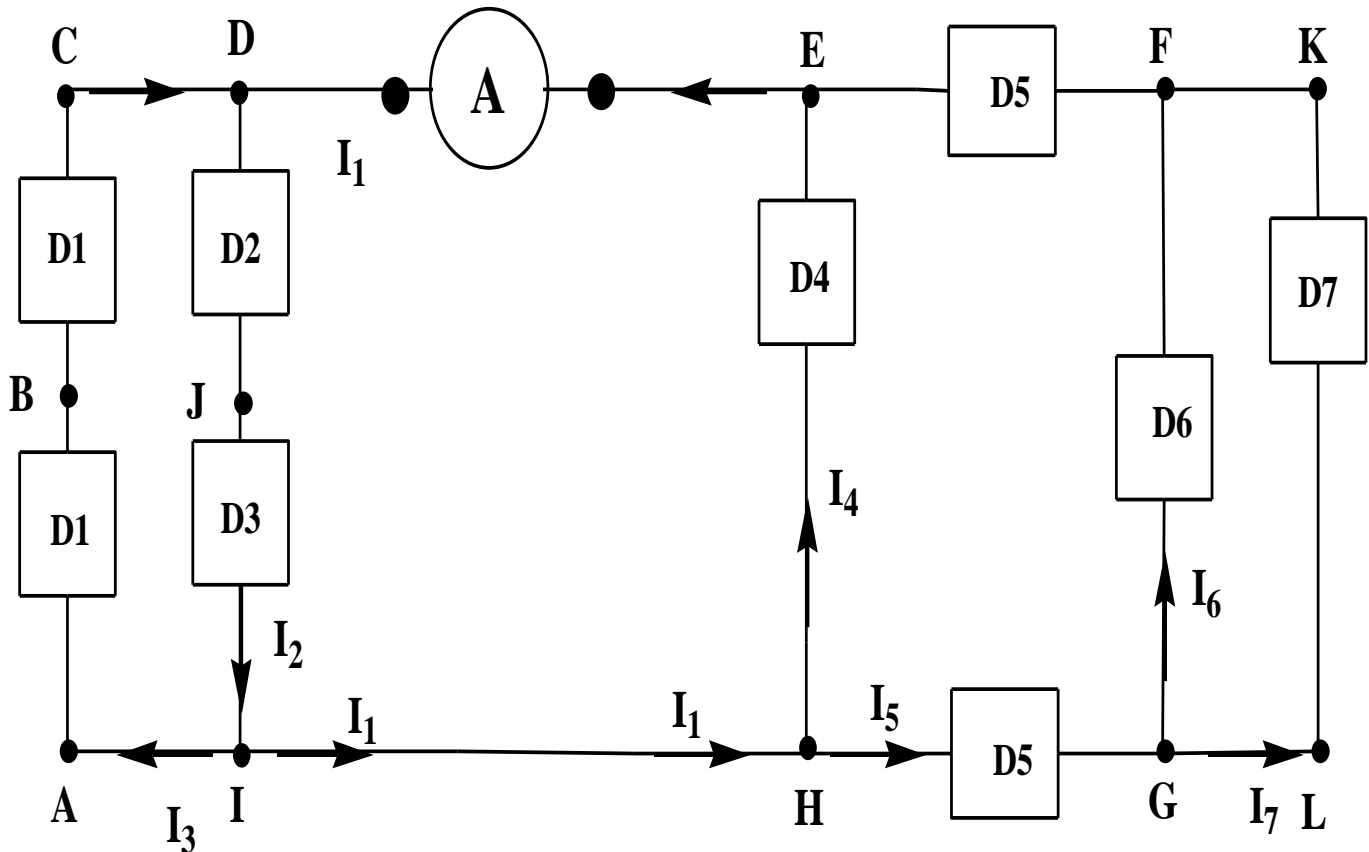
- ✓ les dipôles D1;D2;D8 sont tous des récepteurs sauf un seul dipôle : générateur.
- ✓ la solution électrolytique utilisée : sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$
- ✓ l'ampèremètre à aiguille utilisé : C (calibre) = 20 mA ; D (nombre de division global) = 150.

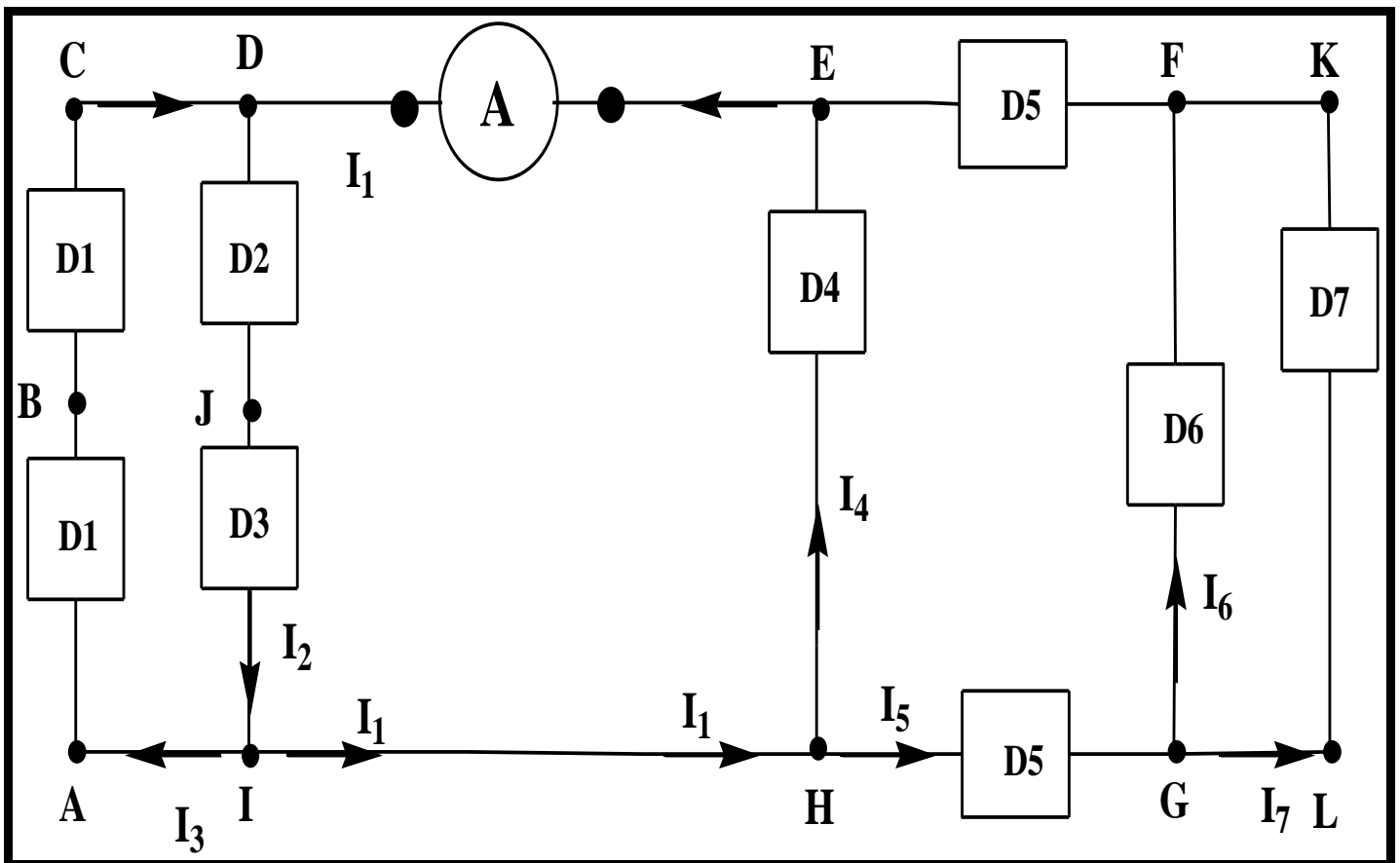
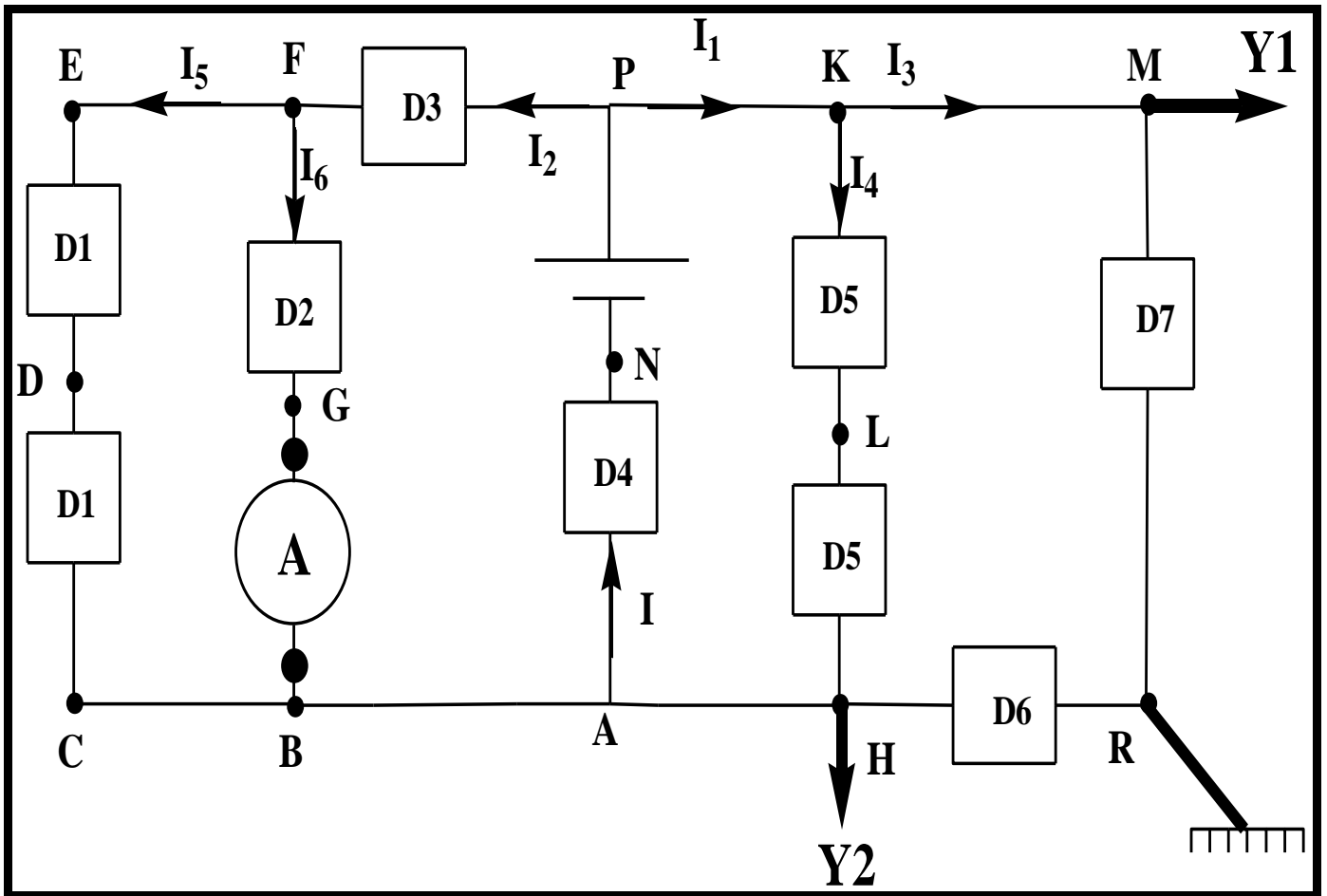
Données :

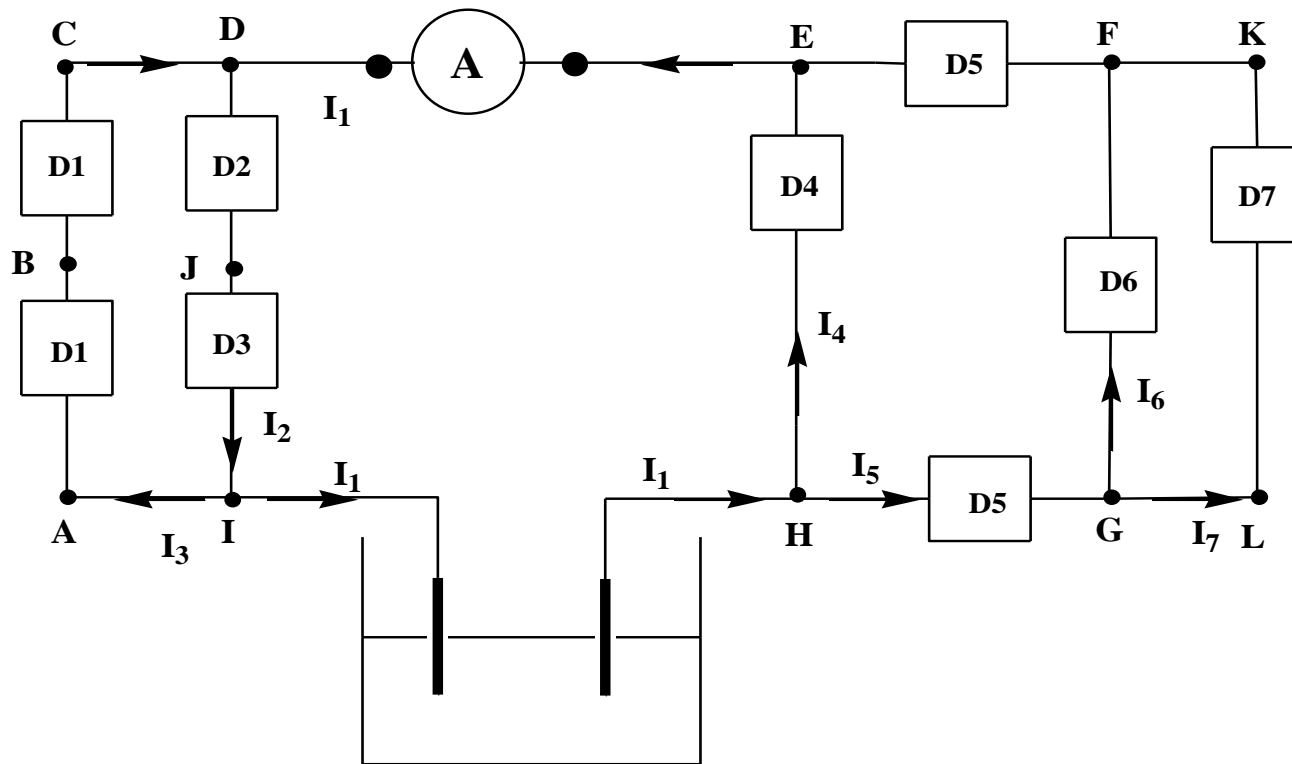
$$I_1 = 20 \text{ mA} ; I_3 = 5 \text{ mA} ; I_5 = 15 \text{ mA} ; I_6 = 8 \text{ mA} ;$$

$$U_{AC} = 20 \text{ V} ; U_{JI} = 10 \text{ V} ; U_{GF} = 8 \text{ V}.$$

- 1) Représenter sur schéma du montage "voir annexe" les données ainsi que les tensions demandées en précisant :
 - Les 2 pôles de l'ampèremètre.
 - le sens de déplacement des porteurs de charges dans la solution électrolytique.
- 2) Calculer les intensités du courant électrique suivant : $I_2 ; I_4 ; I_7$.
- 3) Calculer les tensions électriques : $U_{CB} ; U_{JD} ; U_{GH} ; U_{KL}$ justifier.
- 4) en déduire le dipôle D qui représente le générateur dans ce montage par 2 méthodes différentes.







Unité 2 : la tension électrique

I. Tension électrique

1. Notion de tension électrique

Pour quoi le courant électrique circule dans la branche électrique de la borne A vers la borne B

Explication : la circulation de courant électrique d'un point A vers un autre B est à cause de l'asymétrie (ou dissymétrie) électrique entre A et B (le point A est plus haut électriquement que B). la différence de niveau électrique entre A et B est s'appelle **la tension électrique**.

La tension électrique aux bornes A et B d'un dipôle est notée U_{AB} . Elle est représentée par une flèche allant de B vers A.

La tension est une grandeur algébrique (positive ou négative) : $U_{AB} = - U_{BA}$

L'unité de mesure d'une tension est le **Volt** noté V.

2. Tension électrique et la différence de potentiel

Un niveau électrique est appelé potentiel électrique noté V, et s'exprimé en volt.

La tension électrique est la différence de potentiel entre deux points, nous écrivons : $U_{AB} = V_A - V_B$

V_A : Potentiel électrique en A.

V_B : Potentiel électrique en B.

$$U_{BA} = V_B - V_A = -U_{AB}$$

3. La masse d'un circuit électrique

La masse, dans un circuit électrique, est la branche (un point ou ensemble de points de même potentiel) de référence des potentiels électriques.

Dans la majorité des cas, le potentiel électrique de cette branche est la référence 0V du circuit considéré.

La masse de circuit est représentée par la lettre M ou par le symbole



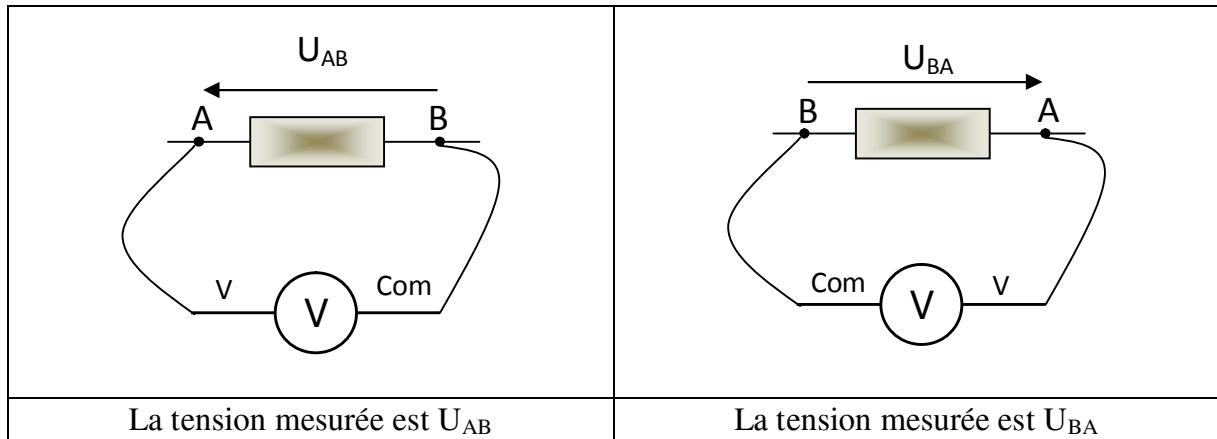
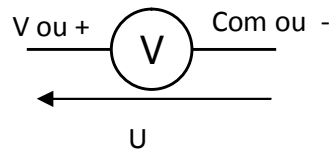
II. Mesure de tension électrique

1. Utilisation de voltmètre

Les appareils servant à mesurer une tension sont le voltmètre ou le multimètre.

Pour mesurer la tension entre deux point A et B, on branche le voltmètre en dérivation (en parallèle) par rapport au dipôle dont on mesure la tension.

Le voltmètre est représenté par le symbole normalisé :



a. Voltmètre à aiguille ou analogique



➤ Lecture sur un voltmètre à aiguille : $U = \frac{C \times n}{n_0}$

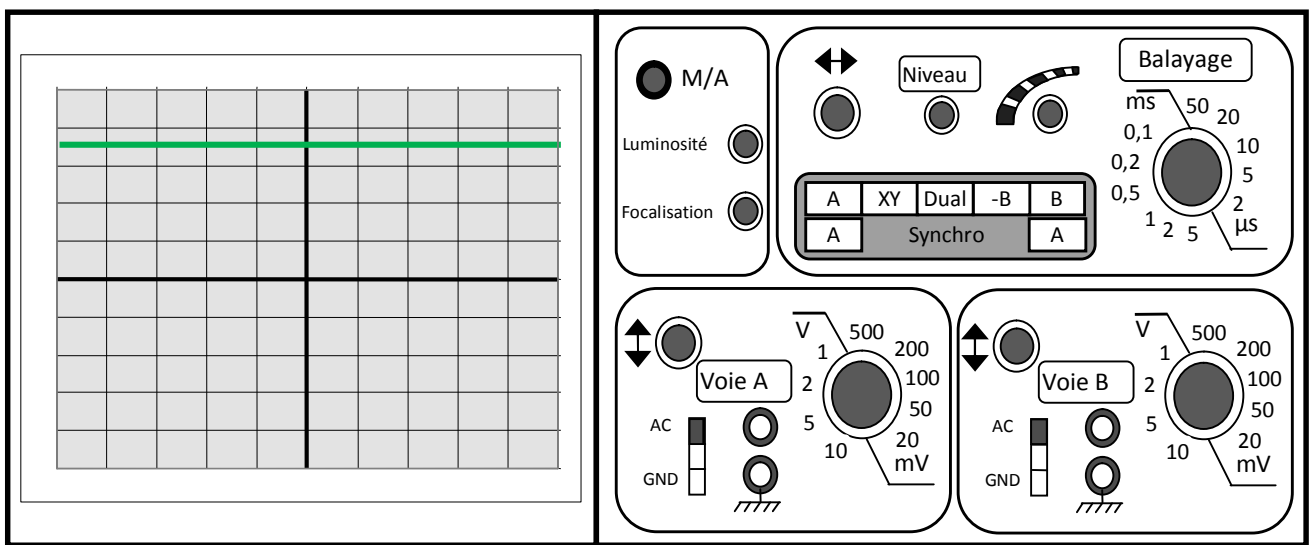
- C : le calibre utilisé pour mesurer la tension
- n : Division de déviation de l'aiguille ou de lecture.
- n_0 : Le nombre de division de cadran de lecture

➤ L'incertitude absolue : $\Delta U = \frac{C \times \text{classe}}{100}$

➤ L'incertitude relative ou précision de mesure : est le rapport $\frac{\Delta U}{U}$

Exercice : pour mesurer la tension U aux bornes d'un générateur ; on utilise un voltmètre dont le cadran comporte 150 divisions. Le calibre choisi est 30 V. l'aiguille s'arrête devant la division 45. Classe de l'appareille est 1,5.

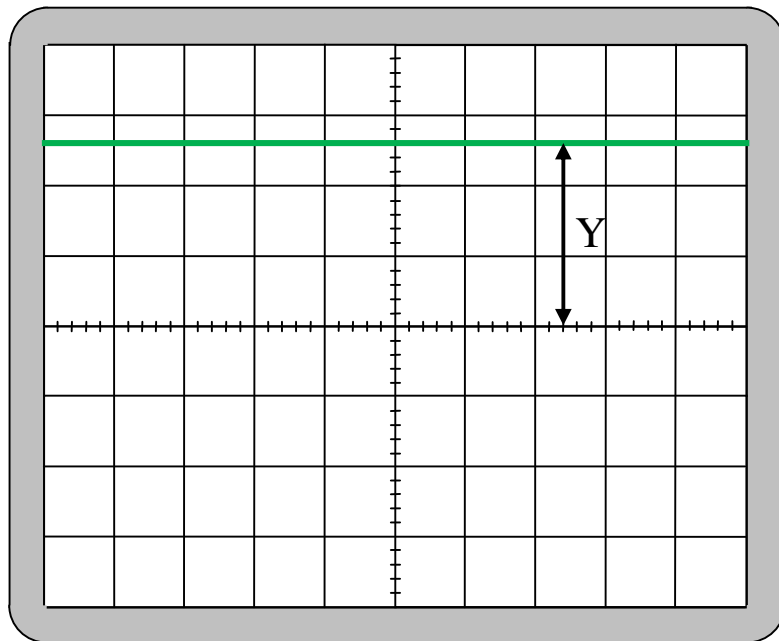
- 1- Donner la valeur de U
 - 2- Calculer l'incertitude relative
 - 3- Devant quelle division X et Y s'arrêterait l'aiguille si on choisissait le calibre 15V ou le calibre 150V.
2. Mesure de tension par l'oscilloscope.



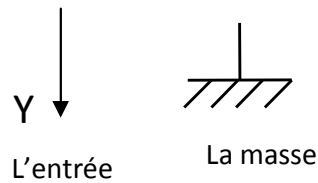
La tension mesurée est déterminée par la relation : $U = Y \times S_v$

Y : Nombre de division de déviation verticale de la spot lumineuse correspond la tension en div.

S_v ou S_Y : la sensibilité verticale de l'oscilloscope en Volt/div.



L'oscilloscope est représenté par le symbole suivant :



La tension mesurée par l'oscilloscope entre l'entrée Y et la masse est dirigée de la masse vers l'entrée



L'oscilloscope est un instrument de mesure destiné à visualiser une tension électrique continue ou variable au cours du temps, et de déterminer ses caractéristiques.

La sensibilité verticale est l'échelle de l'axe des ordonnées représentant la tension. Elle s'exprime en volt/division.

La sensibilité horizontale ou vitesse de balayage est l'échelle de l'axe du temps (l'axe des abscisses). Elle s'exprime en seconde/division.

III. Propriétés de la tension

1. Tension aux bornes du fil de connexion.

La tension aux bornes du fil de connexion est nulle.

En réalité la tension aux bornes du fil de connexion est infiniment petit et ça ce qui explique la circulation du courant dans le fil de connexion.

2. Montage en série

Loi d'additivité des tensions :

La tension aux bornes d'un ensemble de récepteurs (dipôles) branchés en série correspond à la somme des tensions de chacun entre eux.

3. Montage en dérivation

Loi d'unicité des tensions

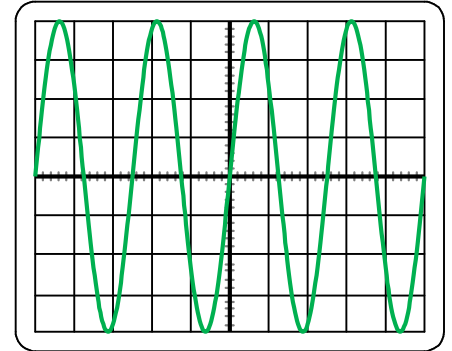
Lorsque les récepteurs sont branchés en dérivation la tension à leurs bornes est la même.

IV. Les tensions alternatives

1. Tension alternative sinusoïdale

Une tension alternative est une tension variable qui prend alternativement deux valeurs limites l'une positives et l'autre négatives.

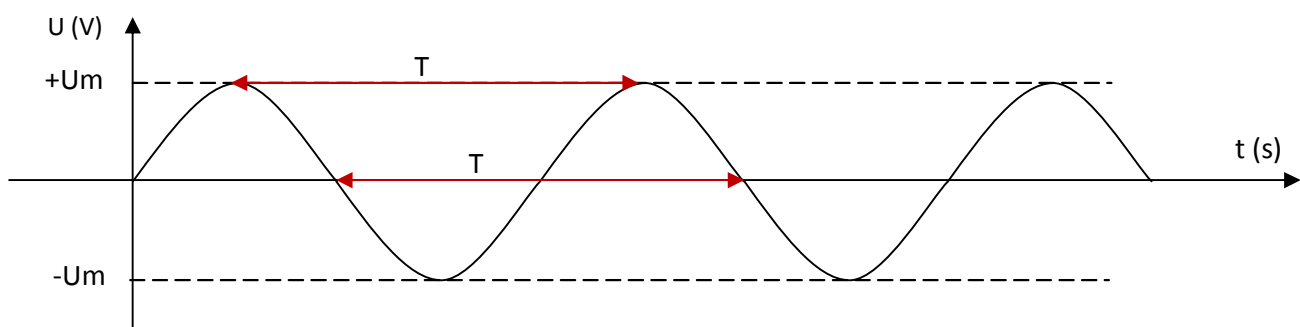
La tension alternative sinusoïdale est toute tension alternative se décrire par une fonction sinus.



a. Période et fréquence

La tension périodique est une tension électrique qui se reproduit de manière identique après des laps de temps égaux.

- La période d'un signal alternatif est la plus petite durée au bout de laquelle le signal se reproduit de manière identique. Elle s'exprime en seconde s , et est notée T .
- La fréquence d'un signal périodique alternatif correspond au nombre de périodes par seconde. Elle est notée f ; et s'exprime en Hertz (Hz).
- La fréquence s'obtient par la relation : $f = \frac{1}{T}$



b. Tension maximale et tension efficace

✓ Tension maximale ou amplitude : c'est la valeur maximale de la tension. On la note U_m . Elle

s'exprime en volt : $U_m = Y_m \times S_v$

Y_m : Nombre de division correspond l'amplitude.

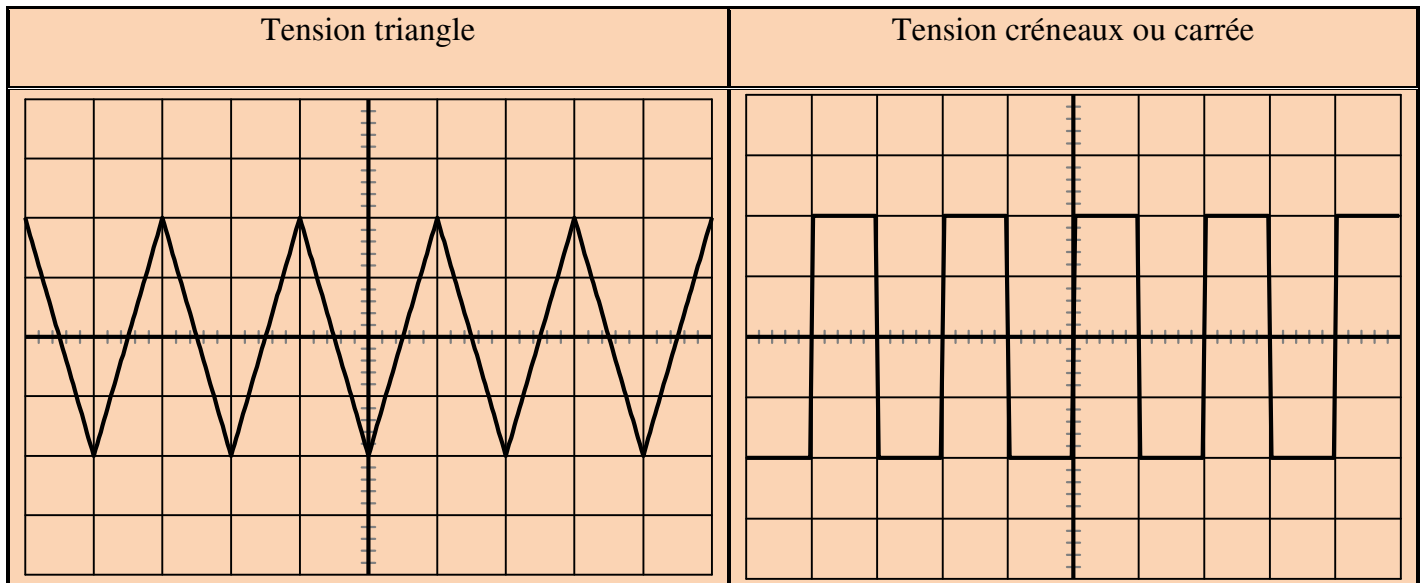
✓ Tension efficace : est la valeur de la tension continue qui produit un échauffement identique. Valeur de la tension continue produisant les mêmes effets sur les récepteurs que la tension variable.

La tension efficace d'une tension sinusoïdale notée U_e ou U_{eff} est liée à la tension maximale U_m

par la relation : $U_e = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$

Un voltmètre en mode (AC) donne directement la valeur de la tension efficace.

2. Autres tensions alternatives (variables)



Association des conducteurs ohmiques

I- Le conducteur ohmique :

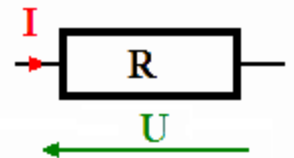
1-La résistance :

Le conducteur ohmique est un dipôle passif caractérisé par une grandeur physique s'appelle la résistance, notée R.

L'unité de la résistance dans (S.I) est ohm notée (Ω).

2-Loi d'ohm :

La tension aux bornes d'un conducteur ohmique, est proportionnelle à L'intensité du courant I qui le traverse.

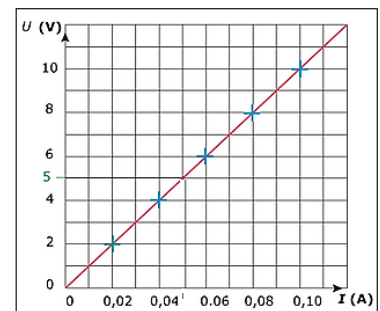


$$U = R.I \Rightarrow \begin{cases} U : \text{tension en volts (V)} \\ R : \text{Résistance en ohms } (\Omega) \\ I : \text{intensité du courant en ampères (A)} \end{cases}$$

Remarque :

La caractéristique $U = f(I)$ d'un conducteur ohmique est **linéaire** le coefficient directeur de la caractéristique est appelé la résistance R du conducteur ohmique.

La **conductance** G d'un conducteur ohmique est l'inverse de sa résistance R. L'unité de G est siemens (S).



$$G = \frac{1}{R} \Rightarrow G = \frac{I}{U}$$

G s'exprime en siemens noté (S).

