

Rotation d'un corps solide autour d'un axe fixe

I- Mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe

1-Exemple :

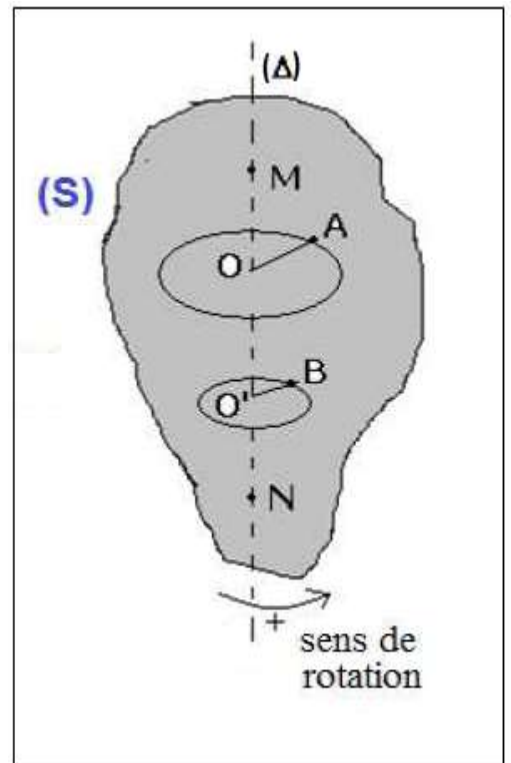
On considère un solide (S) en mouvement de rotation autour d'un axe fixe (Δ).

- Les deux points A et B décrivent des trajectoires circulaires centrées sur l'axe (Δ).
- Les deux points M et N situés sur l'axe (Δ) sont immobiles.

2- Définition :

Un solide possède un mouvement de rotation autour d'un axe fixe (Δ) si :

Tous les points du solide décrivent des trajectoires circulaires centrées sur l'axe de rotation, sauf les points qui appartiennent à cet axe.



II- Repérage d'un point du solide :

Soit M un point quelconque choisi sur la trajectoire circulaire. On oriente la trajectoire dans un sens arbitraire. La position du point M est repérée par :

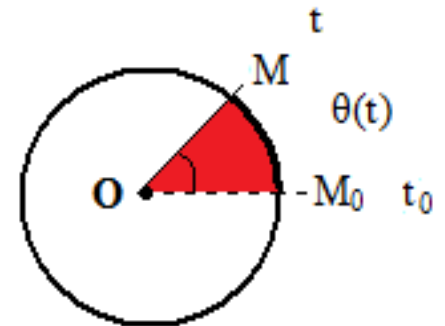
1- Abscisse angulaire :

On appelle abscisse angulaire du point M à un instant t la valeur algébrique de l'angle :

$$\theta = (\overrightarrow{OM_0}, \overrightarrow{OM})$$

L'unité de mesure de l'abscisse angulaire est le radian (rad).

abscisse angulaire (rad) $\rightarrow \theta = 2\pi \times n \leftarrow$ nombre de tours



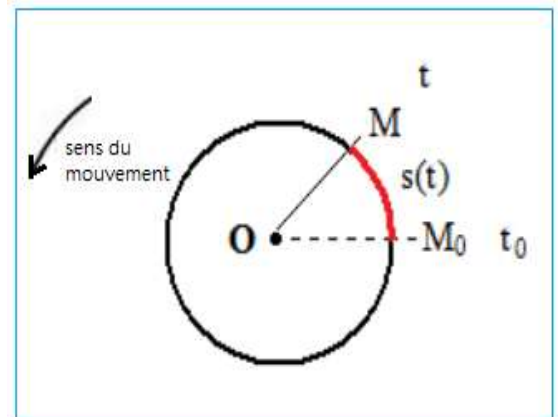
2- abscisse curviligne :

On appelle abscisse curviligne du point mobile M à un instant t la valeur algébrique de l'arc :

$$s = \widehat{M_0M}$$

L'unité de mesure de l'abscisse curviligne est le mètre (m).

S est une grandeur algébrique sa signe dépend de l'orientation de la trajectoire.



3- La relation entre l'abscisse curviligne et l'abscisse angulaire :

L'abscisse curviligne et l'abscisse angulaire sont proportionnelles :

abscisse curviligne (m) $\rightarrow s(t) = R \cdot \theta(t) \leftarrow$ abscisse angulaire (rad)

↑
rayon (m)

III- Vitesse d'un solide en rotation :

1- Vitesse angulaire

1.1- Vitesse angulaire moyenne

Lorsqu'un corps est en mouvement autour d'un axe fixe (Δ). Le point M occupe la position M_1 à l'instant t_1 et la position M_2 à l'instant t_2 , les deux positions étant repérées par des abscisses angulaires θ_1 et θ_2 .

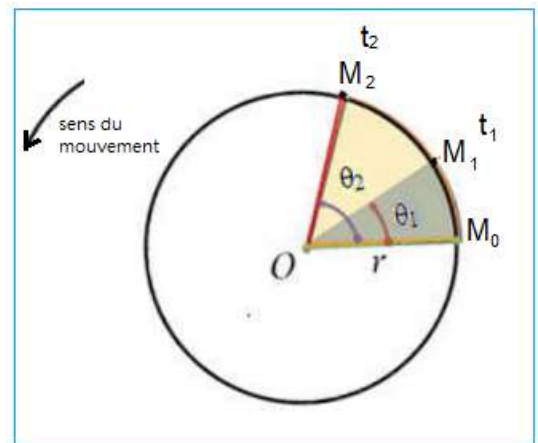
Définition :

La vitesse angulaire moyenne ω_m du point M entre t_1 et t_2 est donnée par la relation suivante :

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

$\Delta\theta$ est l'angle de rotation du solide pendant la durée Δt .

Unité de la vitesse angulaire dans (S I) est le radian par seconde, noté rad/s .

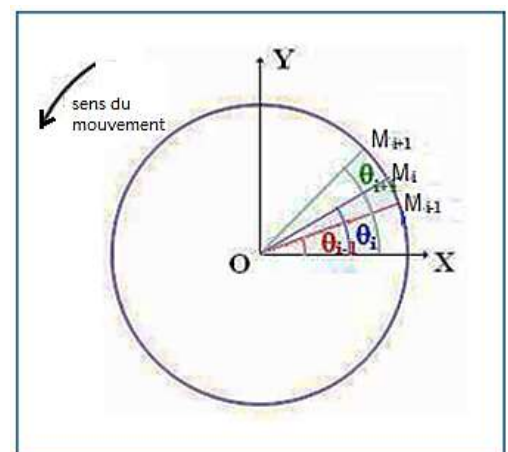


2- La vitesse angulaire instantanée :

En considérant t_{i-1} et t_{i+1} deux instants très proches et qui encadrent l'instant t_i .

La vitesse angulaire instantanée à l'instant t_i est la vitesse angulaire moyenne entre les instants t_{i+1} et t_{i-1} .

$$\omega_i = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$$



3- Relation entre vitesse linéaire et vitesse angulaire :

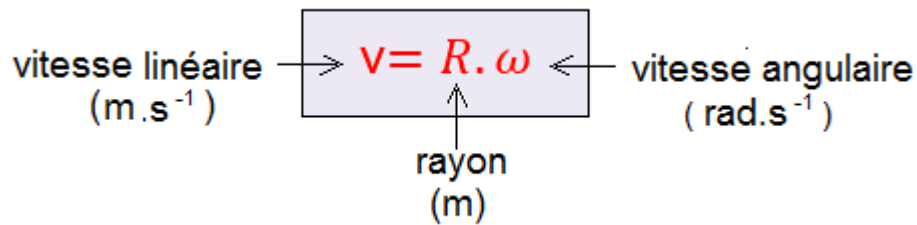
Vitesse linéaire d'un point du solide

Pendant la durée $\Delta t = t_2 - t_1$; le point M parcourt la distance $\widehat{M_1M_2}$ la vitesse linéaire s'écrit :

$$v = \frac{\widehat{M_1M_2}}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

On sait que : $\Delta s = R \cdot \Delta\theta$

Donc : $v = R \cdot \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$



Remarque :

Tous les points du solide ont à chaque instant la même vitesse de rotation, mais ils n'ont pas généralement la même vitesse instantanée.

IV- Mouvement de rotation uniforme

1- Définition :

Le mouvement de rotation d'un solide est dite uniforme si sa vitesse angulaire ω reste constante au cours du temps.

2- Les propriétés de rotation uniforme

2.1- La période :

La période T d'un mouvement de rotation uniforme est la durée d'un tour.

On : $\Delta\theta = \omega \cdot \Delta t$ pour un tour $2\pi = \omega \cdot T$

$$\begin{array}{ccc} \text{période} & \rightarrow & T = \frac{2\pi}{\omega} \\ \text{(s)} & & \leftarrow \text{vitesse angulaire} \\ & & \text{(rad.s}^{-1}\text{)} \end{array}$$

avec T en seconde (s) et ω en radian par seconde (rad/s).

2.2- la fréquence :

La fréquence f d'un mouvement de rotation uniforme est le nombre de tours par seconde.

$$\begin{array}{ccc} \text{fréquence} & \rightarrow & f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \\ \text{(Hz)} & & \leftarrow \text{vitesse angulaire} \\ & & \text{(rad.s}^{-1}\text{)} \end{array}$$

Remarque :

La vitesse angulaire ω peut être exprimée en $tr.s^{-1}$ ou $tr.min^{-1}$

avec :

$$\begin{cases} 1tr.min^{-1} = \frac{2\pi}{60}rad.s^{-1} \\ tr.s^{-1} = 2\pi.s^{-1} \end{cases}$$

V- Equation horaire d'un mouvement de rotation uniforme

θ et θ_0 sont des abscisse angulaires, d'un point M du solide, successivement aux instants t et t_0 .

On écrit :

$$\omega = \frac{\theta - \theta_0}{t - t_0}$$

$$\theta = \omega \cdot (t - t_0) + \theta_0$$

Si $t_0 = 0$ on a : $\theta = \omega \cdot t + \theta_0$

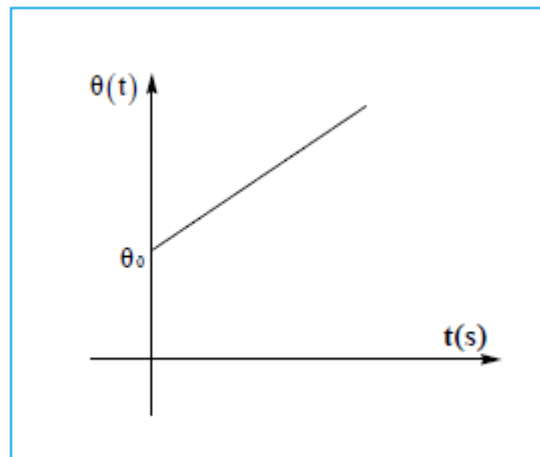
Activité : (voir fin du cour)

L'équation horaire d'un mouvement de rotation uniforme en abscisse angulaire :

abscisse angulaire à l'instant t (rad) \rightarrow $\theta(t) = \omega \cdot t + \theta_0$

abscisse angulaire à $t=0$ (rad)

vitesse angulaire (rad.s⁻¹)



L'équation horaire d'un mouvement de rotation uniforme en abscisse curviligne $s(t)$:

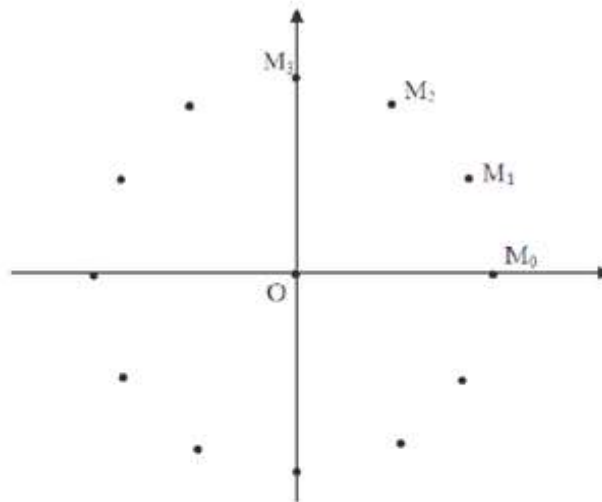
abscisse curviligne à l'instant t (m) \rightarrow $s(t) = v \cdot t + s_0$

abscisse curviligne à $t=0$ (m)

vitesse linéaire (m.s⁻¹)

Activité :

La figure suivante représente l'enregistrement de mouvement d'un point M située au centre d'un autoporteur en rotation autour d'un axe fixe. (L'autoporteur est lié par un fil à un axe métallique fixé sur une table horizontale). L'intervalle de temps entre deux enregistrements consécutifs est égal à 40 ms.



On considère l'axe Ox passant par M_0 comme direction référentielle. Les position du point M sont déterminées par l'abscisse angulaire $\theta_i = (\overrightarrow{Ox}, \overrightarrow{OM_i})$ ou bien par l'abscisse curviligne $S = (\widehat{M_0M_i})$. Le moment d'enregistrement de point M_2 correspond à l'origine des temps.

- 1) Montrer que le mouvement de M est circulaire uniforme.
- 2) Compléter le tableau suivant :

	M_0	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}	M_{11}
Θ (rad)	0											
S (m)	0											
t(s)			0									

- 3) En utilisant une échelle convenable, tracer les deux courbes $\theta=f(t)$ et $s=f(t)$.
- 4) En déduire les équations horaires du mouvement de point M.
- 5) Déterminer la vitesse angulaire de rotation de l'autoporteur et la vitesse de translation du point M graphiquement et par le calcul.
- 6) Vérifier la relation $v = r.\omega$, tel que v est la vitesse de translation, ω la vitesse angulaire et r le rayon de la trajectoire.

Exploitation:

1- Montrons que le mouvement est circulaire et uniforme :

La trajectoire du point M est circulaire, la distance entre deux points consécutifs reste constante donc **le mouvement est circulaire uniforme.**

2- Complétons le tableau :

On prend comme exemple l'abscisse curviligne en position M_2 :

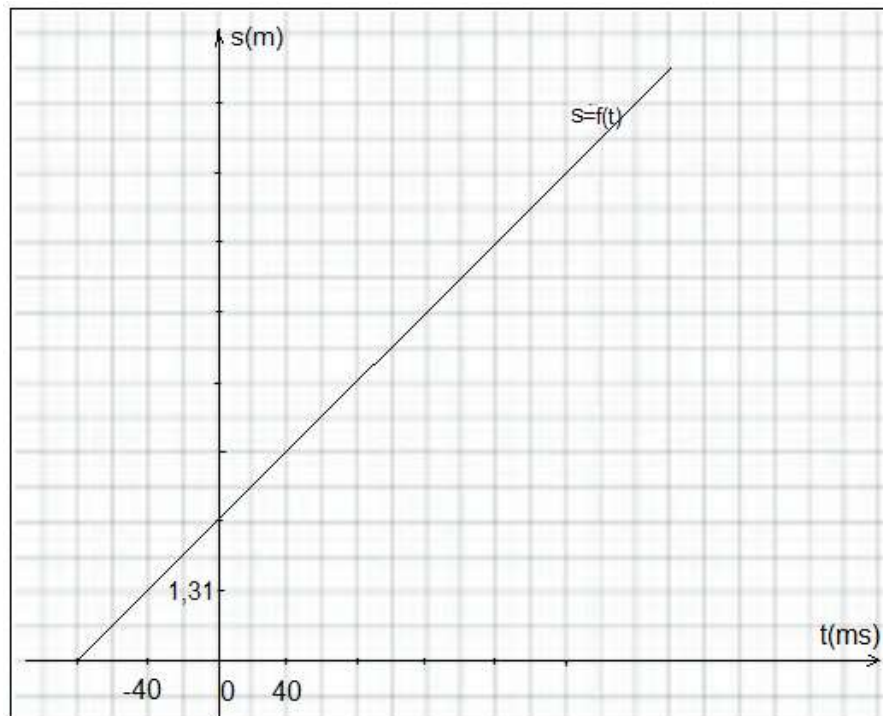
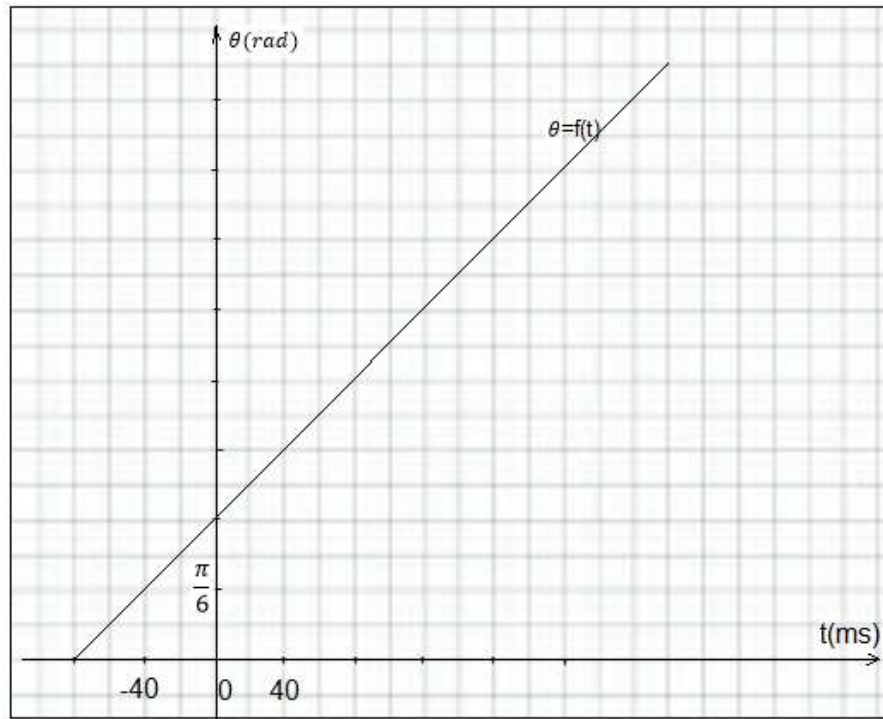
$$s_2 = \widehat{M_0 M_2} = r(\theta_2 - \theta_0)$$

r rayon de la trajectoire

$$s_3 = 2,5 \times \left(\frac{\pi}{3} - 0\right) = 1,62 \text{ cm}$$

Position	M_0	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}	M_{11}
$t(ms)$	-80	-40	0	40	80	120	160	200	240	280	320	360
$\theta(rad)$	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{5\pi}{6}$	π	$\frac{7\pi}{6}$	$\frac{4\pi}{3}$	$\frac{3\pi}{2}$	$\frac{5\pi}{3}$	$\frac{11\pi}{6}$
$s(cm)$	0	1,31	2,62	3,93	5,24	6,54	7,85	9,16	10,47	11,78	13,09	14,40

3- Les courbes $\theta = f(t)$ et $s = f(t)$



4- Les équations horaires du mouvement :

La courbe $\theta = f(t)$ est une fonction affine son équation s'écrit :

$$\theta = \omega t + \theta_0$$

A $t=0$ on a :

$$\begin{cases} \theta(t=0) = \theta_0 \\ \theta(t=0) = \frac{\pi}{3} \end{cases} \Rightarrow \theta_0 = \frac{\pi}{3}$$

ω représente le coefficient directeur :

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta_6 - \theta_3}{t_6 - t_3} = \frac{\pi - \frac{\pi}{2}}{(160 - 40) \times 10^{-3}} = 13,09 \text{ rad. s}^{-1}$$

L'équation horaire s'écrit : $\theta = 13,09 t + \frac{\pi}{3}$

De la même façon on obtient l'équation horaire : $s = v \cdot t + s_0$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_6 - s_3}{t_6 - t_3} = \frac{(7,85 - 3,93) \times 10^{-2}}{(160 - 40) \times 10^3} = 0,33 m \cdot s^{-1}$$

$$s_0 = R\theta_0 = 2,5 \times 10^{-2} \times \frac{\pi}{3} = 2,62 \cdot 10^{-2} m$$

$$s = 0,33 t + 2,62 \cdot 10^{-2}$$

5- graphiquement :

la vitesse angulaire est le coefficient directeur du graphe = $f(t)$, donc :

$$\omega = 13,10 \text{ rad} \cdot s^{-1}$$

la vitesse linéaire est le coefficient directeur du graphe = $f(t)$, donc :

$$v = 0,33 m \cdot s^{-1}$$

-Par calcul :

$$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{\theta_2 - \theta_0}{t_2 - t_0} = \frac{\frac{\pi}{3} - 0}{([0 - (-80)] \times 10^3)} = 13,09 \text{ rad} \cdot s^{-1}$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_0}{t_2 - t_0} = \frac{(2,62 - 0) \times 10^{-2}}{[0 - (-80)] \times 10^3} = 0,33 m \cdot s^{-1}$$

6- Vérification de la relation $v = R \cdot \omega$:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{R \cdot \Delta \theta}{\Delta t} = R \cdot \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \quad \text{donc : } v = R \cdot \omega$$

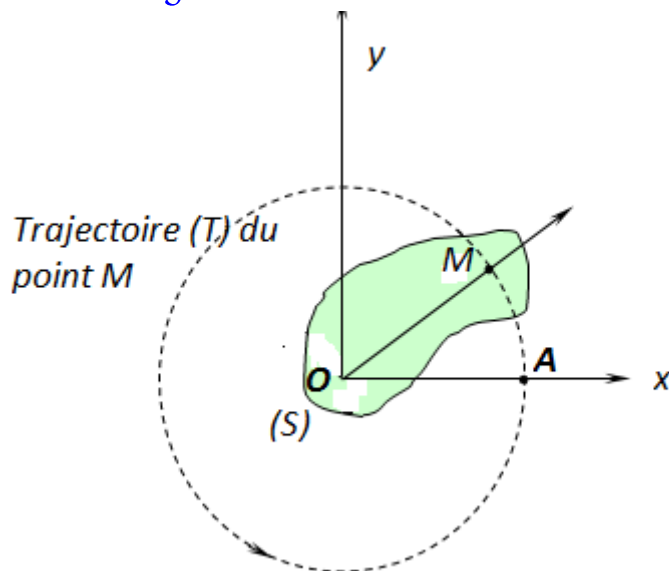
$$R \cdot \omega = 2,5 \times 10^{-2} \times 13,09 = 0,33 m \cdot s^{-1}$$

Donc la relation $v = R \cdot \omega$ est vérifiée.

COURS :**1 - Mouvement de rotation d'un corps solide indéformable autour d'un point fixe****Activité 1 et 2 :****1- Repérage d'un mouvement d'un point :****1.1. Définition :**

Dans un référentiel donné, un solide est en rotation autour d'un axe fixe si :

- Chaque point du solide décrit un cercle contenu dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation.
- Les points de l'axe de rotation sont fixes.

1.2. Abscisse angulaire :

Lors d'un mouvement de rotation, l'angle parcouru (balayé) par tous les points du solide pendant le même intervalle de temps est le même. On l'appelle angle de rotation de solide et on le note θ (téta) et son unité est le radian (rad).

$$\theta = (\widehat{OM, OA})$$

Tous les points du solide décrivent la même abscisse angulaire $\theta(t)$ dans le même temps t .

1.3. Abscisse curviligne :

Lorsque la trajectoire (T) que suit le point M est connue il est possible de repérer le point M sur la courbe représentant cette trajectoire.

On choisit sur la courbe orientée selon le sens du mouvement un point origine A et on prend la direction de l'axe OA comme direction référentiel.

On définit l'abscisse curviligne s comme la mesure algébrique sur la courbe de l'arc \widehat{AM} :

$$s = \widehat{AM} \text{ en mètre.}$$

Remarques :

- L'abscisse curviligne est une fonction du temps, on l'écrit $s(t)$.
- Algébrique veut dire que $s(t)$ possède un signe :
 - positif dans le sens du mouvement.
 - négatif dans l'autre.

1.4. Relation entre s et θ :

Soit $R = OM$ le rayon de la trajectoire orientée (T) du point $M \in (S)$, la position de M sur cette trajectoire est définie par son abscisse curviligne s en fonction du temps $s(t)$ et son abscisse angulaire $\theta(t)$ qui sont relié par la relation : $s(t) = R \times \theta(t)$

2- Vitesse angulaire :

Activité 3 :

2.1. Vitesse linéaire (rappel) :

La vitesse linéaire V est le rapport de la distance parcourue d par la durée Δt du parcours.

$$V = d / \Delta t$$

La vitesse linéaire est égale à la distance parcourue par le mobile en une seconde.

On écrit aussi : $V = \overline{AM} / \Delta t = s(t) / \Delta t$

2.2. Utilité de la vitesse angulaire

Les différents points d'un solide en rotation, n'ont pas la même vitesse. En revanche, ils parcourent tous le même angle en un temps donné. Il est donc intéressant de caractériser le mouvement du point $M \in (S)$, par la rapidité de la variation de cet angle, et on définit alors la vitesse angulaire notée ω (oméga).

La vitesse angulaire est égale à l'angle en radians décrit par le mobile en une seconde.

Comme pour la vitesse, on définit la vitesse angulaire moyenne ω_{moy} et la vitesse angulaire instantanée $\omega_i(t)$.

2.3. Vitesse angulaire moyenne :

La vitesse angulaire moyenne est définie par le rapport : $\omega_{\text{moy}} = \Delta\theta / \Delta t$ exprimée dans le (SI) en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ avec :

- l'angle de rotation $\Delta\theta$ en radian.
- la durée du mouvement en seconde.

2.4. Vitesse angulaire instantanée :

La vitesse angulaire instantanée $\omega_i(t)$ est la vitesse angulaire à un instant t donné, son unité dans le (SI) est $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$.

La vitesse angulaire instantanée $\omega_i(t)$ est égale à la vitesse angulaire moyenne pendant la durée la plus petite possible au voisinage de l'instant t .

Remarque : Dans un enregistrement on calcul une valeur approchée de la vitesse angulaire instantanée $\omega_i(t)$ par la relation : $\omega_i(t) = \Delta\theta_i / \Delta t_i$ avec :

- Δt_i est la durée de la rotation en secondes de l'intervalle de temps entre les 2 positions successives encadrant l'instant considéré t_i .
- $\Delta \theta_i$ l'angle de rotation instantané choisit toujours entre le point juste avant et le point juste après du point considéré à l'instant considéré t_i .

2.5. Relation entre la vitesse angulaire ω et la vitesse linéaire v :

Pour un solide en rotation à la vitesse angulaire instantanée $\omega_i(t)$, un point de ce solide situé à la distance R de l'axe de rotation a une vitesse linéaire instantanée $V_i(t)$ telle que :

$$V_i(t) = R \cdot \omega_i(t)$$

Application : Une automobile se déplace à une vitesse de 90 km/h. Le diamètre de ses roues est de 58 cm. Calculer la vitesse linéaire d'un point de la circonférence et la vitesse angulaire d'une roue.

3- Mouvement de rotation uniforme :

3.1. Définition :

Un solide est en rotation uniforme autour d'un axe de rotation Δ , si à chaque instant tous les points du solide en rotation ont la même vitesse angulaire.

Le mouvement se reproduit donc à intervalles de temps réguliers, on dit que c'est un mouvement périodique.

3.2. Période et fréquence d'un mouvement de rotation uniforme :

- La période T correspond à la durée effectuée par chaque point du solide décrivant un tour.
- La fréquence f correspond au nombre de périodes par seconde. C'est aussi le nombre de tours effectués par seconde. (Unité : hertz : Hz).
- La période T et la fréquence f sont reliée par la relation : $f = 1/T$
- Expression de la vitesse linéaire v du point mobile en fonction du rayon de la trajectoire R et de la période T :

On a : $V = s / \Delta t$ et comme la vitesse d'un point est constante au cour du mouvement on peut raisonner sur un tour :

$$V = 2\pi R / T = 2\pi R f$$

- Expression de la vitesse angulaire ω du point mobile en fonction de la période T :
On sait que : $V = R \omega$ et par identification dans la relation précédente on trouve :
 $\omega = 2\pi f$ soit alors $\omega = 2\pi / T$

Application : compléter le tableau suivant :

situations	Disque vinyle tournant à 45 tr/min	Aiguille indiquant les secondes sur une montre	Protons dans le LHC au CERN de Genève	Rotation de la Terre autour de l'axe des pôles
Période (s)			91 ms pour effectuer un cercle de 27 km de	23 h 56 mn 04 s

			circonférence	
Fréquence (Hz)				

3.3. Équation horaire :

La trajectoire et le sens de déplacement d'un point mobile M étant définis, le mouvement de ce point est connu si les couples $(\theta ; t)$ sont déterminés pour toutes les positions du point M . Un repère d'espace et un repère de temps étant choisis, on appelle équation horaire d'un mouvement l'équation $\theta = f(t)$ dans laquelle θ est l'abscisse angulaire du point à la date t correspondante.

Puisque la vitesse angulaire ω est constante, on peut écrire entre un instant pris comme origine du temps de date $t=0$, et un instant de date t :

$$\omega = \frac{\theta(t) - \theta(0)}{t - 0}$$

On en déduit l'expression de l'équation horaire du mouvement de rotation uniforme :

$$\theta(t) = \omega t + \theta(0)$$

Activité 4 : Tracer $\theta = f(t)$

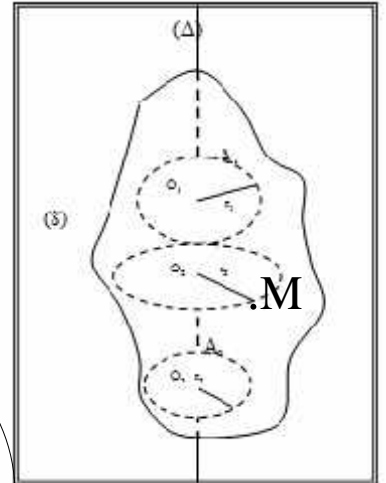
Rotation d'un solide indéformable autour d'un axe fixe (U).

Prof. DELAHI Mohamed

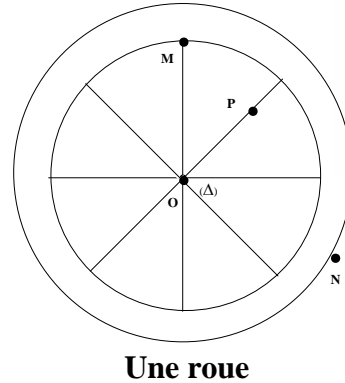
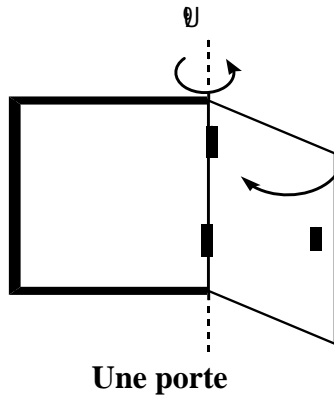
1) Définition :

✓ On dit qu'un corps solide indéformable est en mouvement de rotation autour d'un axe fixe ; si tous les points qui le constituent sont en mouvement circulaire centré sur cet axe (Δ), (sauf les points appartenant à l'axe de rotation).

- ✓ le point M a un mouvement circulaire.
- ✓ le corps (S) un mouvement de rotation autour de l'axe (Δ).



Exemples :

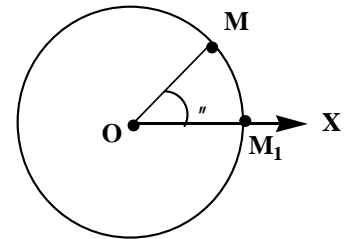


2) Repérage d'un point M en mouvement circulaire.:

✓ 2-1/ Abscisse angulaire $\theta(t)$:

C'est l'angle orienté que fait le vecteur position \vec{OM} avec un axe arbitraire \vec{OX}

$$\theta(t) = \left(\vec{OX}, \vec{OM} \right)$$



Rad

- ✓ $\theta(t)$ est un grandeur algébrique exprimée en rad
- ✓ $\theta(t) = f(t)$: Equation horaire du mouvement.

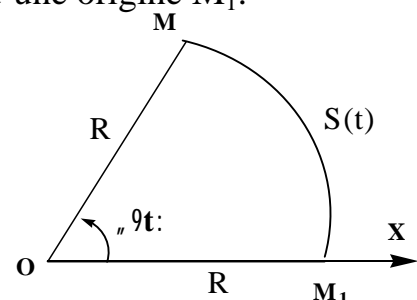
Remarque : $\frac{(\text{deg})}{180} = \frac{(\text{rad})}{1}$

✓ 2-2 Abscisse curviligne S(t):

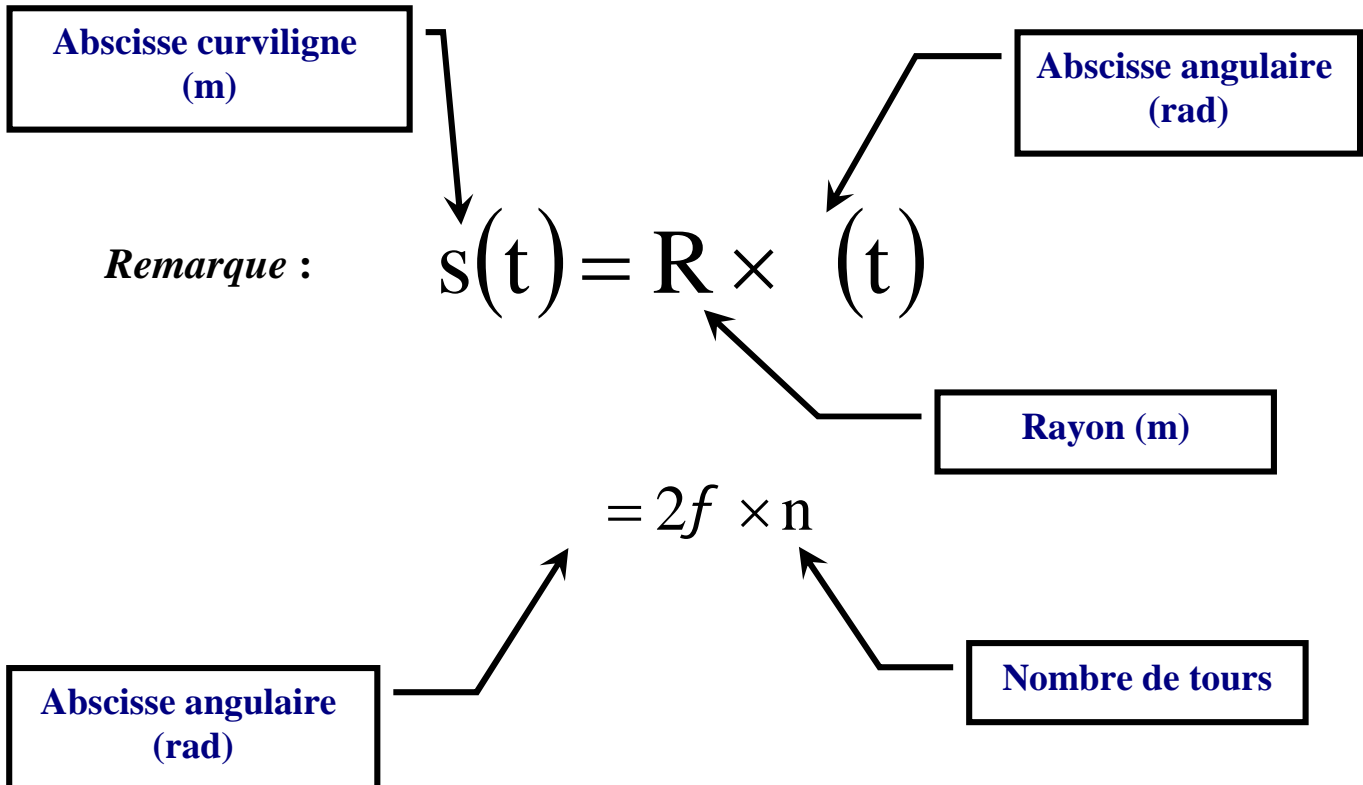
C'est la mesure algébrique de l'arc $\widehat{MM_1}$ compté à partir d'une origine M_1 .

m

$$S(t) = \widehat{MM_1}$$



2-3 Relation entre $s(t)$ et $S(t)$:



3) Vitesse angulaire $\dot{S}(t)$:

3-1 vitesse angulaire moyenne \dot{S}_m :

$$\dot{S}_m = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad \begin{cases} \Delta\theta & \text{en rad} \\ \Delta t & \text{en s} \\ \omega_m & \text{en rad.s}^{-1} \end{cases}$$

On la note avec $\Delta\theta$: angle balayé par \vec{OM} pendant la durée Δt

3-2 vitesse angulaire instantanée

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

θ_{i+1} Abscisse angulaire à instant t_{i+1}
 θ_{i-1} Abscisse angulaire à instant t_{i-1}

4) Vitesse linéaire d'un point du solide $V(t)$:

4-1 vitesses linéaire moyenne :

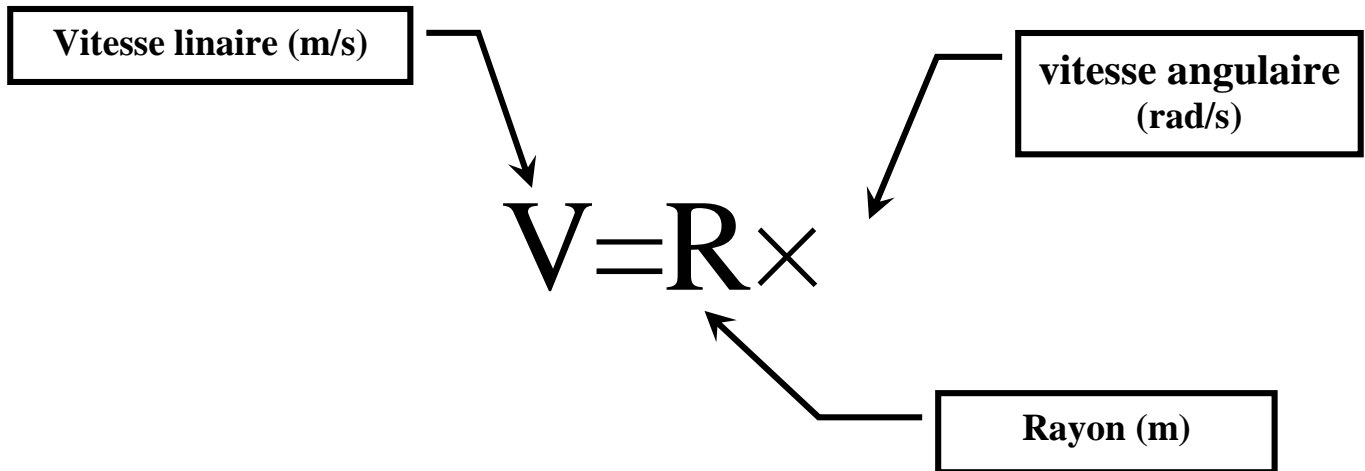
$$V_m = \frac{d}{\Delta t} \quad \begin{cases} d & \text{en m} \\ \Delta t & \text{en s} \\ V_m & \text{en m.s}^{-1} \end{cases}$$

4-2 vitesses linéaire instantanées

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

Remarque : pendant une durée très court : $M_{i+1}M_{i-1} = M_{i+1}M_{i-1}$

Relation entre la vitesse linéaire V et la vitesse angulaire $\dot{\theta}$:



5) le mouvement de rotation uniforme.