3-Résistance d'un fil métallique :

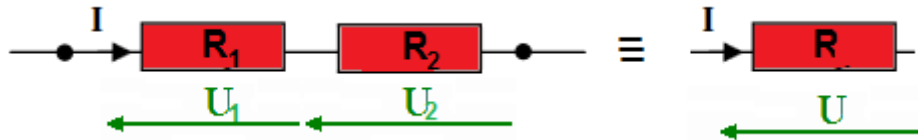
La résistance d'un fil métallique dépend de sa longueur L, de sa section S et de la nature du matériau qui le constitue.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \Rightarrow \begin{cases} L : \text{longueur du fil en (m)} \\ \rho : \text{la résistivité du matériau en } (\Omega \cdot \text{m}) \\ S : \text{La section du fil en } (\text{m}^2) \end{cases}$$

II-Association des conducteurs ohmiques :

1-Association en série :

Deux conducteurs ohmiques de résistance R_1 et R_2 associés en série sont équivalents à un conducteur ohmique de résistance R .



Loi d'additivité des tensions : $U = U_1 + U_2$ (1)

Loi d'ohm : $U = R.I$, $U_1 = R_1.I$ et $U_2 = R_2.I$

On remplace dans la relation (1) : $R.I = R_1.I + R_2.I = (R_1 + R_2).I$

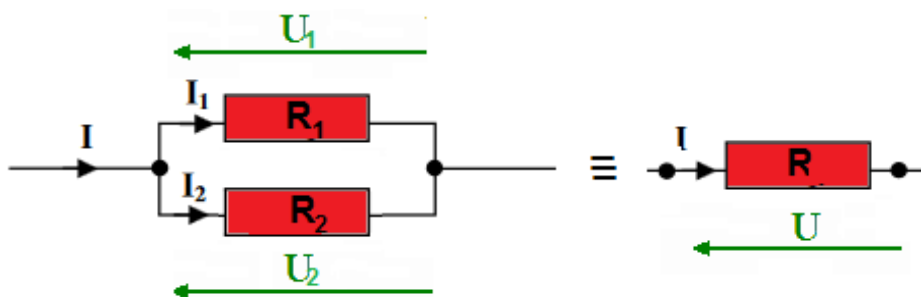
$$R = R_1 + R_2$$

Généralisation :

La résistance équivalente à l'association des n conducteurs ohmique branchés en série est égale : $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

2-Association en dérivation :

Deux conducteurs ohmiques de résistance R_1 et R_2 associés en dérivation sont équivalents à un conducteur ohmique de résistance R .



Loi des nœuds : $I = I_1 + I_2$ on a ; $U = U_1 = U_2$ (circuit en dérivation)

D'après la loi d'ohm : $I = \frac{U}{R}$; $I_1 = \frac{U}{R_1}$ et $I_2 = \frac{U}{R_2}$

On remplace dans la relation (2) : $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Généralisation : La résistance équivalente, à l'association des n conducteurs ohmique branchés en dérivation, est égale :

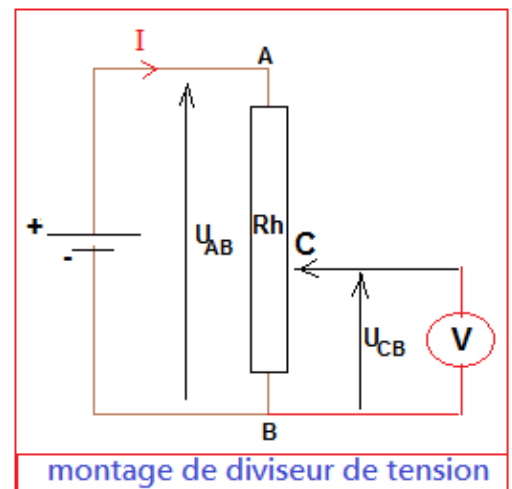
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

III-Diviseur de tension :

1-Montage de diviseur de tension :

Pour obtenir un générateur de tension variable à partir d'un générateur de tension continue on réalise un montage de diviseur de tension ou montage potentiométrique.

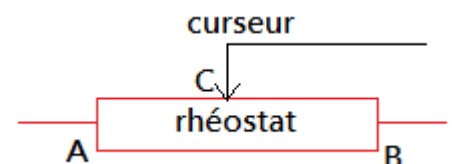
Le montage est constitué par un rhéostat associé en dérivation avec un générateur de tension continue.



Remarque :

Le rhéostat est une résistance variable qui possède trois bornes A, B et C.

R_{AB} : représente la résistance totale du rhéostat, si on déplace le curseur C de A vers B la résistance utilisé est R_{CB} .



2-La tension de sortie :

Loi d'ohm :

$$\begin{cases} U_{CB} = R_{CB} \cdot I \\ U_{AB} = R_{AB} \cdot I \end{cases} \Rightarrow \frac{U_{CB}}{U_{AB}} = \frac{R_{CB}}{R_{AB}}$$

$$U_{CB} = \frac{R_{CB}}{R_{AB}} \cdot U_{AB}$$

Par exemple :

$$R_{CB} = \frac{R_{AB}}{4} \Rightarrow U_{CB} = \frac{U_{AB}}{4}$$

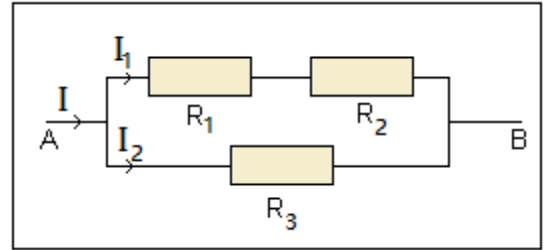
Exercice d'application :

On réalise le circuit ci-contre

On donne : $R_1 = 20 \Omega$; $R_2 = 40 \Omega$ et $R_3 = 140 \Omega$

Calculer la valeur de R la résistance

équivalente de l'association des conducteurs ohmiques R_1 , R_2 et R_3 .



Réponse :

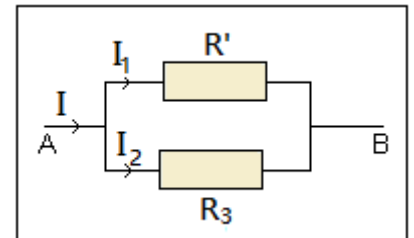
R_1 et R_2 sont montés en série la résistance équivalente est :

$$R' = R_1 + R_2 \Rightarrow R' = 20 + 40 = 60 \Omega$$

R' et R_3 sont associées en dérivation la résistance

équivalente est :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R'} + \frac{1}{R_3} = \frac{R' + R_3}{R' \cdot R_3}$$
$$R = \frac{R' \cdot R_3}{R' + R_3} \Rightarrow R = \frac{60 \times 140}{60 + 140} = 42 \Omega$$



Unité 1 : Association des conducteurs ohmiques

تجميع الموصلات الأومية

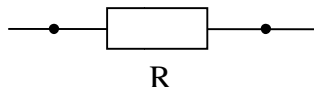
I. Conducteur ohmique

1. Définition du conducteur ohmique

Le conducteur ohmique (résistor ou résistance) est un dipôle passif caractérisé par un grandeur physique s'appelle la résistance, notée R .

L'unité de la résistance d'un conducteur ohmique en SI est OHM notée Ω .

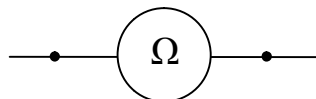
Le symbole normalisé utilisé en électricité pour représenter un conducteur ohmique est le suivant:



2. Comment déterminer la valeur de ma résistance d'un conducteur ohmique.

a) Mesure à l'ohmmètre.

L'ohmmètre est l'appareil de mesure permettant de déterminer la valeur de la résistance. Il suffit de le brancher aux bornes du conducteur ohmique dont on veut connaître la résistance. Le symbole électrique d'un ohmmètre est le suivant :

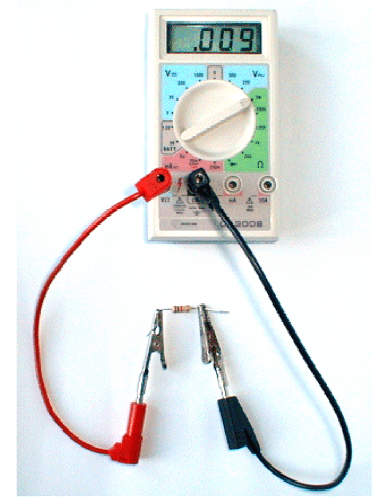


b) Utilisation du code des couleurs

Il es possible de déterminer la valeur de la résistance d'un conducteur ohmique en utilisant les anneaux de couleur disposés sur celui-ci par les fabricants.

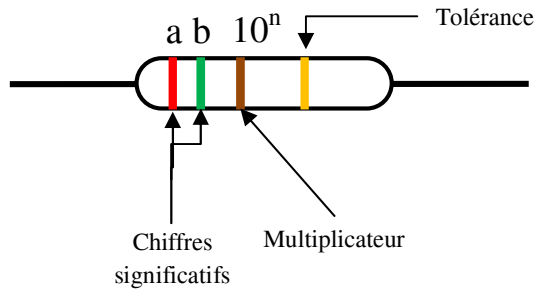
Tout d'abord il faut placer la résistance devant-soi comme l'indique le schéma ci-contre avec les 3 anneaux colorés à gauche :

- Les deux premiers anneaux indiquent les deux premiers chiffres significatifs de la valeur de la résistance.
- Le troisième anneau indique le multiplicateur.
- Le quatrième anneau (soit or soit argent) apporte une



| Code des couleurs des résistances | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
| | | | Carbone |
| | | OR | Métallique |
| | | | Métallique Haute stabilité |
| CHIFFRES SIGNIFICATIFS | MULTIPLICATEUR | TOLÉRANCE | COÉFF. DE TEMP. 10 ³ /K |
| | Argent : x 0,01 Ω | Argent : $\pm 10\%$ | |
| | Or : x 0,1 Ω | Or : $\pm 5\%$ | |
| Noir : 0 | x 1 Ω | $\pm 1\%$ | ± 200 |
| Marron : 1 | x 10 Ω | $\pm 2\%$ | ± 100 |
| Rouge : 2 | x 100 Ω | $\pm 0,5\%$ | ± 50 |
| Orange : 3 | 1 k Ω | $\pm 0,25\%$ | ± 15 |
| Jaune : 4 | 10 k Ω | $\pm 0,1\%$ | ± 25 |
| Vert : 5 | 100 k Ω | | |
| Bleu : 6 | 1 M Ω | | |
| Violet : 7 | 10 M Ω | | |
| Gris : 8 | | | |
| Blanc : 9 | | | |

indication sur la précision de la valeur de la résistance. Elle est donnée en pourcentage par le fabricant.



$$R = ab \cdot 10^n \pm \text{Tolérance}$$

Exemples :

| Résistance | Anneau 1 | Anneau 2 | Anneau 3 | R |
|------------|----------|----------|----------|--|
| R_1 | Marron | Gris | Marron | $R_1 = 18 \cdot 10^1 \Omega = 180 \Omega$ |
| R_2 | Rouge | Bleu | Vert | $R_2 = 23 \cdot 10^5 \Omega = 2,3 \text{ M}\Omega$ |
| R_3 | Jaune | Noir | Orange | $R_3 = 40 \cdot 10^3 \Omega = 40 \text{ K}\Omega$ |

3. Loi d'Ohm

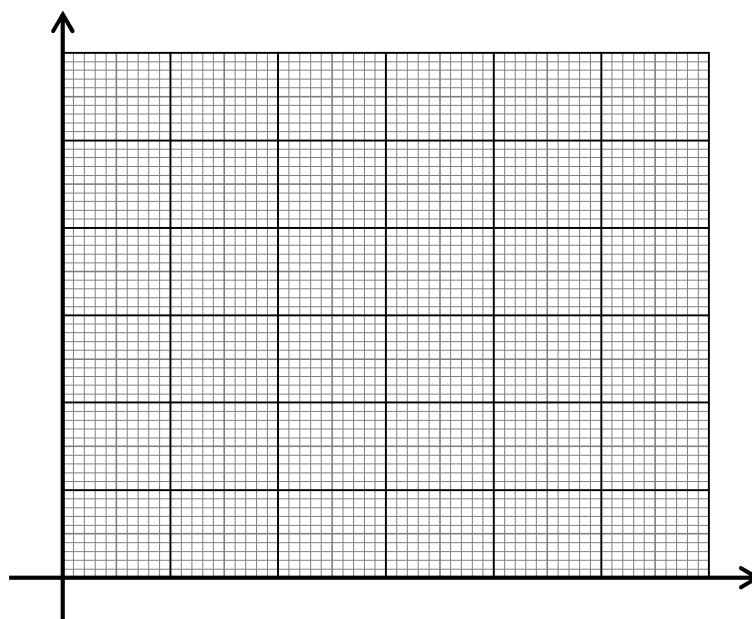
On réalise le montage ci-contre avec un générateur 0 – 15 V et un conducteur ohmique de résistance $R = \dots\dots$

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.

Tableau de mesure expérimentale :

| | | | | | | | | | |
|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| I (mA) | | | | | | | | | |
| U (V) | | | | | | | | | |

Pour illustrer les valeurs de mesures expérimentales on trace le graphe $U=f(I)$



Observer le graphe et déduire ?

On observe que le graphe obtenu est linéaire (droite passe par l'origine du repère).

On dit que la tension aux bornes d'un conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse.

L'équation de la droite est : $U = k.I$

Tel que k est la constante de proportionnalité ou coefficient directeur de la droite.

Déterminer k ?

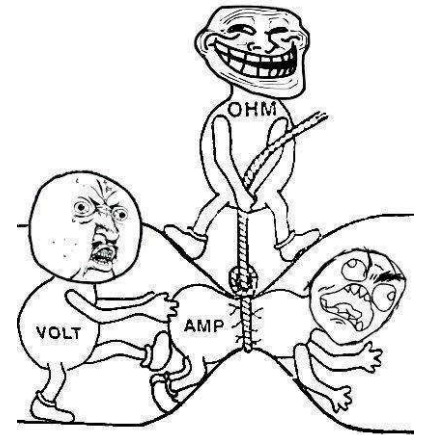
$$k = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots$$

On observe que : $k = R$

L'équation de la droite s'écrit comme suite : $U = R.I$, cette relation s'appelle loi d'OHM d'un conducteur ohmique et le graphe s'appelle la caractéristique du conducteur ohmique.

Définition de loi d'OHM :

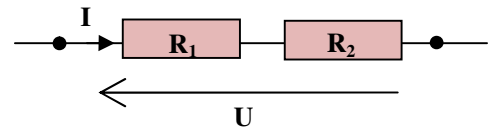
La tension U aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance R est égale au produit de la résistance R par l'intensité du courant I qui le traverse : $U = R.I$



II. Association des conducteurs ohmiques

1. Association en série

On considère deux conducteurs ohmiques de résistances R_1 et R_2 montés en série. La tension aux bornes de chaque conducteur ohmique est $U_1 = R_1 . I$ et $U_2 = R_2 . I$; ils sont les deux traversés par courant de même intensité I .



La loi d'addition des tensions nous permet d'écrire que la tension aux bornes de deux conducteurs ohmiques est $U = U_1 + U_2$

$$U = R_1 . I + R_2 . I = (R_1 + R_2) . I$$

Le conducteur ohmique équivalent de résistance R , est tel que, lorsqu'on applique la même tension U à ses bornes il est traversé par un courant de même intensité I .

On a donc : $U = R.I = (R_1 + R_2) . I$;

Par identification, on voit que la résistance du conducteur ohmique équivalent à des conducteurs ohmiques en série est :

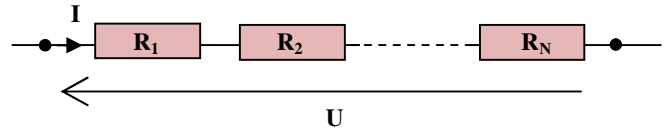
$$R = R_1 + R_2$$

Généralisation

Le dipôle équivalent à N conducteurs ohmiques branchés en série est un conducteur ohmique sa résistance R est égale à la somme des résistances de ces conducteurs ohmiques.

$$R = \sum_{i=1}^N R_i$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_N$$



2. Association en parallèle ou dérivation

On considère deux conducteurs ohmiques de résistances R_1 et R_2 montés en parallèle. L'intensité du courant dans la branche principale (AB) est I. chaque conducteur est traversé par un courant d'intensité différente I_1 et I_2 .

Les dipôles étant montés en parallèle, ils ont tous la même tension U à leurs bornes.

On peut écrire alors : $U = R_1 \cdot I_1$ et $U = R_2 \cdot I_2$

La loi des nœuds nous permet d'écrire : $I = I_1 + I_2$

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \cdot U$$

Le conducteur ohmique équivalent est tel que, lorsqu'on applique la même tension U à ses bornes, il est traversé par un courant de même intensité I. On a donc : $I = \frac{1}{R} \cdot U = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \cdot U$

La résistance du conducteur ohmique équivalent à deux conducteurs ohmique en parallèle est

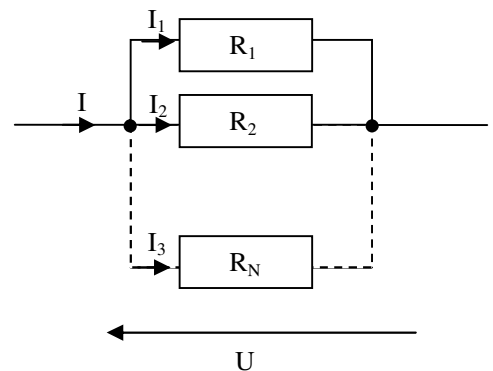
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Généralisation :

Le dipôle équivalent à l'association de N conducteur ohmique branchés en dérivation de résistances $R_1 ; R_2 ; \dots ; R_N$ est un conducteur ohmique de résistance R telle que :

$$\frac{1}{R} = \sum_i^N \frac{1}{R_i}$$

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



III. Diviseur de tension

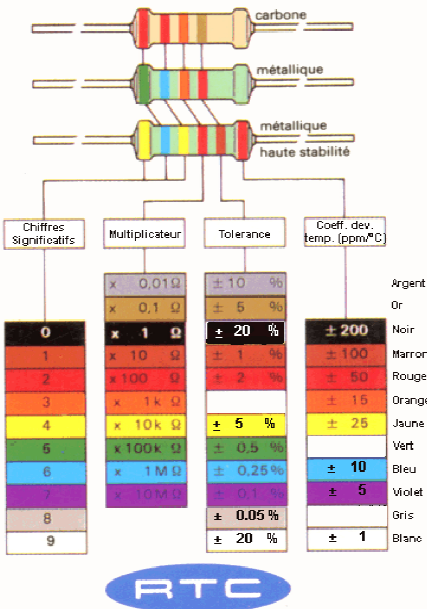
Le montage diviseur de tension (ou potentiométrique) permet d'obtenir une tension de sortie U_s réglable de 0 à une valeur maximale U_0 .

1. Montage diviseur de tension par deux conducteurs ohmiques

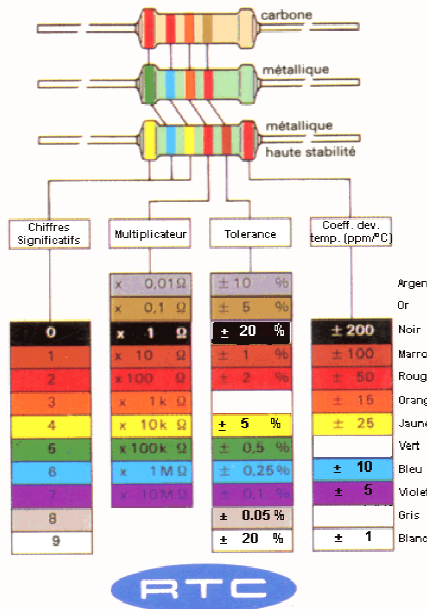
2. Montage diviseur de tension par rhéostat.
 - a. Rhéostat

 - b. Montage diviseur de tension par rhéostat

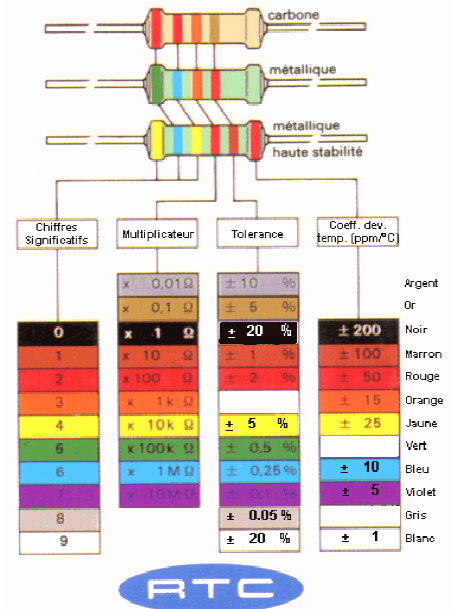
RESISTANCES



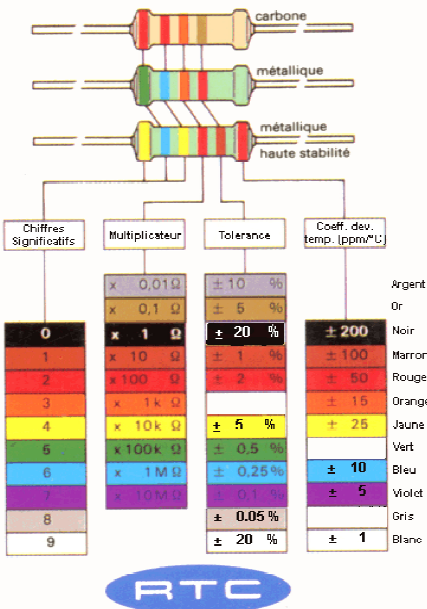
RESISTANCES



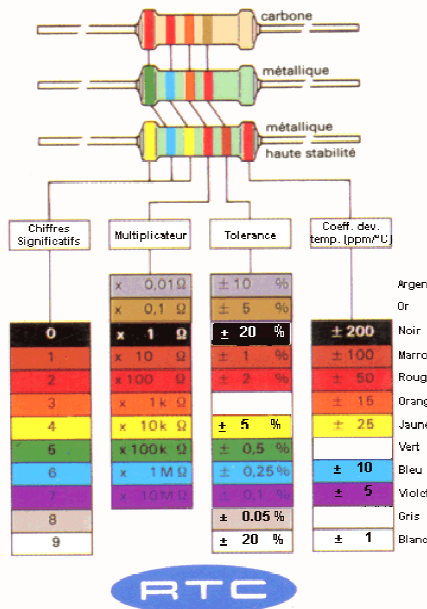
RESISTANCES



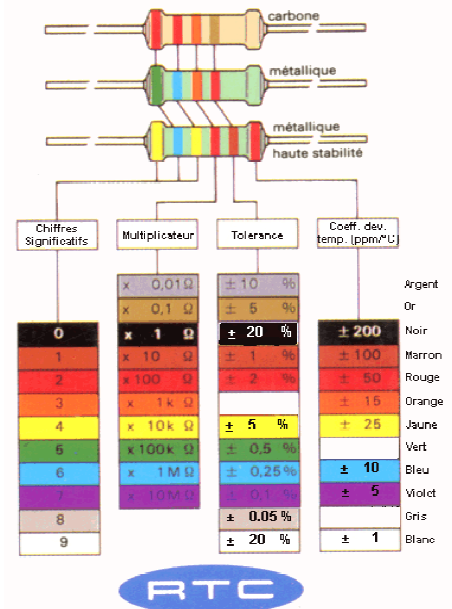
RESISTANCES



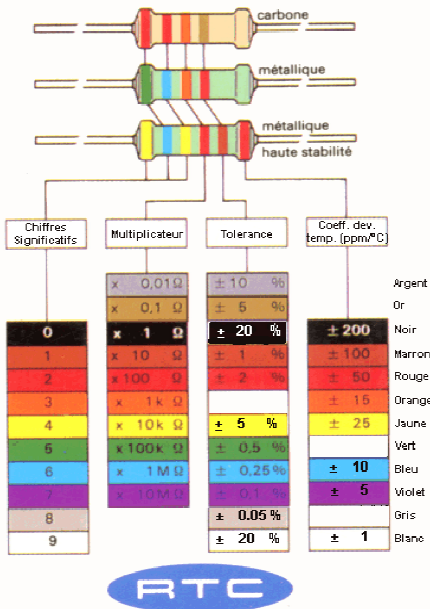
RESISTANCES



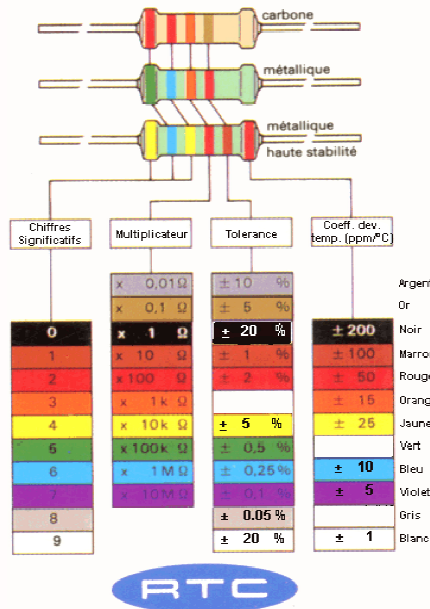
RESISTANCES



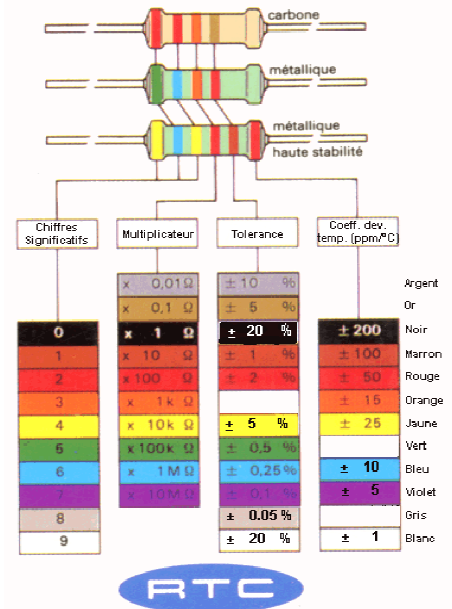
RESISTANCES



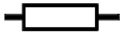
RESISTANCES



RESISTANCES

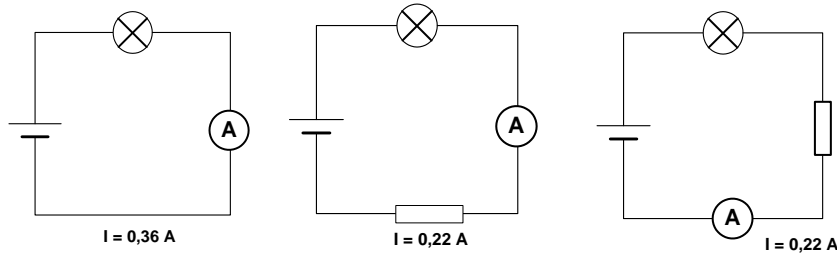


I - Rappels :

1- Définitions : Un conducteur ohmique est une composante électrique de symbole : 
Il est caractérisé par sa résistance R , dont l'unité est Ohm (symbole Ω) ; qui caractérise son aptitude à résister ou s'opposer au courant électrique.

2- Influence de la résistance dans un circuit :

2.1- Expériences :



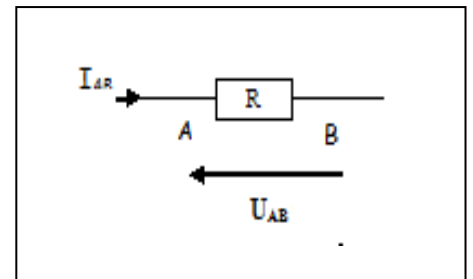
2.2- Conclusions :

Un conducteur ohmique provoque une diminution de l'intensité du courant électrique.
La place qu'occupe un conducteur ohmique dans un circuit série n'a pas d'importance.
Plus la résistance d'un conducteur ohmique dans un circuit est grande et plus l'intensité du courant diminue.

3- Loi d'Ohm :

Elle traduit la relation de proportionnalité entre la tension aux bornes d'un résistor et l'intensité I du courant qui la traverse :

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



II-La résistance d'un conducteur filiforme :

La résistance d'un conducteur filiforme dépend de sa longueur L , de sa section S , et de la nature du matériau qui le compose.

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Dans le système international d'unité la résistivité ρ du matériau s'exprime en $\Omega.m$.

III- Conductance du conducteur ohmique :

La relation traduisant la loi d'Ohm peut s'écrire $I_{AB} = G_{AB} \cdot U_{AB}$ avec $G_{AB} = 1 / R$.

G est la conductance du conducteur ohmique AB. Elle s'exprime en siemens (S).

Remarque : La conductance d'un conducteur de longueur L et de sa section S peut s'écrire :

$$G = \sigma S / L$$

Dans le système international d'unité, la conductivité σ du matériau constituant le conducteur s'exprime siemens par mètre (S/m).

IV-Association de conducteurs ohmiques :

1 - Mesure à l'ohmmètre :

L'ohmmètre est l'appareil de mesure permettant de déterminer la valeur de la résistance. Il suffit de le brancher aux bornes du conducteur ohmique dont on veut connaître la résistance.

Le symbole électrique d'un ohmmètre est le suivant :



2- . Association de conducteurs ohmiques en série :

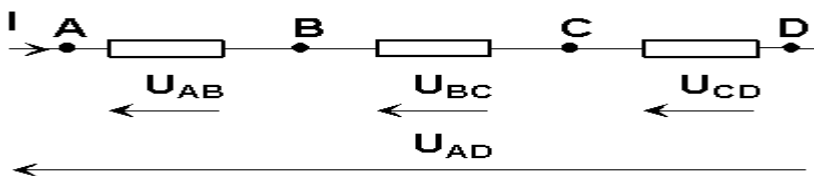
2.1- Définition :

Des dipôles sont associés en série s'ils sont parcourus par le même courant.

2.2- Etude expérimentale :

| | |
|--|--|
| | |
| $R_1 =$ $R_2 =$ | La résistance équivalente de l'association $R_{eq} =$ |
| On a donc la relation : $R_{eq} =$ Association en série : la résistance du dipôle équivalent à un ensemble de dipôles associés en série a pour valeur la somme des résistances : $R_{eq} = \sum_i R_i$ | |

2.3- Etude théorique :



Les dipôles sont associés en série donc ils sont parcourus par le même courant. Dans ce cas, la différence de potentiel aux bornes de l'ensemble est égale à la somme des différences de potentiel aux bornes de chacun des dipôles :

$$(V_A - V_D) = (V_A - V_B) + (V_B - V_C) + (V_C - V_D)$$

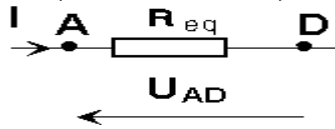
$$U_{AD} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD}$$

Aux bornes de chaque élément la loi d'Ohm est vérifiée :

$$(V_A - V_D) = (V_A - V_B) + (V_B - V_C) + (V_C - V_D) = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I$$

$$(V_A - V_D) = (R_1 + R_2 + R_3) \cdot I$$

On peut donc remplacer l'ensemble par un dipôle unique de résistance :



$$R_{eq} = (R_1 + R_2 + R_3)$$

conclusion : la résistance du dipôle équivalent à un ensemble de dipôles associés en série a pour valeur la somme des résistances

$$R_{eq} = \sum_i R_i$$

3. Association de conducteurs ohmiques en parallèle :

3.1- Définition :

Des dipôles sont associés en parallèle s'ils ont les mêmes bornes. Ils sont alors soumis à la même différence de potentiel, mais sont parcourus par des courants différents.

3.2- Etude expérimentale :

| | | |
|---|----------------------|--|
| | | |
| $R_1 =$ $1/R_1 =$ | $R_2 =$ $1/R_2 =$ | La résistance équivalente de l'association $R_{eq} =$ $1/R_{eq} =$ |
| On a donc la relation : $1/R_{eq} =$ | | |
| Dans une association en parallèle de conducteurs ohmiques, l'ensemble est équivalent à un dipôle unique dont la conductance est la somme des conductances : $G_{eq} = \sum G_i$ | | |

3.3- Etude théorique :

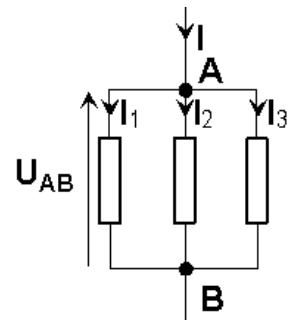
L'intensité dans le circuit principal est égale à la somme des intensités dans les trois branches :

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Aux bornes de chaque élément la loi d'Ohm est vérifiée :

$$(V_A - V_B) = R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2 = R_3 \cdot I_3$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$



$$I = \frac{V_A - V_B}{R_1} + \frac{V_A - V_B}{R_2} + \frac{V_A - V_B}{R_3}$$

Un dipôle sera équivalent à l'association si, placé entre A et B est soumis à la même différence de potentiel, il est parcouru par un courant ayant la même intensité I :

$$I = \frac{V_A - V_B}{R_{eq}}$$

$$\frac{V_A - V_B}{R_{eq}} = \frac{V_A - V_B}{R_1} + \frac{V_A - V_B}{R_2} + \frac{V_A - V_B}{R_3}$$

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

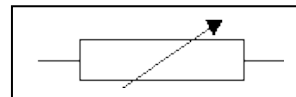
si on utilise les conductances des dipôles ($G = 1/R$), on obtient :

$$G_{eq} = G_1 + G_2 + G_3$$

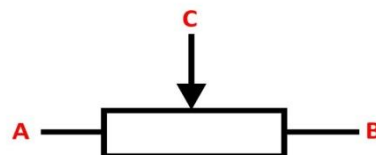
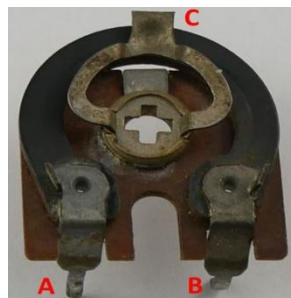
Conclusion : Dans une association en parallèle de conducteurs ohmiques, l'ensemble est équivalent à un dipôle unique dont la conductance est la somme des conductances :

$$G_{eq} = \sum_i G_i$$

V-Résistances réglables ou ajustables (potentiomètre) :



Les résistors réglables sont des résistors sur lesquels on peut agir pour modifier la résistance . Un contact que l'on peut déplacer se déplace sur le conducteur et fait ainsi varier la longueur de la partie utile de ce conducteur.