5-1/- Définition :

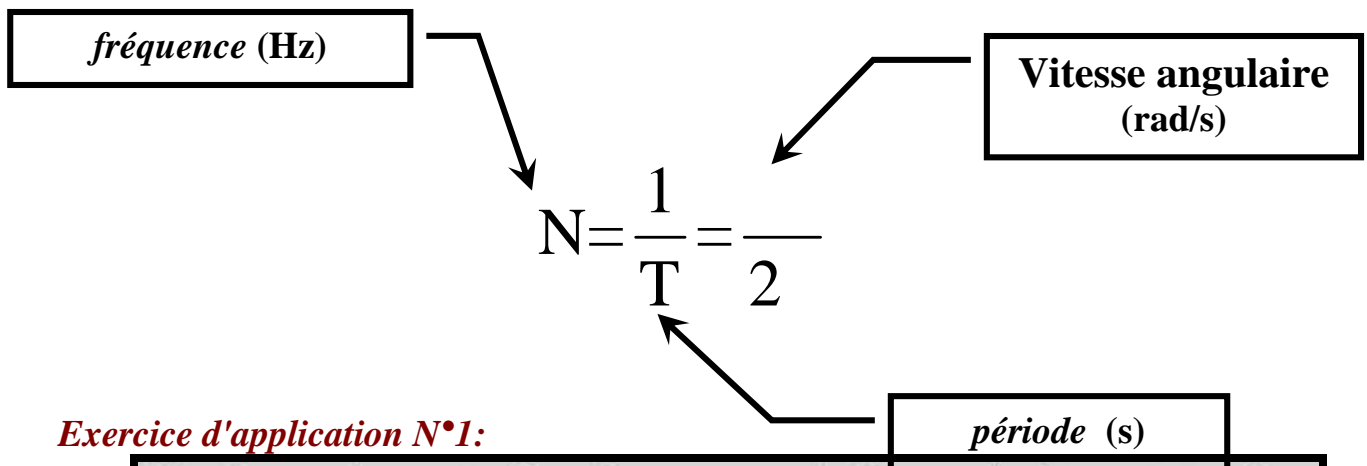
Le mouvement d'un corps solide autour d'un axe fixe est uniforme ; si sa vitesse angulaire ω reste constante au cours du temps : $\omega = Cte$

5-2/-période T et fréquence N :

La période T : le temps d'un tour complet effectué par tout point d'un corps solide indéformable en rotation uniforme autour d'un axe fixe :

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

La fréquence N : la fréquence N , d'un mouvement de rotation uniforme d'un corps solide indéformable, représente le nombre de répétition qu'effectue chaque point de ce corps solide en 1 seconde.



Exercice d'application N°1:

Un disque de rayon $R = 10cm$ tourne à 30 tours/min , autour d'un axe passant par son centre d'inertie .

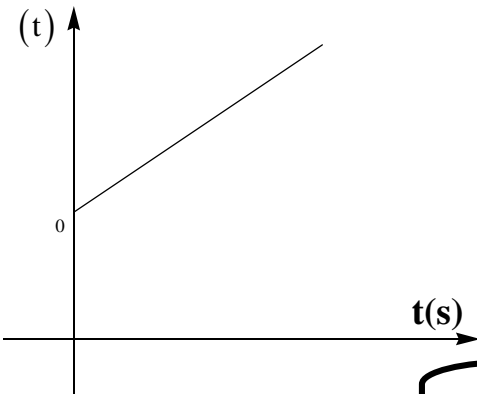
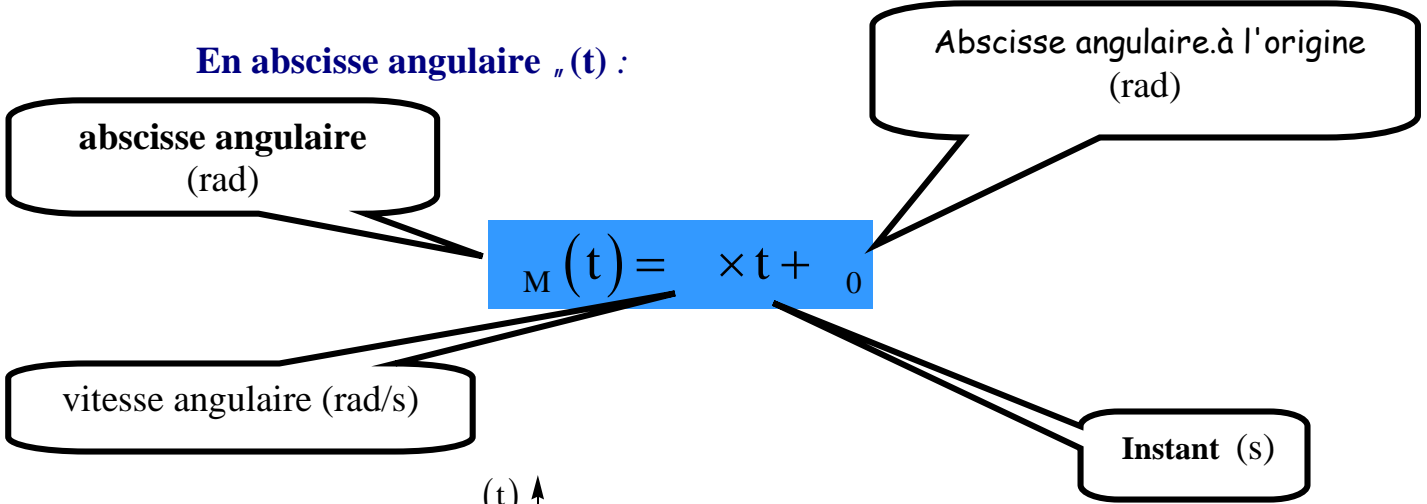
1. Calculer la période et la fréquence de ce disque .
2. Calculer la vitesse angulaire du disque . En déduire la vitesse d'un point M situé sur la circonférence d'un disque .
3. Calculer la vitesse d'un point N situé sur une circonférence de rayon $r = 5cm$.

Exercice d'application N°2:

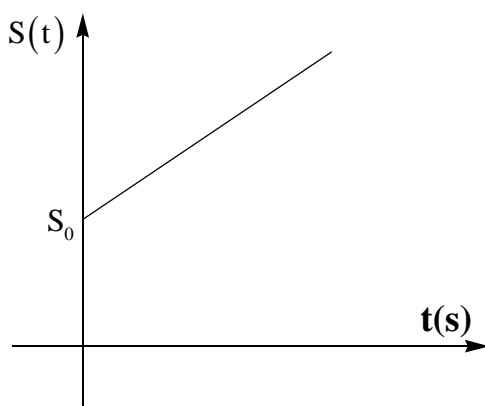
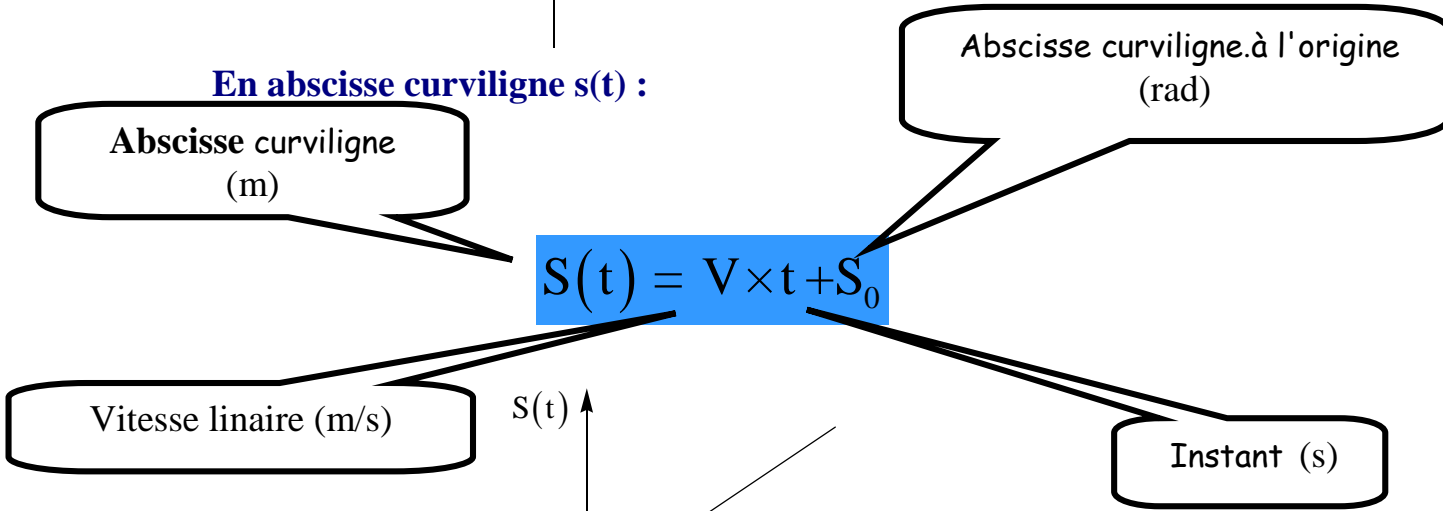
- 1) Calculer ω_s la vitesse angulaire de l'aiguille des secondes d'une montre.
- 2) Calculer N_m la fréquence de l'aiguille des minutes d'une montre.
- 3) Calculer V la vitesse linéaire de l'extrémité de l'aiguille des heures de cette montre en m/min on donne la distance qui sépare l'extrémité du centre de rotation est de 2 cm.

5-3/ Equation horaire du mouvement de rotation uniforme :

En abscisse angulaire $\theta(t)$:



En abscisse curviligne $s(t)$:



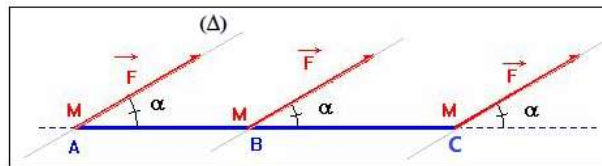
Travail et puissance d'une force

I- Notion de la force et travail d'une force :

1- force constante :

Une force peut mettre en mouvement un corps, modifier son mouvement, le maintenir en équilibre ou le déformer.

Une force est constante si sa valeur, sa direction et son sens ne varient pas au cours du temps.



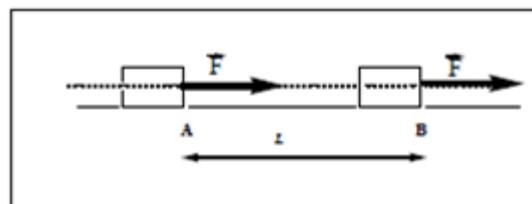
Exemple :

Le poids d'un corps solide

2- Notion de travail d'une force :

En physique, le travail est une notion liée aux forces et aux déplacements de leurs points d'applications.

On dit qu'une force travail lorsque son point d'application se déplace.



II- Travail d'une force constante en translation rectiligne :

1- travail d'une force constante en translation rectiligne :

-Définition :

Le travail d'une force constante \vec{F} pour un déplacement rectiligne \overrightarrow{AB} de son point d'application est le produit scalaire de vecteur force \vec{F} et de vecteur déplacement \overrightarrow{AB} :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = F \cdot AB \cdot \cos\alpha \quad \begin{cases} W_{AB}(\vec{F}) : \text{travail de la force } \vec{F} \text{ (J)} \\ F : \text{valeur de la force (N)} \\ AB : \text{longueur du déplacement (m)} \\ \alpha : \text{l'angle entre les vecteurs } \vec{F} \text{ et } \overrightarrow{AB} \text{ (}^\circ \text{ ou rad)} \end{cases}$$



L'unité du travail dans le S I est le Joule (J). ($1\text{Joule} = 1\text{Newton} \times 1\text{ mètre}$)

Application :

Calculer le travail de la force \vec{F} sachant que : $F = 10N$; $L = 10\text{ cm}$ et $\alpha = 60^\circ$.

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overline{AB} = F \cdot AB \cdot \cos\alpha$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = 10 \times 10 \times 10^{-2} \times \cos(60^\circ)$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = 0,5\text{ J}$$

Remarque :

Le travail peut écrire en fonction des coordonnées du vecteur force \vec{F} et vecteur déplacement \overline{AB} dans un repère cartésienne (O, \vec{i}, \vec{j})

$$\vec{F} \begin{cases} F_x \\ F_y \end{cases} \quad \vec{F} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j} \quad \overline{AB} \begin{cases} x_B - x_A \\ y_B - y_A \end{cases} \quad \overline{AB} = (x_B - x_A) \vec{i} + (y_B - y_A) \vec{j}$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overline{AB} = F_x \cdot (x_B - x_A) + F_y \cdot (y_B - y_A)$$

2- Travail moteur et travail résistant

Le travail d'une force est une grandeur algébrique.

Le travail positif est un travail moteur et un travail négatif est un travail résistant.

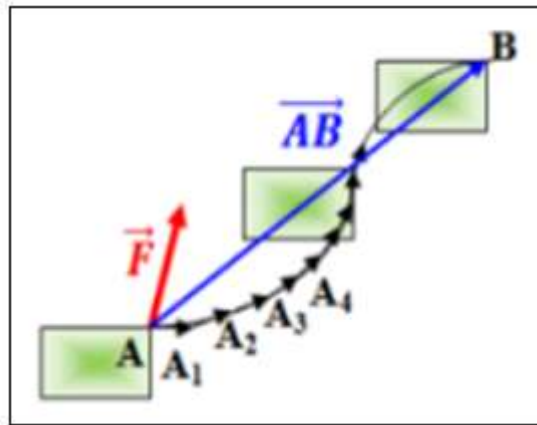
$\alpha = 0^\circ$	$\alpha < 90^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 180^\circ$
$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = +F \cdot AB$	$W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$ positif	$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = 0$	$W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$ négatif	$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = -F \cdot AB$
Travail moteur		Travail nul	Travail résistant	

III- Travail d'une force constante en translation curviligne :

1- Travail élémentaire d'une force

On divise la trajectoire en petit segment δl infiniment petit. On appelle $\delta W_i(\vec{F})$ travail élémentaire fourni par la force \vec{F} au cours du déplacement élémentaire δl_i .

$$\delta W_i(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{\delta l}_i$$



Le travail total de la force \vec{F} est égal à la somme des travaux élémentaires :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \sum \delta W_i(\vec{F}) = \sum \vec{F} \cdot \vec{\delta l}_i = \vec{F} \cdot \sum \vec{\delta l}_i$$

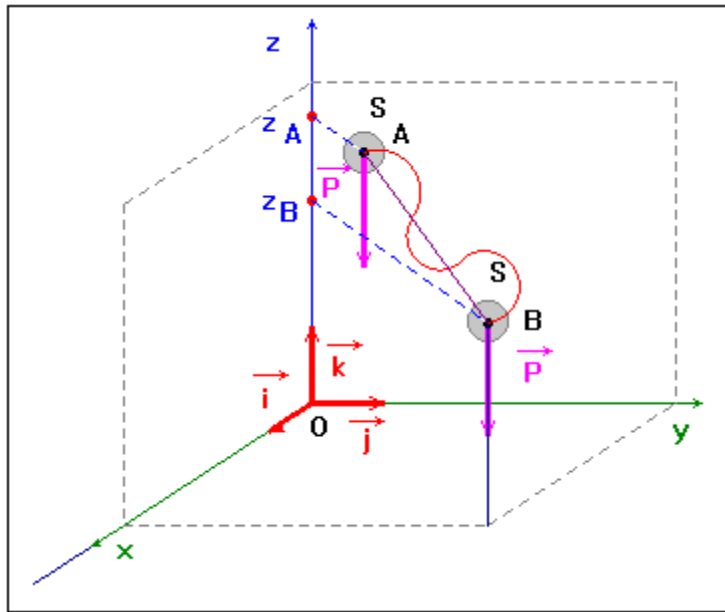
$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB}$$

Conclusion :

Le travail d'une force \vec{F} constante est indépendant du chemin suivi entre le point A du départ et le point B d'arrivée.

2- travail du poids d'un corps solide :

Soit d'un corps de masse m son centre d'inertie G se déplace d'une point A d'altitude z_A à un point B d'altitude z_B .



Dans un repère $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ les coordonnées du poids \vec{P} et du vecteur déplacement sont :

$$\vec{P} \begin{cases} P_x = 0 \\ P_y = 0 \\ P_z = -m \cdot g \end{cases} \quad \text{soit : } \vec{P} = -mg\vec{k}$$

$$\overrightarrow{AB} \begin{cases} x_B - x_A \\ y_B - y_A \\ z_B - z_A \end{cases} \quad \text{soit : } \overrightarrow{AB} = (x_B - x_A) \cdot \vec{i} + (y_B - y_A) \cdot \vec{j} + (z_B - z_A) \cdot \vec{k}$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB} = P_x \cdot (x_B - x_A) + P_z \cdot (z_B - z_A) = -m \cdot g(z_B - z_A)$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot g(z_A - z_B)$$

Le travail du poids ne dépend pas du chemin suivi mais uniquement de l'altitude initiale et de l'altitude finale ; on dit que **le poids est une force conservatrice**.

Remarque :

Si le corps descend, alors $z_A - z_B > 0 \Rightarrow W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) > 0$; le travail du poids est moteur.

Si le corps monte, alors $z_A - z_B < 0 \Rightarrow W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) < 0$; le travail du poids est résistant.

Si le corps reste à la même altitude ; $z_A = z_B \Rightarrow W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = 0$ le travail du poids est nul.

3- Travail d'un ensemble de forces constantes

Soit un solide S glissant sans frottement sur un plan horizontal. Ce solide est soumis à deux forces :

- \vec{P} : poids du solide
- \vec{R} : réaction du support

$$\vec{R} = \vec{f} + \vec{R}_N$$

\vec{R}_N : Réaction normale du support et \vec{f} : force de frottement

La somme des travaux des forces appliquées au solide s'écrit :

$$\begin{aligned} W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_N) &= \vec{P} \cdot \overline{AB} + \vec{f} \cdot \overline{AB} + \vec{R}_N \cdot \overline{AB} \\ &= (\vec{P} + \vec{f} + \vec{R}_N) \cdot \overline{AB} \end{aligned}$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_N) = \vec{F} \cdot \overline{AB}$$

\vec{F} est la résultante des forces .

Pour un solide en translation, soumis à plusieurs forces, la somme des travaux des forces appliquées est égale au travail de leur résultante.

IV- Puissance d'une force :

1- Puissance moyenne :

La puissance moyenne d'une force est le quotient du travail de cette force par la durée Δt pour réaliser ce travail.

$$\mathcal{P}_m = \frac{W}{\Delta t} \begin{cases} \mathcal{P}_m : \text{Puissance exprimée en Watt (W)} \\ W : \text{travail exprimé en Joule (J)} \\ \Delta t : \text{durée (s)} \end{cases}$$

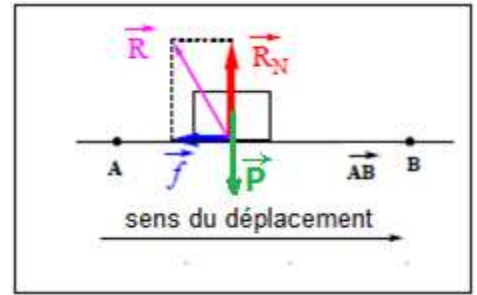
2- Puissance instantanée :

Si la force \vec{F} réalise un travail δW pendant une durée très petite δt donc la puissance instantanée de cette force :

$$\mathcal{P} = \frac{\delta W}{\delta t}$$

Puisque $\delta W = \vec{F} \cdot \vec{\delta l}$ donc :

$$\mathcal{P} = \frac{\vec{F} \cdot \vec{\delta l}}{\delta t}$$



$$\mathcal{P} = \vec{F} \cdot \vec{V} = F \cdot V \cdot \cos \alpha$$

avec $\alpha = (\vec{F}, \vec{V})$

\vec{V} est le vecteur vitesse instantanée du point d'application de la force \vec{F} .

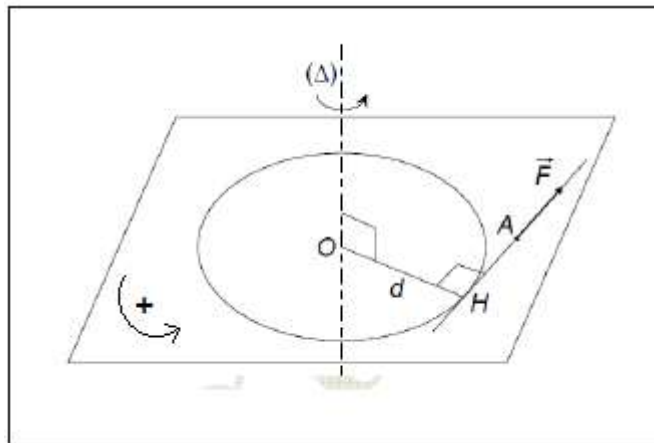
V- travail d'une force de moment constant exercé sur un solide en rotation :

1- Rappel

Le moment M_{Δ} d'une force \vec{F} par rapport à l'axe de rotation (Δ) orthogonal à sa droite d'action est :

$$M_{\Delta}(\vec{F}) = \pm F \cdot d$$

$\left\{ \begin{array}{l} F : \text{intensité de la force (N)} \\ d : \text{la distance entre la droite d'action de la force et l'axe de rotation (m)} \\ \pm \text{ dépend de sens arbitraire du mouvement} \end{array} \right.$



2- Travail élémentaire

Lors de la rotation d'un corps solide d'un petit angle $\delta\theta$, le point d'application de la force \vec{F} parcourt un arc δl qu'on peut considérer une droite .

La force \vec{F} effectue un travail élémentaire exprimé comme suit :

$$\delta W(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{\delta l} = F \cdot \delta l \cdot \cos \alpha$$

Le mouvement du point M est circulaire on a : $\delta l = R \cdot \delta\theta$ donc :

$$\delta W(\vec{F}) = F \cdot R \cdot \delta\theta \cdot \cos \alpha$$

D'après la figure on a : $d = R \cdot \cos \alpha$ et $M_{\Delta}(\vec{F}) = F \cdot d$

$$\delta W(\vec{F}) = M_{\Delta}(\vec{F}) \cdot \delta\theta$$

3- travail global

Lors du rotation d'un solide par une angle $\Delta\theta$, le travail effectué par la force \vec{F} , ayant un moment constant par rapport à l'axe (Δ) est égale la somme des travaux élémentaires .

$$W(\vec{F}) = \sum \delta W(\vec{F}) = \sum M_{\Delta}(\vec{F}) \cdot \delta\theta = M_{\Delta}(\vec{F}) \sum \delta\theta$$

$$W(\vec{F}) = M_{\Delta}(\vec{F}) \cdot \Delta\theta$$

4- Puissance instantanée d'un moment constant appliquée à un solide en rotation

On considère un solide en rotation autour d'un axe fixe avec une vitesse angulaire ω sous l'action d'une force \vec{F} orthogonal à l'axe de rotation.

Le mouvement du point M est circulaire de centre O et du rayon $OM = R$

La puissance instantanée de la force \vec{F} est :

$$\mathcal{P} = \vec{F} \cdot \vec{v} = F \cdot v \cdot \cos\theta$$

On sait que : $v = R \cdot \omega$ donc :

$$\mathcal{P} = F \cdot OM \cdot \omega \cdot \cos\theta$$

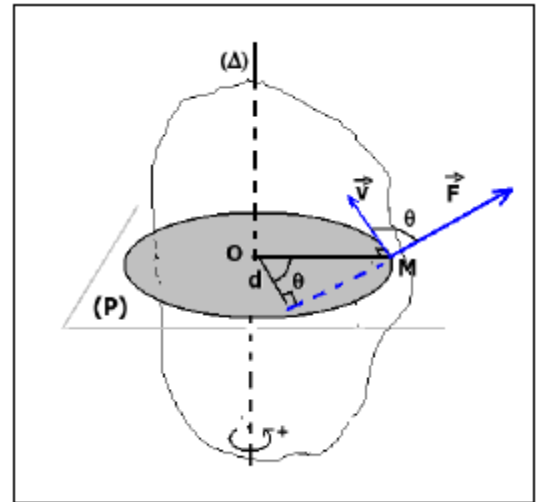
Suivant la figure on a : $M_{\Delta}(\vec{F}) = F \cdot d$ et $\cos\theta = \frac{d}{R}$

Alors : $M_{\Delta}(\vec{F}) = F \cdot R \cdot \cos\theta$

Donc la puissance instantanée s'écrit :

$$\mathcal{P} = M_{\Delta}(\vec{F}) \cdot \omega$$

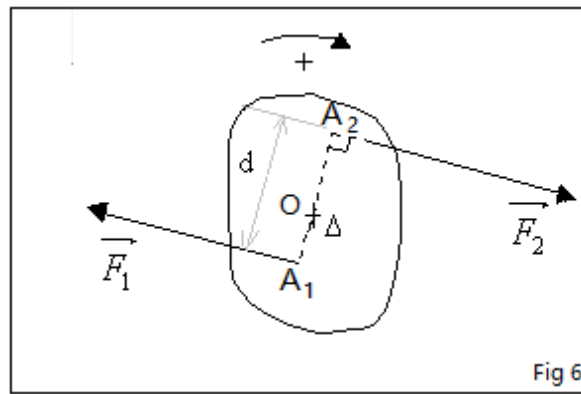
ω : vitesse angulaire et $M_{\Delta}(\vec{F})$ moment de la force \vec{F}



5- Travail d'un couple de forces de moment constant

5.1- Rappel :

Deux forces localisées (A_1, \vec{F}_1) et (A_2, \vec{F}_2) dont les droites d'action sont parallèles, ayant des sens contraires et des intensités égales forment un couple.



5.2-Moment du couple :

$$M_C(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = \pm F \cdot d$$

Le moment d'un couple de deux forces est égal au produit de la valeur de l'intensité commune des deux forces $F_1 = F_2 = F$ par la distance d entre les droites d'actions des deux forces.

5.3-Travail d'un couple de force de moment constant

$$W = M_C \cdot \Delta\theta$$

COURS :**2- Travail et puissance d'une force.****Activité I : Exercice (Rappel)****I- Notion de travail d'une force.****ACTIVITE II :**

Une force appliquée à un solide peut avoir deux effets :

- Effet dynamique (mettre en mouvement un solide ou modifier ce mouvement).
- Effet statique (une force peut soit maintenir en équilibre un solide soit le déformé).

On dit qu'une force produit un travail mécanique si elle produit un effet observable. Généralement lorsque la force exercée sur un mobile a un effet sur la valeur de la vitesse du mobile, on dit qu'elle travaille.

II- Travail d'une force constante dans le cas d'une translation :**1)- La force constante.**

Une force est constante si sa valeur, sa direction et son sens ne varient pas au cours du temps.

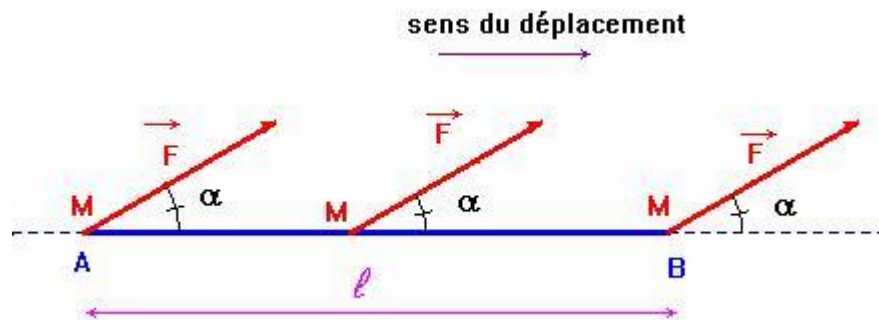
Exemple : le poids d'un objet peut constituer une force constante dans certaines conditions.

2)- Définition du travail dans le cas d'une translation rectiligne :

Le travail d'une force constante \vec{F} dont le point d'application M se déplace de A à B sur le segment $[AB]$ est égal au produit scalaire du vecteur force \vec{F} par le vecteur déplacement \overrightarrow{AB} . Son expression est : $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB}$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos(\widehat{\vec{F}, \overrightarrow{AB}})$$

Dans le système international l'unité du travail est le joule (J).

APPLICATION :

Calculer le travail de la force constante \vec{F} sachant que : $F = 10 \text{ N}$, $l = 20 \text{ cm}$ et $\alpha = 30^\circ$.

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos(\widehat{\vec{F}, \overrightarrow{AB}})$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = 10 \times 0,20 \times \cos 30$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = 1,73 \text{ J}$$

3)- Le travail est une grandeur algébrique :

A partir de la définition, le signe du travail d'une force constant lors d'un déplacement \overline{AB} dépend de la valeur du produit scalaire $\vec{F} \cdot \overline{AB}$ est par conséquent du signe de l'angle (\vec{F}, \overline{AB})

Exercice : Discuter le signe du travail $W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$ selon la valeur de l'angle $\alpha = (\vec{F}, \overline{AB})$

valeur de l'angle (\vec{F}, \overline{AB})			
signe du travail $W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$			

Conclusion :

- Si $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) > 0$: l'effet de la force favorise le mouvement, on dit que la force produit un travail moteur.
- Si $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) < 0$: l'effet de la force s'oppose au mouvement, on dit que la force produit un travail résistant.
- Si $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = 0$: la force n'a pas d'effet sur le mouvement, on dit que la force ne travaille pas

4)- Travail d'une force constante dans le cas d'une translation curviligne :

Lorsque le point d'application M d'une force constante \vec{F} passe d'un point A_1 à un point A_n en décrivant une trajectoire curviligne, le déplacement n'est pas rectiligne donc on ne peut pas appliquer directement la formule donnant le travail. En revanche, on peut décomposer ce déplacement en une succession de déplacements suffisamment courts pour être considérés comme rectiligne $\overline{A_1A_2}$, $\overline{A_2A_3}$, $\overline{A_3A_4}$, $\overline{A_4A_5}$

La somme des travaux de la force constante \vec{F} s'écrit :

$$W_{A_1 \rightarrow A_n}(\vec{F}) = W_{A_1 \rightarrow A_2}(\vec{F}) + W_{A_2 \rightarrow A_3}(\vec{F}) + W_{A_3 \rightarrow A_4}(\vec{F}) + W_{A_4 \rightarrow A_5}(\vec{F}) + \dots$$

$$W_{A_1 \rightarrow A_n}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overline{A_1A_2} + \vec{F} \cdot \overline{A_2A_3} + \vec{F} \cdot \overline{A_3A_4} + \vec{F} \cdot \overline{A_4A_5} + \vec{F} \cdot \overline{A_5A_6} + \dots$$

$$W_{A_1 \rightarrow A_n}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot (\overline{A_1A_2} + \overline{A_2A_3} + \overline{A_3A_4} + \overline{A_4A_5} + \overline{A_5A_6} + \dots)$$

$$W_{A_1 \rightarrow A_n}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot (\overline{A_1A_n})$$

Conséquence : Le travail d'une force constante \vec{F} ne dépend pas du chemin réellement suivi, mais uniquement des deux positions finale et initiale.

5)- Travail d'un ensemble de forces :

Soit un corps solide en mouvement de translation sous l'action d'un ensemble de forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3 \dots$ dont les points d'application subissent le même déplacement \vec{AB} .

La somme des travaux de ces forces :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_1) + W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_2) + W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_3) + \dots = \vec{F}_1 \cdot \vec{AB} + \vec{F}_2 \cdot \vec{AB} + \vec{F}_3 \cdot \vec{AB} + \dots$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_1) + W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_2) + W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_3) + \dots = (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots) \cdot \vec{AB}$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_1) + W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_2) + W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_3) + \dots = \sum \vec{F}_i \cdot \vec{AB}$$

avec $\sum \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$ la résultante des forces appliquée.

Conclusion : La somme des travaux des forces appliquée à un corps solide en mouvement de translation est égale au travail de leur résultante

Conséquence : Au cours d'un mouvement rectiligne si la résultante des forces appliquées est nulle alors la somme des travaux est nulle, et le mouvement dans ce cas est rectiligne uniforme.

III- Le travail du poids d'un corps :

1) Le poids est une force constante :

La grandeur intensité de pesanteur g dépend de l'altitude et de la latitude, mais sur une zone étendue à quelques kilomètres de la surface de la terre on peut la considérer comme constante $g = g^{\text{te}}$ et par conséquent le vecteur poids \vec{P} est une force constante.

2) Expression simplifiée du travail du poids d'un corps :

Le poids est une force constante. Le travail du poids ne dépend pas du chemin suivi.

Dans un repère orthonormé dont l'axe (Oz) est vertical et orienté vers le haut, on exprime les coordonnées du poids $\vec{P} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -P \end{pmatrix}$ et du vecteurs déplacement du centre de gravité $\vec{AB} \begin{pmatrix} x_B - x_A \\ y_B - y_A \\ z_B - z_A \end{pmatrix}$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB} = 0 \times (x_B - x_A) + 0 \times (y_B - y_A) + (-P \times (z_B - z_A))$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = P \times (z_A - z_B) = m g \times (z_A - z_B)$$

Conclusion : Lorsque le centre de gravité G d'un corps passe d'un point A à un point B , le travail du poids ne dépend que de l'altitude z_A du point de départ et de l'altitude z_B du point d'arrivée :

- Si $z_A > z_B$, l'altitude du point G a diminué : le travail du poids est moteur.
- Si $z_A < z_B$, l'altitude du point G a augmenté : le travail du poids est résistant.
- Si $z_A = z_B$, l'altitude du point G n'a pas changé : le travail du poids est nul.

Remarque : Pour déterminer la valeur du travail du poids, on peut en posant $h = |z_A - z_B|$ utiliser l'une des relations suivantes :

- $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = mgh$: si le bilan final du déplacement est une descente.

- $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = -mgh$: si le bilan final du déplacement est une montée

IV - Travail d'une force de moment constante dans le cas d'une rotation :

1) - Mise en évidence :

On soulève une lourde charge avec un treuil dont les rayons de la poulie sont r et R sous l'action de la force motrice \vec{F} .

La force motrice \vec{F} déplace son point d'application sur le trajet AB .

On soulève une lourde charge avec un treuil dont les rayons de la poulie sont r et R sous l'action de la force motrice \vec{F} .

La force motrice \vec{F} déplace son point d'application sur le trajet AB .