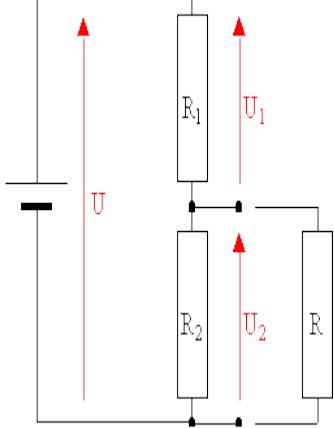


Les résistors réglables sont des résistors qui contiennent 3 bornes.

Le **rhéostat** est une résistance réglable dans lequel le contact se déplace en ligne droite

Il existe des résistors ajustables est constitué d'une piste circulaire en carbone sur laquelle vient frotter un contact que l'on peut déplacer à l'aide d'un tournevis ou un bouton rotatif.

Etude du diviseur potentiométrique (pont diviseur de tension):

| | | |
|--|--|---|
|  | <p>A vide :</p> <p>(le résistor R n'est pas branché):</p> $U = (R_1 + R_2)I \Rightarrow I = \frac{U}{R_1 + R_2}$ $U_2 = R_2 I \Rightarrow U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$ <p>Dans le potentiomètre la valeur $R_1 + R_2$ est constante. En déplaçant le contact, on fait varier la valeur de R_1 et R_2 La tension U_2 à la sortie du diviseur est proportionnelle à R_2</p> | <p>En charge:</p> <p>(un dipôle est branché à la sortie du diviseur)</p> <p>On peut reprendre la relation précédente en remplaçant R_2 par la résistance R' équivalente à R_2 et R en parallèle:</p> $R' = \frac{R R_2}{R + R_2} \Rightarrow U_2 = \frac{\frac{R R_2}{R + R_2}}{R_1 + \frac{R R_2}{R + R_2}} U$ |
|--|--|---|

Niveau :
Tronc Commun

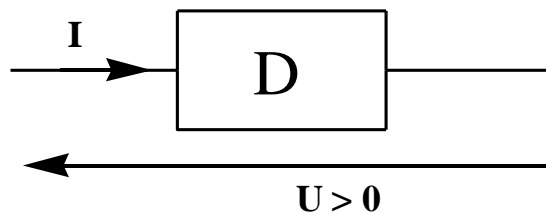
Caractéristiques de quelques dipôles passifs

Professeur :
DELAHI Mohamed

I) Qu'est ce qu'un dipôle passif

Définition :

- ❑ Un dipôle passif D ne peut pas fournir d'énergie.
- ❑ Un dipôle passif respecte la *convention récepteur*.



Exemples de dipôles passifs :

| D_i | D_1 | D_2 | D_3 | D_4 |
|---------|----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| Nom | Résistance conducteur ohmique | V.D.R ou Varistance | L.D.R "Résistance photoélectrique" | Thermistance CTN et CTP |
| Symbole | | | | |
| D_i | D_5 | D_6 | D_7 | D_8 |
| Nom | Lampe | Diode | Diode électroluminescente | Diode Zener |
| Symbole | | | | |

II) Caractéristiques des dipôles passifs

1) Définition :

La caractéristique courant-tension (ou tension-courant) d'un dipôle est la courbe reliant les variations de la tension U_{AB} à ses bornes en fonction de l'intensité du courant I qui le traverse

$$I_{AB} = f(U_{AB}) \quad \text{ou} \quad U_{AB} = g(I_{AB}).$$

La caractéristique d'un dipôle passif passe toujours par l'origine des axes ($I=0 \Leftrightarrow U=0$)

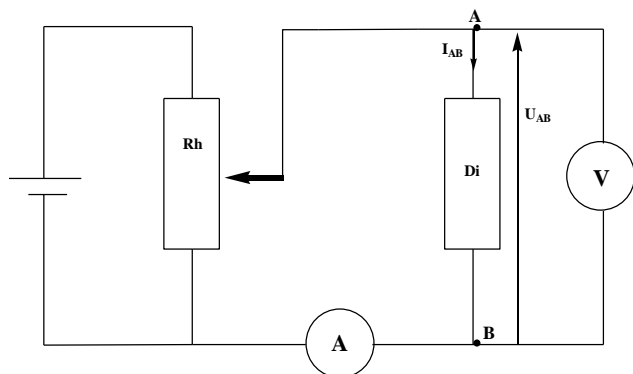
2) Le rôle de la caractéristique :

Grâce à la caractéristique d'un dipôle électrique on peut prévoir le comportement du dipôle sans savoir sa composition interne.

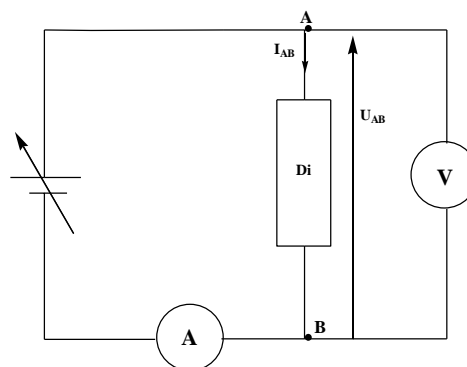
3) Activité expérimentale de la caractéristique d'un dipôle passif :

Expérience :

- ✓ D'abord vérifier que le dipôle étudié est des dipôles passifs.
- ✓ On réalise le circuit électrique ci-dessous pour chaque dipôle passif étudié et note les résultats sur un tableau (la courant passe de A vers B : $I_{AB} > 0$ et $U_{AB} > 0$)
- ✓ On répète la même expérience mais en inversant les pôles du dipôle étudié et note les résultats sur un tableau (la courant passe de B vers AB : $I_{BA} > 0$ et $U_{BA} > 0$)



Montage avec diviseur de tension

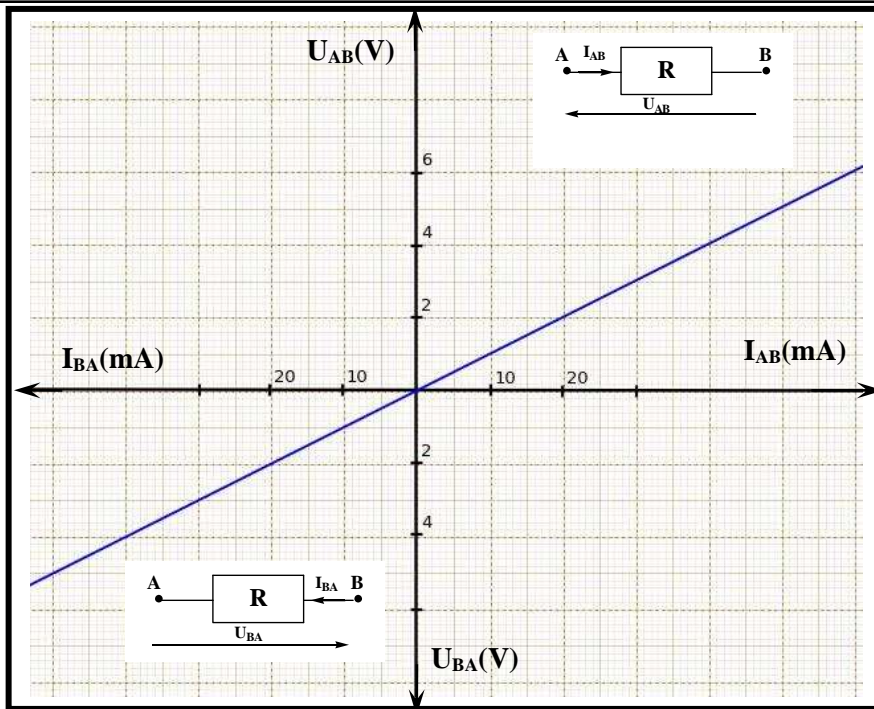


Montage avec générateur adaptable

Tableaux de valeurs :

1) Dipôle étudié : Résistance ou conducteur ohmique.

| | | | | | | | | | |
|-----|-----|----|-----|----|-----|------|---|--------------|--|
| 4.1 | 3.5 | 3 | 2.6 | 2 | 1.5 | 0.98 | 0 | $U_{AB}(V)$ | |
| 40 | 34 | 30 | 25 | 21 | 15 | 9.8 | 0 | $I_{AB}(mA)$ | |
| 4.0 | 3.6 | 3 | 2.6 | 2 | 1.5 | 0.98 | 0 | $U_{BA}(V)$ | |
| 40 | 34 | 30 | 25 | 21 | 15 | 9.8 | 0 | $I_{BA}(mA)$ | |



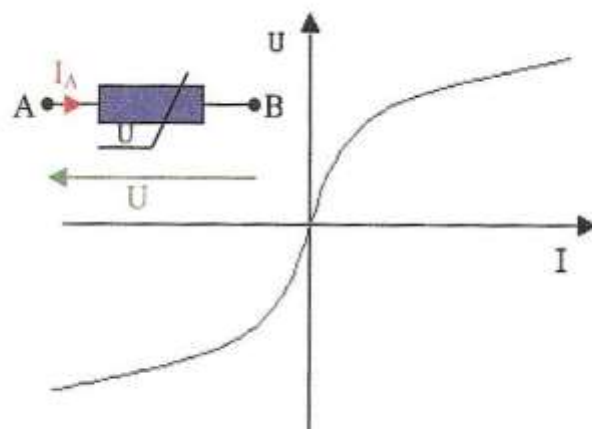
Conclusion :

La caractéristique du conducteur ohmique :

- ✓ Passe par l'origine des axes ($I=0 \Leftrightarrow U=0$)
- ✓ Linéaire \Rightarrow la tension et l'intensité sont proportionnelle.
- ✓ Symétrique \Rightarrow le comportement du dipôle est indépendant du sens du courant.

2) Dipôle étudié : Varistance ou V.D.R." Voltage Dependant Resistor"

| | | | | | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|---|---------------|--|
| 2.5 | 2.3 | 2 | 1.7 | 1.5 | 1 | 0.5 | 0 | U_{AB} (V) | |
| 260 | 240 | 230 | 210 | 220 | 178 | 138 | 0 | I_{AB} (mA) | |
| | 2.31 | 2 | 1.7 | 1.5 | 1 | 0.5 | 0 | U_{BA} (V) | |
| | 240 | 230 | 210 | 220 | 178 | 138 | 0 | I_{BA} (mA) | |

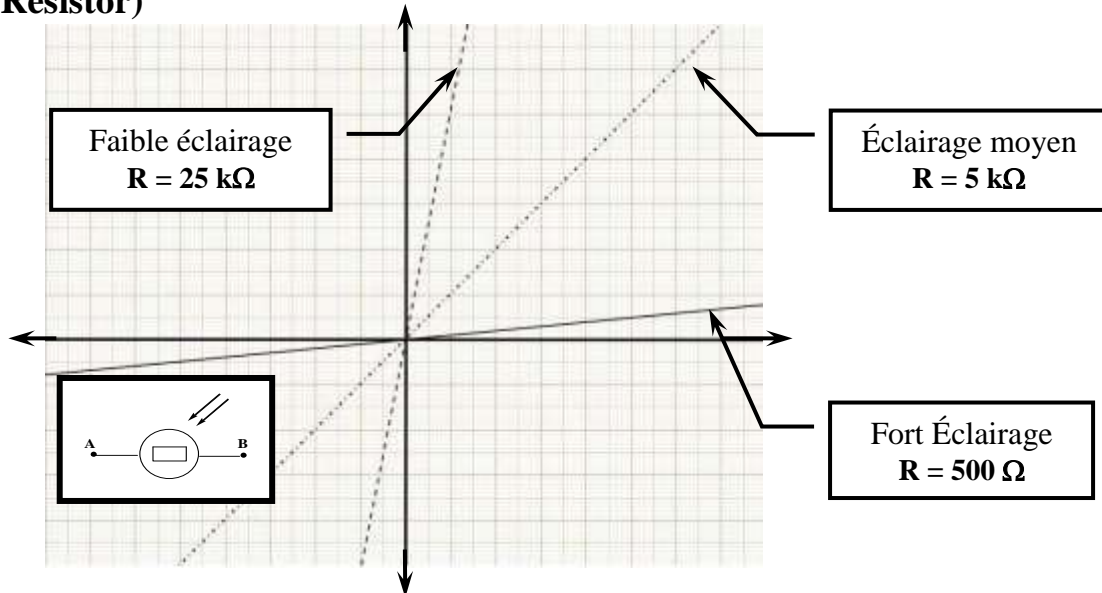


Conclusion :

La caractéristique de la Varistance ou V.D.R :

- ✓ Passe par l'origine des axes ($I=0 \Leftrightarrow U=0$)
- ✓ non Linéaire \Rightarrow la tension et l'intensité ne sont pas proportionnelle.
- ✓ Symétrique \Rightarrow le comportement du dipôle est indépendant du sens du courant.

3) Dipôle étudié : Résistance photoélectrique ou L.D.R (Light Dépendant Resistor)



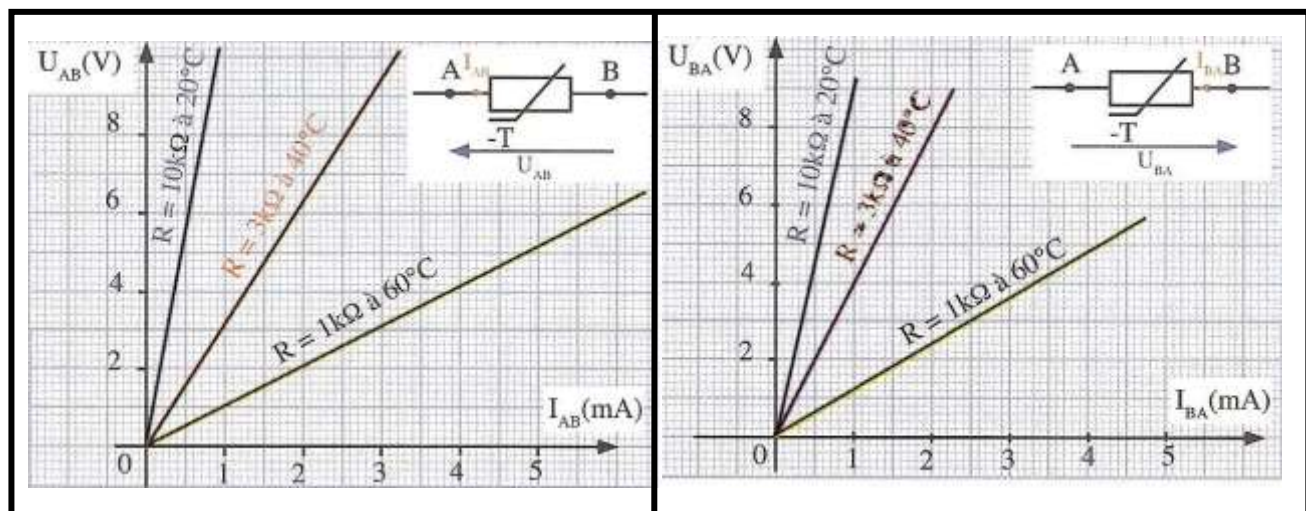
Conclusion :

La caractéristique de la Résistance photoélectrique ou L.D.R :

- ✓ Passe par l'origine des axes ($I=0 \Leftrightarrow U=0$)
- ✓ Linéaire \Rightarrow la tension et l'intensité sont proportionnelle.
- ✓ Symétrique \Rightarrow le comportement du dipôle est indépendant du sens du courant.

4) Dipôle étudié : Thermistance CTN

La thermistance est une résistance électrique qui varie en fonction de la température.



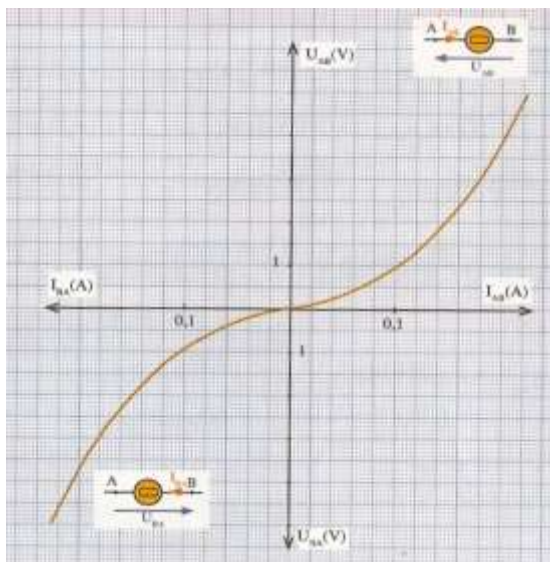
Conclusion :

La caractéristique de la Thermistance :

- ✓ Passe par l'origine des axes ($I=0 \Leftrightarrow U=0$)
- ✓ Linéaire \Rightarrow la tension et l'intensité sont proportionnelle.
- ✓ Symétrique \Rightarrow le comportement du dipôle est indépendant du sens du courant.
- ✓ Il y à 2 types de thermistance :
 - la **Thermistance C.T.N** "la plus utilisé" : la résistance augmente lorsque la température diminue.
 - la **Thermistance C.T.P**: la résistance augmente lorsque la température augmente.

5) Dipôle étudié : Lampe incandescente

| | | | | | | | | | |
|------|-----|------|------|-----|------|------|---|-------------|---|
| 4.9 | 3.8 | 3 | 1.8 | 1 | 0.70 | 0.25 | 0 | $U_{AB}(V)$ |  |
| 0.22 | 0.2 | 0.18 | 0.14 | 0.1 | 0.08 | 0.04 | 0 | $I_{AB}(A)$ | |
| 4.9 | 3.8 | 3 | 1.8 | 1 | 0.70 | 0.25 | 0 | $U_{BA}(V)$ | |
| 0.21 | 0.2 | 0.18 | 0.14 | 0.1 | 0.08 | 0.04 | 0 | $I_{BA}(A)$ | |



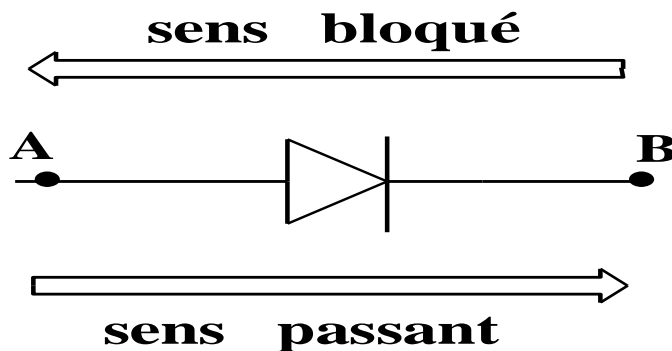
Conclusion :

La caractéristique de la lampe:

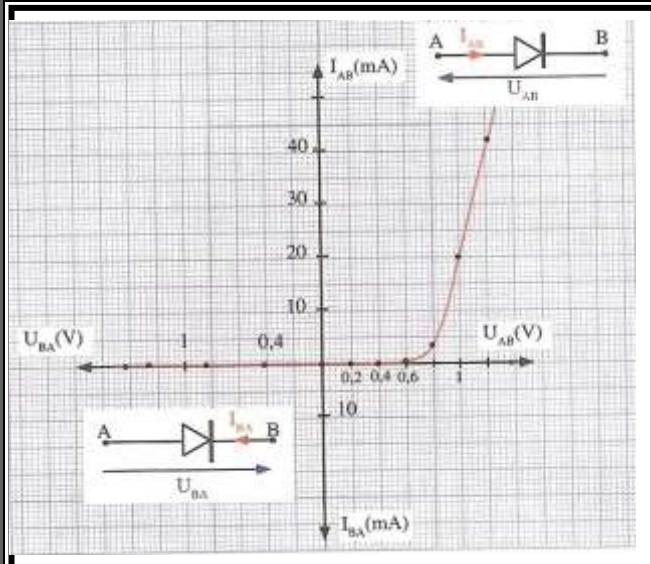
- ✓ Passe par l'origine des axes ($I=0 \Leftrightarrow U=0$)
- ✓ Non Linéaire \Rightarrow la tension et l'intensité sont proportionnelle.
- ✓ Symétrique \Rightarrow le comportement du dipôle est indépendant du sens du courant.

6) Dipôle étudié : Diode à semi-conducteur au germanium ou au silicium.

Le premier dispositif capable de laisser passer le courant électrique dans un sens, tout en le bloquant dans l'autre, fut découvert en 1874 par Karl Ferdinand Braun.



| | | | | | | | | | |
|--|-----|----|-----|-----|-----|-----|---|---------------|--|
| | 1.2 | 1 | 0.7 | 0.6 | 0.4 | 0.2 | 0 | U_{AB} (V) | |
| | 42 | 20 | 3.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | I_{AB} (mA) | |
| | 1.2 | 1 | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.2 | 0 | U_{BA} (V) | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | I_{BA} (mA) | |



Conclusion :

La caractéristique de la Diode :

- ✓ Passe par l'origine des axes ($I=0 \Leftrightarrow U=0$)
- ✓ Non Linéaire \Rightarrow la tension et l'intensité ne sont pas proportionnelle.
- ✓ Non Symétrique \Rightarrow le comportement du dipôle dépendant du sens du courant.
- ✓ Chaque diode est caractérisée par la tension seuil U_s exemple 0,3 V pour les diodes au germanium et 0,7 V pour les diodes au silicium.

✓ Dans le sens bloqué :

$$U_{BA} \neq 0 \Rightarrow I_{BA} = 0$$

Diode bloquée

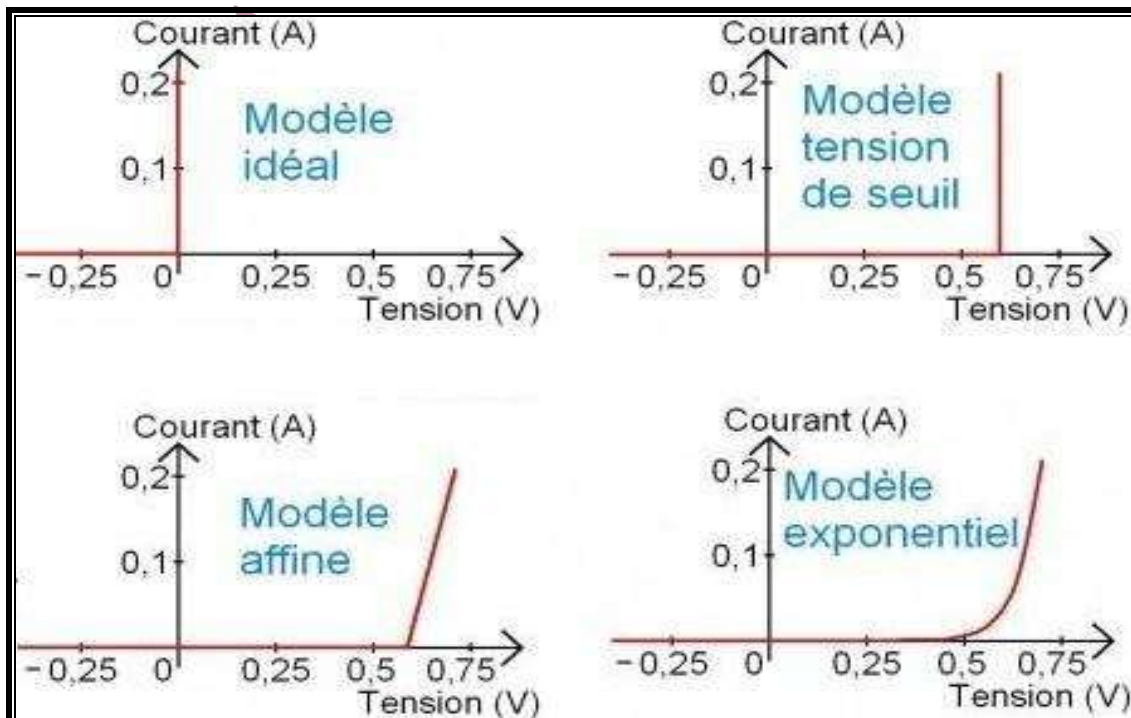
✓ Dans le sens passant :

$$0 \leq U_{AB} < U_s \Rightarrow I_{AB} = 0$$

Diode bloquée

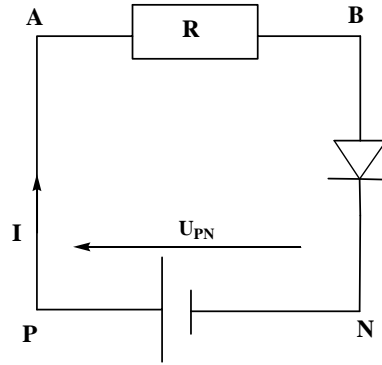
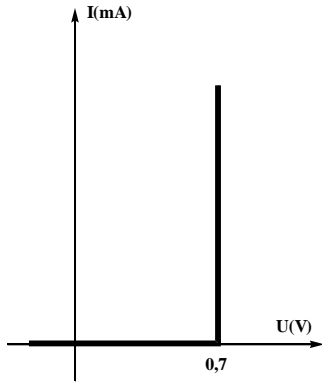
$$U_{AB} \geq U_s \Rightarrow I_{AB} \neq 0$$

Diode passante



Exercice :

Dans le circuit ci-dessous, le générateur est lié en série avec une diode dont la caractéristique est donnée par la figure N°1 et un conducteur ohmique de résistance R. on donne $U_{PN} = 1,5 \text{ V}$



- 1) Donner l'expression de I l'intensité du courant électrique en fonction de U_{PN} , R et U_{BN} .
- 2) on donne $I = 25 \text{ mA}$:
 - 2-1/ Donner la tension sous la quelle fonctionne la diode.
 - 2-2/ Calculer R la résistance du conducteur ohmique

Réponse :

.....

.....

.....

.....

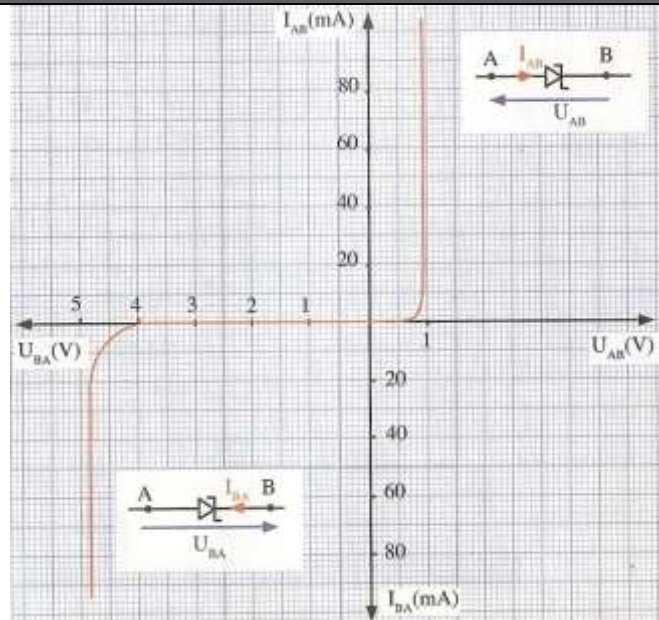
.....

.....

7) Dipôle étudié : Diode Zener.

Contrairement à une diode conventionnelle qui ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens, *le sens direct*, les diodes Zener sont conçues de façon à laisser également passer le courant dans le sens inverse, mais ceci uniquement si la tension à ses bornes est plus élevée que le seuil U_Z (tension Zener)..

| | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----------------------|--|
| | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0 | $U_{AB} \text{ (V)}$ | |
| | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $I_{AB} \text{ (mA)}$ | |
| | | 6.2 | 6 | 4 | 3 | 1 | 0 | $U_{BA} \text{ (V)}$ | |
| | | 80 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | $I_{BA} \text{ (mA)}$ | |



Conclusion :

La caractéristique de la Diode Zener :

- ✓ Passe par l'origine des axes ($I=0 \Leftrightarrow U=0$)
- ✓ Non Linéaire \Rightarrow la tension et l'intensité ne sont pas proportionnelle.
- ✓ Non Symétrique \Rightarrow le comportement du dipôle dépendant du sens du courant.
- ✓ Chaque diode Zener est caractérisée par la tension seuil U_S et la tension Zener U_Z ($U_Z > U_S$).
- ✓ Dans le sens bloqué :

$$0 \leq U_{BA} < U_Z \Rightarrow I_{BA} = 0 \quad \text{Diode bloquée}$$

$$U_{BA} \geq U_Z \Rightarrow I_{BA} \neq 0 \quad \text{Diode passante}$$

- ✓ Dans le sens passant :

$$0 \leq U_{AB} < U_S \Rightarrow I_{AB} = 0 \quad \text{Diode bloquée}$$

$$U_{AB} \geq U_S \Rightarrow I_{AB} \neq 0 \quad \text{Diode passante}$$

Caractéristiques de quelques dipôles passifs

I-Dipôles passifs :

1-Définition :

Un dipôle est un composant électrique possédant deux bornes.

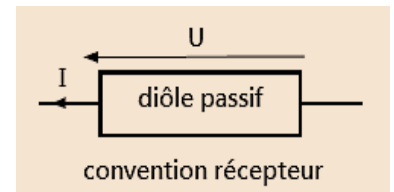
La caractéristique $U = f(I)$ d'un dipôle est la représentation graphique de la tension U aux bornes du dipôle en fonction du courant I qui le traverse.

Le dipôle passif a une caractéristique qui passe par l'origine ($U = 0 ; I = 0$).

Exemples : lampe, conducteur ohmique...

2-Convention récepteur :

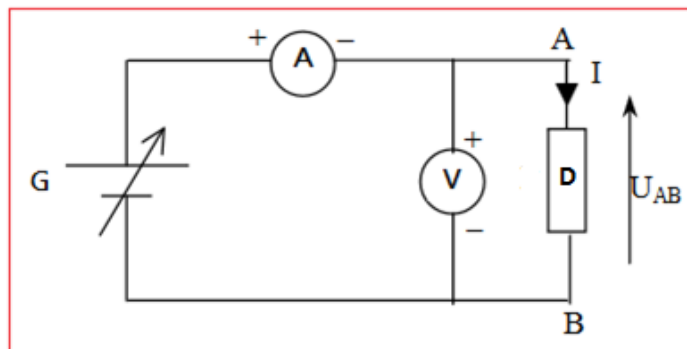
Dans la convention récepteur, la tension U aux bornes d'un dipôle passif et l'intensité I du courant qui le traverse sont de sens contraire.



II-Caractéristiques de quelques dipôles passifs :

1-Montage expérimental :

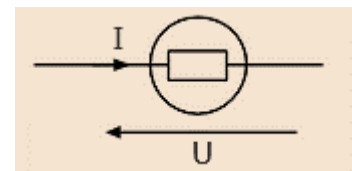
Pour tracer la caractéristique d'un dipôle passif D , on réalise le montage ci-contre :



G est un générateur à tension variable.

2-Caractéristique de quelques dipôles passifs :

2-1-Caractéristique d'une lampe :



On réalise le montage ci-dessus en remplaçant D par une lampe à incandescence :

Tableau de résultats :

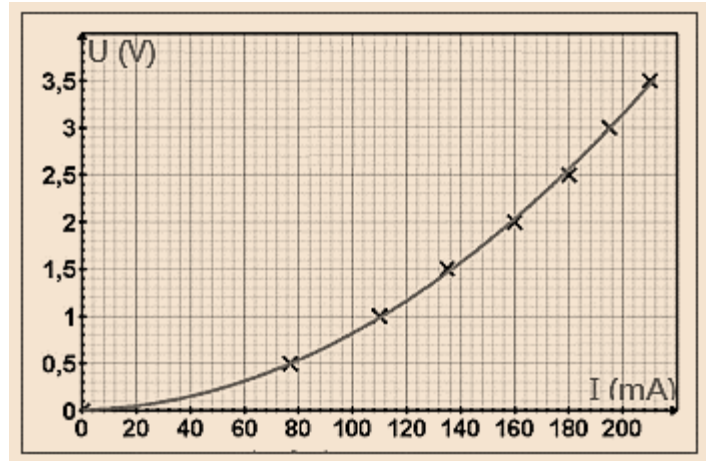
| | | | | | | | | |
|--------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| U (V) | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 |
| I (mA) | 0 | 77 | 110 | 135 | 160 | 180 | 195 | 210 |

La caractéristique $I = f(U)$:

Caractéristique de la lampe à incandescence est non linéaire et passe par l'origine.