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overline{AB}$$

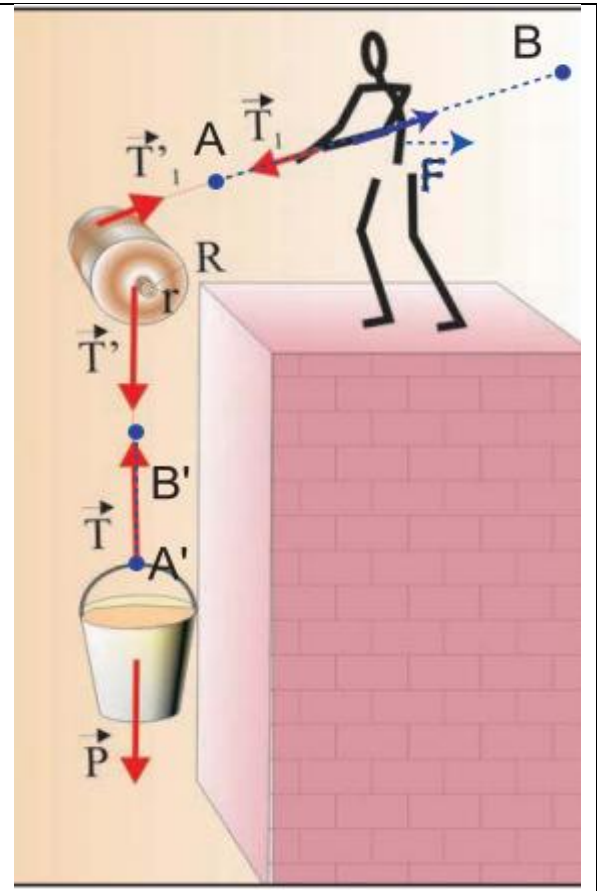
$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos(\widehat{(\vec{F}, \overline{AB})}) \\ = F \times AB \times \cos 0 = F \times AB$$

Tous les points de la surface du treuil ayant tourné d'un même angle, on peut écrire $AB = R\theta$ d'où : $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = F \times R \times \theta$

Or : l'expression du moment de la force

$$\vec{F} \text{ est : } \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = F \times R$$

$$\text{soit alors : } W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times \theta$$



2) Définitions :

- Le travail d'une force \vec{F} de moment constant $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F})$ agissant sur un corps en mouvement de rotation, est égal au produit du moment constant $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F})$ par l'angle de rotation θ , son expression est : $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times \theta$.
- Le travail d'un couple de force de moment constant \mathcal{M}_c agissant sur un corps en mouvement de rotation, est égal au produit du moment constant \mathcal{M}_c par l'angle de rotation θ , son expression est : $W_c = \mathcal{M}_c \times \theta$.

V- Puissance d'une force :

1)- Introduction :

Exemple : Pour arriver le premier le cycliste au moment d'un sprint développe une certaine puissance, car le plus puissant cycliste doit effectué le travail le plus rapidement possible.

La grandeur puissance, relie la notion de travail à la notion de durée.

2)- Puissance moyenne :

Par définition : la puissance moyenne \mathcal{P}_m d'une force \vec{F} sur le trajet AB est égale au quotient

du travail $W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$ par la durée Δt du déplacement : $\mathcal{P}_m = W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) / \Delta t$

L'unité légale de puissance est le watt symbole W.

3)- Puissance instantanée :

La puissance instantanée $P(t)$ d'une force \vec{F} sur le trajet AB, est évaluée en considérant le petit travail effectué pendant une courte durée Δt encadrant la date considérée t .

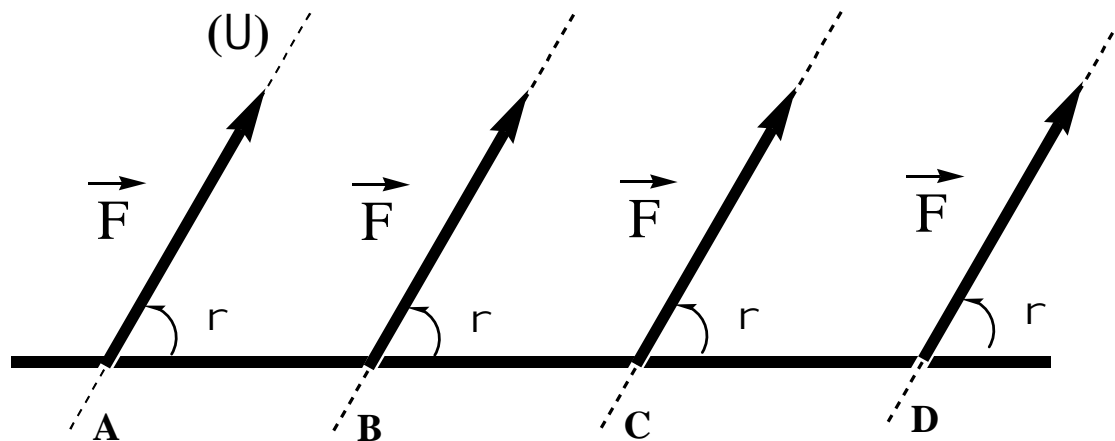
- On peut écrire dans le cas d'une translation : $P(t) = W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) / \Delta t = \vec{F} \cdot \overline{AB} / \Delta t$.
En assimilant le rapport $\overline{AB} / \Delta t$ au vecteur vitesse instantanée $\vec{V}(t)$, la puissance instantanée peut s'écrire : $P(t) = \vec{F} \cdot \vec{V}(t)$ avec : $P(t)$ en watt (W), F en newton (N) et v en mètre par seconde ($m \cdot s^{-1}$).
- On peut écrire dans le cas d'une rotation : $P(t) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times \theta / \Delta t = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times \omega$
ou dans le cas d'un couple : $P(t) = \mathcal{M}_C \times \omega$



Travail et puissance d'une force constante

I) Travail d'une force constante en translation rectiligne :

1) Définition d'une force constante



On dit qu'une force \vec{F} est constante ; si son vecteur garde :

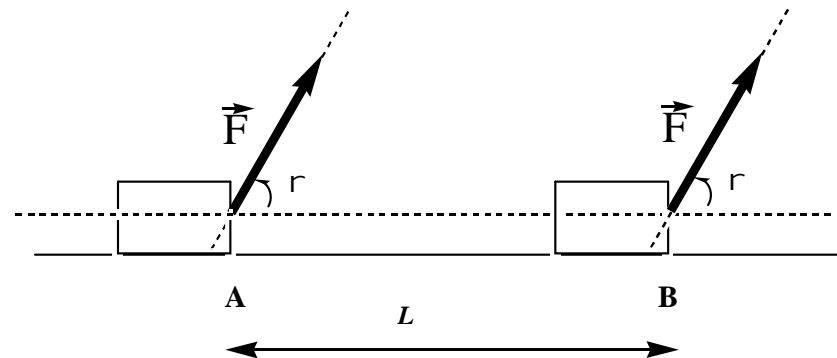
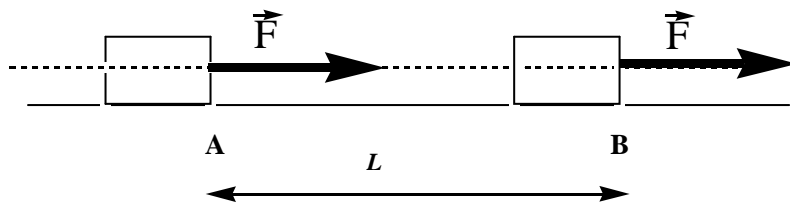
- ✓ Même direction.
- ✓ Même sens.
- ✓ Même intensité.

Exemple : Le poids d'un corps solide , la réaction du sol sur le corps (s)

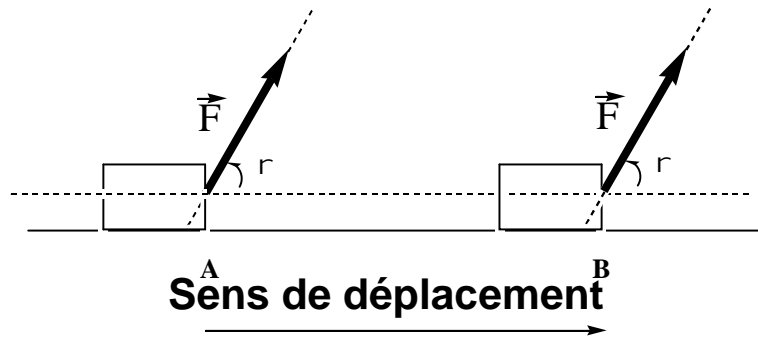
2) Notion de travail d'une force :

En physique, le travail est une notion liée aux *forces* et aux *déplacements* de leurs points d'application.

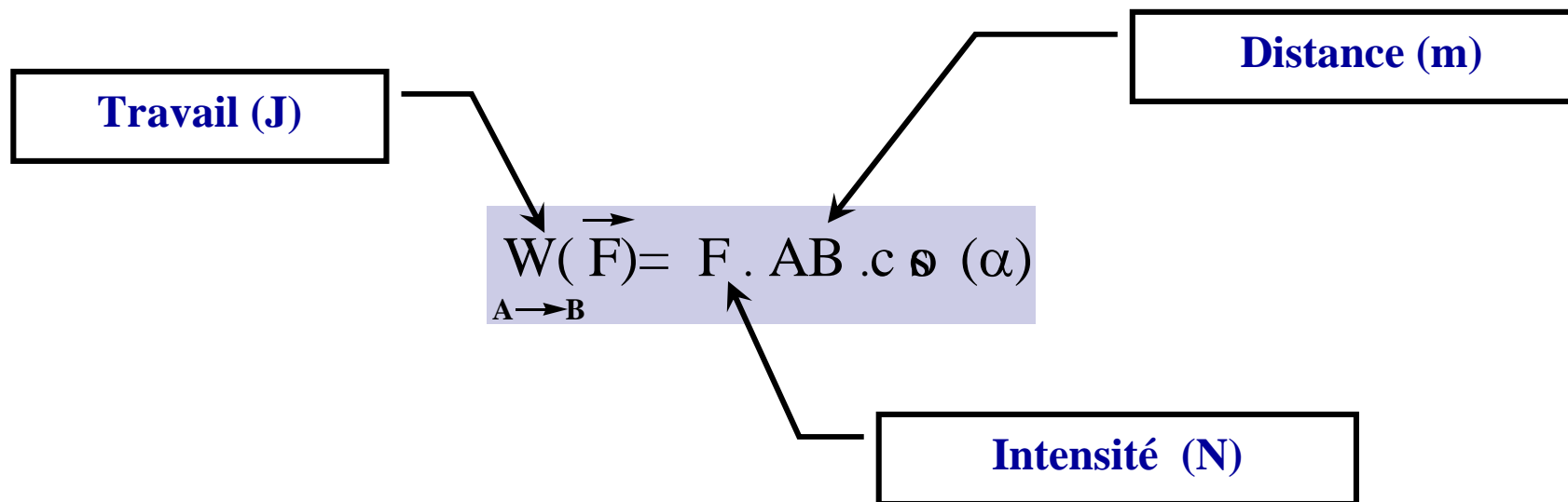
On dit qu'une force travaille, quand son point d'application se déplace.



3) Expression du travail d'une force :



$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos(\alpha)$$

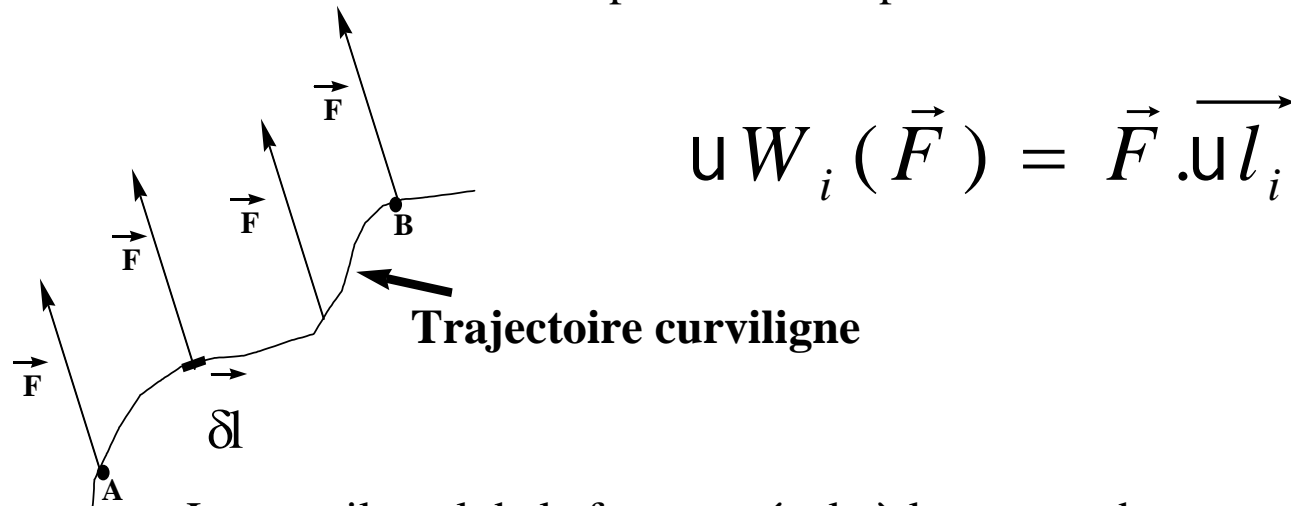


Résumé:

$\alpha = 0$		$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = +F\ell$ Travail moteur
$0 < \alpha < 90^\circ$		$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = F\ell \cos \alpha$ $W_{A \rightarrow B} > 0$ Travail moteur
$\alpha = 90^\circ$		$W_{A \rightarrow B}(F) = 0$ Travail nul
$90^\circ < \alpha < 180^\circ$		$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = F\ell \cos \alpha$ $W_{A \rightarrow B} < 0$ Travail résistant
$\alpha = 180^\circ$		$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = -F\ell$ Travail résistant

II) Travail d'une force constante en translation curviligne :

On découpe la trajectoire en petit segment δl infiniment petit. On note par $uW_i(\vec{F})$ le travail élémentaire correspondant au déplacement $u\vec{l}_i$:



Le travail total de la force est égale à la somme des travaux élémentaire

$$\sum uW_i(\vec{F}) = \sum \vec{F} \cdot \vec{u}l_i = \vec{F} \cdot \sum \vec{u}l_i$$

Donc :

$$W(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB}$$

A→B

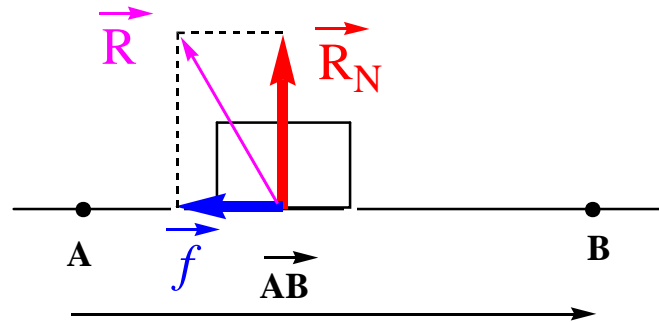
III) Travail d'un ensemble de force :

Le travail d'un ensemble de force $\vec{F}_1; \vec{F}_2; \vec{F}_3; \dots; \vec{F}_n$ appliquer à un même solide en translation est égale au produit scalaire de l'ensemble de vecteurs par le même vecteur déplacement

$$W_{A \rightarrow B} = (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n) \cdot \vec{AB}$$

$$W_{A \rightarrow B} = \vec{F}_1 \cdot \vec{AB} + \vec{F}_2 \cdot \vec{AB} + \dots + \vec{F}_n \cdot \vec{AB} = W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_1) + W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_2) + \dots + W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_n)$$

Exemple :



$$\vec{R} = \vec{f} + \vec{R}_N$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = \vec{R} \cdot \vec{AB}$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = (\vec{f} + \vec{R}_N) \cdot \vec{AB} = \vec{f} \cdot \vec{AB} + \vec{R}_N \cdot \vec{AB}$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_N)$$

IV) Applications :

1) Le travail de \vec{P} poids d'un solide

▪ Cas N°1:

$$W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{G_1 G_2} \quad (1)$$

$$\vec{G_1 G_2} = (x_2 - x_1)\vec{I} + (y_2 - y_1)\vec{J} + (z_2 - z_1)\vec{K}$$

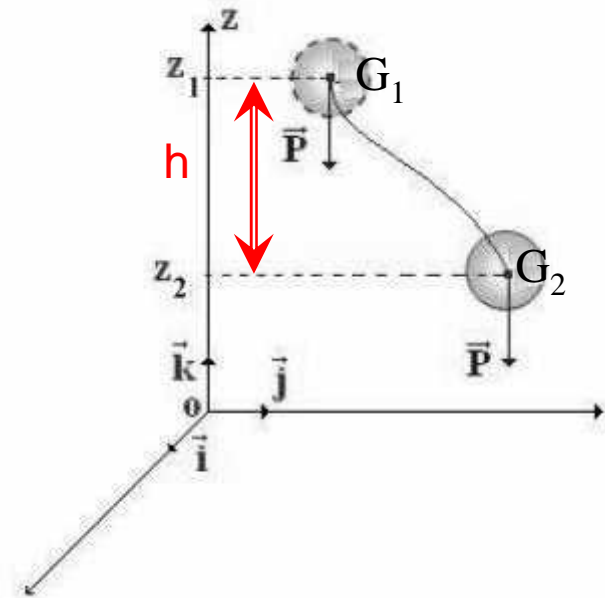
$$\vec{P} = P_x \cdot \vec{I} + P_y \cdot \vec{J} + P_z \cdot \vec{K} \Rightarrow \vec{P} = -m \cdot g \cdot \vec{K}$$

Donc :

$$W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{P}) = -m \cdot g \cdot \vec{K} \cdot (z_2 - z_1) \cdot \vec{K}$$

$$W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot (z_1 - z_2) = m \cdot g \cdot h$$

$$W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot h$$



Conclusion :

❑ le travail du poids ne dépend pas de la position de départ » ni de la position d'arrivée