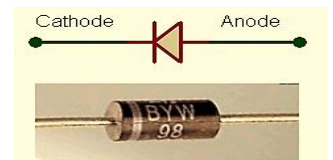
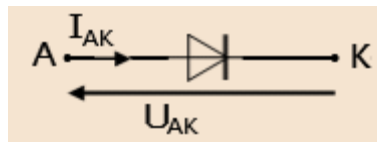
Conclusion :

La lampe est un dipôle passif non linéaire et symétrique.



2-2--Caractéristique d'une diode normale :

Symbole :



On appelle le sens de A vers K le sens direct ou le sens passant de la diode.

On appelle le sens de K vers A le sens indirect ou le sens bloquant de la diode.

Tableau de résultats :

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| $U_{AK}(V)$ | -0,6 | -0,4 | -0,2 | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,79 | 0,8 |
| I(mA) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 100 | 200 |

La caractéristique $I = f(U)$:

Conclusion :

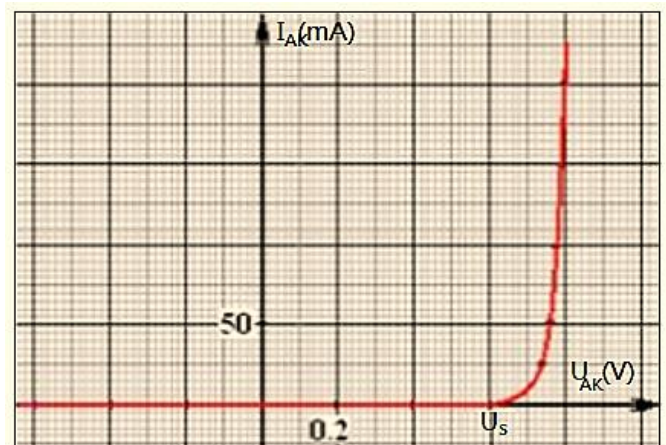
-La diode est un dipôle passif non linéaire et asymétrique.

-Lorsque la diode est polarisée en direct

($U_{AK} > 0$), elle ne laisse pas passer le courant que si la tension dépasse la **tension seuil $U_s = 0,6 V$** .

-Lorsque la diode est polarisée en inverse

($U_{AK} < 0$), elle se comporte comme un isolant ou un interrupteur ouvert.



2-3- Caractéristique de la diode Zener :

Symbole :

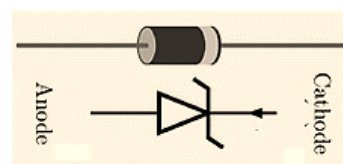
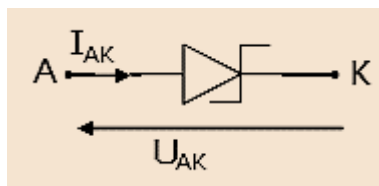


Tableau de résultats :

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------|------|----|----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $U_{AK}(V)$ | -7,8 | -7,6 | -7 | -6 | -4 | -2 | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 1,4 | 1,6 | 1,8 |
| (mA) | -60 | -20 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 40 | 80 |

Conclusion :

-La diode Zener est un dipôle passif asymétrique, sa caractéristique est non linéaire.

-Dans le sens direct

La diode Zener se comporte comme une diode normale ou $U_S = 0,6 V$.

-En sens inverse

La diode Zener laisse passer le courant lorsque la tension U_{KA} dépasse une **tension**

Zener U_Z .

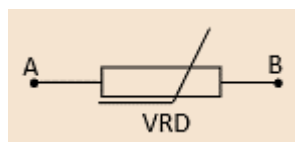


2-4- Caractéristique d'une varistance ou VDR :

La varistance ou VDR est résistor dont la résistance dépend de la tension.

Symbole :

Caractéristique intensité-tension :

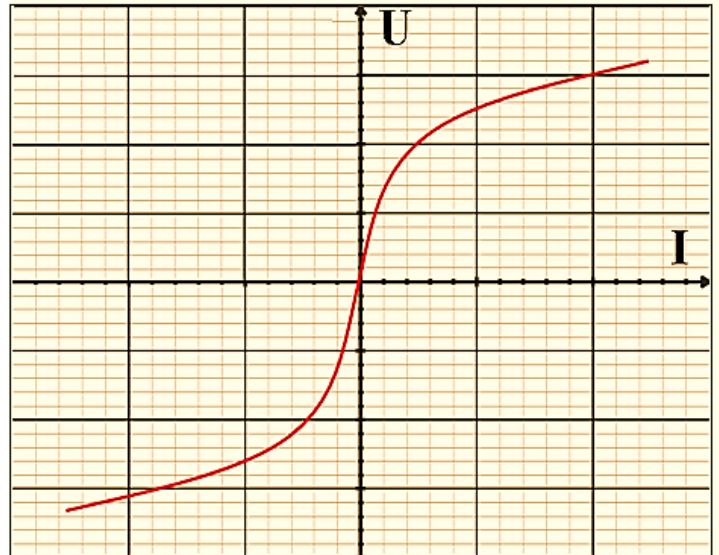


Conclusion :

Le V.D.R est un dipôle passif symétrique mais non linéaire.

Remarque :

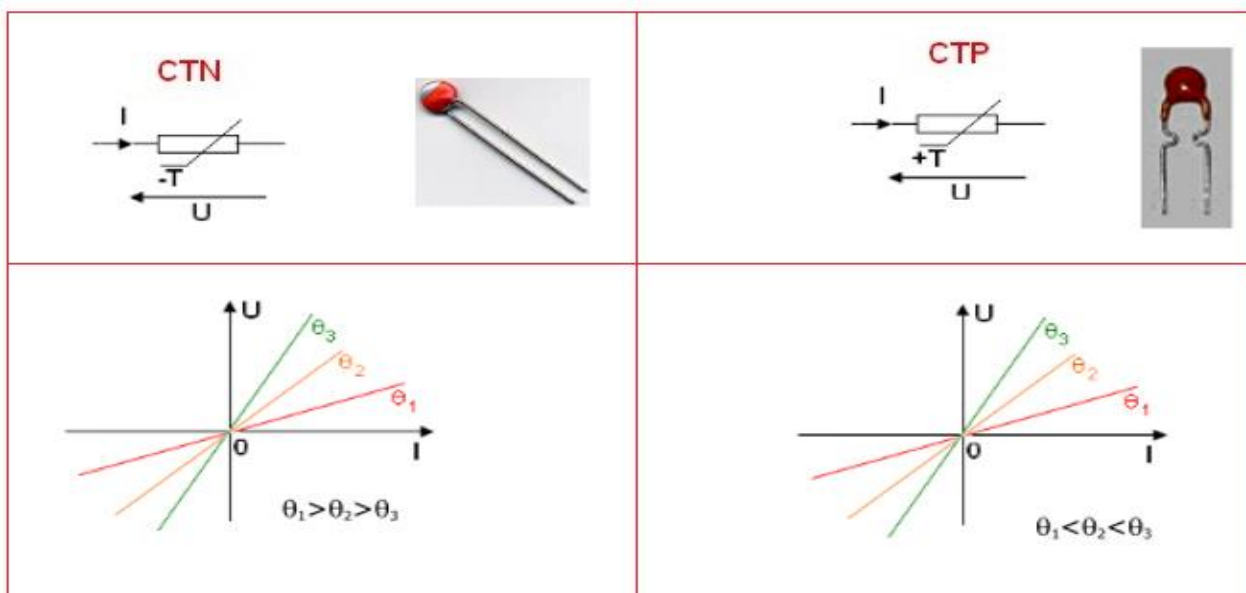
La résistance d'une VDR diminue quand la tension appliquée entre ses bornes augmente.



2-5-Caractéristique d'une thermistance CTN ou CTP :

La thermistance est un dipôle dont la résistance dépend de la température. On distingue deux types :

- Les thermistances à Coefficient de température positif (CTP) leurs résistances augmentent quand la température augmente.
- Les thermistances à Coefficient de température négatif (CTN) leurs résistances diminuent quand la température augmente.

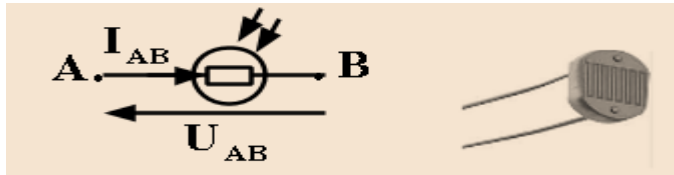


Conclusion :

La thermistance est un dipôle passif, linéaire et symétrique sa résistance varie avec la température.

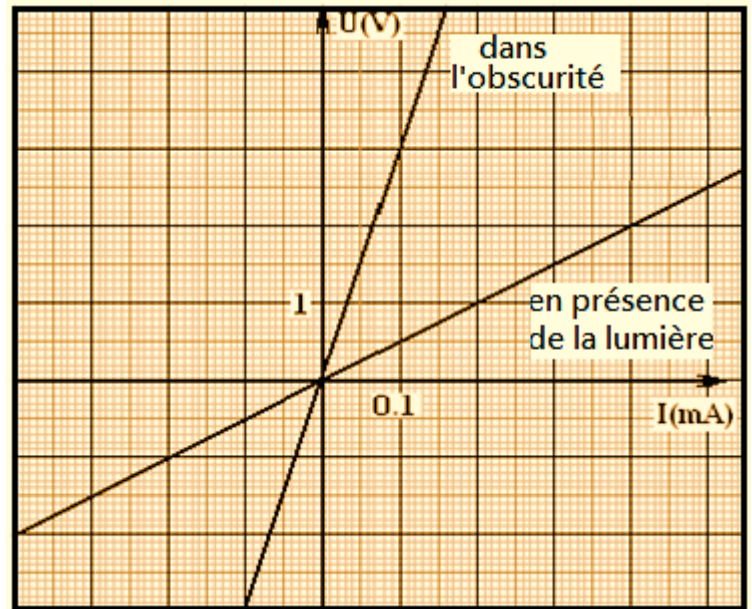
2-6-Caractéristique de (LDR) :

Symbole :



Conclusion :

La photorésistance est un dipôle passif, linéaire et symétrique dont la résistance varie avec l'éclairage qu'il reçoit.



2-7-Caractéristique d'une diode électroluminescente (LED) :

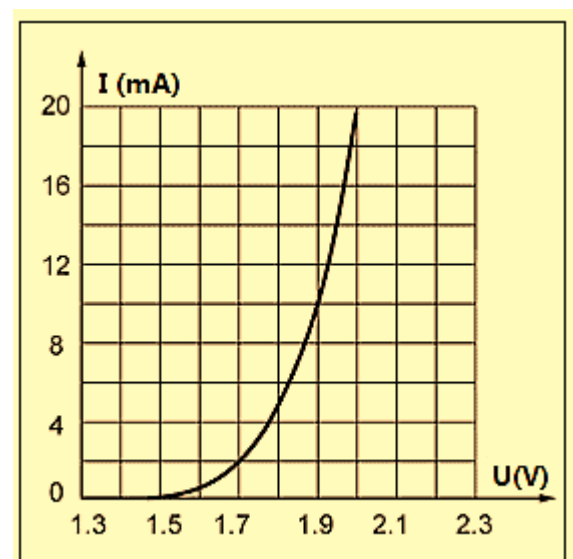
Symbole :



La diode électroluminescente se comporte comme une diode normale et elle émet de la lumière lorsqu'elle est parcourue par un courant électrique.

Conclusion :

LED est un dipôle passif non linéaire et non symétrique.



Caractéristiques de quelques dipôles passifs

I – Dipôles passifs:

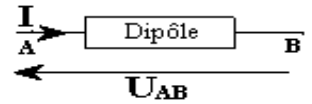
1) Définitions :

Un dipôle est un composant électronique possédant deux bornes.

La caractéristique d'un dipôle est définie comme la fonction qui relie la tension U entre ses bornes et l'intensité I du courant qui le traverse : $U=f(I)$ ou $I=f(U)$.

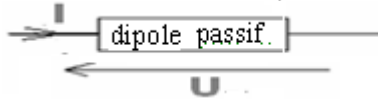
Le dipôle est dit passif si sa caractéristique passe par l'origine ($U=0$ pour $I=0$).

Exemples de quelques dipôles passifs : le conducteur ohmique, la lampe, la diode



2) Convention récepteur:

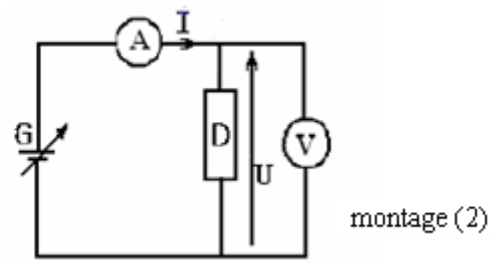
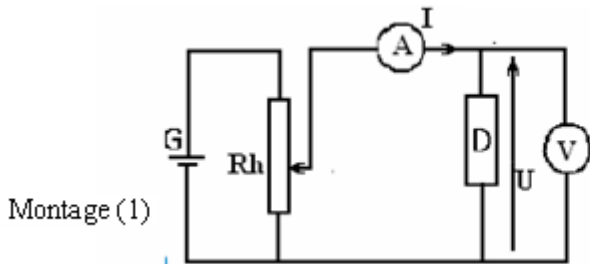
Dans la convention récepteur la tension U aux bornes d'un dipôle passif et l'intensité I du courant qui le traverse sont de sens contraires.



II Caractéristiques de quelques dipôles passifs

1) Montage expérimental:

Pour tracer la caractéristique d'un dipôle D on utilise l'un des deux montages suivants:



2) Caractéristique d'une lampe à incandescance:

On réalise le montage (2) en utilisant comme dipôle une lampe à incandescance :

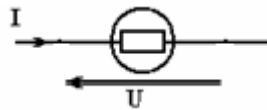
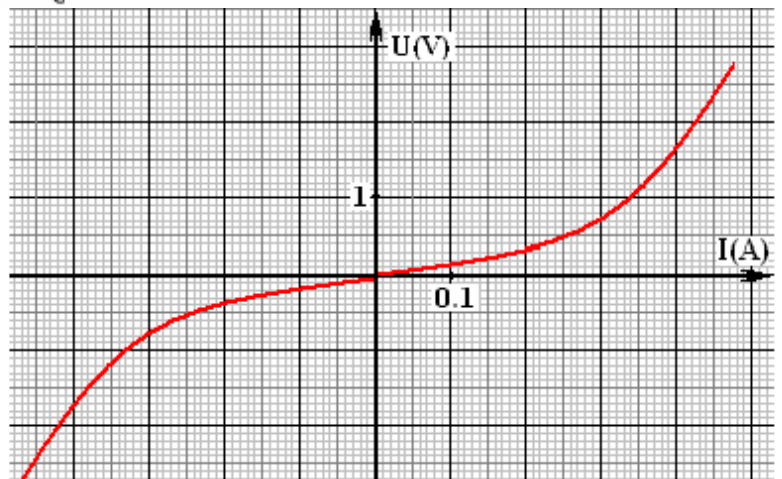


Tableau des résultats et tracé de la caractéristique.

| | | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|---|------|------|------|------|
| U(V) | 1.6 | 0.7 | 0.3 | 0.2 | 0 | -0.2 | -0.3 | -0.7 | -1.6 |
| I(A) | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0 | -0.1 | -0.2 | -0.3 | -0.4 |



La caractéristique est non linéaire et elle passe par l'origine, donc la lampe à incandescance est un dipôle passif. La caractéristique est symétrique donc les deux bornes de la lampe jouent le même rôle.

3) Caractéristique d'une diode normale:

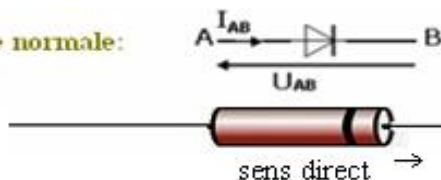
La diode normale est constituée d'un semi-conducteur: le silicium ou le germanium dopé.

Le dopage est l'introduction dans le semi-conducteur de très faibles quantités d'un corps étranger appelé **dopeur**.

Pour les semi-conducteurs (Ge ou Si), les dopeurs sont: soit l'Arsenic (As) ou le phosphore (P)

Ces dopeurs sont introduits très faible dose (de l'ordre de 1 atome du dopeur pour 10^6 atomes du semi-conducteur=

Le symbole d'une diode normale:

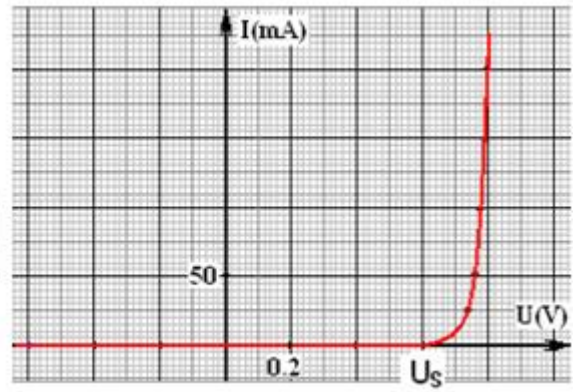


de A à B sens direct ou le sens passant .
de B à A le sens indirect ou le sens bloquant .

Tableau des résultats et tracé de la caractéristique.

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|---|------|------|------|
| U(V) | 0.8 | 0.79 | 0.78 | 0.7 | 0.6 | 0.4 | 0.2 | 0 | -0.2 | -0.4 | -0.6 |
| I(mA) | 150 | 100 | 50 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

tension seuil : $U_S = 0.6V$



- La caractéristique passe par O, donc la diode est un dipôle passif.
- Pour $U_{AB} < U_S$, la diode ne laisse pas passer le courant électrique.
- , la diode laisse pas passer le courant électrique. $U_{AB} \geq U_S$ Pour

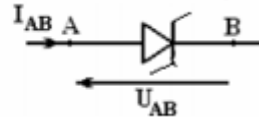
En conclusion, la diode est un dipôle passif non symétrique et non linéaire, elle ne laisse passer le courant que dans le sens direct si la tension à ses bornes est supérieure ou égale à la tension seuil.


Remarque : On peut visualiser la caractéristique d'une diode normale à l'oscilloscope et les élèves prennent le tracé.

4) Caractéristique d'une diode Zener:

Une diode Zener est un assemblage de deux semi-conducteurs.

Symbole d'une diode Zener :



exemple:  Le type BZX85 (Z pour Zener) est noté C6V2 pour une tension Zener de 6,2 V

Contrairement à une diode normale, la diode Zener laisse passer le courant électrique dans les deux sens.

Tableau de variation et tracé de la caractéristique:

| | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| U(V) | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 0.4 | 0.6 | 0.4 | 0.2 | 0 |
| I(mA) | 80 | 40 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | |
|-------|----|----|----|----|------|------|
| U(V) | -2 | -4 | -6 | -7 | -7.6 | -7.8 |
| I(mA) | 0 | 0 | 0 | -2 | -20 | -60 |

Tension seuil : $U_S = 0.8V$
tension Zener : $U_Z = 6.8V$



- La caractéristique passe par O, donc la diode Zener est un dipôle passif.
- La caractéristique est asymétrique donc les bornes de la diode Zener ne jouent pas le même rôle..
- Dans le sens direct la diode Zener se comporte comme une diode normale..
- Dans le sens inverse la diode Zener laisse passer le courant électrique si la tension à ses bornes est supérieure à la tension Zener.

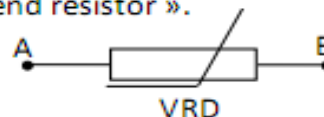
Remarque : On peut visualiser la caractéristique d'une diode Zener à l'oscilloscope et les élèves prennent le tracé.

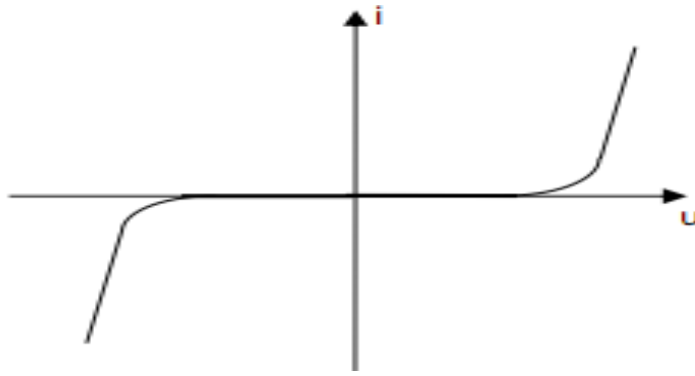
5) Caractéristique d'une varistance ou VDR:

La varistance ou VRD est un résistor dont la résistance dépend de la tension.

VRD provient de l'expression anglaise « voltage dépend resistor ».

Symbole d'une VRD :





La caractéristique d'une VDR est symétrique et non linéaire donc ses deux bornes jouent le même rôle.

Remarque : dans ce cas il suffit de faire visualiser la caractéristique de la VDR à l'oscilloscope et les élèves prennent le tracé.

6) Caractéristique d'une thermistance CTN ou CTP:

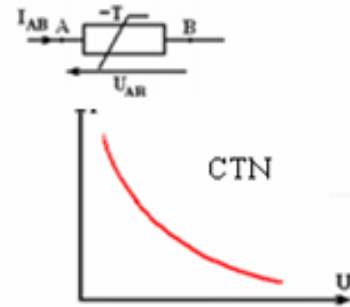
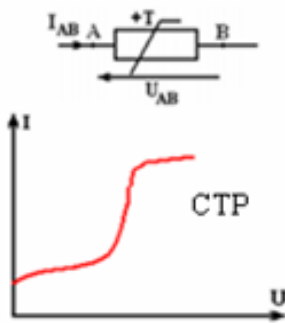
Les thermistances sont des résistances qui ont la propriété de varier avec la température. On en distingue deux types : les thermistances à coefficient de température positif (CTP) et les thermistances à coefficient de température négatif (CTN).

Quand la température augmente la valeur de la résistance de la CTP augmente et celle de la CTN diminue.



La thermistance à coefficient de température positif (CTP) sa résistance augmente quand la température augmente.

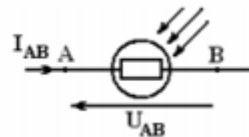
La thermistance à coefficient de température négatif (CTN) sa résistance diminue quand la température augmente.



7) Caractéristique de la photorésistance (LDR):

La photorésistance est un dipôle dont la résistance dépend de la l'éclairement qu'il reçoit.

Symbole de la photorésistance dans un circuit électrique :



On réalise le montage (2) en utilisant comme dipôle une lampe à incandescance :

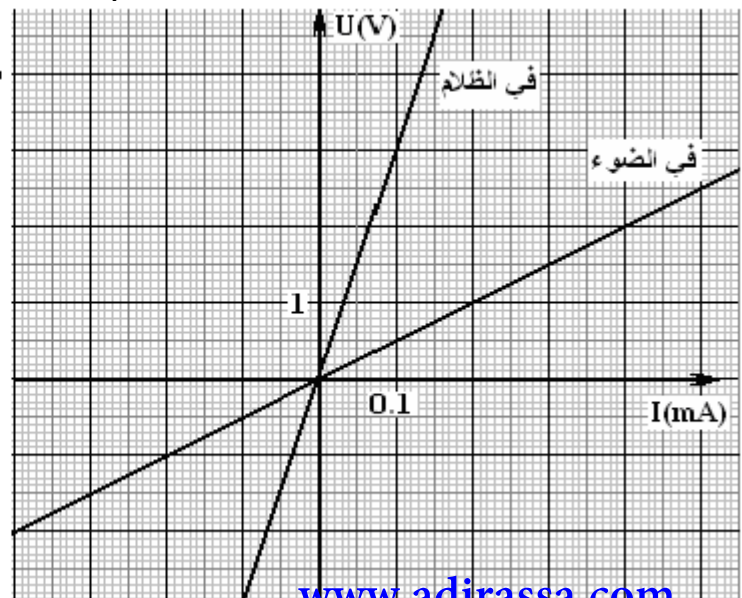
Tableau des valeurs

à l'obscurité:

| | | | | |
|------|------|------|---|-------|
| 4.5 | 3 | 1.5 | 0 | U(V) |
| 0.15 | 0.10 | 0.05 | 0 | I(mA) |

dans la lumière :

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-------|
| 2 | 1.5 | 1 | 0.5 | 0 | U(V) |
| 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0 | I(mA) |



Remarque: On peut visualiser la caractéristique à l'oscilloscope de la photorésistance qui apparait comme un dipôle linéaire. Approcher et éloigner une source lumineuse pour observer la variation de la caractéristique.

8) Caractéristique d'une diode électroluminescente (LED):

Une diode électroluminescente est un dipôle qui se comporte comme une diode normale et qui est capable d'émettre la lumière lorsqu'elle parcouru par un courant électrique.



Symbole d'une LED :

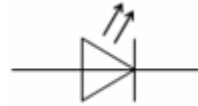
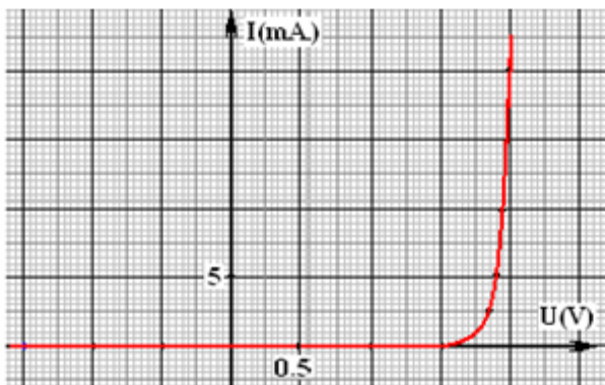


tableau des valeurs:

| | | | | | | | | | | | |
|----|------|-----|------|-----|---|-----|---|----|------|------|-------|
| 2 | 1.95 | 1.9 | 1.85 | 1.5 | 1 | 0.5 | 0 | -2 | -1.5 | -0.5 | I(mA) |
| 20 | 10 | 5 | 2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | U(V) |



C'est un dipôle passif non linéaire et non symétrique. qui se comporte comme une diode normale mais sa tension seuil dépend de la couleur qu'il émet.

$U_s = 1,8V$ pour le rouge.

$U_s = 2,5V$ pour le vert et le jaune.

$U_s = 2V$ pour le blanc .

Caractéristique d'un dipôle actif

I - Dipôles actifs :

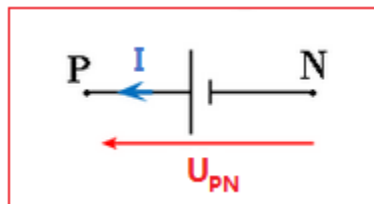
1- Définition :

Un dipôle est dite actif si, en circuit ouvert, la tension à ses bornes n'est pas nulle.

Exemples : Piles, accumulateurs.

2-Convention générateur :

Dans la convention générateur la tension U_{PN} et l'intensité de courant I sont orientées de mêmes sens.



3- Caractéristique d'un dipôle actif :

1-1-Définition :

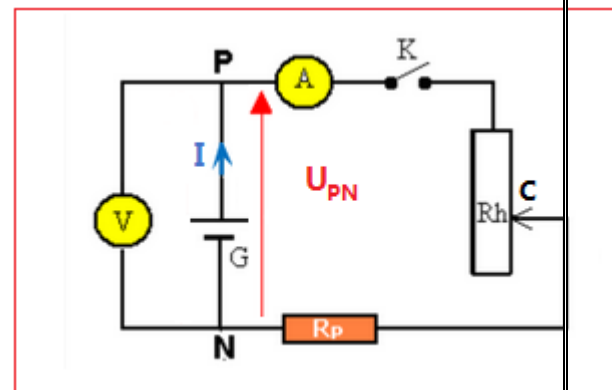
On appelle graphe caractéristique d'un dipôle actif le graphe de la fonction qui lie la tension U_{PN} entre ses bornes au courant I qui le traverse.

1-2- Caractéristique d'une pile :

Montage électrique :

L'interrupteur K est ouvert on mesure la tension U_{PN} .

On ferme K et on déplace le curseur C le long du rhéostat, on relève les valeurs de U_{PN} et I on obtient le tableau suivant :



| | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
| $U_{PN}(V)$ | 4,50 | 4,35 | 4,20 | 4,05 | 3,90 | 3,75 |
| $I (A)$ | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |

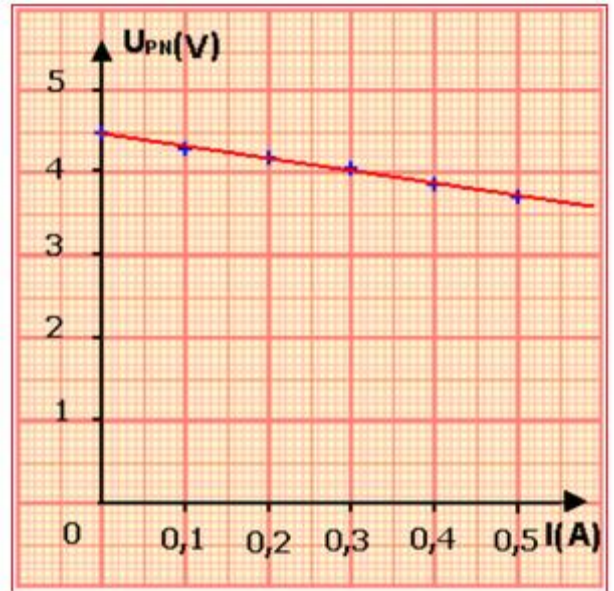
Tracé de la caractéristique intensité du courant-tension :

La caractéristique est une droite qui ne passe pas par l'origine, il représente une fonction affine d'équation : $U_{PN} = aI + b$

La valeur de a :

Le coefficient directeur a est négatif et s'exprime en $V.A^{-1}$ c'est-à-dire en ohm.

a est l'opposé de la résistance $a = -r$, r est appelé **la résistance interne** du générateur.



$$r = |a| \Rightarrow r = \left| \frac{\Delta U_{PN}}{\Delta I} \right| = \left| \frac{4,50 - 3,75}{0 - 0,5} \right| = 1,5 \Omega$$

La valeur de b :

L'ordonnée à l'origine b s'exprime en volt, il a les dimensions de la tension. $b = E$, E est appelé **la force électromotrice** du générateur.

$$b = E = 4,5 V$$

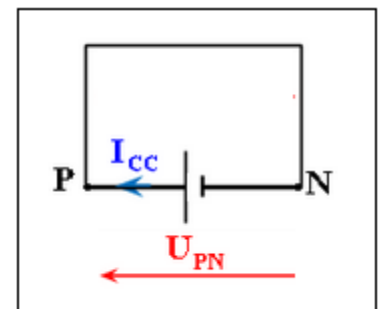
L'équation de la caractéristique de générateur :

$$U_{PN} = 4,5 - 1,5 I$$

1-3- La loi d'ohm pour le générateur :

$$U_{PN} = E - r \cdot I \Rightarrow \begin{cases} U_{PN}: \text{tension aux bornes du générateur en (V)} \\ E: \text{force électromotrice du générateur en (V)} \\ r: \text{résistance interne du générateur en } (\Omega) \\ I: \text{Intensité du courant qui traverse le générateur en (A)} \end{cases}$$

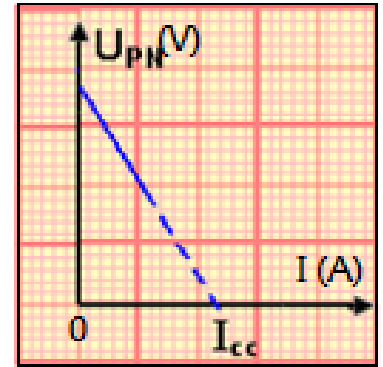
1-4- Intensité de court-circuit d'un générateur :



Pour mettre le générateur en court-circuit, on relie ses pôles par un fil métallique, dans ce cas la tension U_{PN} est nulle.

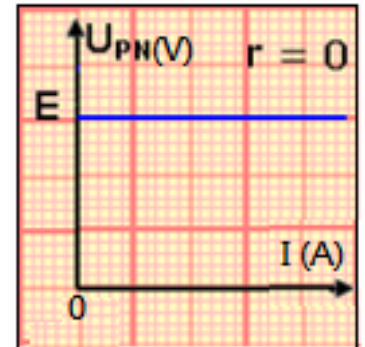
$$E - r \cdot I_{CC} = 0 \Rightarrow I_{CC} = \frac{E}{r}$$

$$I_{CC} = \frac{4,5}{1,5} = 3 \text{ A}$$



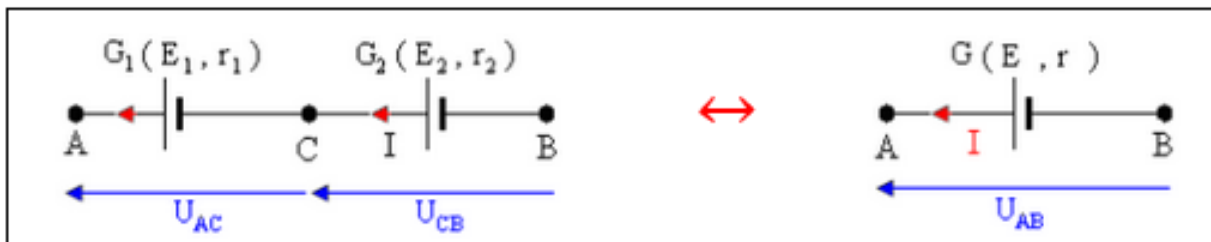
Remarque :

Un dipôle actif est idéal si sa résistance interne est nulle ($r = 0$).



1-5-Association en série des dipôles actifs linéaires :

Soit deux piles $G_1(E_1, r_1)$ et $G_2(E_2, r_2)$ associées en série, cette association est équivalente à un dipôle actif $G(E, r)$.



D'après la loi d'additivité des tensions :

$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CB}$$

La loi d'ohm pour les trois piles :

$$U_{AB} = E_1 - r_1 \cdot I \quad ; \quad U_{AB} = E_2 - r_2 \cdot I \quad ; \quad U_{AB} = E - r \cdot I$$

$$E - r \cdot I = E_1 - r_1 \cdot I + E_2 - r_2 \cdot I$$

$$E = E_1 + E_2 \quad \text{et} \quad r = r_1 + r_2$$

Généralisation :

L'association des n dipôles actifs et linéaires est équivalente à un dipôle actif et linéaire sa force électromotrice : $E = \sum E_i$ et de résistance interne : $r = \sum r_i$

II- Caractéristiques d'un récepteur (l'électrolyseur) :

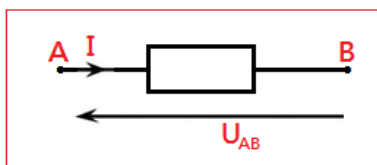
1- Définition :

Un récepteur est un dipôle électrique qui convertit une partie d'énergie électrique qu'il reçoit en une autre forme d'énergie autre que l'énergie thermique.

Exemples : un moteur, un électrolyseur.

2-Convention récepteur :

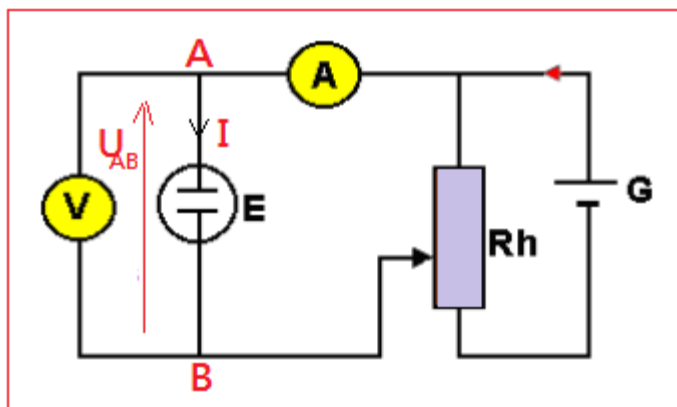
Dans la convention récepteur la tension U_{AB} et l'intensité du courant I sont orientées dans le sens contraires.



3- Caractéristique de l'électrolyseur :

3-1- Montage expérimental :

On déplace le curseur le long du rhéostat, on relève les valeurs de U_{AB} et de I .



3-2- Tableau des résultats :

| | | | | | | | | | | |
|-------------|---|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| $U_{AB}(V)$ | 0 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 | 3,0 | 4 | 5 | 6 |
| $I(A)$ | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,06 | 0,14 | 0,4 | 0,9 | 1,4 | 1,9 |

3-3-Caractéristique $U_{AB} = f(I)$:

La caractéristique intensité-tension de l'électrolyseur est une portion de droite d'équation :

$$U_{AB} = E' + r' \cdot I \Rightarrow \begin{cases} E': \text{force contre - électromotrice (f.c.é.m) en (V)} \\ r': \text{résistance interne de l'électrolyseur en } (\Omega) \\ I: \text{intensité du courant en (A)} \\ U_{AB}: \text{la tension aux brnes de l'électrolyseur en (V)} \end{cases}$$

$$E' = 2,2 V$$

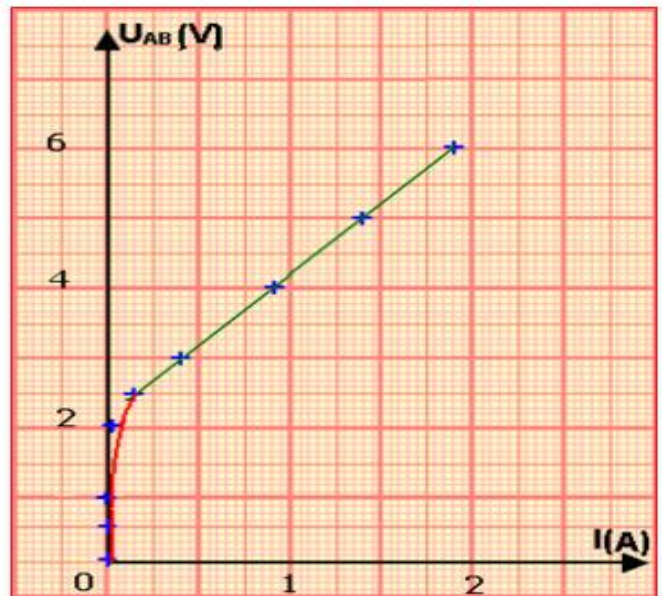
$$r' = \frac{\Delta U_{AB}}{\Delta I} = \frac{5,0 - 3,0}{1,4 - 0,4} = 2 \Omega$$

La loi d'ohm pour un récepteur s'écrit :

$$U_{AB} = E' + r' \cdot I$$

Pour l'électrolyseur on a :

$$U_{AB} = 2,2 + 2 \cdot I$$



III – Point de fonctionnement :

1-Notion de point de fonctionnement :

Le branchement d'un dipôle actif (piles) aux bornes d'un dipôle passif (électrolyseur), forme un circuit électrique.

L'intensité I_f du courant qui traverse le circuit et la tension U_f aux bornes du dipôle actif définit le **point de fonctionnement** du circuit $F(I_f, U_f)$.

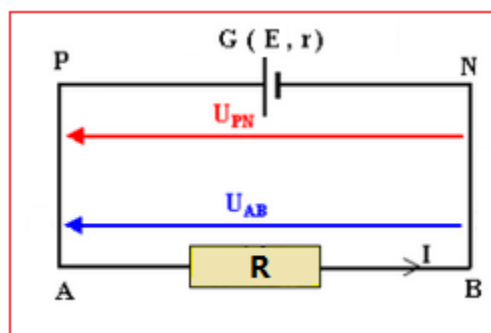
2-Détermination du point de fonctionnement du circuit :

2-1-Méthode graphique :

Traçant les caractéristiques de la pile et de conducteur ohmique dans le même repère.

Les deux caractéristiques se coupent en un point F de coordonnées :

$$F(I_f = 0,1 \text{ A}, U_f = 4 \text{ V})$$



$$E = 5 \text{ V} ; r = 10 \Omega$$
$$R = 40 \Omega$$

2-2- Méthode algébrique :

Appliquant la loi d'ohm :

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

Pour un conducteur ohmique : $U_{AB} = R.I$

D'après la loi d'additivité des tensions :

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

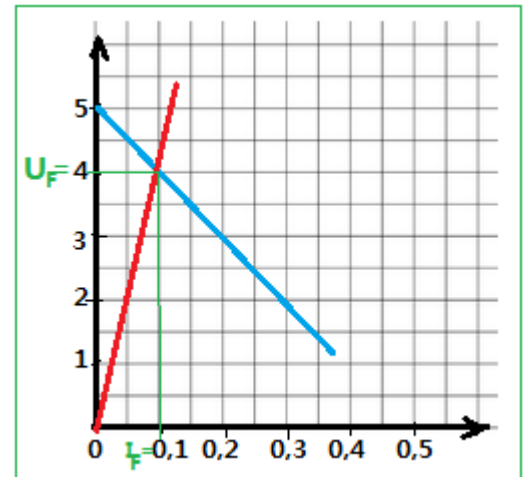
$$E - r.I = R.I$$

$$I = I_F = \frac{E}{R+r}$$

$$A.N : I_F = \frac{5}{50} = 0,1 A$$

$$U_{AB} = U_F = R.I \Rightarrow U_F = R \cdot \frac{E}{R+r}$$

$$A.N : U_F = 40 \times \frac{5}{10+40} = 4 V$$

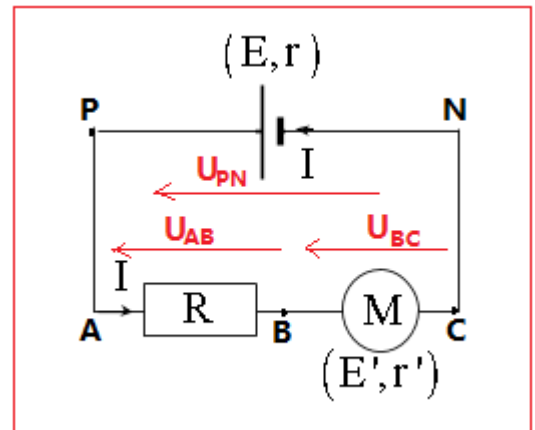


3- Loi de Pouillet :

-On considère le montage qui contient :

Un générateur (E, r) , un moteur (E', r') et un conducteur ohmique de résistance R .

-Trouvons l'intensité du courant I qui circule dans le circuit :



Appliquant la Loi d'ohm :

$$U_{PN} = E - r.I \quad \text{Pour le générateur}$$

$$U_{AB} = E' + r'.I \quad \text{Pour le moteur}$$

$$U_{BC} = R.I \quad \text{Pour le conducteur ohmique}$$

D'après la Loi d'additivité des tensions :

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

$$E - r.I = E' + r'.I + R.I$$

$$E - E' = (R + r + r').I$$

$$I = \frac{E - E'}{R + r + r'} \quad (1)$$

La relation (1) exprime **la loi de Pouillet**, qui concerne les circuits électriques constitués uniquement des dipôles linéaires associés en série.

Généralisation :

L'intensité du courant qui passe dans un circuit série comportant n générateurs, m récepteurs actifs et k conducteurs ohmiques est :

$$I = \frac{\sum E_i - \sum E'_i}{\sum r_i + \sum r'_i + \sum R_i}$$

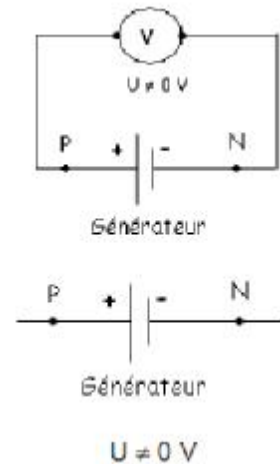
I. Rappels et compléments

1) Dipôles actifs

Un dipôle est dit actif si, en circuit ouvert, la tension à ses bornes n'est pas nulle.

On le montre en branchant un voltmètre directement à ses bornes : l'aiguille du voltmètre indique une tension non nulle.

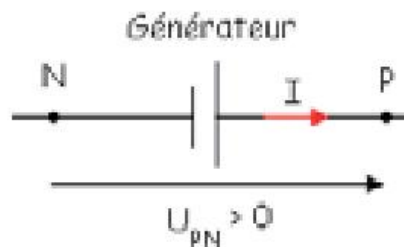
Exemples : piles, groupes électrogènes, alimentations de labo, générateurs de signaux, ... etc.).



Représentation symbolique d'un générateur. Le pôle positif P est représenté par le grand trait le pôle négatif N par le petit trait.

2) Convention générateur

On étudie les dipôles actifs avec la convention générateur.



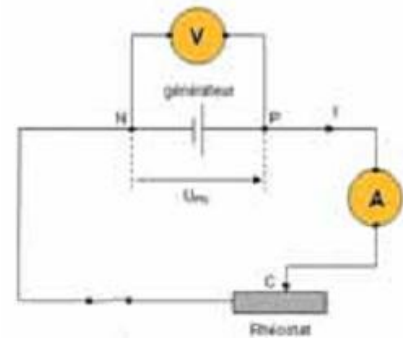
Dans la convention générateur, les flèches symbolisant l'intensité du courant et la tension aux bornes du générateur sont de même sens.

II. Etude d'un dipôle actif linéaire

1) Activité –1– expérimentale : La pile

Le montage

Réaliser le montage représenté à la figure ci-contre (Doc.1) comportant, en série, la pile à étudier, l'ampèremètre, un rhéostat monté en résistance variable et un interrupteur.



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

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

4. Quelle est la tension à vide de la pile appelée aussi force électromotrice f.é.m. et notée E ? Quelle est alors l'intensité du courant électrique ?
5. Quelle est la nature de la courbe ? Déterminer sa pente (coefficient directeur).
6. Ecrire son équation sous la forme : $U_{PN} = a.I + b$ (On explicitera les constantes numériques a et b)

Intensité de court-circuit I_{CC} d'un générateur

7. On met la pile en court-circuit (déconseillé) en reliant ses deux pôles par un fil métallique. On forme ainsi un circuit fermé parcouru par un courant dont l'intensité porte le nom d'intensité de court-circuit I_{CC} . Calculer sa valeur théorique pour la pile étudiée.

Conclusion : énoncer la loi d'Ohm pour un générateur.

Résultats

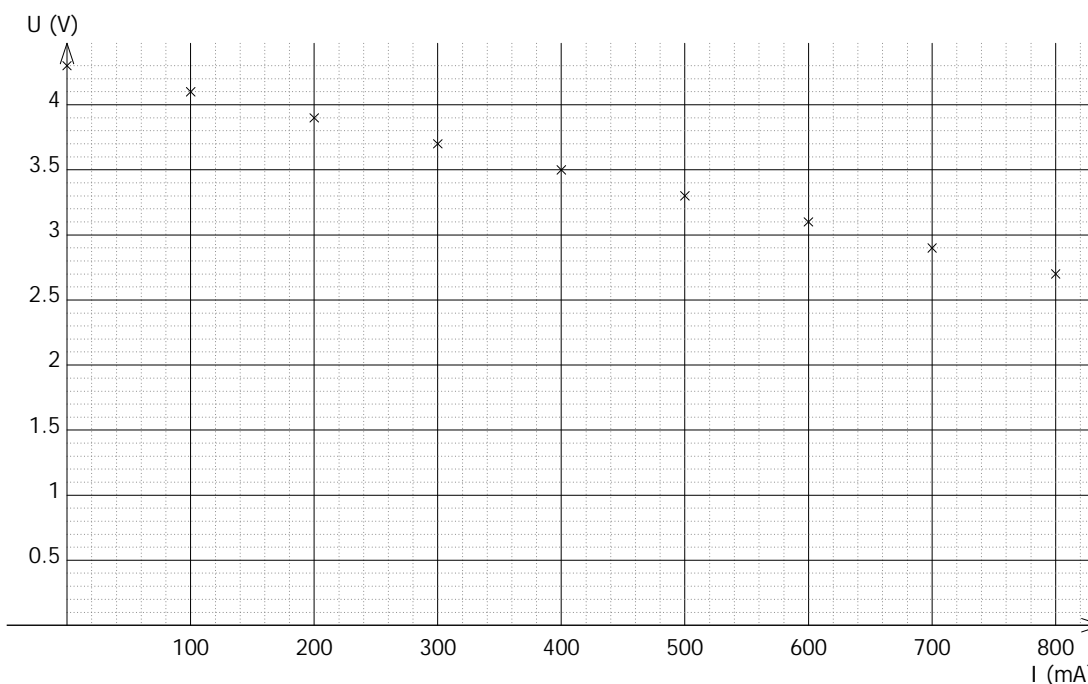
L'interrupteur étant ouvert, nous lisons sur le voltmètre 4,3 V et l'ampèremètre indique la valeur $I = 0$ A.

K fermé, faisons croître I et relevons des couples de mesures (I, U_{PN}) . Tableau de mesure

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

Traçons la caractéristique intensité–tension (I, U)

La caractéristique représentant $U_{PN} = f(I)$ est une droite de coefficient directeur négatif.



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

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

La f.é.m. E est l'ordonnée à l'origine de la caractéristique intensité–tension, soit ici : $E = 4,3 \text{ V}$

L'unité S.I. de force électromotrice est le volt (V).

On remarque que si l'on fait $I = 0$, on obtient $U_{PN} = E$, la f.é.m. d'une pile s'identifie donc à la tension à ses bornes en circuit ouvert (tension à vide de la pile).

- Résistance interne r de la pile

La courbe $U_{PN} = f(I)$ est une droite d'équation $U_{PN} = a.I + b$ peut s'écrire $U_{PN} = -rI + E$.

La résistance interne r est donc l'opposé du coefficient directeur de la caractéristique.

Pour la pile étudiée ici, on obtient, en se reportant à la caractéristique :

$$-r = -\frac{\Delta U_{PN}}{\Delta I} = -\frac{1,6}{0,8} = -2 \text{ Unités S.I.}$$

On obtient r en unités du système international, r étant le quotient d'une tension par une intensité, il s'exprime en ohms. La résistance interne de la pile étudiée ici vaut donc $r = 2,0 \Omega$.

Pour calculer I_{CC} , on écrit que la tension U_{PN} est alors nulle (court-circuit) :

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

2) Conclusion : La loi d'Ohm pour un générateur.

Dans la convention générateur, la loi d'Ohm pour un générateur :

$$U_{PN} = E - r.I$$

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

Remarques :

- L'intensité théorique du courant de court-circuit I_{cc} dans un simple fil de connexion reliant les bornes P et N :

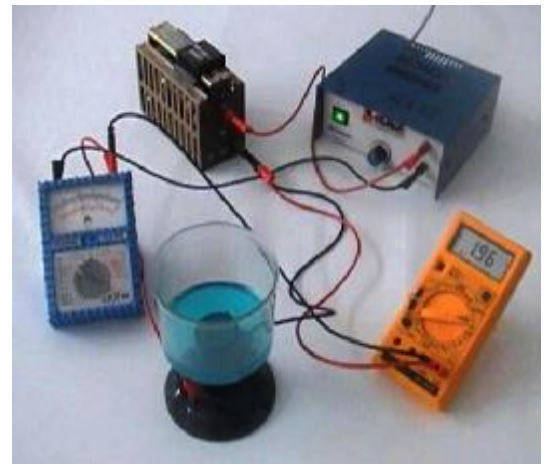
$$U_{PN} = E - r \cdot I_{cc} = 0 \text{ soit } I_{cc} = \frac{E}{r}$$

- Le courant de court-circuit expérimental $I_{cc (exp)}$ est inférieur au courant de court-circuit théorique $I_{cc (th)}$.

3) Activité -2- expérimentale : L'électrolyseur

Le montage

Réaliser le circuit série comportant un générateur, un rhéostat, un interrupteur, un ampèremètre et un électrolyseur contenant une solution ionique (soude $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$). Les bornes de l'électrolyseur sont reliées à un voltmètre comme l'indique la photo ci-dessous.



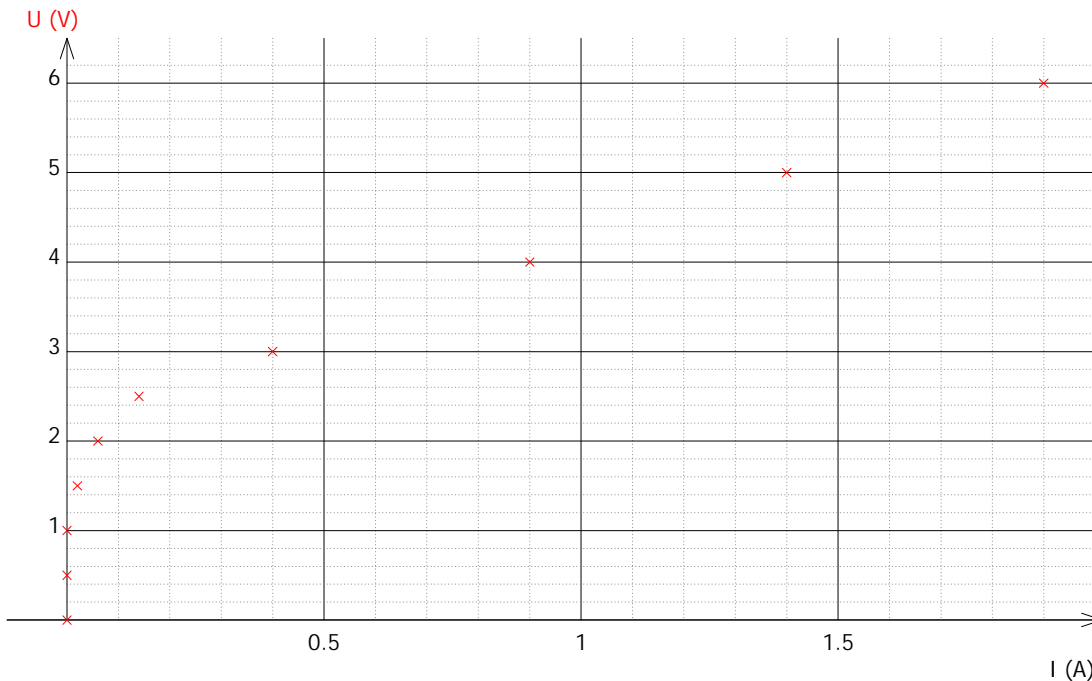
1. Schématiser le montage d'étude de la photo sachant que le rhéostat est monté en résistance variable.
2. Faire varier l'intensité du courant I , et relever les valeurs des couples (I, U) dans le tableau de mesures (indication : on prendra au moins 4 mesures pour $0 < U < 1,5 \text{ V}$).

Faisons varier l'intensité I , relevons les différentes valeurs de U et remplissons le tableau de mesures suivant :

| | | | | | | | | | | |
|------|---|-----|---|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| U(V) | 0 | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| I(A) | 0 | 0 | 0 | 0.02 | 0.06 | 0.14 | 0.4 | 0.9 | 1.4 | 1.9 |

3. Tracer la caractéristique de l'électrolyseur.

Les points reportés dans un repère cartésien (I, U) U (en ordonnées), I (en abscisses).donnent la caractéristique de la ci-dessous.



Force contre électromotrice E' (f.c.é.m) et résistance interne r'

La caractéristique d'un électrolyseur en fonctionnement normal est une portion de droite qui ne passe pas par l'origine d'équation : $U = a \cdot I + b$

Avec :

- b est la valeur de la tension minimale à donner à l'électrolyseur pour qu'il fonctionne normalement. Cette constante est appelée force contre électromotrice (f.c.é.m) du dipôle récepteur actif notée E' .
- $a \cdot I$ est une tension. Alors a est une résistance appelée résistance interne de l'électrolyseur notée r' .

4. Déterminer graphiquement, les paramètres du récepteur actif (E' et r') à partir de la courbe.

En fonctionnement normal, la caractéristique de l'électrolyseur est une portion de droite d'équation de la forme : $U = a.I + b$.

En prolongeant cette droite, elle coupe l'axe des tensions en un point d'ordonnée $b = E' = 2,2 \text{ V}$. E' est appelée force contre électromotrice (f.c.é.m).

La pente a de cette droite est homogène à une résistance appelée résistance interne de l'électrolyseur :

On obtient, en se reportant à la caractéristique : $r' = \frac{\Delta U}{\Delta I} = 2\Omega$

Conclusion : Quelle est la loi d'Ohm relative à un électrolyseur ?

4) Conclusion : La loi d'Ohm pour un électrolyseur.

Dans la convention récepteur, la loi d'Ohm pour un électrolyseur :

$$U = E' + r'I$$

U : tension (V)
 E' : f.c.é.m. (V)
 r' : résistance interne (Ω)
 I : intensité (A)

5) Autre exemple de récepteur actif : Le moteur

On peut refaire l'expérience avec un moteur à courant continu. On en déduit que le moteur un récepteur actif.

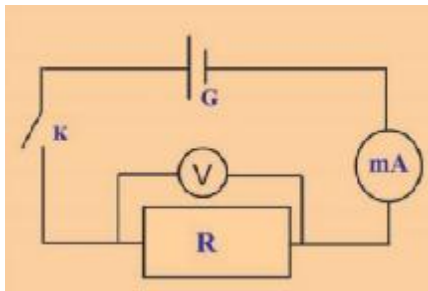
III. Point de fonctionnement d'un circuit

Activité –3– expérimentale :

Le branchement d'un dipôle passif aux bornes d'un dipôle actif forme un circuit électrique. Les deux dipôles associés étant donnés, on n'obtient qu'un seul état de fonctionnement possible du circuit caractérisé par le couple de valeurs commun (I,U) appelé point de fonctionnement du circuit.

Le problème que l'on se pose est donc : par quelle méthode déterminer le point de fonctionnement d'un circuit ?

Soit le montage suivant :



G : pile ($E = \dots\dots V$ et $r = \dots \Omega$)

R : Résistance 20Ω

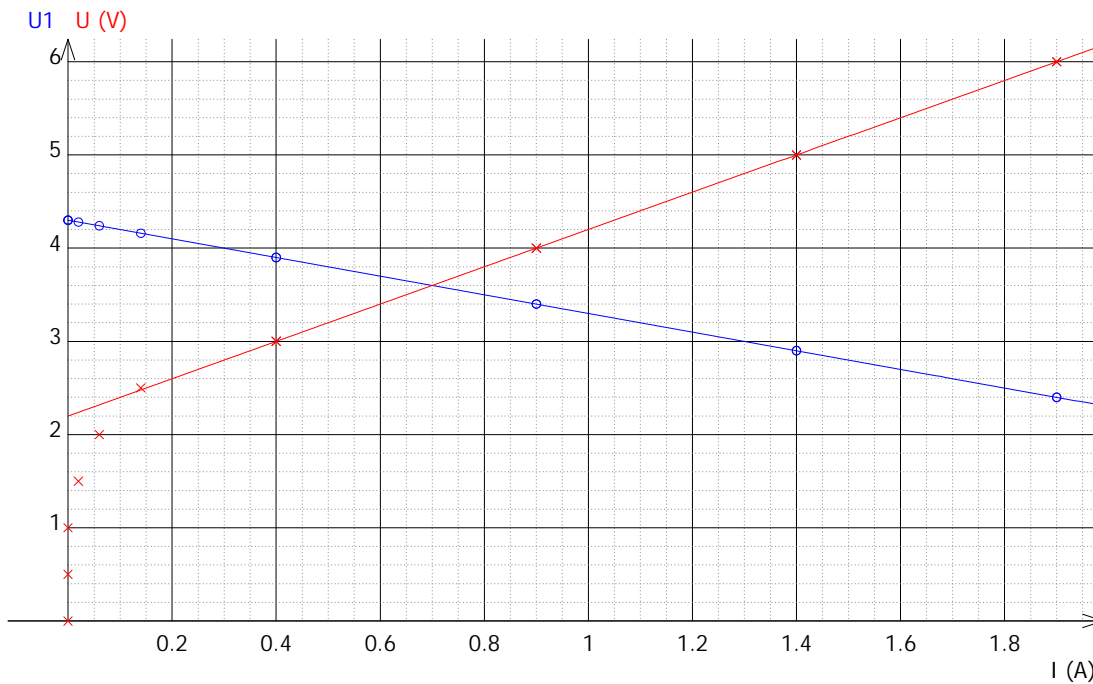
K : interrupteur.

mA : milliampèremètre.

V : voltmètre.

a– Méthode graphique.

1- Nous connaissons les caractéristiques de la pile étudiée à l'activité 1 et l'électrolyseur étudié à l'activité 2. Reportons-les dans le même repère cartésien ci-contre :



2- Le point de fonctionnement $F(I,U)$ doit appartenir à la fois aux deux caractéristiques ; déterminer ces coordonnées.

Il se trouve à l'intersection des deux caractéristiques.

On lit : $I = 0,7 \text{ A}$ et $U = 3,6 \text{ V}$.

3- **Vérification expérimentale.** Lorsque le circuit est fermé, noter les indications du milliampèremètre et le voltmètre.

Le milliampèremètre indique une intensité $I = 0,7 \text{ A}$ et le voltmètre une tension $U = 3,6 \text{ V}$.

b – Méthode analytique.

4- Quelle est la loi d'Ohm vérifiée par un générateur caractérisé par (E,r) et puis par un électrolyseur caractérisé par (E',r') ?

L'équation de la caractéristique d'une pile :

$$U_{PN} = E - r.I$$

L'équation de la caractéristique d'un électrolyseur :

$$U_{AB} = E' + r'.I$$

5- Calculer le point de fonctionnement du circuit.

Associés comme l'indique la figure ci-dessus :

$$U_{PN} = U_{AB} = U \text{ d'où } E - r.I = E' + r'.I$$

$$\text{Soit : } I = \frac{E - E'}{r + r'} \text{ et } U = \frac{r.E' + r'.E}{r + r'}$$

IV. Loi de Pouillet

1) Exercice d'application :

Réalisons le circuit de la figure 7 comprenant un générateur (E, r) , un moteur (E', r') et un conducteur ohmique de résistance R .

Les tensions aux bornes des différents dipôles ne pouvant plus être les mêmes, il n'est plus possible de superposer leurs caractéristiques pour trouver un point d'intersection et connaître I . La méthode analytique est la seule utilisable dans ce cas, les trois dipôles étant linéaires. L'exercice suivant en fournit un exemple d'application.

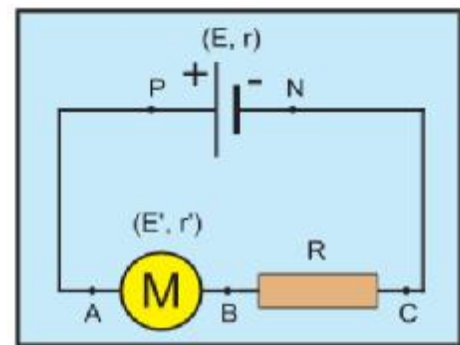


Fig. 7

Enoncé :

Calculer l'intensité du courant qui circulerait dans le circuit de la figure 7 avec les données numériques suivantes :

$$E = 12V ; r = 5\Omega ;$$

$$E' = 6V ; r' = 2\Omega ;$$

$$R = 3\Omega.$$

Soit I l'intensité du courant qui circulerait dans ce circuit une fois fermé.

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

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

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

Pour le récepteur passif on a : $U_{BC} = R.I$

On applique la loi d'additivité des tensions : $U_{PN} = U_{AB} + U_{BC}$

En remplaçant on aura : $E - r.I = E' + r'.I + R.I$

En regroupant les termes : $E - E' = (r + r' + R)I$

d'où l'intensité : $I = \frac{E - E'}{r + r' + R}$ A.N . $I = 0,6 \text{ A}$

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

2) Enoncé de la loi de Pouillet :

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

$$I = \frac{(E_1 + E_2 + \dots + E_n) - (E_1' + E_2' + \dots + E_m')}{r_1 + r_2 + \dots + r_n + r_1' + \dots + r_m' + R_1 + R_2 + \dots + R_k}$$

Qu'on écrit d'une manière condensée comme suit :

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n E_i - \sum_{j=1}^m E_j'}{\sum_{k=1}^p r_k}$$

Σ : symbole désignant somme.

1) Définition :

Le transistor, inventé le 23 décembre 1947 par l'américain John Bardeen, est un composant essentiel en électronique, grâce notamment aux technologies de fabrication qui permettent des densités d'intégration (nombre de composants par unité de surface) toujours plus importantes.

Le terme transistor provient de l'anglais transfer resistor (résistance de transfert).

Il permet notamment de réaliser deux grandes fonctions de l'électronique : l'amplification et la commutation de signaux (interrupteur électronique). D'autres fonctions plus complexes sont réalisées grâce à des montages à base de transistors.