❑ A la descente travail du poids est moteur : $W(\vec{P})_{G_1 \rightarrow G_2} > 0$

$$W(\vec{P})_{G_1 \rightarrow G_2} = m.g.h$$

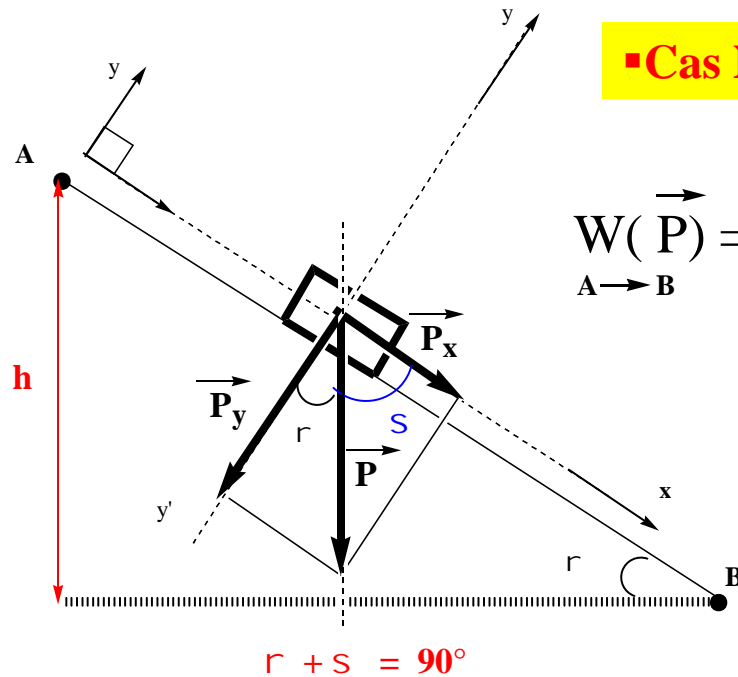
❑ A la montée travail du poids est résistant : $W(\vec{P})_{G_1 \rightarrow G_2} < 0$

$$W(\vec{P})_{G_1 \rightarrow G_2} = -m.g.h$$

Donc :

$$W(\vec{P})_{G_1 \rightarrow G_2} = \pm m.g.h$$

▪ Cas N°2: méthode 1



$$W(\vec{P})_{A \rightarrow B} = \vec{P} \cdot \vec{AB} = P \cdot AB \cdot \cos(\beta)$$

$$\sin(\alpha) = \frac{h}{AB} \quad \Rightarrow \quad h = AB \cdot \sin(\alpha)$$

$$W(\vec{P})_{A \rightarrow B} = m \cdot g \cdot h$$

$$h = AB \cdot \sin(\alpha)$$

$$W(\vec{P})_{A \rightarrow B} = m \cdot g \cdot AB \cdot \sin(\alpha)$$

▪ Cas N°2: méthode 2

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB} \quad \text{avec} \quad \vec{P} = \vec{P}_x + \vec{P}_y$$

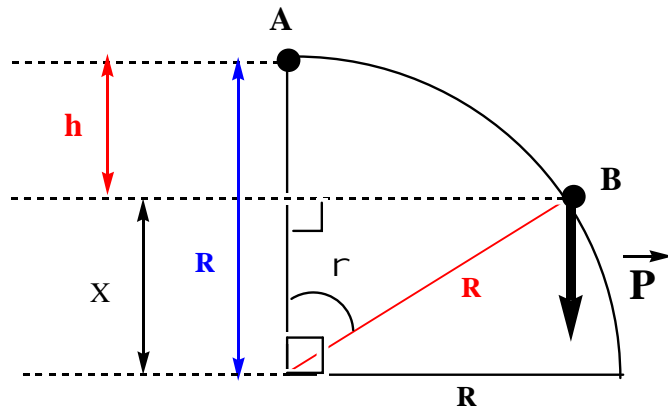
$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = (\vec{P}_x + \vec{P}_y) \cdot \vec{AB} = \vec{P}_x \cdot \vec{AB} + \vec{P}_y \cdot \vec{AB} \quad = 0$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \vec{P}_x \cdot \vec{AB}$$

$$\sin(\) = \frac{P_x}{P} \quad \Rightarrow \quad P_x = P \cdot \sin(\)$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot AB \cdot \sin(\alpha)$$

▪ Cas N°3:



$$W(\vec{P})_{A \rightarrow B} = m \cdot g \cdot h$$

$$h = R - X \quad X = R \cdot \cos(\alpha)$$

Donc

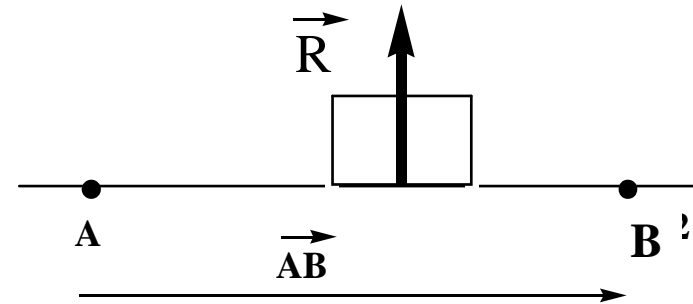
$$h = R \cdot (1 - \cos(r))$$

$$W(\vec{P})_{A \rightarrow B} = m \cdot g \cdot R \cdot (1 - \cos(r))$$

2) Le travail de \vec{R} action du plan

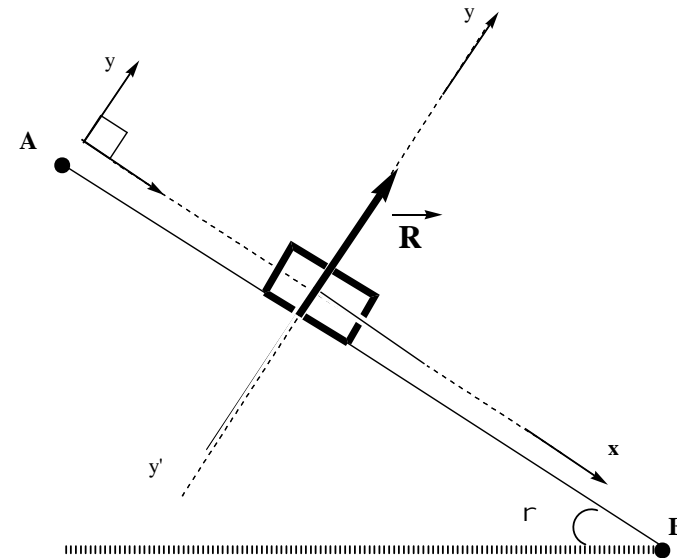
2-1/ sans frottement

- Cas d'un plan horizontal



$$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = \vec{R} \cdot \vec{AB} = R \cdot AB \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0$$

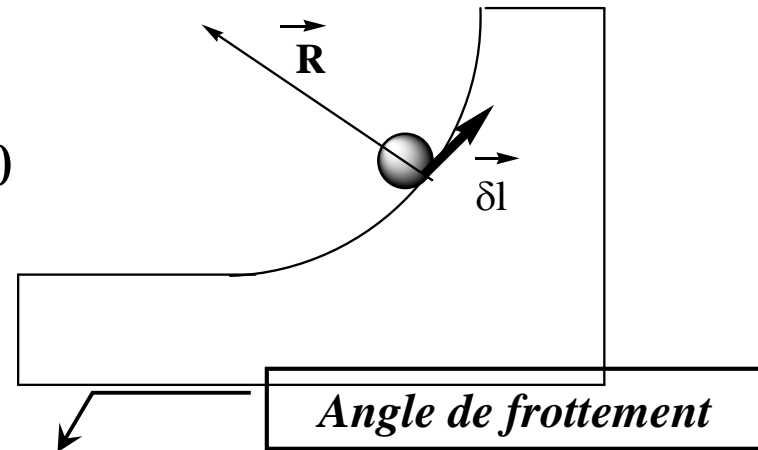
- Cas d'un plan incliné



$$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = \vec{R} \cdot \vec{AB} = R \cdot AB \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0$$

▪ Cas d'un plan curviligne

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = \vec{R} \cdot \vec{AB} = 0$$



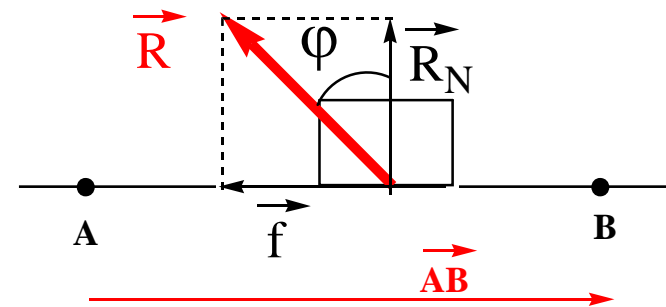
2-2/ Avec frottement

Coefficient de frottement

$$k = \tan(\phi) = \frac{f}{R_N}$$

▪ Cas d'un plan horizontal

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = \vec{R} \cdot \vec{AB} = (\vec{R}_N \vec{f}). \vec{AB}$$



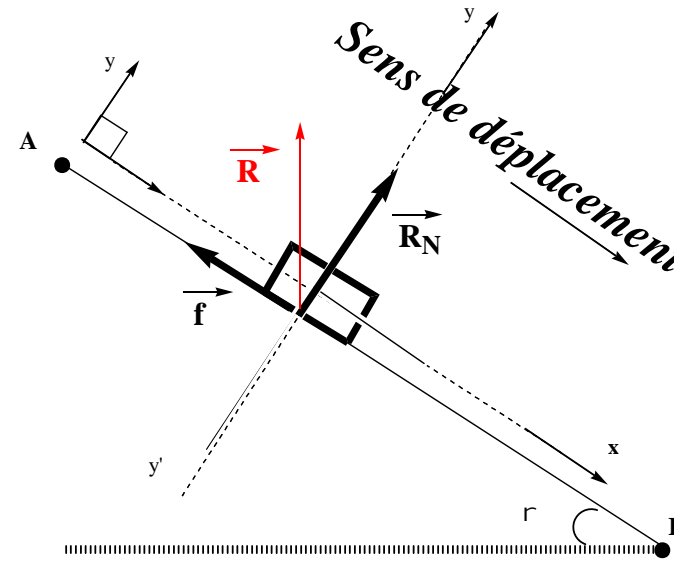
Travail résistant

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = \vec{R}_N \cdot \vec{AB} + \vec{f} \cdot \vec{AB} = -f \cdot AB$$

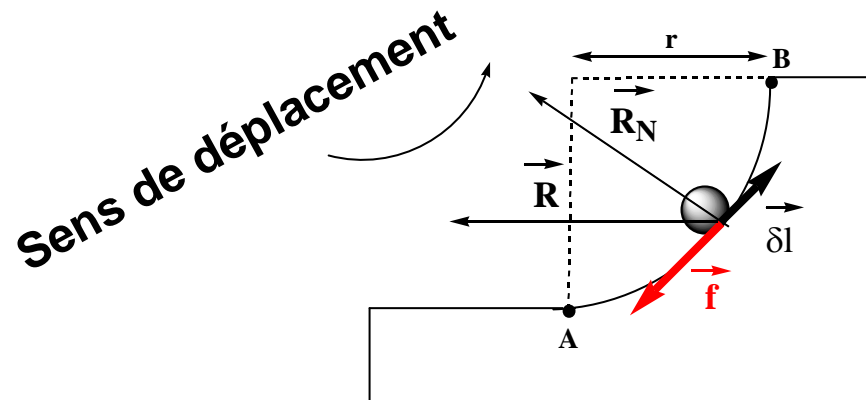
$$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = -f \cdot AB$$

▪ Cas d'un plan incliné

$$W(\vec{R})_{A \rightarrow B} = -f \cdot AB$$

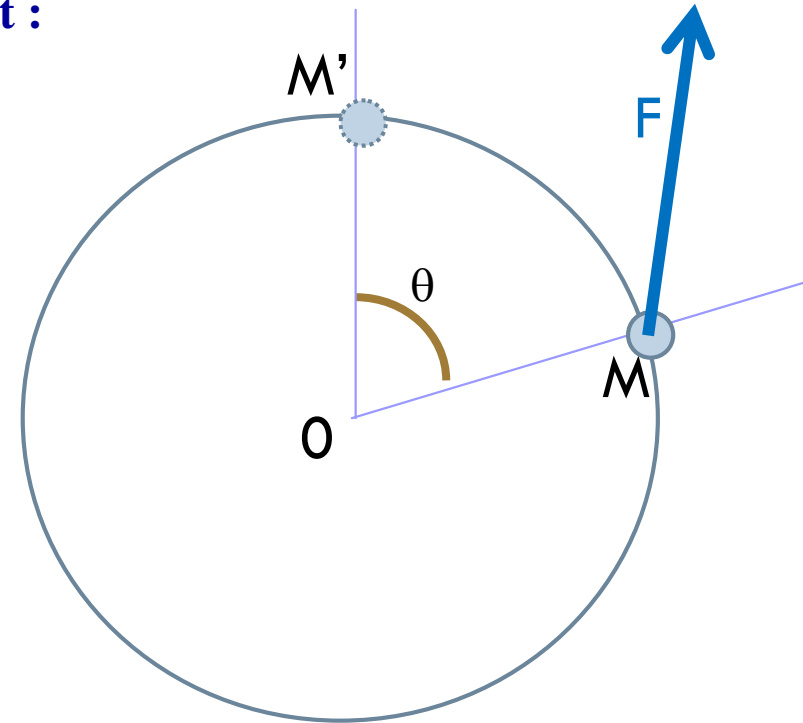


▪ Cas d'un plan curviligne



$$W(\vec{R})_{A \rightarrow B} = -f \cdot \widehat{AB} = -f \cdot r \cdot \theta$$

V) Travail d'une force de moment constant :



Moment (N.m)

$$W(\vec{F}) = M(\vec{F}) \cdot$$

Travail (J)

Angle de rotation (rad)

VI) Puissance d'une force :

□ Puissance moyenne :

La puissance moyenne d'une force est le quotient du travail de cette force par la durée Δt pour réaliser ce travail.

$$P_m = \frac{W}{\Delta t}$$

L'unité de la puissance dans le système international est le watt

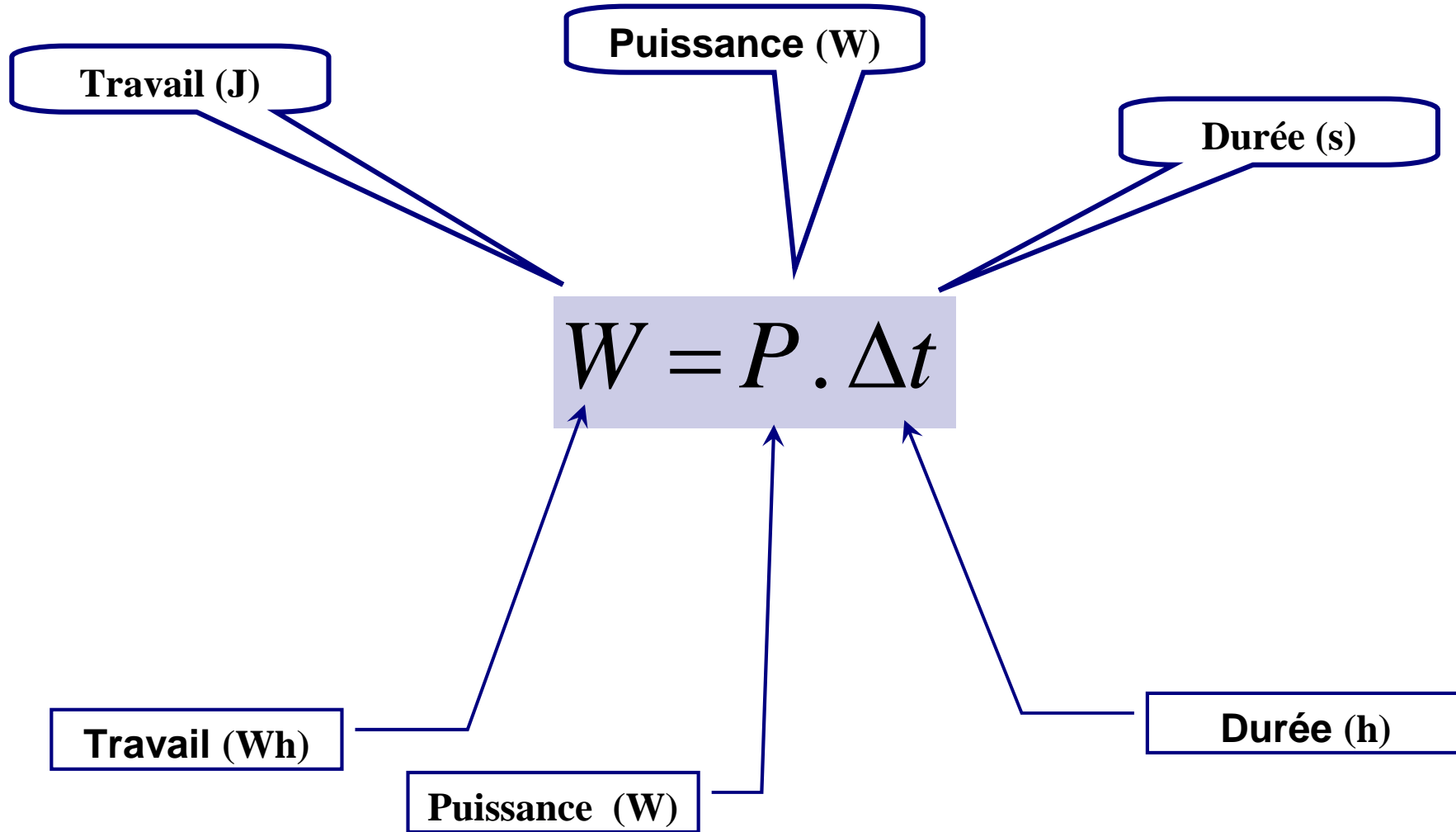
□ Puissance instantanée :

Si la force \vec{F} réalise un travail élémentaire uW pendant une durée très petite ut donc la puissance instantanée de cette force :

$$P = \frac{{}^uW}{{}^ut}$$

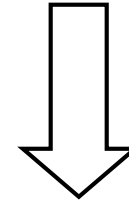
$${}^uW = \vec{F} \cdot \vec{u}l \quad \Rightarrow \quad P = \vec{F} \cdot \frac{\vec{u}l}{{}^ut} \quad \Rightarrow \quad P = \vec{F} \cdot \vec{V}$$

vitesse linéaire
m/s



VI) Puissance d'une force de moment constant :

$$P = \frac{W(\vec{F})}{t} ; W(\vec{F}) = M(\vec{F}) \times$$



$$P = \frac{M(\vec{F}) \times}{t} = M(\vec{F}) \times \frac{1}{t} = M(\vec{F}) \times \check{S}$$

Moment (N.m)

$$P = M(\vec{F}) \cdot \check{S}$$

Puissance (W)

Vitesse angulaire (rad/s)

Travail et énergie cinétique

I- Energie cinétique d'un solide en translation :

1- Notion de l'énergie cinétique :

L'énergie cinétique d'un solide est l'énergie qu'il possède du fait de son mouvement.

L'énergie cinétique se note E_C ; c'est un nombre toujours positif qui s'exprime en Joule (J) dans le S.I.

2- Energie cinétique d'un solide en translation :

L'énergie cinétique E_C d'un solide en translation est donnée par la formule :

$$E_C = \frac{1}{2} m \cdot V^2 \quad \begin{cases} E_C : \text{énergie cinétique du solide en joules (J)} \\ m : \text{masse du solide en kg} \\ v : \text{Vitesse du solide en m.s}^{-1} \end{cases}$$

Remarque :

Comme la valeur de la vitesse, l'énergie cinétique dépend du référentiel choisi.