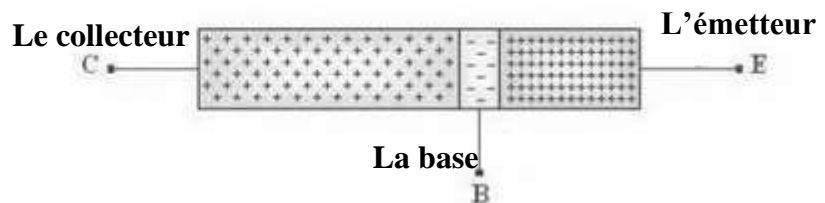
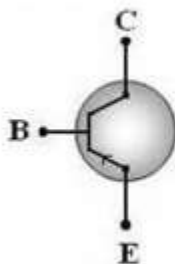
2) Présentation du transistor :

Il possède 3 électrodes :

- ✓ **B** : la base
- ✓ **C** : le collecteur
- ✓ **E** : l'émetteur repéré par la flèche



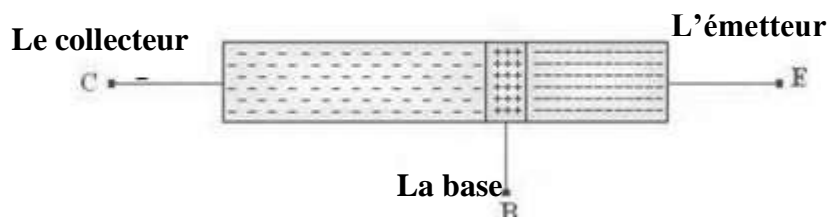
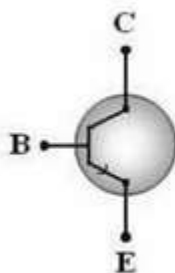
Transistor type PNP



type PNP



Transistor type NPN



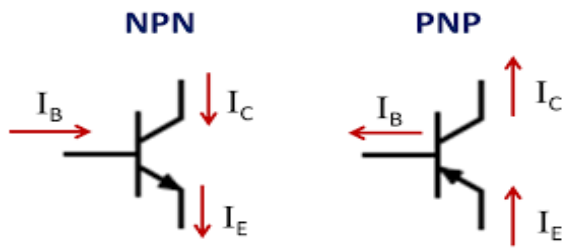
type NPN



Remarque :

Le transistor le plus utilisé est de type NPN

3) La loi des nœuds Présentation du transistor :



$$I_E = I_C + I_B$$



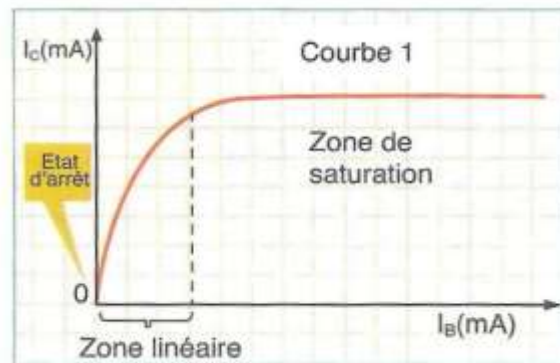
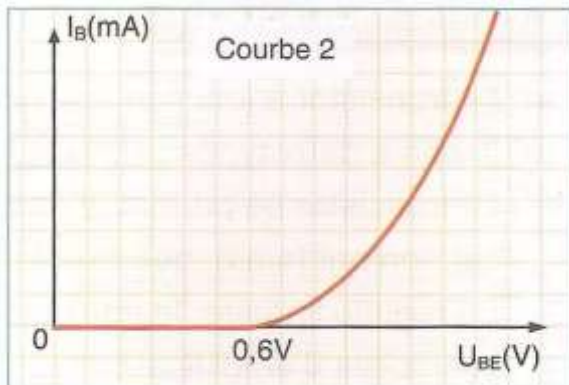
4) La loi d'additivité des tensions :



► Le transistor est une maille de tension et un nœud de courant

■ Loi des mailles : $U_{BE} = U_{BC} + U_{CE}$

5) Régime du fonctionnement du transistor :



* Le transistor est bloqué :

pour une tension : $U_{BE} < 0,6 \text{ V}$.

Dans ce cas, on a : $I_B = 0$ et $I_C = 0$.

* Le transistor fonctionne en régime linéaire :

il sera dans l'intervalle :

$$0,6 \text{ V} \leq U_{BE} \leq 0,78 \text{ V}$$

Dans ce cas, on a : $I_C = \beta \cdot I_B$

dont β ; est le coefficient d'amplification (statique) du courant.

Ce phénomène est appelé "effet transistor".

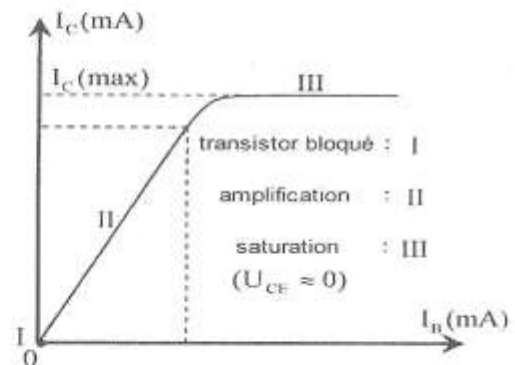
* Le transistor est saturé :

Pour : $U_{BE} > 0,78 \text{ V}$

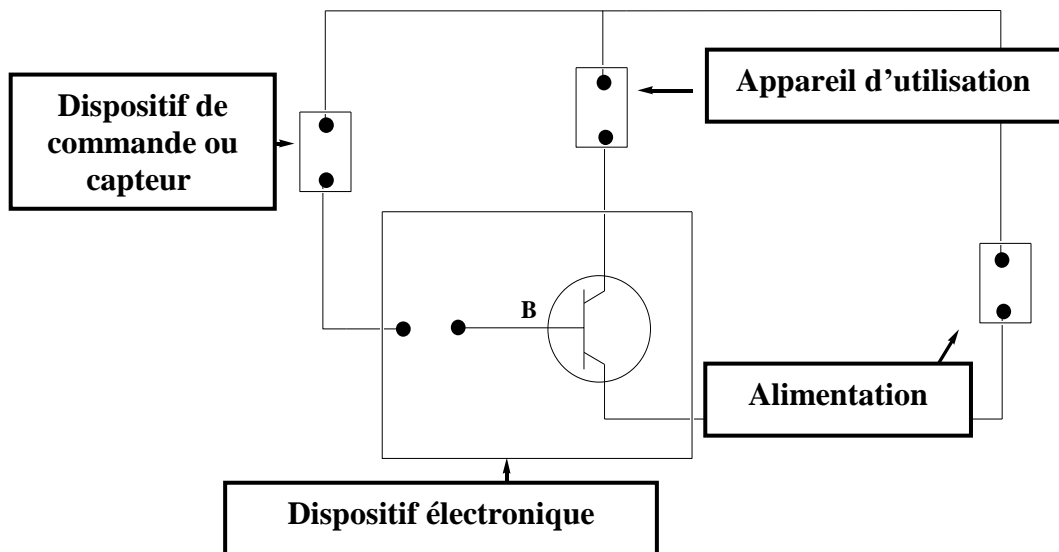
Dans ce cas, on aura I_C constante quelque soit I_B .

On aura aussi : $U_{CE} = 0$

La courbe ci-contre représente : la caractéristique de transfert en courant.



6) Structure d'une chaîne électronique :

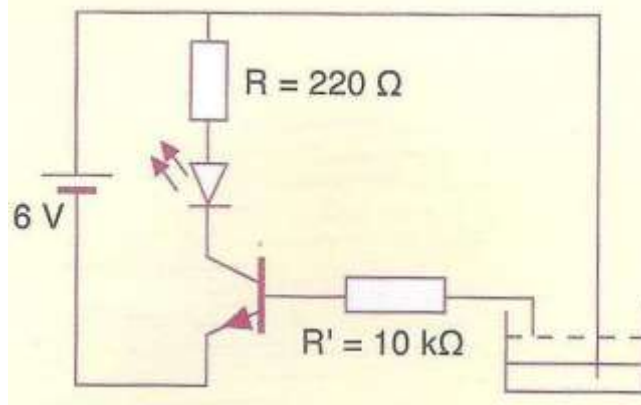


Une chaîne électronique est formée de :

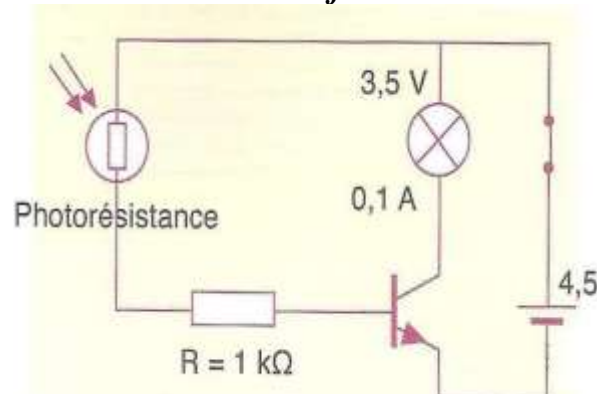
- ✓ **Dispositif électronique :** Transistor.
- ✓ **Appareil d'utilisation :** Lampe ; D.E.L ; sirène d'alarme
- ✓ **Alimentation :** Générateur
- ✓ **Dispositif de commande ou capteur :** C.T.N, C.T.P, L.D.R

7) Quelques circuits électroniques contenant un transistor:

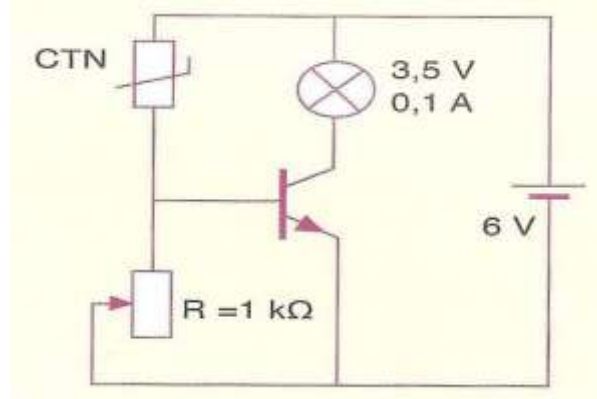
➤ *Détecteur de niveau d'un liquide :*



➤ *Détecteur de lumière ou de flamme :*

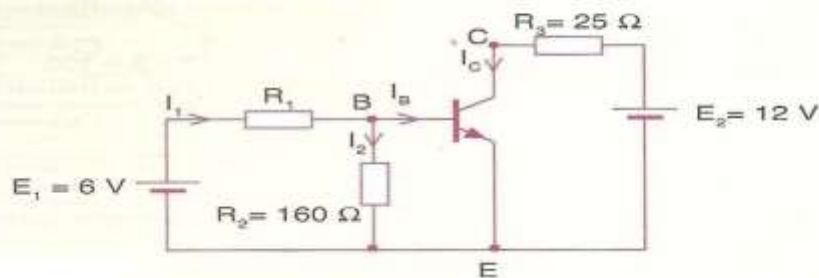


➤ **Détecteur d'échauffement :**



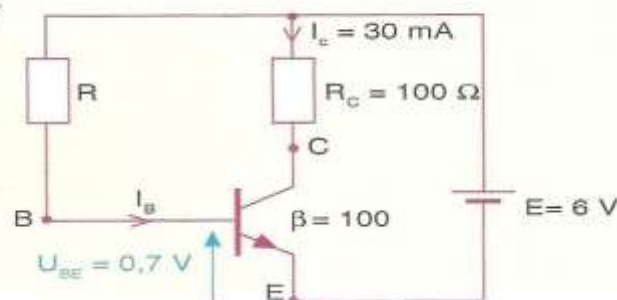
Exercice N°1 :

- 1** Considérons le montage ci-dessous.
On donne : $U_{BE} = 0,8 \text{ V}$; $U_{CE} = 8 \text{ V}$ et $\beta = 100$.
- 1)** Sous quel régime fonctionne ce transistor ?
- 2)** Calculer l'intensité du courant du collecteur I_C .
- 3)** En déduire l'intensité du courant de base I_B .
- 4)** Calculer l'intensité du courant I_2 .
- 5)** Quelle est alors l'intensité du courant I_1 ?
- 6)** Trouver la valeur de la résistance R_1 .



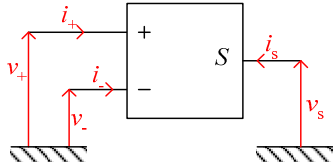
Exercice N°2 :

- 2** Soit le circuit ci-dessous où le transistor fonctionne en régime linéaire.
- 1)** Calculer la valeur de la tension U_{CE} .
- 2)** Trouver l'intensité du courant de base I_B .
- 3)** Déduire la valeur de la résistance R .
- 4)** Quelle doit être la valeur de R pour que le transistor soit saturé ?



Chapitre : L'amplificateur opérationnel

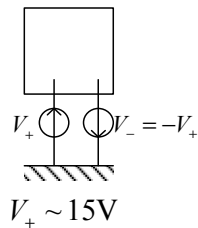
I Présentation



A) Entrées et sortie

- (1) E^+ : entrée non inverseuse. Potentiel v_+ , intensité i_+
- (2) E^- : entrée inverseuse. Potentiel v_- , intensité i_- .
 $\mathcal{E} = v_+ - v_-$: tension différentielle d'entrée.
- (3) S : sortie. Potentiel v_s , intensité i_s .

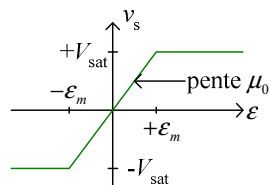
B) Alimentation



II Fonctionnement en régime statique

$v_+ = \text{cte}$, $v_- = \text{cte}$, $v_s = \text{cte}$.

A) Caractéristique



1) Régime linéaire

C'est lorsque $-\varepsilon_m < \varepsilon < \varepsilon_m$; on a alors $-V_{\text{sat}} < v_s < V_{\text{sat}}$ et $v_s = \mu_0 \varepsilon$
($\mu_0 \sim 10^5$)

2) Régime de saturation

Lorsque $\varepsilon > \varepsilon_m$, $v_s = +V_{\text{sat}}$ et lorsque $\varepsilon < -\varepsilon_m$, $v_s = -V_{\text{sat}}$.

B) Amplificateur opérationnel parfait

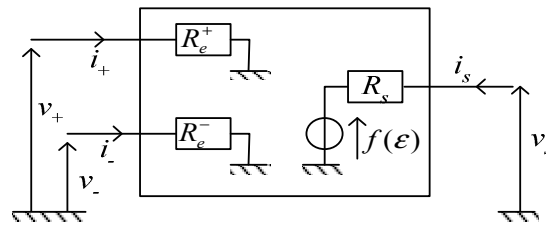
1) AO idéal

C'est un amplificateur opérationnel tel que :

- Les impédances d'entrée sont infinies : $i_+ = i_- = 0$
- L'impédance de sortie est nulle : v_s est indépendant de la charge.

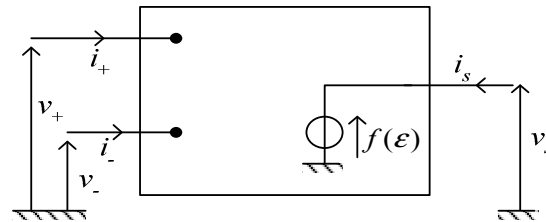
Modélisation :

- D'un AO réel :



On a $v_+ = R_e^+ i_+$, $v_- = R_e^- i_-$, $v_s = f(\varepsilon) + R_s i_s$

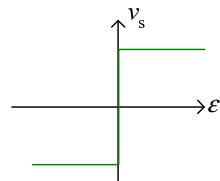
- D'un AO idéal :



On a ici $R_e^- = +\infty$, $R_e^+ = +\infty$, $R_s = 0$.

2) AO parfait

- C'est un AO idéal pour lequel μ_0 est infini.
- Fonctionnement :



En régime linéaire, $\varepsilon = 0$, et $v_s \in]-V_{\text{sat}}, +V_{\text{sat}}[$.

En régime saturé, si $\varepsilon > 0$, $v_s = +V_{\text{sat}}$ et si $\varepsilon < 0$, $v_s = -V_{\text{sat}}$.

III Fonctionnement dynamique, stabilité

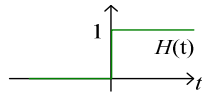
A) Relation entrée-sortie

$\varepsilon(t) \rightarrow v_s(t)$. A-t-on $v_s(t) = \mu_0 \varepsilon(t)$? Pas très réaliste...

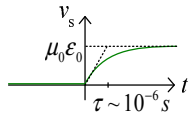
1) Modélisation

$$\tau \frac{dv_s}{dt} + v_s = \mu_0 \varepsilon \text{ tant que } -V_{\text{sat}} < v_s < +V_{\text{sat}}.$$

2) Analyse

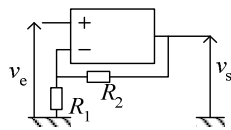


Pour $\varepsilon = \varepsilon_0 H(t)$, on a ainsi $v_s = \mu_0 \varepsilon_0 (1 - e^{-t/\tau}) H(t)$:



B) Stabilité du régime linéaire

1) Exemple 1 : amplificateur non inverseur



- AO parfait, régime statique :

$$v_e = v^+, v_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_s = \frac{1}{k} v_s \quad (k > 1)$$

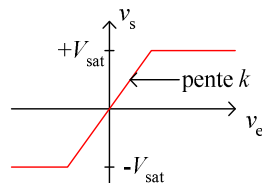
En régime linéaire :

$$\varepsilon = 0, \text{ donc } v_s = k v_e$$

En régime de saturation :

$$v_s = \pm V_{\text{sat}}, \text{ donc } v_- = \pm V_{\text{sat}}.$$

Si $v_e < \frac{-V_{\text{sat}}}{k}$, $v_s = -V_{\text{sat}}$; si $v_e > \frac{V_{\text{sat}}}{k}$, $v_s = +V_{\text{sat}}$



- AO idéal, régime variable :

$$v_e(t), v_s(t)$$

$$v_+ = v_e, v_- = \frac{v_s}{k} \quad (k = \frac{R_1 + R_2}{R_1})$$

Régime linéaire :

$$\tau \frac{dv_s}{dt} + v_s = \mu_0 (v_e - \frac{v_s}{k})$$

$$\text{Soit } \tau \frac{dv_s}{dt} + v_s (\underbrace{1 + \frac{\mu_0}{k}}_{\ll \frac{\mu_0}{k}}) = \mu_0 v_e.$$

- Solution homogène associée : $v_s = Ae^{-\frac{t}{\tau k}}$

Solution particulière : dépend de $v_e(t)$.

(1) Si $v_e = v_0 h(t)$, une solution particulière est $kv_0 h(t)$

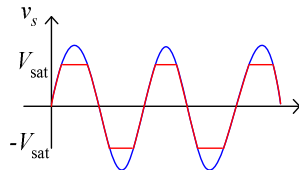
(2) Si $v_e = v_0 \cos(\omega t)$:

Solution particulière :

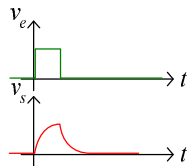
$$(\tau i \omega + \frac{\mu_0}{k}) v_s = \mu_0 v_0 \quad \text{Donc } v_s = \frac{\mu_0 v_0}{\frac{\mu_0}{k} + \tau i \omega} = \frac{kv_0}{1 + i \omega \tau \frac{k}{\mu_0}} \quad (\frac{k}{\mu_0} \ll 1)$$

$$\text{Et } v_s = \frac{kv_0}{\sqrt{1 + \omega \tau \frac{k}{\mu_0}}} \cos(\omega t + \varphi) \approx kv_0 \cos(\omega t)$$

On a toujours $|v_s| < V_{\text{sat}}$:



(3) Petite perturbation :

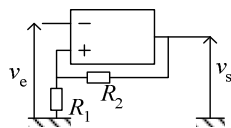


Conclusion :

Tant que $|v_s| < V_{\text{sat}}$, le régime linéaire est possible et stable.

Le régime ne sera saturé que si v_e est trop grand.

2) Exemple 2 : comparateur à hystérésis



(Même montage que précédemment en échangeant + et -)

- AO parfait, régime statique :
En régime statique, $v_s = kv_e$; en réalité, cette solution n'est pas valable (voir après)

- AO idéal, régime variable :

On a $v_+ = \frac{v_s}{k}$, $v_- = v_e$. Donc $\varepsilon = \frac{v_s}{k} - v_e$

L'équation différentielle s'écrit :

$$\tau \frac{dv_s}{dt} + v_s = \frac{\mu_0}{k} v_s - \mu_0 v_e$$

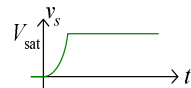
$$\text{Soit } \tau \frac{dv_s}{dt} + v_s \left(1 - \frac{\mu_0}{k}\right) = -\mu_0 v_e$$

Solution homogène : $v_s = Ae^{t/(k\tau/\mu_0)}$, et $\frac{k\tau}{\mu_0} = \tau' \ll \tau$

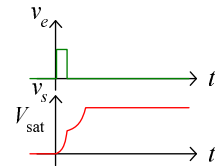
On a donc une croissance exponentielle (τ') encore plus rapide que la réaction de l'AO (τ)

Solution particulière :

(1) Pour $v_e = v_0 h(t)$:



(2) Pour une petite perturbation :



- Retour sur le régime statique :

Le régime linéaire n'est pas possible (la moindre perturbation entraîne le régime saturé) ; on a toujours $v_s = \pm V_{\text{sat}}$.

$$\text{Ainsi, } v_+ = \pm \frac{V_{\text{sat}}}{k}$$

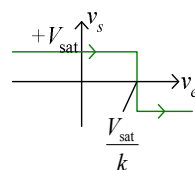
$$\text{Et } v_- = v_e$$

$$\text{Donc } \varepsilon = -v_e \pm \frac{V_{\text{sat}}}{k}$$

- Pour avoir $\varepsilon > 0$, il suffit (mais non nécessaire) que $v_e < -\frac{V_{\text{sat}}}{k}$.

Pour $v_e < -\frac{V_{\text{sat}}}{k}$, on a $v_s = +V_{\text{sat}}$, et donc $v_+ = +\frac{V_{\text{sat}}}{k}$:

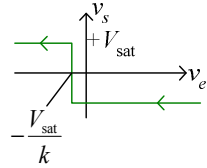
Ceci tant que ε reste positif, c'est-à-dire tant que $v_e < \frac{V_{\text{sat}}}{k}$:



- Pour avoir $\varepsilon < 0$, il suffit que $v_e > \frac{V_{\text{sat}}}{k}$, et on a alors $v_s = -V_{\text{sat}}$.

Si maintenant v_e diminue :

$v_+ = -\frac{V_{\text{sat}}}{k}$ et $v_- = v_e$ tant que $\varepsilon < 0$, c'est-à-dire $v_e < -\frac{V_{\text{sat}}}{k}$:



3) Généralisation

- Premier cas : l'AO n'a pas de rétroaction sur la borne –
La moindre perturbation fait diverger v_s
La saturation sera haute ou basse selon les bornes d'entrées.
- Deuxième cas : l'AO a une rétroaction sur la borne –
Le régime linéaire peut être stable, selon les composants extérieurs à l'AO.
Même si le régime linéaire est stable, l'AO peut saturer si v_e est trop grand.

QUANTITÉ DE MATIÈRE : LA MOLE

I- La quantité de matière : la mole

1-Définition :

La quantité de matière d'un échantillon est le nombre de moles que contient cet échantillon. C'est une grandeur notée n ; son unité est la mole (mol).

Une mole de particules (atomes, molécules ou ions) est définie comme un ensemble de $6,02 \cdot 10^{23}$ particules identiques.

Le nombre de particules contenues dans une mole s'appelle le nombre d'Avogadro:

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$$

Remarque :

Une mole contient autant d'entités chimiques qu'il y a d'atomes dans 12,0 g de carbone 12.

$$N = \frac{12}{m(^{12}\text{C})} = \frac{12}{12 \times m_p} = \frac{1}{1,66 \cdot 10^{-27}} = 6,02 \cdot 10^{23}$$

2-Quantité de matière d'un échantillon :

La quantité de matière n d'un échantillon qui contient N particules identiques est donnée par la relation suivante :

$$n = \frac{N}{N_A} \Rightarrow \begin{cases} n: \text{la quantité de matière en (mol)} \\ N: \text{le nombre de particule dans l'échantillon} \\ N_A: \text{le nombre d'Avogadro en (mol}^{-1}\text{)} \end{cases}$$

Exercice d'application :

a-Déterminer la quantité de l'eau n qui se trouve dans un échantillon de l'eau contient un nombre $N = 24,08 \cdot 10^{23}$ molécules d'eau.

b-Déterminer le nombre N' d'atome de cuivre dans un échantillon de cuivre son quantité de matière est $n' = 0,3 \text{ mol}$.

Réponse :

$$\text{a- } n = \frac{N}{N_A} = \frac{24,08 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 4 \text{ mol}$$

$$\text{b- } N' = n' \cdot N_A = 0,2 \times 6,02 \cdot 10^{23} = 12,04 \cdot 10^{23}$$

II-Masse molaire atomique et masse molaire moléculaire :

1-Masse molaire atomique :

La masse molaire atomique d'un élément chimique x est la masse d'une mole d'atome de cet élément chimique.

Le symbole de la masse molaire atomique d'un élément chimique x est $M(x)$ son unité est le gramme par mole noté par (g/mol ou $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$).

Exemple :

$$M(\text{C}) = 12 \text{ g/mol} ; M(\text{H}) = 1 \text{ g/mol} ; M(\text{O}) = 16 \text{ g/mol} ; M(\text{N}) = 14 \text{ g/mol}$$

2-Masse molaire moléculaire :

La masse molaire moléculaire d'une molécule est la masse d'une mole de molécule.

La masse molaire moléculaire est la somme des masses molaires atomiques des atomes qui constituent cette molécule. Son unité est (g/mol).

Exemples :

Déterminer les masses molaires moléculaires des molécules suivantes : NH_3 ; C_2H_6O ; H_2SO_4 .

$$\begin{aligned}M(NH_3) &= M(N) + 3M(H) = 14 + 3 \times 1 = 17 \text{ g/mol} \\M(C_2H_6O) &= 2M(C) + 6M(H) + M(O) = 2 \times 12 + 6 \times 1 + 16 = 46 \text{ g/mol} \\M(H_2SO_4) &= 2M(H) + M(S) + 4M(O) = 2 \times 1 + 32 + 4 \times 16 = 98 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

3-Relation entre la masse molaire et la quantité de matière :

La quantité de matière contenue dans une masse $m(x)$ d'un corps formé par l'élément chimique x est donnée par la relation :

$$n = \frac{m(x)}{M(x)} \Rightarrow \begin{cases} m(x): \text{masse du corps en (g)} \\ M(x): \text{la masse molaire du corps en (g/mol)} \\ n : \text{quantité de matière en (mol)} \end{cases}$$

Remarque :

Si la masse volumique d'un corps liquide est $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V$

La quantité de matière est : $n = \frac{\rho \cdot V}{M}$

Exemple :

Déterminer la quantité de matière contenue dans :

-une masse de 28 g de fer métal. La masse molaire de fer est $M(Fe) = 56 \text{ g/mol}$.

-un volume $V = 60 \text{ mL}$ de linalol $C_{10}H_{18}O$ de masse volumique $\rho = 0,9 \text{ g/ml}$.

Réponse :

-La quantité de matière contenue dans 28 g de fer :

$$n = \frac{m}{M(Fe)} = \frac{28}{56} = 0,2 \text{ mol}$$

-La quantité de matière contenue dans 60 mL de linalol :

$$n = \frac{\rho \cdot V}{M(C_{10}H_{18}O)} = \frac{60 \times 0,9}{10 \times 12 + 18 \times 1 + 16} = 0,35 \text{ mol}$$

III- Relation entre la quantité de matière et le volume molaire :

1-Le volume molaire des gaz :

Le volume molaire d'un gaz : est le volume occupé par une mole de gaz pris dans les conditions définies de température et de pression.

Dans les conditions normales de température et de pression ($P = 1 \text{ atm}$ et $\theta = 0^\circ\text{C}$) la valeur du volume molaire est : $V_m = 22,4 \text{ L. mol}^{-1}$

2-Relation entre le volume et la quantité de matière :

La quantité de matière contenue dans un volume V d'un gaz est donnée par la relation suivante :

$$n = \frac{V}{V_m} \Rightarrow \begin{cases} n : \text{quantité de matière en (mol)} \\ V : \text{volume de gaz en (l)} \\ V_m : \text{volume molaire en (L.mol}^{-1}\text{)} \end{cases}$$

3-Densité d'un gaz par rapport à l'air :

La densité d'un gaz est le rapport entre la masse d'un volume de gaz et la masse du même volume d'air.

$$d = \frac{m_{\text{gaz}}}{m_{\text{air}}} \Rightarrow \begin{cases} m_{\text{gaz}} : \text{masse d'un volume } V \text{ d'un gaz en (g)} \\ m_{\text{air}} : \text{masse de même volume } V \text{ d'air en (g)} \\ d : \text{densité de gaz par rapport à l'air} \end{cases}$$

Le gaz et l'air sont pris dans les mêmes conditions de température et de pression.

Dans le cas d'une mole de gaz on écrit :

$$d = \frac{M_{\text{gaz}}}{M_{\text{air}}} = \frac{M_{\text{gaz}}}{\rho_{\text{air}} \cdot V_m} = \frac{M_{\text{gaz}}}{1,293 \times 22,4}$$
$$d = \frac{M_{\text{gaz}}}{29} \text{ avec } M_{\text{gaz}} : \text{masse molaire de gaz}$$

Le corps est plus dense que l'air dans le cas : $d > 1$

Le corps est moins dense que l'air dans le cas : $d < 1$

IV- Equation d'état d'un gaz parfait :

1-Définition d'un gaz parfait :

C'est un gaz dont les molécules n'interagissent pas entre elles.

A faible pression, quand les interactions entre les molécules qui constituent le gaz sont très faibles le gaz est assimilé à un gaz parfait.

2-Equation d'état d'un gaz parfait :

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow \begin{cases} P : \text{pression en pascal (Pa)} \\ V : \text{volume en } m^3 \\ T : \text{température en kelvin (K)} \\ n : \text{nombre de mol en mole (mol)} \end{cases}$$

R : La constante des gaz parfait sa valeur est $R = 8,314 \text{ J. K}^{-1} . \text{K}^{-1}$

Exercice d'application :

Un récipient de volume $V = 1 \text{ dm}^3$ contient du dioxygène O_2 gazeux sous une pression de $P = 150 \text{ bar}$ à la température de 25°C . On donne $M(O) = 16 \text{ g/mol}$

1-Déterminer le volume molaire dans ces conditions.

2-Calculer la masse de dioxygène contenue dans le récipient.

Réponse :

1-D'après l'équation d'état des gaz parfait :

$$P.V = n.R.T \Rightarrow n = \frac{P.V}{R.T}$$
$$n = \frac{150 \times 10^5 \times 10^{-6}}{8.314 \times (25 + 273)} = 0,006 \text{ mol}$$

2-La masse m de O_2 :

$$n = \frac{m}{M(O_2)} = \frac{m}{2M(O)} \Rightarrow m = 2n.M(O)$$
$$m = 2 \times 0,006 \times 16 = 0,192 \text{ g}$$

Chapitre 7 : La mole – Quantité de matière

الوحدة 7 : المول – كمية المادة



Différentes types et formes du sucre . comment compter le nombre de molécules de saccharose contenues dans chacun de ces échantillons ?

❖ Situation-problème :

Pour pratiquer la chimie, les chimistes doivent dénombrer le nombre d'atomes, d'ions ou de molécules appelés entités chimiques (échelle microscopique) présentes dans les échantillons de matière qu'ils manipulent à échelle humaine (échelle macroscopique) . mais parce qu'il est difficile de compter ces entités chimiques, les chimistes ont inventé une unité convenable appelée mole .

- Qu'est-ce qu'une mole?
- Comment peut-on calculer la quantité de matière d'une substance chimique?

❖ Objectifs :

- Connaître la mole en tant qu'unité de quantité de matière.
- Connaître le nombre d'Avogadro
- Connaître la masse molaire d'un élément chimique
- Savoir calculer la masse molaire moléculaire et ionique
- Savoir calculer la quantité de matière à partir de la masse
- Connaître le volume molaire
- Savoir calculer la quantité de matière d'un gaz à partir de son volume
- Connaître la densité d'un gaz
- Connaître la loi de Boyle –Mariotte
- Connaître les caractéristiques d'un gaz parfait
- Connaître les variables d'état d'un gaz
- Connaître l'équation d'état des gaz parfaits
- Connaître et exploiter la relation $P.V = n.R.T$

I. La mole

1. Activité : comment déterminer des quantités de matière

En chimie, la quantité de matière représente un nombre d'entités chimiques c'est un nombre d'atomes, de molécules ou des ions

Pour déterminer le nombre d'atomes de Fer présents dans un clou de fer, on mesure sa masse par une balance électronique. et obtient $m_s = 100$ mg

On considère que le clou ne contient que des atomes de fer ${}^{56}_{26}\text{Fe}$.

✓ **données** : Les protons et les neutrons ont des masses presque égales $m_p \approx m_n = 1,66 \cdot 10^{-27}$ Kg, la masse des électrons est négligeable devant celle des nucléons $m_e \ll m$.

❖ Exploitation :

1. Calculer la masse approchée d'un atome de fer ${}^{56}_{26}\text{Fe}$
2. Déduire N le nombre d'atomes de fer ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ présent dans le clou
3. Si on comptait ces atomes au rythme de 1 par seconde, combien de temps durerait le dénombrement ? Conclure
4. On considère un ensemble de paquets de papier (contenant chacun 500 feuilles).
 - 4.1. Calculer le nombre de feuilles dans cet échantillon (5 paquets)
 - 4.2. Que remarquez-vous ?
5. Que suggérez-vous pour calculer le nombre d'atomes N de fer ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ présents dans le clou précédent ?

❖ Interprétation :

1. Calculons la masse approchée de l'atome de fer ${}^{56}_{26}\text{Fe}$
On sait que $m({}^{56}_{26}\text{Fe}) = Z m_p + N m_n + Z m_e$, or $m_e \ll m$. donc la masse de l'atome est concentré Dans son noyau, alors $m({}^{56}_{26}\text{Fe}) = Z m_p + N m_n$, ce qui donne $m({}^{56}_{26}\text{Fe}) \approx (Z + N) m_p$, d'où $m({}^{56}_{26}\text{Fe}) = A m_p$. $A \cdot N$ $m({}^{56}_{26}\text{Fe}) = 56 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}$ Kg $\approx 9,30 \cdot 10^{-26}$ Kg
2. Le nombre d'atomes de fer ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ présent dans le clou est :
On a $m_s \rightarrow N$ et $m({}^{56}_{26}\text{Fe}) \rightarrow 1$, donc $N = \frac{m_s}{m({}^{56}_{26}\text{Fe})}$, AN $N = \frac{100 \cdot 10^{-3}}{9,30 \cdot 10^{-26}}$ d'où $N = 1,07 \cdot 10^{24}$
3. Déterminons le temps nécessaire pour compter le nombre d'atomes N de fer présents dans le clou :
On a $\Delta t = 1,07 \cdot 10^{24}$ s c'est-à-dire $\Delta t = \frac{1,07 \cdot 10^{24}}{365 \cdot 24 \cdot 3600} = 3,39 \cdot 10^{16}$ ans
➤ On constate que **le comptage de ces atomes est impossible**.
4.
 - 4.1 Calculons N' le nombre de feuilles dans cet échantillon (dans 5 paquets) :
Nous avons **5 paquets** donc $N' = 5 \cdot 500 = 2500$.
 - 4.2 on remarque **qu'il est facile de compter le nombre total de feuilles** si on divise ce nombre **en groupes égaux (en paquets)**
5. **Le nombre des atomes** de fer ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ présents dans le clou précédent étant **énorme**, donc on suggère de **comptabiliser ces entités par paquets** (de même qu'on compte les œufs par douzaine ou les feuilles de papier par ramettes de 500 feuilles). **ce paquet élémentaire ou bien Cette nouvelle unité s'appelle une mole.**

2. La mole, le nombre d'Avogadro

Le nombre d'espèces chimiques (atomes, molécules, ions) présentes dans une mole est appelé **nombre d'Avogadro, noté N_A** . Avec : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Ce nombre correspond **au nombre d'atomes de carbone présents dans 12 g de carbone 12**

$$\left\{ \begin{array}{l} m({}^{12}_6\text{C}) \approx A m_p \rightarrow 1 \text{ atome} \\ m_c = 12 \text{ g} \rightarrow N \text{ atome} \end{array} \right. \quad \text{Alors} \quad N = \frac{m_c \times 1}{A \cdot m_p}$$

$$\text{AN} \quad N = \frac{12 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}} \quad \text{Donc} \quad N = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = N_A$$

3. Quantité de matière d'un échantillon (relation entre n et N)

La quantité de matière d'une espèce chimique (x) se note **n(x)**.

$N(X)$ représente **le nombre d'entités chimiques (molécules, atomes ou ions)** présentes dans un échantillon de matière :

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ mole} \rightarrow N_A \\ n(x) \rightarrow N(x) \end{array} \right. \quad \text{Alors} \quad N = \frac{N(x)}{N_A}$$

II. La masse molaire

1. Masse molaire atomique

La **masse molaire atomique** $M(x)$ d'un élément chimique **X** est la **masse d'une mole** de cet élément chimique sous sa forme atomique. la masse molaire s'exprime en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ elle est donnée par le tableau périodique.

❖ Exemples : $M(\text{H}) = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{C}) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{O}) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

2. Masse molaire moléculaire

La **masse molaire moléculaire** : c'est la **masse qui correspond à une mole de molécules**.

Pratiquement, la **masse molaire moléculaire est égale à la somme des masses molaires atomiques des éléments chimiques constituant la molécule**. L'unité est toujours $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

❖ Exemples : Calculer la masse molaire
- de l'eau : $M(\text{H}_2\text{O}) =$
- du dioxyde de carbone $M(\text{CO}_2) =$
- du butane : $M(\text{C}_4\text{H}_{10}) =$

3. Relation entre la quantité de matière n d'un échantillon et sa masse m

Soit un échantillon de masse m contenant **une seule espèce chimique X** de **masse molaire** $M(X)$. Il contient

une quantité de matière (un nombre de moles) $n(x)$ tel que : $n(x) = \frac{m(x)}{M(x)}$

Avec $n(x)$ en mol , $m(x)$ en g , $M(x)$ en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$\begin{cases} 1 \text{ mole} \rightarrow M(x) \\ n(x) \rightarrow m(x) \end{cases}$$

$$\text{Alors } n(x) = \frac{m(x)}{M(x)}$$

❖ Exercice 1 : Le sucre ou saccharose

1. Calculer la masse molaire moléculaire $M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})$ du saccharose de formule $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$.
2. Déterminer la quantité de matière n_S de saccharose pour une masse de saccharose $m_S = 5,0 \text{ g}$
3. Déterminer le nombre de molécules de saccharose N_S pour une quantité de matière $n_S = 2,0 \text{ mol}$

• **Données** : Masses molaires atomiques $M(\text{H}) = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M(\text{C}) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M(\text{O}) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

III. La quantité de matière d'un gaz

1. Volume molaire des gaz

Le **volume molaire** V_m d'un gaz est le **volume occupé par une mole de ce gaz** dans les **conditions de pression et de température données**.

il s'exprime en $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ mais pratiquement en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$

2. Loi d'Avogadro-Ampère

A une température et une pression données, tous les gaz ont le même volume molaire.

| Conditions Ordinaires de la Température et de Pression (COTP) : $T = 20^\circ\text{C}$, $P = 1 \text{ atm}$ | Conditions Normales de la Température et de Pression (CNTP) : $T = 0^\circ\text{C}$, $P = 1 \text{ atm}$ |
|--|---|
| $V_m = 24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ | $V_m = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ |

$$1 \text{ atm} = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

3. Relation entre la quantité de matière et e volume d'un gaz

La **quantité de matière d'un gaz** (x) se note $n(x)$ de **volume** $V(x)$ est donnée par la relation: $n(x) = \frac{V(x)}{V_m}$

Avec V_m : le volume molaire dans les conditions de température et de pression considérées.

$$\begin{cases} 1 \text{ mole} \rightarrow V_m \\ n(x) \rightarrow V(x) \end{cases}$$

$$\text{Alors } n(x) = \frac{V(x)}{V_m}$$

4. Densité d'un gaz par rapport à l'air

4.1 Définition

On appelle **densité d'un gaz $d(g)$ par rapport à l'air** à une température T et sous pression P , le rapport entre la masse volumique du gaz considéré $\rho(g)$ et la masse volumique de l'air ρ_{air} ; $d(g) = \frac{\rho(g)}{\rho_{air}}$

La densité est un nombre toujours positif et sans unité

4.2 Expression de la densité d'un gaz dans les conditions normales de température et de pression

Dans les conditions normales de température et de pression, la densité de l'air est $\rho_{air} = 1,293 \text{ g.L}^{-1}$

Dans ces conditions, la densité d'un gaz quelconque vaut : $d = \frac{\rho(g)}{\rho_{air}} = \frac{m(g)}{\rho_{air} \cdot V(g)}$

m étant la masse du gaz et V le volume correspondant

Si on considère **une mole de gaz**, sa masse n'est alors autre que la **masse molaire du gaz**, et le volume correspondant n'est autre que le **volume molaire** $V_m = 22,4 \text{ L.mol}^{-1}$

On a donc $d = \frac{M(g)}{\rho_{air} \cdot V_m}$ AN $d = \frac{M(g)}{1,293 \cdot 22,4}$ D'où $d = \frac{M(g)}{29}$

➤ Règle : dans les conditions normales de température et de pression, la densité d'un gaz vaut : $d = \frac{M(g)}{29}$

❖ Remarque :

Si $d > 1$, le gaz est plus dense que l'air

Si $d < 1$, le gaz est moins dense que l'air

IV. L'équation d'état des gaz parfaits

1. Les variables d'état du gaz

L'état du gaz est caractérisé par quatre grandeurs physiques macroscopiques.

Pression P , Température T , le volume V et quantité de matière n , ces variables sont appelées **variables d'état** et qui ne sont pas indépendantes

Les expériences ont montré que :

- Exp N°1 : Plus le volume V est faible, plus la pression est grande ($V \downarrow \rightarrow P \downarrow$) lorsque $T = \text{Cte}$ et $n = \text{Cte}$

$$\text{donc } P = \alpha \cdot \frac{1}{V}$$

- Exp N°2 : Plus la température T est élevée, plus la pression est élevée ($T \uparrow \rightarrow P \downarrow$) lorsque $V = \text{Cte}$ et $n = \text{Cte}$

$$\text{donc } P = \beta \cdot T$$

- Exp N°3 : Plus la température T est élevée, plus le volume est élevé ($T \uparrow \rightarrow V \downarrow$) lorsque $P = \text{Cte}$ et $n = \text{Cte}$

$$\text{donc } T = \gamma \cdot \frac{1}{V}$$

- Exp N°4 : Plus la quantité de matière n est élevée, plus la pression est élevée ($n \uparrow \rightarrow P \downarrow$) lorsque $T = \text{Cte}$ et $V = \text{Cte}$ donc $P = \epsilon \cdot n$

2. La loi de Boyle – Mariotte

A température constante, pour une quantité de gaz donnée, le produit de la pression par le volume occupé par ce gaz ne varie pas (reste constant) : $PV = \text{Cte}$

3. Caractéristiques du gaz parfait

Le gaz parfait est un modèle simplifié des gaz. Ce modèle est construit sur les deux hypothèses suivantes:

- Les molécules n'interagissent pas entre elles, en dehors des chocs survenant lorsqu'elles se rencontrent.
- la taille des molécules est négligeable devant la distance intermoléculaire moyenne.

❖ Remarque :

A faibles pressions, où les interactions entre les molécules constitutives du gaz sont très faibles, un gaz peut être assimilé à un gaz parfait

4. Equation d'état des gaz parfaits

Les expériences (1, 2, 3, 4) ont montré que les variables d'état d'un gaz sont liés entre eux par la relation suivante : $PV = n.R.T$ avec

P : La pression en pascal (Pa)

V : le volume en m^3

T : température en $^\circ\text{K}$ tel que $T(^\circ\text{K}) = T(^\circ\text{C}) + 273,15$, $T = 0^\circ\text{K}$ est appelée Zéro absolu

R : Constante des gaz parfait en $\text{Pa.m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \text{J.mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

❖ Exercice 2 : Propanol C₃H₈O

Un flacon de volume $V = 0,75 \text{ L}$ de Propanol C₃H₈O. Le volume molaire gazeux vaut $25,0 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$

1. Calculer la masse molaire de ce gaz.
2. Calculer le nombre de molécules contenues dans ce flacon.
3. Calculer la masse du gaz contenu dans le flacon.
4. En déduire la masse volumique de ce gaz

❖ Exercice 3 : Dioxygène O₂

Une bouteille cylindrique de volume $V=1\text{dm}^3$ contient du dioxygène gazeux sous une pression de 150bar à la température de 25°C.

1. Déterminer le volume molaire dans ces conditions.
2. Calculer la masse de dioxygène contenue dans la bouteille.
3. De quel volume de dioxygène peut-on disposer dans les conditions usuelles ($P=1 \text{ atm}$, $\theta =20^\circ\text{C}$)

❖ Exercice 4 : Butane CH₄

Une bouteille de gaz butane CH₄ renferme une masse $m=15 \text{ kg}$ de gaz comprimé.

1. A quelle quantité de matière de gaz butane cette masse correspond-elle ?
2. Calculer le volume qu'occuperait cette masse de gaz dans des conditions où la pression est $p=1020.\text{hPa}$ et la température 25°C.
3. Si cette quantité de gaz est contenue dans un récipient de 20 L, à la même température que précédemment, quelle est la pression du gaz à l'intérieur de ce récipient

❖ Exercice 2 : Propanol C₃H₈O

Un flacon de volume $V = 0,75 \text{ L}$ de Propanol C₃H₈O. Le volume molaire gazeux vaut $25,0 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$

1. Calculer la masse molaire de ce gaz.
2. Calculer le nombre de molécules contenues dans ce flacon.
3. Calculer la masse du gaz contenu dans le flacon.
4. En déduire la masse volumique de ce gaz

❖ Exercice 3 : Dioxygène O₂

Une bouteille cylindrique de volume $V=1\text{dm}^3$ contient du dioxygène gazeux sous une pression de 150bar à la température de 25°C.

1. Déterminer le volume molaire dans ces conditions.
2. Calculer la masse de dioxygène contenue dans la bouteille.
3. De quel volume de dioxygène peut-on disposer dans les conditions usuelles ($P=1 \text{ atm}$, $\theta =20^\circ\text{C}$)

❖ Exercice 4 : Butane CH₄

Une bouteille de gaz butane CH₄ renferme une masse $m=15 \text{ kg}$ de gaz comprimé.

1. A quelle quantité de matière de gaz butane cette masse correspond-elle ?
2. Calculer le volume qu'occuperait cette masse de gaz dans des conditions où la pression est $p=1020.\text{hPa}$ et la température 25°C.
3. Si cette quantité de gaz est contenue dans un récipient de 20 L, à la même température que précédemment, quelle est la pression du gaz à l'intérieur de ce récipient

Unité 7 : La quantité de matière: la mole

I. La quantité de matière: la mole

Pour faciliter le comptage d'un grand nombre d'objet identique (feuilles de papiers, grains de riz,...) ceux-ci sont regroupés en paquets.

De la même manière, en chimie, les atomes, les molécules, les ions sont regroupés en paquet chacun de ces paquet de particules contient $6,02 \times 10^{23}$ particules. Ce paquet appelé mole.

Une mole d'atomes, de molécules ou d'ions est la quantité de matière d'un système contenant $6,02 \times 10^{23}$ atomes, molécules ou ions... .

1. Définition de la mole

La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 12,00 g de carbone 12.

Nous représentons la quantité de matière par la lettre n et il s'exprime en mol (mole sans e)

2. La constante d'Avogadro

- Les mesures récentes indiquent qu'il y a $6,022137 \times 10^{23}$ atomes de carbone dans 12,0g de carbone 12. Ce nombre s'appelle le nombre d'Avogadro
- On définit la constante d'Avogadro, notée N_A , comme le nombre d'entités élémentaires contenues dans 1 mole.
 $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
- Considérons un échantillon de matière contenant N entités élémentaires. Il y a proportionnalité entre le nombre N d'entités élémentaires et la quantité de matière n de cette entité. Par définition de la constante d'Avogadro, cette relation s'écrit :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

Exercice d'application 1:

- Déterminer la quantité de l'eau dans un échantillon de l'eau contient un nombre $N = 18,06 \times 10^{23}$ molécules d'eau.
- Déterminer le nombre d'atome de cuivre dans un échantillon de cuivre son quantité de matière est $n = 0,3 \text{ mol}$

Point historique

Amedeo Avogadro



Physicien et chimiste italien, Avogadro (1776-1856) est né et mort à Turin. En physique, il s'est principalement intéressé à l'électricité, suite à la découverte de la pile électrique par volta en 1800. Sa contribution fondamentale à la chimie concerne l'étude des gaz avec la loi d'Avogadro-Ampère. L'expression constante d'Avogadro rend hommage à ses travaux.

II. Détermination de la quantité de matière

1. Définition de la masse molaire

La masse molaire d'une espèce chimique est la masse d'une mole d'entité de cette espèce.

- On symbolise la masse molaire par \mathcal{M}
- Conventionnellement en chimie, on donne les masses en grammes ; la masse molaire s'exprime donc en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

2. Détermination des masses molaires

a) Masse molaire atomique

- La masse molaire atomique est la masse d'une mole d'atomes tous identiques de l'espèce considérée.
- Les masses molaires atomiques sont figurées dans le tableau de la classification périodique des éléments chimiques.

Exemples : masse molaire atomique de carbone $\mathcal{M}(\text{C})=12,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Masse molaire atomique d'oxygène $\mathcal{M}(\text{O})=16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

b) Masse molaire moléculaire

- La masse molaire moléculaire est la masse d'une mole de molécules de l'espèce considérée.
- La masse molaire moléculaire s'obtient en faisant la somme des masses molaires atomique des atomes qui constituent la molécule (en considérant les coefficients dans la formule de la molécule).
On écrit par exemple : molécule de saccharose

$$\mathcal{M}(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 12 \times \mathcal{M}(\text{C}) + 22 \times \mathcal{M}(\text{H}) + 11 \times \mathcal{M}(\text{O})$$

$$\mathcal{M}(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = \dots\dots\dots$$

.....

Exercice d'application 2 :

Calculer la masse molaire moléculaire des espèces suivantes :

L'eau H_2O - dioxyde de carbone CO_2 - sulfate de cuivre CuSO_4

3. Masse et quantité de matière

La quantité de matière n (en mol) d'un échantillon d'une espèce X s'obtient en divisant la masse m de l'échantillon de cette espèce par sa masse molaire $\mathcal{M}(X)$.

$$n = \frac{m}{\mathcal{M}(X)}$$

- Dans le cas particulier d'un corps pur X liquide de masse volumique $\rho(X)$, il est parfois plus pratique de mesurer son volume $V(X)$. Dans ce cas, la quantité de matière n est donnée par la relation

$$n = \frac{\rho(X) \times V(X)}{\mathcal{M}(X)}$$

Exercice d'application 3 : calculer :

- La quantité de matière contenue dans 28,0g de fer métal.
- La masse de 0,50 mol de dioxyde de soufre SO_4
- La quantité de matière contenue dans un volume $V = 10\text{mL}$ de linalol $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$ de masse volumique $\rho = 0,9\text{g.mL}^{-1}$

III. Détermination de la quantité de la matière en cas des gaz

1. Définition du volume molaire

Le volume molaire d'un gaz est le volume occupé par une mole de gaz dans des conditions données de température et de pression.

Nous représentons le volume molaire par V_m ; en chimie, le volume molaire s'exprime en litres par mole, soit L.mol^{-1}

- Loi d'Avogadro-Ampère : Le volume occupé par une mole de molécules de gaz, pris dans à une température et une pression bien déterminées, est le même, quel que soit le gaz.
 - ✓ Le volume molaire ne dépend pas de la nature du gaz considéré : dans les mêmes conditions, tous les gaz ont le même volume molaire.
 - ✓ Dans les conditions usuelles de température et de pression ($P \approx 1\text{bar}$; $\theta \approx 20^\circ\text{C}$), le volume molaire est $V_m = 24\text{L.mol}^{-1}$.

Cours de chimie de tronc commun scientifique et technologie

- ✓ Dans les conditions normales de température et de pression ($P \approx 1\text{bar}; \theta = 0^\circ\text{C}$), le volume molaire vaut $V_0 = 22,4\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$

2. Volume et quantité de matière

On obtient la quantité de matière n d'une espèce chimique gazeuse en divisant son volume V par le volume

molaire V_m : $n = \frac{V}{V_m}$

Les volumes V et V_m sont mesurés dans les mêmes conditions de température et de pression.

Exercice d'application 4:

- On considère un flacon de dichlore de 1,0L, il a été rempli dans des conditions telles que le volume molaire vaut $24\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$. Calculer la quantité de dichlore dans le flacon.
- Une réaction chimique fournit $n=15,2$ mol de gaz ammoniac NH_3 . Quel volume ce gaz occupe-t-il dans les CNTP.

3. Densité de gaz

La densité d'un gaz c'est grandeur sans unité définie par la relation générale suivante : $d = \frac{m(\text{gaz})}{m(\text{air})}$

- $m(\text{gaz})$: La masse d'un volume V d'un gaz.
- $m(\text{air})$: la masse de même volume de l'air.

Le gaz et l'air sont pris dans les mêmes conditions de température et de pression

La densité de gaz X est déterminée facilement par la relation : $d = \frac{\mathcal{M}(x)}{29}$

Exercice :

- 1- le carat est une unité de masse utilisée en joaillerie. Il vaut 0,20g.

Le diamant est constitué d'atomes de carbone.

Quelle quantité de carbone (en mol) y a-t-il dans un diamant de 6,0 carats ?

- 2- Un ballon de baudruche de volume $V=8,0\text{L}$ est rempli de dihydrogène H_2 dans les conditions où le volume molaire est égal à $24\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$. Quelle quantité de dihydrogène (en mol) est contenue dans le ballon. En déduire la masse de ce gaz.

LA CONCENTRATION MOLAIRE

I-Solution aqueuse :

Une solution est un mélange homogène obtenue par **dissolution** d'une espèce chimique dans un **solvant**. L'espèce chimie est appelé **soluté**.



Le soluté peut être : un solide, un liquide ou un gaz.

Le solvant peut être : l'eau ou un liquide organique (alcool ou cyclohexane...).

Lorsque le solvant est l'eau, **la solution** est dite **aqueuse**.

Exemple :

En dissolvant des cristaux de chlorure de sodium dans l'eau, on obtient une solution aqueuse de chlorure de sodium.

II-concentration molaire :

La concentration molaire d'une espèce chimique en solution est égale à la quantité de matière de cette espèce présente dans un litre de solution.

$$c = \frac{n(x)}{V} \Rightarrow \begin{cases} n(x) : \text{quantité de matière de l'espèce chimique } x \text{ en (mol)} \\ V : \text{volume de la solution en (L)} \\ C : \text{la concentration molaire de l'espèce chimique } x \text{ en (mol/L)} \end{cases}$$

Remarque :

On peut déterminer la concentration d'une espèce chimique x dissoute dans un volume V à partir de sa masse m(x) :

$$n(x) = \frac{m(x)}{M(x)} \quad \text{et} \quad c = \frac{n(x)}{V}$$
$$c = \frac{m(x)}{M(x) \cdot V}$$

Application :

On dissout une masse de 17,1 g de glucose dans de l'eau de façon à obtenir un volume de

$V = 500 \text{ mL}$ de solution d'eau sucrée. On donne $M(C_6H_{12}O_6) = 180 \text{ g/mol}$

Quelle est la concentration molaire du glucose ($C_6H_{12}O_6$) dans cette solution ?

Solution :

$$c = \frac{m}{M(C_6H_{12}O_6) \cdot V} \Rightarrow c = \frac{17,1}{180 \times 500 \cdot 10^{-3}} = 0,19 \text{ mol/L}$$

III- Dilution d'une solution :

1-Principe de la dilution :

Diluer une solution aqueuse consiste, en lui ajoutant de l'eau distillé, à obtenir une solution moins concentrée.

La solution que l'on dilue est appelée solution initiale ou **solution mère** ; la solution obtenue est appelée solution finale ou **solution fille**.

2-Conservation de la quantité de matière :

Lors d'une dilution, la concentration molaire du soluté diminue, mais sa quantité de matière ne change pas.

$$\begin{array}{ccc} \left. \begin{array}{l} C_i : \text{concentration molaire} \\ V_i : \text{le volume} \\ n_i = C_i \cdot V_i : \text{quantité de matière} \end{array} \right\} S_i & \xrightarrow{\text{dillution}} & \left. \begin{array}{l} C_f : \text{concentration molaire} \\ V_f : \text{le volume} \\ n_f = C_f \cdot V_f : \text{quantité de matière} \end{array} \right\} S_f \\ \text{Solution mère} & & \text{solution fille} \end{array}$$

Il y a conservation de la quantité de matière n_i de soluté de la solution mère et de la quantité de matière n_f de la solution fille. On écrit : $n_i = n_f$

$$C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f \quad \text{Cette relation s'appelle relation de dilution}$$

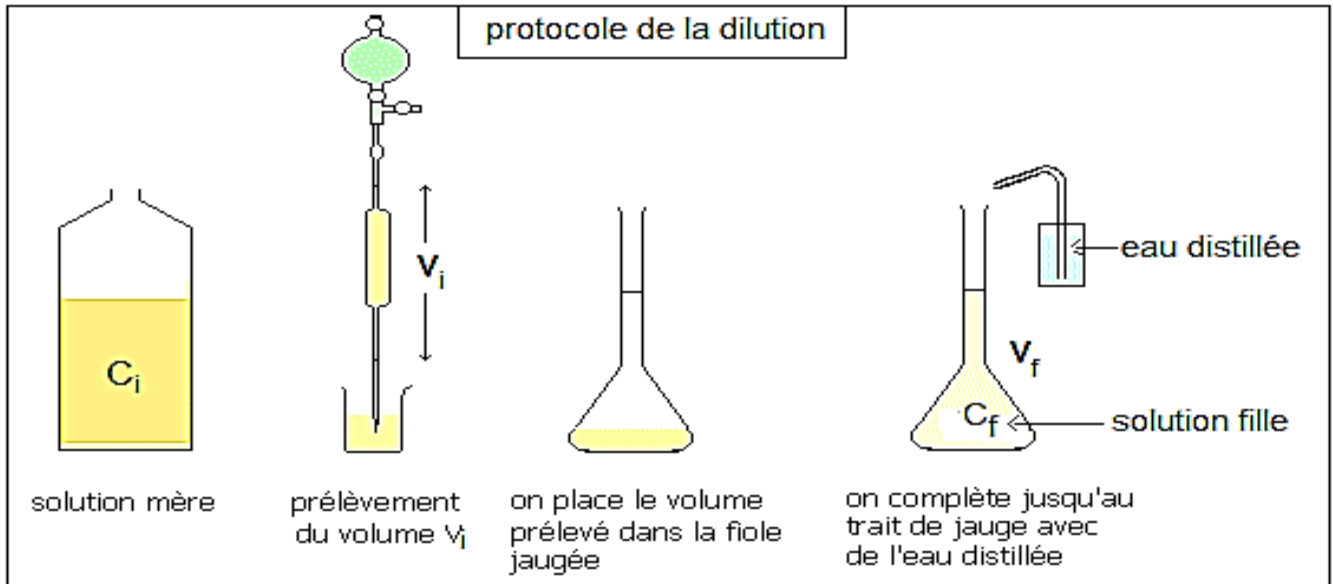
On définit le facteur de dilution par la relation : $F = \frac{C_1}{C_2} = \frac{V_2}{V_1}$

3- Mode opératoire :

On prélève un volume V_i de la solution mère de concentration C_i et on lui ajoute un volume V de l'eau de façon à obtenir un volume $V_f = V_i + V$.

La concentration de la solution fille obtenue est C_f tel que :

$$\begin{aligned} C_i \cdot V_i &= C_f \cdot V_f \\ V_i &= \frac{C_f \cdot V_f}{C_i} \end{aligned}$$



Exercice d'application :

On dispose d'une solution mère de sulfate de cuivre II de concentration $C = 4 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$.

1- Quel volume doit-on prélever pour obtenir un volume $V' = 100 \text{ mL}$ de solution fille de concentration $C' = 1 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$.

2- Quel volume de solvant doit-on ajouter ? En déduire le facteur de dilution.

3- Citer les verreries utilisées pour préparer cette dilution.

Solution :

1- La relation de la dilution s'écrit : $C \cdot V = C' \cdot V'$

Le volume prélevé est : $V = \frac{C' \cdot V'}{C}$

A.N :
$$V = \frac{1 \cdot 10^{-2} \times 100 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-2}} = 0,025 \text{ L} = 25 \text{ mL}$$

2- Le volume d'eau ajouté est le volume d'eau qui il faut ajouter au volume V pour obtenir 100 mL de la solution fille.

$$V' = V + V_e \Rightarrow V_e = V' - V \Rightarrow V_e = 100 - 25 = 75 \text{ mL}$$

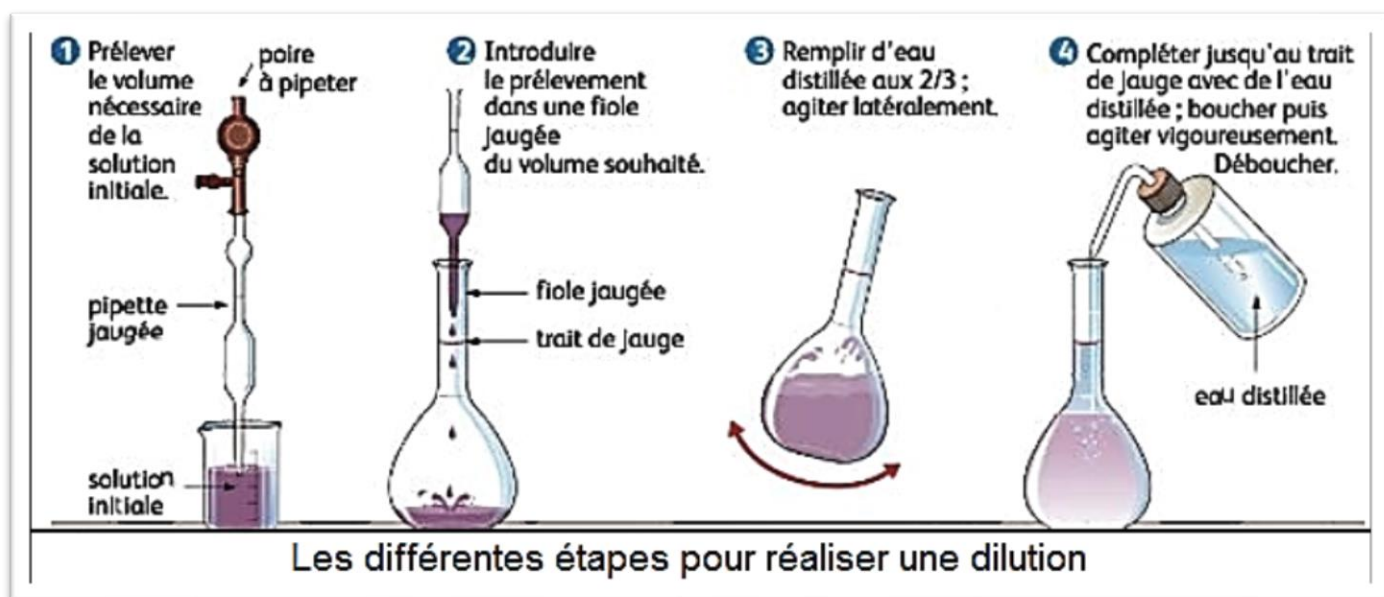
Le facteur de dilution est donné par la relation :

$$F = \frac{V'}{V} = \frac{100}{25} = 4$$

C'est-à-dire que la solution mère a été diluée 4 fois.

3- Le volume initial doit être mesuré par une pipette graduée ou jaugée de 25 mL.

Le volume final doit être mesuré par une fiole jaugée de 100 mL.



- 3- Une huile alimentaire a pour masse volumique $\rho = 0,90\text{g.mL}^{-1}$. Elle est constituée d'oléine, espèce chimique de masse molaire $M = 884\text{g.mol}^{-1}$. calculer la quantité d'oléine (en mol) contenue dans un prélèvement de volume $V = 11,0\text{mL}$ de cette huile alimentaire.

Unité 8 : la concentration molaire dans les solutions aqueuses

I. Les solutions

Dans un bécher contenant de l'eau distillée, introduisons une pointe de spatule de cristaux de sucre (saccharose) et agitons le tube. Les cristaux semblent disparaître dans la solution. Ils se sont **dissous**. Nous avons préparé une solution aqueuse de saccharose.

La quantité d'eau est très supérieure à celle du saccharose ; ainsi, l'eau constitue-t-elle le solvant et le saccharose, le soluté.

Le solvant est toujours en quantité très supérieure au soluté.

Ce mélange homogène (solvant + soluté) est appelé **solution** (**aqueuse** si le solvant est l'eau).

Définition :

- Une solution est un mélange homogène obtenue par **dissolution** d'une espèce chimique dans un **solvant**. Une fois dissoute, l'espèce chimique s'appelle **soluté**.
- Le **solvant** est toute substance liquide qui a le pouvoir de dissoudre d'autres substances.
- Le **soluté** est une espèce chimique dissoute dans un solvant.
- Avant dissolution, l'espèce chimique peut être un solide, un liquide ou un gaz. Elle peut être constituée d'ions ou de molécules.
- Après dissolution, une solution peut donc contenir des ions (l'eau salée par exemple) ou des molécules (l'eau sucrée par exemple) dispersés parmi les molécules d'eau.
- Lorsque le solvant est l'eau, la solution est dite **aqueuse** (l'eau salée est, par exemple, une solution aqueuse de chlorure de sodium).

II. Concentration d'une espèce dissoute

La **concentration molaire** (appelée aussi concentration) d'une espèce A dissoute dans un volume V de solution est notée : C

Elle est égale au quotient de la quantité de matière de A dissous par le volume V de solution :

$$C = \frac{n(A)}{V}$$

Avec, puisque n quantité de matière de soluté en **mol** et V volume de solution en **L**, C en **mol.L⁻¹**.

Si une solution contient une espèce chimique à la concentration C , un volume V de cette solution contient une quantité de matière n égale à :

$$n = C \times V$$

Avec n en mol, V en L et C en **mol.L⁻¹**

Remarque :

Dans la vie courante, on donne souvent la concentration massique d'une solution.

La concentration massique C_m d'une solution (en g.L⁻¹ ou g/L) est égale au rapport de la masse m (en g) de soluté dissout par le volume V (en L) de solution :

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

La relation entre concentration massique C_m (en g/L) et concentration molaire C (en mol/L) d'un soluté A de masse molaire $\mathcal{M}(A)$ (en g/mol) est :

$$C_m = \frac{m}{V} = \frac{n(A) \times \mathcal{M}(A)}{V} = C \times \mathcal{M}(A)$$

Exercice d'application :

- 1- On dissout 17,1 g de glucose dans de l'eau de façon à obtenir 50,0 mL de solution d'eau sucrée. Quelle est la concentration (molaire) du glucose ($C_6H_{12}O_6$) dans cette solution?
- 2- On désire fabriquer 100 mL de solution d'eau salée à 0,100 mol.L⁻¹.