3- Energie cinétique d'un solide en rotation :

Soit un solide indéformable de masse M en mouvement de rotation autour d'un axe fixe (Δ) de vitesse angulaire ω .

Chaque point de solide A_i a une masse m_i est une vitesse linéaire v_i donc il possède une énergie cinétique $E_{Ci} = \frac{1}{2} m_i \cdot v_i^2$.

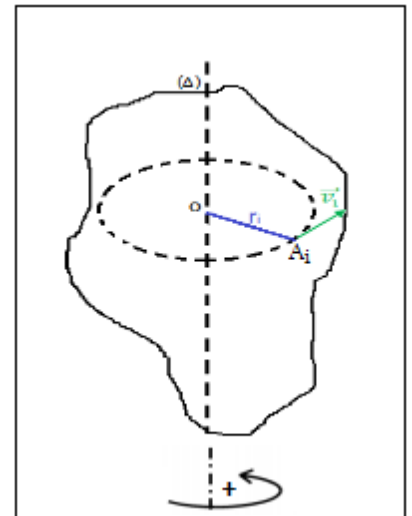
On sait que $v_i = r_i \cdot \omega$ avec r_i est le rayon de la trajectoire circulaire du point A_i .

Donc :
$$E_{Ci} = \frac{1}{2} m_i \cdot r_i^2 \cdot \omega^2$$

L'énergie cinétique totale du solide :

$$E_C = \sum_{i=1}^n E_{Ci} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} m_i \cdot r_i^2 \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot \omega^2 \cdot \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2$$

On pose : $J_\Delta = \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2$ d'où : $E_C = \frac{1}{2} J_\Delta \cdot \omega^2$



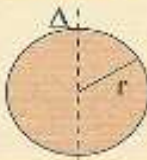
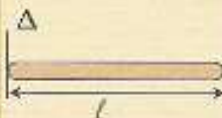


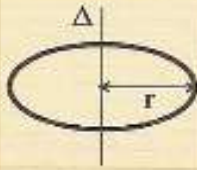
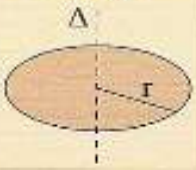
J_{Δ} : s'appelle le moment d'inertie du solide par rapport à l'axe de rotation (Δ) . Il dépend de la répartition de la masse autour de l'axe de rotation.

Définition :

L'énergie cinétique d'un solide en rotation autour d'un axe fixe de moment d'inertie J_{Δ} et de vitesse angulaire ω est :

$$E_C = \frac{1}{2} J_{\Delta} \cdot \omega^2 \quad \begin{cases} E_C : \text{énergie cinétique du solide en (J)} \\ J_{\Delta} : \text{moment d'inertie du solide en (kg.m}^2\text{)} \\ \omega : \text{Vitesse angulaire du solide en rad.s}^{-1} \end{cases}$$

- Les expressions des moments d'inertie de quelques solides homogènes :

Corps	Sphère	Tige	Tige	Cylindre	Anneau	Disque
						
Moment d'inertie	$J_{\Delta} = \frac{2}{5} m \cdot r^2$	$J_{\Delta} = \frac{1}{3} m l^2$	$J_{\Delta} = \frac{1}{12} m l^2$	$J_{\Delta} = \frac{1}{2} m \cdot r^2$	$J_{\Delta} = m \cdot r^2$	$J_{\Delta} = \frac{1}{2} m \cdot r^2$

Application 1 :

On considère un disque homogène de masse $m = 800g$ et de rayon $r = 30cm$ tourne à la fréquence de $\frac{100}{3} tr/min$.

son centre d'inertie par rapport à l'axe de rotation (Δ) est $J_{\Delta} = \frac{1}{2} m \cdot r^2$.

- Déterminer l'énergie cinétique du disque.

$$E_C = \frac{1}{2} J_{\Delta} \cdot \omega^2 \quad \text{avec : } J_{\Delta} = \frac{1}{2} m \cdot r^2$$

$$E_C = \frac{1}{4} m \cdot r^2 \cdot \omega^2$$

$$E_C = \frac{1}{4} \times 0,8 \times (0,3)^2 \times \left(\frac{100 \times 2\pi}{60} \right)^2$$

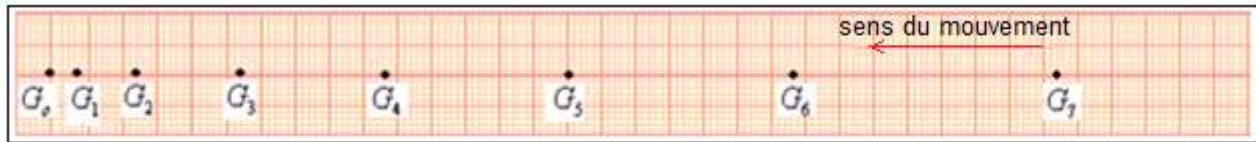
$$E_C \approx 0,22 J$$

II- Théorème de l'énergie cinétique :

1- Activité :

On abandonne, sans vitesse initiale, un autoporteur de masse $m = 700g$ sur une table à coussin d'air inclinée d'un angle $\alpha = 10^\circ$ par rapport à l'horizontale.

On enregistre les positions du centre d'inertie toutes les $60ms$, on obtient l'enregistrement :



$$G_0G_1 = 3mm, G_1G_2 = 9mm, G_2G_3 = 15mm, G_3G_4 = 21mm, G_4G_5 = 27mm, G_5G_6 = 33mm, G_6G_7 = 39mm$$

On prend : $g = 9,8 N/kg$

- 1- Faire le bilan des forces extérieures agissant sur le mobile.
- 2- Déterminer l'expression de travail de chaque force, quand le centre d'inertie de l'autoporteur se déplace de la position G_3 à la position G_5 . Déduire la somme des travaux des forces appliquées sur l'autoporteur entre ces deux positions $\sum W_{G_3 \rightarrow G_5}(\vec{F})$.
- 3- Calculer l'énergie cinétique de l'autoporteur dans chaque positions G_3 et G_5 . Et déduire $\Delta E_C = E_{C5} - E_{C3}$ la variation de l'énergie cinétique de l'autoporteur.
- 4- Déduire la relation entre $\Delta E_C = E_{C5} - E_{C3}$ de l'autoporteur et $\sum W_{G_3 \rightarrow G_5}(\vec{F})$.

Exploitation :

1- L'autoporteur est soumis à deux forces :

\vec{P} : Poids de l'autoporteur

\vec{R} : Réaction de plan incliné

2- L'expression de travail de poids :

$$W_{G_3 \rightarrow G_5}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot G_3G_5 \cdot \sin\alpha = 0,7 \times 9,8 \times 48 \times 10^{-3} \times \sin(10^\circ) = 0,057 J$$

$$W_{G_3 \rightarrow G_5}(\vec{R}) = 0 \rightarrow \vec{R} \perp \overrightarrow{G_3G_5}$$

$$\sum W_{G_3 \rightarrow G_5}(\vec{F}) = W_{G_3 \rightarrow G_5}(\vec{P}) + W_{G_3 \rightarrow G_5}(\vec{R}) = 0,057 J$$

3- Energie E_{C3} et E_{C5} :

$$\text{Vitesse instantanée en } G_3 : v_3 = \frac{G_2 G_4}{2\tau} = \frac{36 \times 10^{-3}}{2 \times 60 \times 10^{-3}} = 0,30 \text{ m/s}$$

$$\text{Vitesse instantanée en } G_5 : v_5 = \frac{G_4 G_6}{2\tau} = \frac{60 \times 10^{-3}}{2 \times 60 \times 10^{-3}} = 0,50 \text{ m/s}$$

$$\text{Energie cinétique } E_{C3} : E_{C3} = \frac{1}{2} m \cdot v_3^2 = \frac{1}{2} \times 0,7 \times 0,3^2 = 0,0315 \text{ J}$$

$$\text{Energie cinétique } E_{C5} : E_{C5} = \frac{1}{2} m \cdot v_5^2 = \frac{1}{2} \times 0,7 \times 0,5^2 = 0,0875 \text{ J}$$

Variation de l'énergie cinétique ΔE_C :

$$\Delta E_C = E_{C5} - E_{C3} = 0,0875 - 0,0315 = 0,056 \text{ J}$$

4- Conclusion :
$$\Delta E_C \simeq \sum W_{G_3 \rightarrow G_5}(\vec{F})$$

2- Enoncé du théorème de l'énergie cinétique :

Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique ΔE_C d'un solide en translation ou en rotation autour d'un axe fixe, entre deux instants t_1 et t_2 est égale à la somme algébrique des travaux de toutes les forces extérieures appliquées au solide entre ces deux instants t_1 et t_2 .

$$\Delta E_C = E_{C2} - E_{C1} = \sum W_{AB}(\vec{F}_{ext})$$

Cas de mouvement de translation : $\Delta E_C = \frac{1}{2} m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_1^2$

Cas de mouvement de rotation : $\Delta E_C = \frac{1}{2} J_{\Delta} \cdot \omega_2^2 - \frac{1}{2} J_{\Delta} \cdot \omega_1^2$

3- Activité 2 :

Une bille d'acier de masse $m = 100g$, est maintenue par un électroaimant ; quand on ouvre le circuit d'alimentation, la bille tombe d'un mouvement rectiligne vertical.

Grace à un dispositif convenable on a obtenu les résultats indiqués dans le tableau suivant :

Hauteur h (en m)	Temps t (en s)	Vitesse v (en m/s)	v^2 (en m^2/s^2)
0,00	0,00	0,00	
0,1	142,85	1,40	
0,2	202,04	1,98	

0,4	285,71	2,80	
0,6	350,00	3,43	
0,8	404,08	3,96	
1,0	451,02	4,42	

1- Compléter le tableau ci-dessus.

2- Tracer la courbe $v^2 = f(h)$ représentant la variation v^2 en fonction de h . Que pouvons-nous en déduire.

3- Trouver le coefficient directeur de la courbe obtenu en précisant son unité.

On donne $g = 9,8 \text{ N/kg}$ et $1 \text{ N/kg} = 1 \text{ m/s}^2$

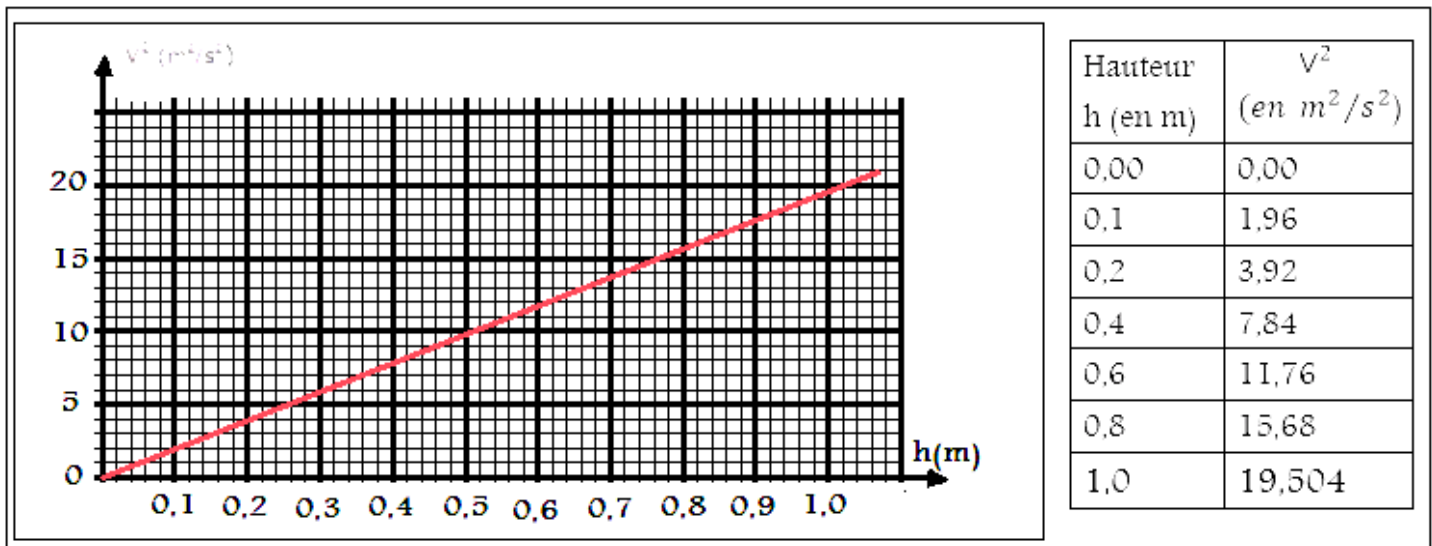
4- comparer la grandeur $\frac{1}{2} m.v^2$ et (\vec{P}) . Que peut-on en conclure ?

5- vérifier par calcul la relation $\Delta E_C = W(\vec{P})$ à la hauteur $h = 1,0\text{m}$.

Correction

1- voir tableau ci-dessus :

2- Voir courbe $v^2 = f(h)$:



3- La courbe est une droite son équation est : $v^2 = a.h$

a est le coefficient directeur sa valeur est : $a = \frac{\Delta v^2}{\Delta h} = \frac{7,84-1,96}{0,4-0,1} = 19,6 \text{ m/s}^2$

4- Comparaison des 2 grandeurs :

On remarque que : $a = 2g$ avec $g = 9,8 \text{ N/kg} = 9,8 \text{ m/s}^2$

Donc l'équation de la droite est : $v^2 = 2g.h$

$$\frac{1}{2}m.v^2 = \frac{1}{2}m.2g.h$$

$$\frac{1}{2}m.v^2 = m.g.h$$

$\frac{1}{2}m.v^2$ représente la variation de l'énergie cinétique ΔE_C et $m.g.h$ représente le travail de poids $W(\vec{P})$ donc :

$$\Delta E_C = W(\vec{P})$$

5- Vérification de la relation :

$$W(\vec{P}) = m.g.h = 0,1 \times 9,8 \times 1,0 = 0,98 \text{ N}$$

$$\Delta E_C = E_{Cf} - E_{Ci} = \frac{1}{2}m.v^2 - 0 = \frac{1}{2} \times 0,1 \times 19,54 = 0,98 \text{ J}$$

Donc :

$$\Delta E_C = W(\vec{P})$$

Exercices d'applications

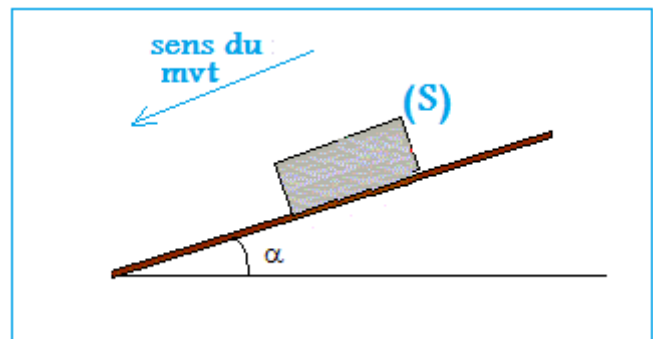
Exercice 1 :

Un solide (S), de masse $m = 60 \text{ kg}$, glisse sur un plan incliné d'angle $\alpha = 15^\circ$ par rapport au plan horizontal (voir figure).

Le solide (S) est lâché du point A sans vitesse initiale, après un parcours de $AB = 100 \text{ m}$ sa vitesse devient $V_B = 45 \text{ km/h}$. On donne $g = 10 \text{ N/kg}$

1- Calculer la force de frottement f sachant que son intensité reste constante.

2- le solide (S) poursuit son mouvement sur le plan horizontal BC. Calculer la distance parcourue par le solide sur le plan horizontal avant de s'arrêter.



Corrigé

1- Système étudié : le solide S

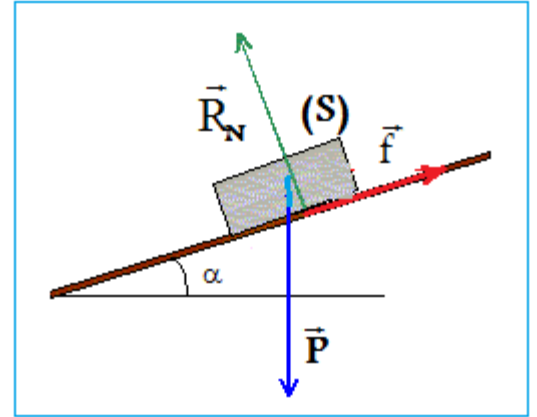
Bilan des forces exercées sur le solide (S) : \vec{P} ; \vec{R}

On applique le théorème de l'énergie cinétique sur le solide (S) :

$$\Delta E_C = E_{C2} - E_{C1} = W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{R})$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_N) + W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = \vec{R}_N \cdot \vec{AB} + \vec{f} \cdot \vec{AB}$$
$$= 0 - f \cdot AB$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v_B^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_A^2 = m \cdot g \cdot AB \cdot \sin \alpha - f \cdot AB$$



$$f \cdot AB = m \cdot g \cdot AB \cdot \sin \alpha - \frac{1}{2} m \cdot v_B^2$$

$$f = \frac{m \cdot g \cdot AB \cdot \sin \alpha - \frac{1}{2} m \cdot v_B^2}{AB} = m \cdot g \cdot \sin \alpha - \frac{m \cdot v_B^2}{2AB}$$

$$f = 60 \times 10 \times \sin(15^\circ) - \frac{60 \times \left(\frac{45}{3,6}\right)^2}{2 \times 100} = 142N$$

2- Distance parcourue L :

On applique le théorème de l'énergie cinétique sur le solide (S) :

$$\Delta E_C = E_{CC} - E_{CB} = W_{B \rightarrow C}(\vec{P}) + W_{B \rightarrow C}(\vec{R})$$

$$0 - \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 = -f \cdot L$$

$$L = \frac{m \cdot v_B^2}{2 \cdot f} \Rightarrow L = \frac{60 \times \left(\frac{45}{3,6}\right)^2}{2 \times 142} = 33m$$

Exercice 2 :

Un moteur effectue une puissance constante sur un cylindre $P = 10W$.

Le cylindre de masse $m = 2 kg$ et de rayon $r = 20 cm$, tourne autour d'un axe fixe (Δ) qui passe par son centre d'inertie.

On donne le moment d'inertie du cylindre : $J_{\Delta} = \frac{1}{2}m.r^2$

1- Calculer la durée du temps Δt nécessaire pour que la fréquence du cylindre devienne $N = 10 tr/s$, on considère que les frottements sont négligeables.

2- A la fréquence $N = 10 tr/s$, on applique tangentiellement à la circonférence du cylindre une force \vec{F} constante, pour que le mouvement devienne uniforme, calculer la valeur de la force F .