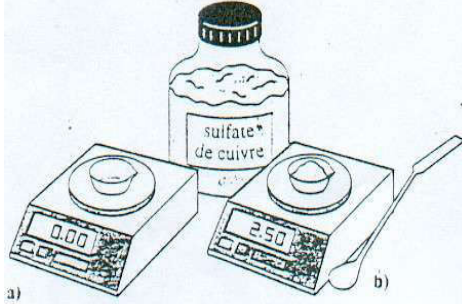
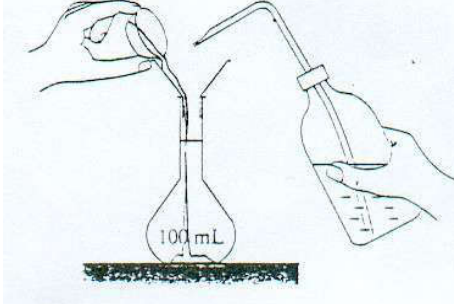
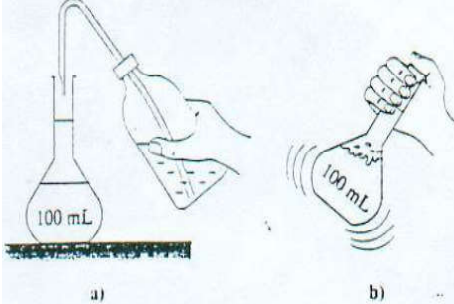
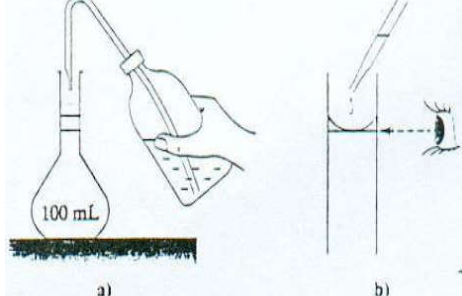
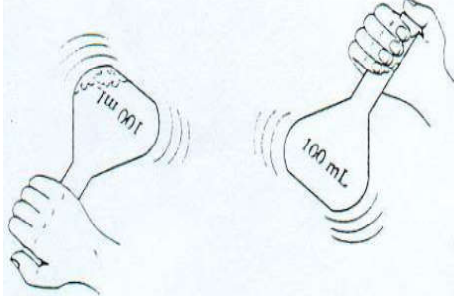
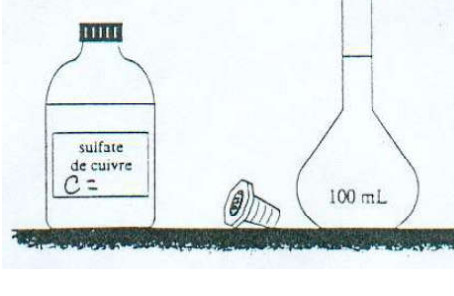
Quelle masse de cristaux de sel (chlorure de sodium NaCl) doit-on dissoudre ?

- 3- Donner les compositions microscopiques dans chaque solution.

III. Préparation d'une solution

1. Par dissolution d'une espèce chimique :

Cours de chimie de tronc commun scientifique et technologie

| | | |
|---|---|--|
|  <p>a) b)</p> |  <p>100 mL</p> |  <p>a) b)</p> |
| <p>1. Pesons précisément m en prélevant le solide avec une spatule propre et sèche (b) et en le plaçant dans une capsule ou un verre de montre préalablement pesé (a)</p> | <p>2. Introduisons le solide dans une fiole jaugée de 100 mL avec un entonnoir à solide. Rinçons la capsule ou le verre de montre avec de l'eau distillée.</p> | <p>3. Remplissons la fiole jaugée aux trois quarts avec de l'eau distillée (a) et, après l'avoir bouchée, agitions là pour dissoudre le solide (b).</p> |
|  <p>a) b)</p> |  <p>100 mL</p> |  <p>sulfate de cuivre C = 100 mL</p> |
| <p>4. Une fois la dissolution terminée, ajoutons de l'eau distillée à la pissette au début (a), puis à la pipette simple pour terminer au niveau du trait de jauge (b).</p> | <p>5. Rebouchons la fiole jaugée et retournons-la plusieurs fois pour bien homogénéiser la solution.</p> | <p>6. La solution peut-être stockée dans un flacon : elle sera utilisée ultérieurement</p> |

2. Par dilution d'une solution existante :

a. Principe d'une dilution

Diluer une solution aqueuse consiste, en lui ajoutant de l'eau distillée, à obtenir une solution moins concentrée.

La solution que l'on dilue est appelée la solution **initiale** ou solution **mère** ; la solution obtenue est appelée solution **finale** ou solution **filie**.

b. Conservation de la quantité de matière

Lors d'une dilution, le volume augmente, mais la quantité de matière de soluté n est toujours la même (on n'a pas ajouté de soluté, juste du solvant).

Dans une opération de dilution, la quantité de matière ne change pas. Si l'on appelle C_i et V_i la concentration molaire et le volume de la solution mère et C_f et V_f la concentration molaire et le volume de la solution fille, on peut écrire la relation :

$$n_i = n_f$$

Donc : $C_i \times V_i = C_f \times V_f$ S'appelle relation de dilution.

c. Obtention d'une solution de concentration donnée

Pour obtenir une solution de concentration donnée par dilution, il faut que la concentration molaire C_i de la solution mère soit supérieure à la concentration désirée C_f .

On prélève un volume V_i de la solution mère et on ajoute un volume V de solvant (eau) de façon à obtenir un volume V_f de solution tel que $V_f = V_i + V$

V_i et V_f doivent être tels que $C_i \times V_i = C_f \times V_f$

$$\text{Donc : } V_i = \frac{C_f \times V_f}{C_i}$$

Exercice Application :

On dispose d'une solution mère de permanganate de potassium de concentration $C = 4.10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$.

- 1- Quel volume doit-on prélever pour obtenir 100 mL de solution fille de concentration $C' = 1.10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$?
- 2- Quel volume de solvant faut-il ajouter ?
- 3- Citer les verreries à utiliser pour préparer la solution désirée.

Solution :

1- A partir de relation de dilution $C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$; le volume qui doit être prélevé est $V_i = \frac{C_f \cdot V_f}{C_i}$

D'après les données d'énoncé d'exercice :

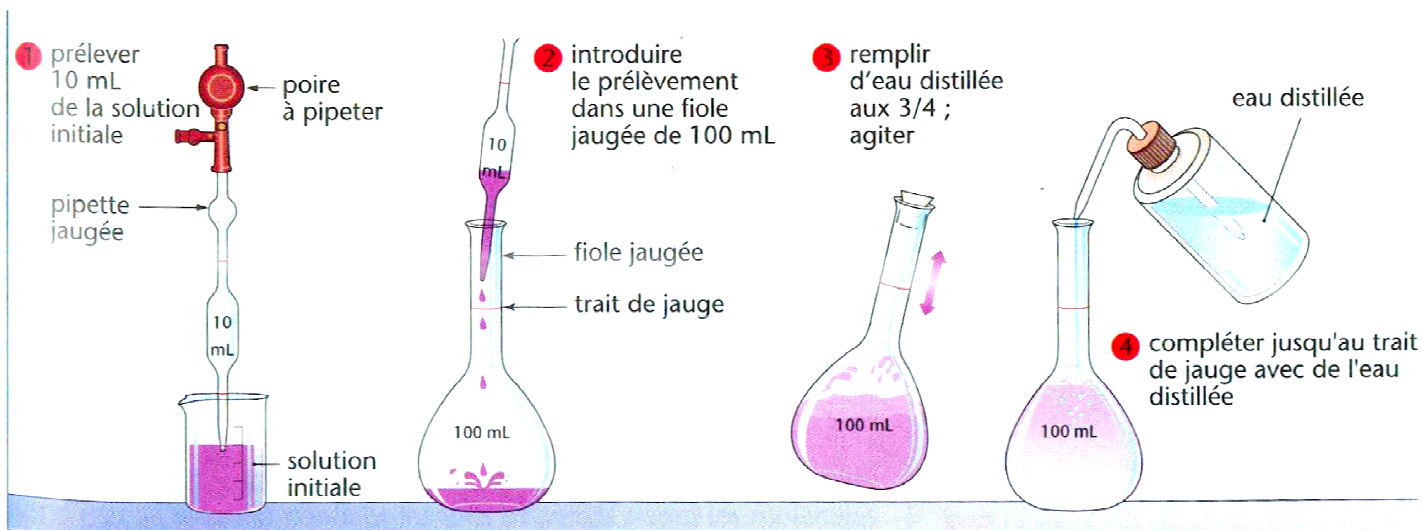
$$C_f = C' = 1.10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}; V_f = V' = 100 \text{ mL} = 0,1 \text{ L} \text{ et } C_i = C = 4.10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$V_i = V = \frac{1.10^{-3} \cdot 0,1}{4.10^{-3}} = 0,025 \text{ L} = 25 \text{ mL}$$

2- Le volume d'eau ajouté est le volume qui faut ajouter au volume prélevé pour obtenir 100 mL de solution fille. $V_{\text{eau ajouté}} = 100 \text{ mL} - 25 \text{ mL} = 75 \text{ mL}$

3- Réalisation :

Le volume initial et le volume final devant être mesurés avec précision, la verrerie jaugée s'impose : pipette graduée ou jaugée, burette et fiole jaugée de classe 100 mL, 250 mL ou 1 L.



4 Les différentes étapes pour réaliser une dilution.

Exercice 1 :

Dans une solution, la concentration du diiode I_2 est égale à $0,050 \text{ mol.L}^{-1}$.

- Exprimer cette donnée sous forme d'une égalité et expliquer sa signification.
- Calculer la quantité de diiode (en moles) dans un prélèvement de 150 mL de cette solution.

Exercice 2

La vitamine C (ou encore acide ascorbique $C_6H_8O_6$) est recommandée pour combattre les états de fatigue et pour stimuler les défenses de l'organisme. Un comprimé contient une masse de vitamine C, $m=1000 \text{ mg}$. Ce comprimé est dissout dans un verre d'eau. La solution obtenue a un volume de 150mL.

- Quel est le soluté ? Le solvant ?
- Calculer :
 - la quantité de matière de vitamine C dans un comprimé
 - la concentration massique en vitamine C dans la solution obtenue.
 - la concentration molaire en vitamine C dans la solution obtenue

Exercice 3

Le lycée Benlahessen Ouazzani achète pour ses travaux pratiques un colorant bleu, le bleu patenté E131.

La concentration $C_0 = 5,0 \text{ mol.L}^{-1}$ de la solution achetée est bien trop forte pour les expériences à réaliser. On réalise alors au laboratoire une dilution pour obtenir un volume $V = 100 \text{ mL}$ d'une solution de bleu patenté de concentration $C = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$.

- 1) Quel volume de solution mère faut-il prélever pour préparer la solution nécessaire aux TP ?
- 2) Détailler le protocole expérimental à suivre en précisant le matériel utilisé.
- 3) Définir le facteur de dilution et le calculer.
- 4) On prélève $v' = 50 \text{ mL}$ de la solution préparée. Calculer la quantité de matière de colorant prélevé.

Chapitre 8 : Concentration molaire des espèces chimiques dans une solution

الوحدة 8 : التركيز المولي لأنواع الكيميائية في محلول



❖ Situation-problème :

Souvent dans la vie quotidienne, et suivant nos besoins on dissout dans l'eau des espèces chimiques (solides ou liquides) avec des quantités notables et parfois précises .

- Quelle est la grandeur qui caractérise la solution préparée, et comment on détermine cette grandeur ?
- Comment procéder expérimentalement pour préparer une solution contenant une quantité de matière donnée d'une espèce chimique

❖ Objectifs :

- Savoir qu'une solution contient des molécules ou des ions
- La réalisation de la dissolution d'une espèce chimique moléculaire
- La réalisation de la dilution d'une solution aqueuse
- L'utilisation d'une balance et de la verrerie nécessaire pour préparer une solution de concentration molaire donnée (éprouvette graduée, pipette, ballon...)
- Connaitre l'expression de la concentration molaire d'une espèce chimique moléculaire dissout et l'exploiter dans des situations différentes.

I. Solution aqueuse

- Lorsqu'on **dissout** une espèce chimique (solide , liquide ou gazeuse) , dans un liquide on obtient **une solution**
- L'espèce chimique dissoute est appelée **soluté**
- Le **liquide** dans lequel on dissout l'espèce chimique est appelé **solvant**. si le solvant utilisé est l'eau , on obtient **une solution aqueuse** .
- Si le **soluté n'est pas totalement dissous**, la solution obtenue est **saturée** ; il y a dans ce cas un **dépôt de solide** au fond du récipient et la solution **n'est pas homogène**.

II. Notion d'une concentration

1. Concentration massique

On appelle **concentration massique** $C_m(X)$ d'une espèce chimique X dans une solution , le **rapport** entre $m(X)$ la masse de soluté dissous et V le volume total de la solution : $C_m(X) = \frac{m(X)}{V}$.

La concentration massique s'exprime souvent en $g.L^{-1}$

2. Concentration molaire

La **concentration molaire d'une solution** (ou la concentration molaire d'un soluté X) est la **quantité de matière du soluté X présente dans un litre de solution** (solvant) : $C = \frac{n(X)}{V}$

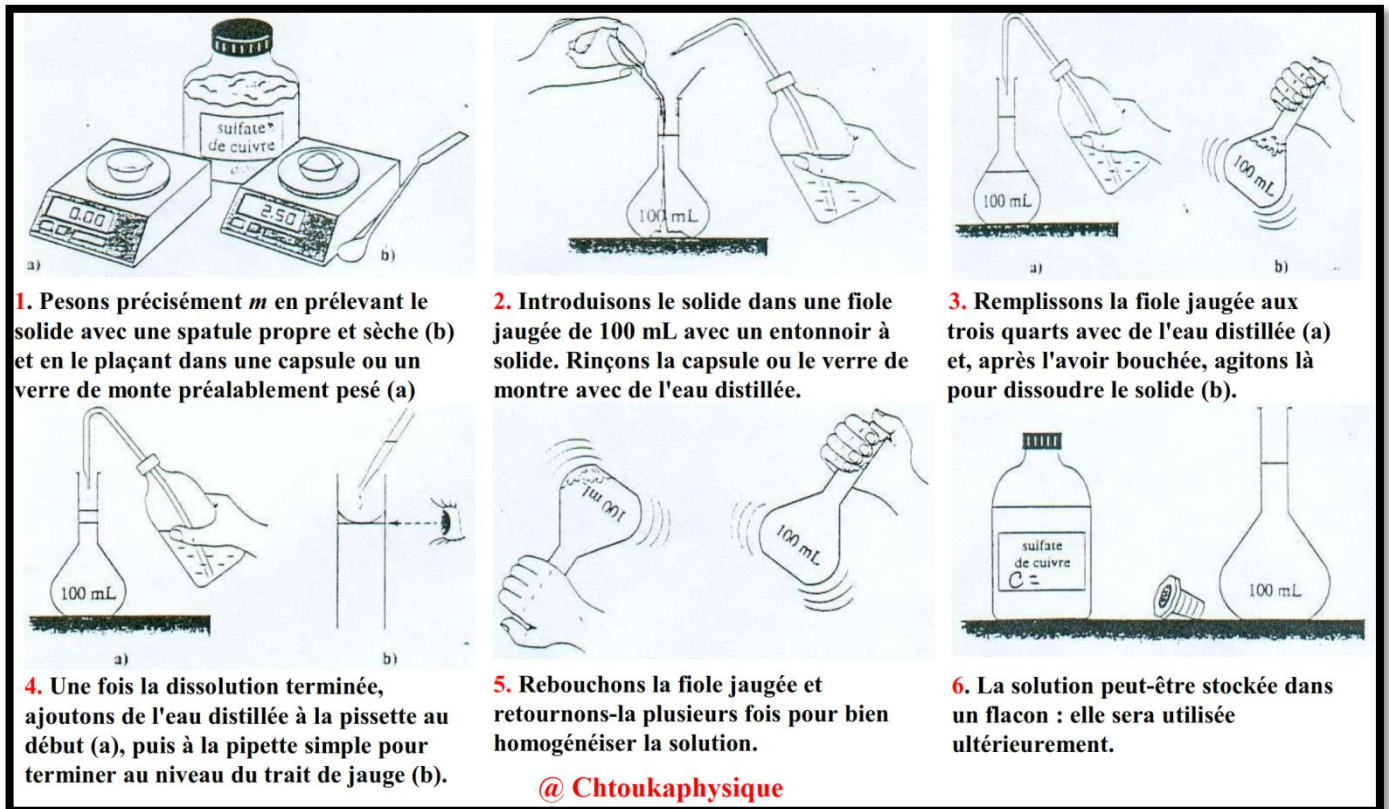
La concentration molaire est exprimée en $mol.L^{-1}$

3. Relation entre la concentration molaire et la concentration massique

On sait que : $C(X) = \frac{n(X)}{V} = \frac{m(X)}{V.M(X)} = \frac{C_m(X)}{M(X)}$, Alors $C(X) = \frac{C_m(X)}{M(X)}$

III. Préparation d'une solution

1. Par dissolution d'une espèce chimique



The diagram illustrates the six steps of preparing a solution by dissolution of a solid chemical species:

- 1. Pesons précisément m en prélevant le solide avec une spatule propre et sèche (b) et en le plaçant dans une capsule ou un verre de monte préalablement pesé (a)**
- 2. Introduisons le solide dans une fiole jaugée de 100 mL avec un entonnoir à solide. Rinçons la capsule ou le verre de monte avec de l'eau distillée.**
- 3. Remplissons la fiole jaugée aux trois quarts avec de l'eau distillée (a) et, après l'avoir bouchée, agitons là pour dissoudre le solide (b).**
- 4. Une fois la dissolution terminée, ajoutons de l'eau distillée à la pissette au début (a), puis à la pipette simple pour terminer au niveau du trait de jauge (b).**
- 5. Rebouchons la fiole jaugée et retournons-la plusieurs fois pour bien homogénéiser la solution.**
- 6. La solution peut-être stockée dans un flacon : elle sera utilisée ultérieurement.**

@ Chtoukaphysique

2. Par dilution d'une solution existante :

2.1 Principe d'une dilution

- **Diluer une solution, c'est ajouter du solvant (l'eau distillée), pour préparer une nouvelle solution moins concentrée que la solution initiale.**
- La solution de départ est appelée **solution initiale ou solution mère**
- La solution diluée est appelée **solution finale ou solution fille**
- La concentration molaire C_f de la solution finale (solution fille) est toujours inférieure à la concentration molaire C_i de la solution initiale (solution mère) : $C_f < C_i$

2.2 Conservation de la quantité matière

Lors d'une dilution, le volume V augmente donc la concentration molaire du soluté diminue : $C = \frac{n(X)}{V}$, mais sa quantité de matière n ne change pas (reste constante) : (on n'a pas ajouté de soluté, juste du solvant).

❖ Relation de dilution

| Solution initiale (mère) : S_i | Dilution | Solution finale (fille) : S_f |
|---|--------------------------------------|---|
| C_i , V_i | On ajoute V_e du solvant (l'eau) | C_f , $V_f = V_i + V_e$ |
| Quantité de matière : $n_i = C_i \cdot V_i$ | \Longrightarrow | Quantité de matière : $n_f = C_f \cdot V_f$ |

➤ Conservation de la quantité matière :

Au cours de la dilution, la quantité de matière du soluté X se conserve, donc $n_i(X) = n_f(X)$

Alors $C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$ (relation de dilution) avec $V_f = V_i + V_e$

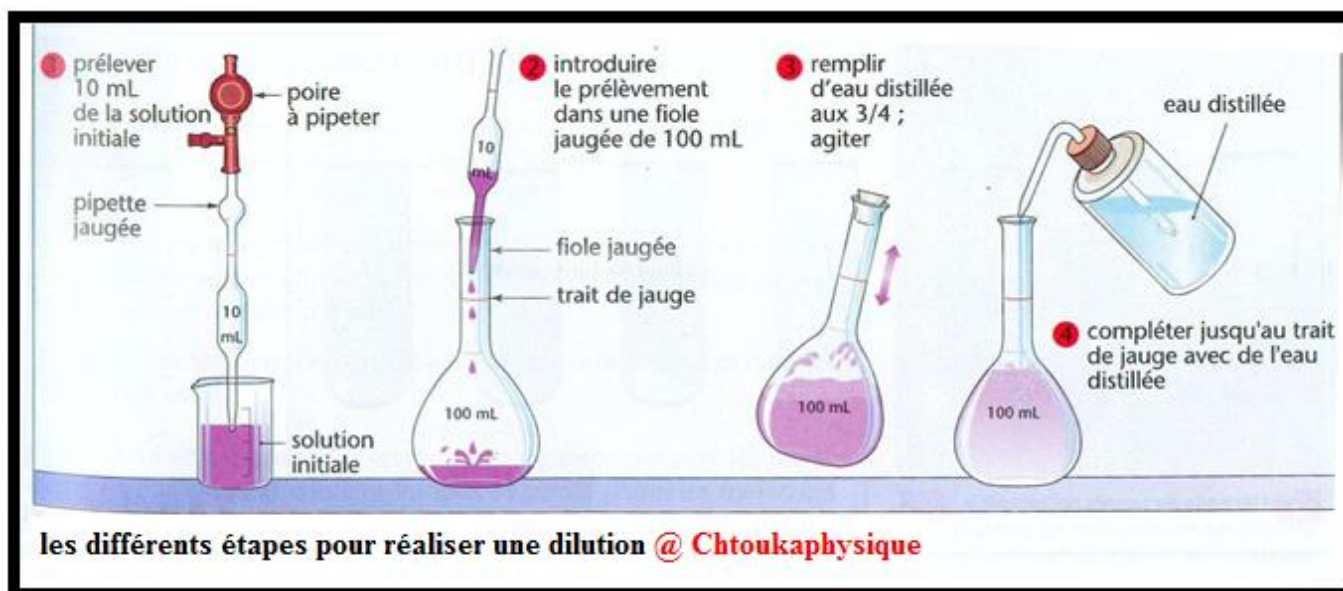
❖ Facteur de la dilution f :

D'après la relation de dilution $C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$, on obtient le rapport suivant $\frac{C_i}{C_f} = \frac{V_f}{V_i}$. ce rapport est toujours positifs ; puisque $V_f > V_i$ et $C_i > C_f$

✓ Ce rapport est appelé **facteur (ou coefficient) de dilution** on le note f : $f = \frac{C_i}{C_f} = \frac{V_f}{V_i}$.

✓ **Facteur de dilution c'est un nombre qui caractérise la dilution réalisée.**

2.3 Protocole d'une préparation de solution par dilution



❖ Exercice : concentration massique, molaire et dilution

On dissout 1,17 g de chlorure de sodium (NaCl) dans 100 mL d'eau distillée, on obtient une solution S_1 .

1. Dire quelles substances représentent le soluté et le solvant.
2. Calculer la concentration massique en chlorure de sodium de la solution (S_1).
3. Déduire la concentration molaire de la même solution.

On ajoute à la solution (S_1) un volume V d'eau distillée, on obtient une solution (S_2) de concentration molaire $C_2 = 0,02 \text{ mol.L}^{-1}$.

4. Calculer le volume d'eau ajoutée V_e .
5. Déterminer f le facteur de dilution

Modélisation de la transformation chimique. Cours

I- Système chimique-Transformation chimique.

1- Activité 1 et 2:

2- Description d'un système chimique :

Un système chimique est un mélange d'espèces chimiques.

Pour décrire l'état d'un système chimique à l'échelle macroscopique, il faut indiquer :

- La nature et la quantité des espèces chimiques qui le composent.
- Les paramètres physiques : la pression P , la température θ .
- L'état physico-chimique des espèces chimiques (solide, liquide, gazeux, ions en solution).

3- Activité 3 :

4- Transformation chimique :

Lorsque l'évolution d'un système chimique s'accompagne de l'apparition de nouvelles espèces chimiques, le passage de son état initial à son état final est une transformation chimique.

Au cours d'une transformation chimique :

- les espèces chimiques qui disparaissent sont appelées les réactifs
- les espèces chimiques qui apparaissent sont appelées les produits.

Remarques :

On appelle **État Initial (E.I)** du système chimique, l'état de ce système avant la transformation chimique.

On appelle **État Final (E.F)** du système chimique, l'état de ce système lorsque la transformation chimique est terminée.

La transformation chimique permet le passage de l'état initial à l'état final.

II- Réaction chimique et équation chimique.

1)- Activité 4 :

2)- La réaction chimique :

La transformation chimique qui fait intervenir les réactifs et les produits s'appelle la réaction chimique. Elle modélise la transformation chimique subie par un système chimique.

On écrit : la solution de sulfate de cuivre **II** réagit avec la solution de soude pour donner de l'hydroxyde de cuivre **II**.

On peut écrire plus simplement : les ions cuivre **II** réagissent avec les ions hydroxyde pour donner de l'hydroxyde de cuivre **II**.

Les ions sodium et les ions sulfate ne participent pas à la réaction mais ils font partie du système chimique : Ce sont des ions spectateurs ou des espèces chimiques spectatrices.

3)- Lois de conservation.

Au cours d'une réaction chimique, il y a conservation des éléments chimiques.

- Les éléments présents dans les réactifs se retrouvent dans les produits.
- Conservation de la charge : au cours d'une réaction chimique, la charge se conserve.

4)- Écriture d'une équation chimique - nombres stœchiométriques :

a)- L'équation chimique :

L'équation chimique est l'écriture symbolique, à l'échelle macroscopique, de la réaction chimique.

Par convention :

- On écrit les formules des réactifs dans le membre gauche de l'équation chimique
- On écrit les formules des produits dans le membre droit de l'équation chimique.
- On sépare les deux membre de l'équation par une flèche qui indique le sens d'évolution du système.

| Réactifs | Transformation chimique | Produits |
|-------------------|-------------------------|-------------------|
| (...) + (...) | → | (...) + (...) |

b)- Ajustement des nombres stœchiométriques.

Les nombres stœchiométriques assurent la conservation des éléments et, dans le cas échéant, la conservation des charges.

Ajuster les nombres stœchiométriques d'une équation, c'est choisir ces nombres de manière à traduire ces conservations.

Par convention :

- le nombre stœchiométrique se place devant la formule de l'espèce chimique.
- Le nombre stœchiométrique 1 ne s'écrit pas.

c)- Applications : ajustement des nombres stœchiométriques :

- Le butane brûle dans le dioxygène pour donner du dioxyde de carbone et de l'eau

| | Réactifs | | Produits |
|------------------------------------|---|---|---|
| Équation chimique | 2 C₄H₁₀ (g) + 13 O₂ (g) | → | 8 CO₂ (g) + 10 H₂O (l) |
| Éléments chimiques présents | Carbone C, hydrogène H, et oxygène O. | | |
| Nombre de « carbone » | 2 x 4 = 8 | | 8 x 1 = 8 |
| Nombre d' « hydrogène » | 2 x 10 = 20 | | 10 x 2 = 20 |
| Nombre d' « oxygène » | 13 x 2 = 26 | | 8 x 2 + 10 x 1 = 26 |

- Le sulfate de cuivre II réagit avec la soude en donnant un précipité bleu d'hydroxyde de cuivre II.

| | Réactifs | | Produit |
|------------------------------------|---|---|--------------------------------|
| Équation chimique | Cu²⁺ (aq) + 2 HO⁻ (aq) | → | Cu (HO)₂ (s) |
| Éléments chimiques présents | Carbone Cu, hydrogène H, et oxygène O. | | |
| Nombre de « cuivre » | 1 x 1 = 1 | | 1 x 1 = 1 |
| Nombre d' « hydrogène » | 2 x 1 = 2 | | 1 x 2 = 2 |

| | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|--|------------------|
| Nombre d' « oxygène » | $2 \times 1 = 2$ | | $1 \times 2 = 2$ |
| Charge | $1 \times (2+) + 2 \times (1-) = 0$ | | 0 |

Le bilan de matière et le tableau d'avancement

I-Bilan de matière d'un système chimique :

➤ ACTIVITE 1

Réaliser le bilan de matière du système consiste à déterminer les quantités de matière de toutes les espèces présentes.

On peut donc avoir besoin d'un bilan de matière dans l'état initial, dans l'état final, mais aussi dans un état intermédiaire.

Le réactif limitant est le réactif qui a été introduit par défaut et qui disparaît totalement au cours de la réaction.

II - Avancement chimique :

➤ ACTIVITE 2

Pour suivre l'évolution du système entre l'état initial et l'état final, on définit une nouvelle grandeur : l'avancement chimique.

L'avancement chimique d'une réaction est une quantité de matière variable, notée x , qui permet de déterminer les quantités de matière de tous les réactifs et les produits à n'importe quel moment de la réaction.

Remarque : l'avancement x est une quantité de matière. Elle s'exprime en mol.

- Dans l'état initial, $x = 0$,
- À l'état final : $x = x_{max}$ (avancement maximal de la réaction).
- Au cours de la transformation, $0 \leq x \leq x_{max}$

Pour simplifier, on présente généralement tous ces éléments sous la forme d'un tableau d'avancement .

III- Tableau d'avancement d'une réaction.

| EQUATION DE LA REACTION | | A + B C + D | | | |
|-------------------------------|------------|------------------------------|---------------|-----------|-----------|
| État du système | Avancement | Quantités de matières en mol | | | |
| | | État initial | $x = 0$ | a | b |
| Au cours de la transformation | x | $a - x$ | $b - x$ | x | x |
| État final | x_{max} | $a - x_{max}$ | $b - x_{max}$ | x_{max} | x_{max} |

Au cours de la transformation :

- La quantité de matière formée d'un produit est le produit de l'avancement x par le nombre stœchiométrique de ce produit.
- La quantité de matière disparue d'un réactif vaut le produit de l'avancement x par le nombre stœchiométrique de ce réactif.

Remarques : toutes les quantités figurant dans ce tableau sont des quantités de matière ; si les données sont sous une autre forme (masse, volume, concentration, etc.), il faut d'abord calculer les quantités de matière correspondantes ;

IV. Détermination de l'avancement maximal et état final :

1-Réactif limitant :

La réaction chimique s'arrête dès qu'un des réactifs est épuisé : le système est alors dans son état final, et l'avancement a atteint sa valeur maximale x_{max} .

Le réactif qui s'épuise le premier est appelé « réactif limitant » ; pour calculer x_{max} , il faut donc tout d'abord déterminer quel est le réactif limitant.

Pour cela, on effectue pour chaque réactif l'hypothèse « ce réactif est limitant » et on calcule la valeur de x_{max} correspondante. On peut alors déterminer quel réactif est réellement limitant : c'est celui pour lequel la valeur de x_{max} est la plus petite (ce qui signifie bien que ce réactif arrête la réaction avant les autres).

2-Proportions stœchiométriques :

• Lorsque les quantités de matière initiales des réactifs sont proportionnelles aux coefficients stœchiométriques de l'équation bilan, on dit que les réactifs sont dans les proportions stœchiométriques, ou que la réaction a lieu dans les conditions stœchiométriques .

Si les réactifs sont dans les proportions stœchiométriques, alors ils s'épuiseront en même temps.

• Si on considère une réaction quelconque, d'équation : $a A + b B \rightarrow c C + d D$

où A et B sont les formules chimiques des réactifs, C et D celles des produits, et a , b , c et d leurs coefficients stœchiométriques, alors A et B sont dans les proportions stœchiométriques si leurs quantités de matière initiales $n(A)_i$ et $n(B)_i$ sont proportionnelles aux coefficients stœchiométriques de l'équation bilan, on dit que les réactifs vérifient la relation :

$$\frac{n(A)_i}{a} = \frac{n(B)_i}{b}$$

Dans ce cas, l'avancement maximal vaut : $x_{max} = \frac{n(A)_i}{a} = \frac{n(B)_i}{b}$

et les réactifs s'épuiseront en même temps.

Les quantités de matière finales sont :

$$n(A)_f = n(B)_f = 0 ;$$

$$n(C)_f = c \cdot x_{max} ;$$

$$n(D)_f = d \cdot x_{max} .$$

➤ ACTIVITE 3

À retenir

- Lorsque les quantités de matière des espèces chimiques d'un système évoluent, on dit que ce système subit une transformation chimique. On modélise cette transformation par une équation chimique.

L'équation chimique doit respecter la conservation des atomes et des charges.

- L'avancement chimique d'une réaction est une quantité de matière variable, notée x , qui permet de déterminer les quantités de matière de tous les réactifs et produits à n'importe quel moment de la réaction.

- La réaction chimique s'arrête dès qu'un des réactifs, appelé « réactif limitant », est épuisé : le système est alors dans son état final et l'avancement a atteint sa valeur maximale x_{\max} .

Lorsque les réactifs sont dans les proportions stœchiométriques, alors ils s'épuisent en même temps.