Corrigé

1- La durée Δt nécessaire pour que la fréquence du cylindre devienne $N = 10 tr/s$:

Système étudié : le cylindre

Bilan des forces exercées sur le cylindre :

\vec{P} : Poids du cylindre

\vec{R} : Action de l'axe de rotation

Action du moment du couple moteur M_c .

On applique le théorème de l'énergie cinétique sur le cylindre :

$$\Delta E_C = E_{Cf} - E_{Ci} = W(\vec{P}) + W(\vec{R}) + W(C)$$

$$W(\vec{P}) = W(\vec{R}) = 0$$

$$\frac{1}{2}J_{\Delta} \cdot \omega^2 - 0 = 0 + 0 + \mathcal{P} \cdot \Delta t$$

$$J_{\Delta} = \frac{1}{2}m.r^2 ; \omega = 2\pi.N$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}m.r^2 \cdot (2\pi N)^2 = \mathcal{P} \cdot \Delta t$$

$$\pi^2 \cdot m \cdot r^2 \cdot N^2 = \mathcal{P} \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{\pi^2 \cdot m \cdot r^2 \cdot N^2}{\mathcal{P}}$$

$$\Delta t = \frac{\pi^2 \times 2 \times 0,2^2 \times 10^2}{10} = 7,9 s$$

2- La valeur de la force F :

Bilan des forces exercées sur le cylindre :

\vec{P} : Poids du cylindre

\vec{R} : Action de l'axe de rotation

Action du moment du moteur C

L'action de la force \vec{F}

On applique le théorème de l'énergie cinétique sur le cylindre :

$$\Delta E_C = E_{Cf} - E_{Ci} = W(\vec{P}) + W(\vec{R}) + W(C) + W(\vec{F})$$

$$0 = W(C) + W(\vec{F})$$

$$M_{\Delta}(\vec{F}) + M(C) = 0$$

$$\text{on a : } M_{\Delta}(\vec{F}) = -F.r \text{ et } M(C)\omega = \mathcal{P} \Rightarrow M(C) = \frac{\mathcal{P}}{\omega}$$

$$-F.r + \frac{\mathcal{P}}{\omega} = 0$$

$$F = \frac{\mathcal{P}}{2\pi.N.r}$$

$$F = \frac{10}{2\pi \times 10 \times 0,2} = 0,79 \text{ N}$$

3- Le travail : mode de transfert d'énergie.

3-1. Travail et énergie cinétique.

I- Introduction :

ACTIVITE I : CHUTE SUR PLAN INCLINE

ACTIVITE II : DEGAT DE COLLISION

Nous avons montré en TP qu'il existe une relation entre le travail du poids et la vitesse du mobile. Le travail du poids pour un déplacement entre les points A et B vaut :

$$W () = -m v_B^2 - -m v_A^2$$

ou v_A et v_B sont les vitesses instantanées du point d'application de la force aux points A et B. Nous constatons donc, qu'au travail du poids, correspond la différence entre deux termes de la forme $-m v^2$.

Ainsi la quantité $-m v^2$ s'exprimant en joule, comme le travail, est homogène à une énergie.

Définition : On dit qu'un corps possède de l'énergie s'il peut effectuer une action sur lui-même ou sur d'autres corps .

II- Énergie cinétique d'un solide :

1) Définition :

L'énergie cinétique est l'énergie que possède un solide du fait de son mouvement. Elle dépend de la vitesse et de la masse du solide.

2) Énergie cinétique d'un solide en translation :

L'énergie cinétique E_c d'un solide en mouvement de translation est égale au demi-produit de la masse m du solide par le carré de la vitesse v_G du centre d'inertie G du solide.

$$\text{On écrit : } E_c = -mv_G^2$$

Unités : E_c en joule J, m en kilogramme kg, et v en mètre / seconde $m.s^{-1}$

Remarque : La masse du solide est la somme des masses m_i (m_i représente la masse de la $i^{\text{ème}}$ particule M_i constituant le solide) : $m = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + \dots$

En multipliant terme à terme par $-v_G^2$ on trouve : $-mv_G^2 = -m_1v_G^2 + -m_2v_G^2 + -m_3v_G^2 + \dots$

Or pour un solide animé d'un mouvement de translation, tous les points du solide ont à chaque instant la même vitesse que le centre d'inertie G : $V_G = V_1 = V_2 = V_3 = \dots$ on conclue que :

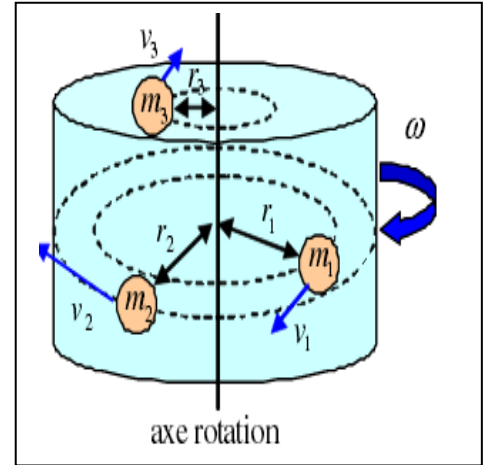
$$-mv_G^2 = -m_1v_1^2 + -m_2v_2^2 + -m_3v_3^2 + \dots$$

L'énergie cinétique E_c d'un solide en mouvement est donc la somme des énergies cinétique des points qui le constituent.

3)- Énergie cinétique d'un solide en rotation :

3.1. Moment d'inertie d'un solide par rapport à l'axe de rotation :

Lorsqu'un corps effectue une rotation à vitesse angulaire ω autour d'un axe, le corps est en mouvement et possède une énergie cinétique. Puisque l'ensemble du corps se meut avec une vitesse angulaire commune ω , on peut définir une énergie cinétique à partir de cette vitesse angulaire.



$$\text{Energie cinétique du solide} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + \frac{1}{2} m_3 v_3^2 + \dots$$

La vitesse linéaire de translation (circulaire) de chacune des points M_i est proportionnelle à la vitesse angulaire de rotation du système puisque $v = r \omega$.

En remplaçant les vitesses linéaires v_1, v_2, \dots par $r_1 \omega, r_2 \omega, \dots$ dans l'équation précédente (r_i représente le rayon de la trajectoire circulaire que la $i^{\text{ème}}$ particule décrit lorsque le solide est en rotation). on obtient:

$$\text{Energie cinétique} = \frac{1}{2} m_1 (r_1 \omega)^2 + \frac{1}{2} m_2 (r_2 \omega)^2 + \frac{1}{2} m_3 (r_3 \omega)^2 + \dots$$

$$\text{Energie cinétique} = \frac{1}{2} (m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots) \omega^2$$

L'expression $m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots$ est appelé moment d'inertie noté J_Δ , c'est une grandeur géométrique qui met en évidence l'importance qu'a la distribution de la masse autour de l'axe de rotation.

L'unité du moment d'inertie J_Δ est kilogramme mètre carré (kg.m^2)

3.2. Définition de l'énergie cinétique de rotation :

L'énergie cinétique E_c d'un solide en mouvement de rotation est égale au demi-produit du moment d'inertie J_Δ du solide par le carré de la vitesse angulaire ω du solide.

$$\text{On écrit : } E_c = \frac{1}{2} J_\Delta \omega^2$$

Unités : E_c en joule J, J_Δ en kilogramme mètre carré kg.m^2 , et ω en radian/ seconde rad.s^{-1}

III- Théorème de l'énergie cinétique.

On a vu que le travail des forces extérieures peut faire varier la vitesse d'un solide donc son énergie cinétique. On dit que le travail mécanique est un mode de transfert de l'énergie.

ACTIVITE III : TP (EXPLOITATION DU PLAN INCLINE ACTIVITE I)

1)- Énoncé du théorème de l'énergie cinétique dans le cas d'une translation :

Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un solide en mouvement de translation entre deux instants t_I et t_F est égale à la somme des travaux des forces extérieures qui lui sont appliquées entre ces deux instants. On écrit :

$$\Delta E_C = E_C(t_F) - E_C(t_I) = \sum W(\vec{F}_{ext})$$

2)- Énoncé du théorème de l'énergie cinétique dans le cas d'une rotation :

Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un solide en mouvement de rotation entre deux instants t_I et t_F est égale à la somme des travaux des forces extérieures et des couples qui lui sont appliquées entre ces deux instants. On écrit :

$$\Delta E_C = E_C(t_F) - E_C(t_I) = \sum W(\vec{F}_{ext}) + \sum W(C)$$

TRAVAIL ET ENERGIE CINETIQUE

1- Définitions

L'énergie cinétique d'un système est l'énergie qu'il possède du fait de son mouvement. L'énergie cinétique se note E_c ; c'est un nombre toujours positif qui s'exprime en Joules (J) dans le S.I.

Comme la valeur de la vitesse, l'énergie cinétique dépend du référentiel choisi.

2- ENERGIE CINETIQUE D'UN SOLIDE EN TRANSLATION :

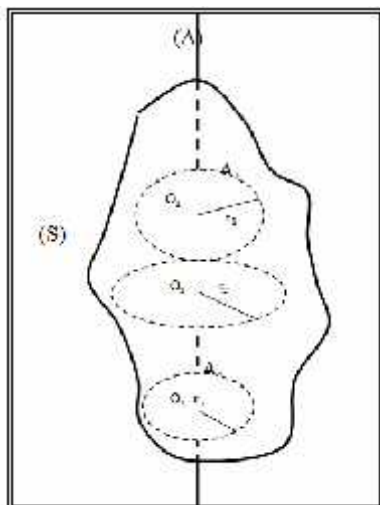
Pour un solide assimilable à un point matériel ou pour un solide en translation, l'énergie cinétique est donnée par la formule :

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E_c : \text{énergie cinétique du solide en Joules (J)} \\ m : \text{masse du solide en kg} \\ v : \text{vitesse du solide en m.s}^{-1} \end{array} \right.$$

3- ENERGIE CINETIQUE D'UN SOLIDE EN ROTATION AUTOUR D'UN AXE FIXE:

Pour un solide assimilable à un point matériel ou pour un solide en rotation autour d'un axe fixe, l'énergie cinétique est donnée par la formule :



$$E_c(A_i) = \frac{1}{2} \times m \times V_i^2$$

$$E_c = \sum E_c(A_i) = \sum \frac{1}{2} \times m \times V_i^2 \quad \text{①}$$

Or

$$V_i = r_i \times$$

Donc :

$$E_c = \sum \frac{1}{2} \times m \times (r_i \times)^2 = \sum \frac{1}{2} \times m \times r_i^2 \times ^2$$

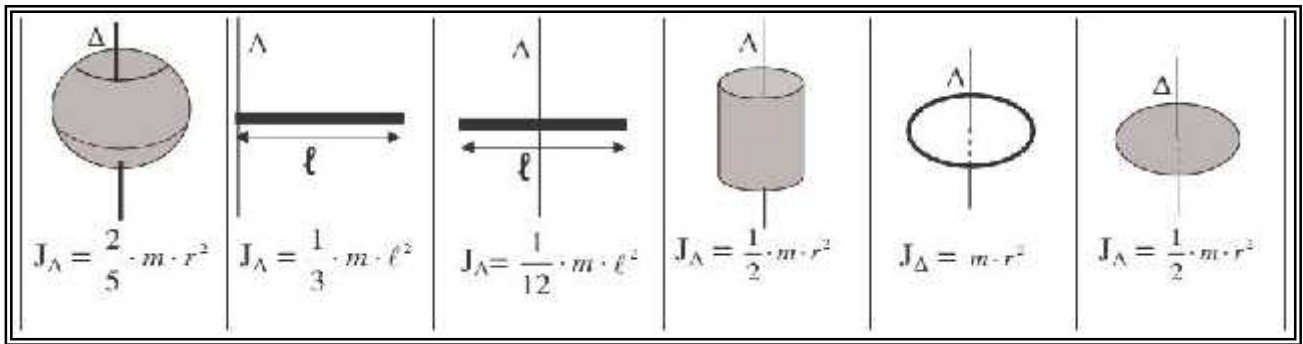
$$E_c = \frac{1}{2} \times \left(\sum m \times r_i^2 \right) \times \omega^2$$

Avec:

$$J = \sum m \times r_i^2$$

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2$$

$\left\{ \begin{array}{l} E_c : \text{énergie cinétique du solide en Joules (J)} \\ J_\Delta : \text{moment d'inertie en kg.m}^2 \\ \omega : \text{vitesse angulaire du solide en rad.s}^{-1} \end{array} \right.$



4- THEOREME DE L'ENERGIE CINETIQUE

a. Enoncé

Dans un référentiel galiléen, lorsque le centre d'inertie d'un solide de masse M animé d'un mouvement de translation se déplace d'une position A à une position B, la variation de l'énergie cinétique du solide est égale à la somme des travaux des forces extérieures qui lui sont appliquées.

$$E_c = E_c(B) - E_c(A) = \sum_{A \rightarrow B} W(\vec{F})$$

b. Interprétation énergétique

Le travail des forces extérieures permet au solide en translation d'échanger de l'énergie avec l'extérieur :

- si le travail des forces appliquées est moteur ($\sum W_{AB}(F_{ext}) > 0$) l'énergie cinétique du solide augmente donc sa vitesse augmente.
- si le travail des forces appliquées est résistant ($\sum W_{AB}(F_{ext}) < 0$) l'énergie cinétique du solide diminue donc sa vitesse diminue.

Travail et énergie potentielle de pesanteur

Energie mécanique

1- Energie potentielle de pesanteur

1-Définition :

L'énergie potentielle d'un solide est l'énergie qu'il possède du fait de sa position rapport à la terre.

Exemple

L'eau possède une énergie potentielle due à sa position par rapport à la surface de la terre. Cette énergie est utilisée dans les barrages pour produire de l'électricité.

2- L'expression de l'énergie potentielle de pesanteur

Dans le repère $\mathcal{R}(O, \vec{k})$, l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} d'un solide est défini par :

$$E_{pp} = m \cdot g \cdot z + C \text{ avec: } \begin{cases} m: \text{masse du solide en (kg)} \\ g: \text{intensité de pesanteur en (N/kg)} \\ z: \text{altitude du centre de gravité du solide en (m)} \end{cases}$$

L'unité de l'énergie potentielle dans le (SI) est le joule (J).

C est une constante qui représente la valeur de l'énergie potentielle de pesanteur à l'état de référence.

3- L'état de référence

L'état de référence est un état qu'on choisit arbitrairement et pour lequel l'énergie potentielle est nulle.

Application :

Déterminons l'expression de l'énergie potentielle en choisissant l'état de référence ($E_{pp} = 0$) à $z = z_0$

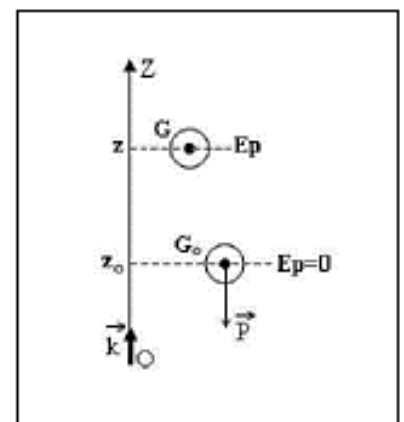
$$\text{Donc : } m \cdot g \cdot z_0 + C = 0 \text{ d'où : } C = -m \cdot g \cdot z_0$$

L'expression de l'énergie potentielle devient :

$$E_{pp} = m \cdot g \cdot z - m \cdot g \cdot z_0 \text{ donc : } E_{pp} = m \cdot g \cdot (z - z_0)$$

Si on prend $z_0 = 0$ alors l'expression de l'énergie potentielle devient :

$$E_{pp} = m \cdot g \cdot z$$



Remarque

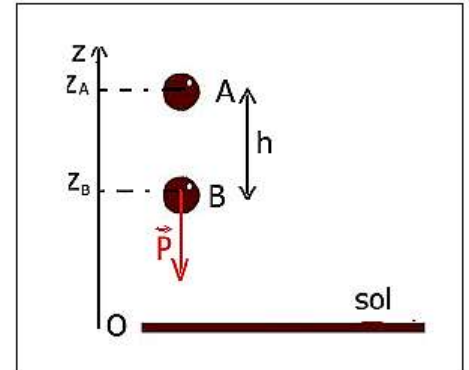
- Si $z > z_0$: on a $E_{pp} > 0$
- Si $z < z_0$: on a $E_{pp} < 0$
- L'énergie potentielle de pesanteur d'un solide augmente avec l'altitude z .

3- Variation de l'énergie potentielle de pesanteur :

Quand un corps solide se déplace d'un point A d'altitude z_A à un point B d'altitude z_B , la variation de l'énergie de pesanteur du corps est :

$$\Delta E_{pp} = E_{ppA} - E_{ppB} = m \cdot g \cdot z_A + C - (m \cdot g \cdot z_B + C) = m \cdot g \cdot (z_B - z_A)$$

$$\Delta E_{pp} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$$



La variation de l'énergie potentielle de pesanteur entre deux points est égale à l'opposé du travail du poids lors du déplacement entre ces deux points.

II- Energie mécanique :

1- Définition :

L'énergie mécanique d'un solide, à chaque instant, est égale à la somme de son énergie cinétique E_c et de son énergie potentielle de pesanteur E_{pp} :

$$E_m = E_c + E_{pp}$$

Cas de chute libre :

$$E_m = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot z + C$$

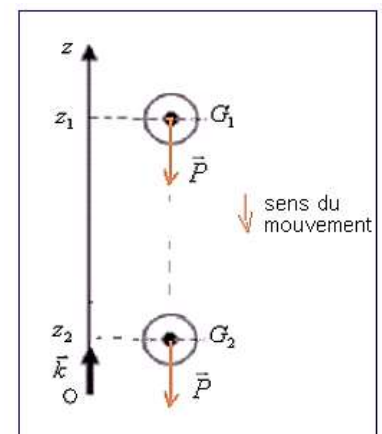
2- Conservation de l'énergie mécanique :

2-1- La chute libre

Un corps solide (S) en chute libre (il n'est soumis qu'à son poids), se déplace d'un point A à un point B.

D'après le théorème de l'énergie cinétique :

$$\Delta E_c = E_{cB} - E_{cA} = W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$$



On sait que :

$$\Delta E_{PP} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$$

Donc :

$$\Delta E_C = -\Delta E_{PP}$$

$$E_{CB} - E_{CA} = E_{PPA} - E_{PPB}$$

$$E_{CB} + E_{PPB} = E_{CA} + E_{PPA}$$

$E_{mB} = E_{mA} \rightarrow$ Il y a conservation de l'énergie mécanique

Conclusion :

L'énergie mécanique du solide en chute libre reste constante, on dit qu'elle se conserve.

Le poids est une forces conservative, son travail ne varie pas la valeur de l'énergie mécanique.

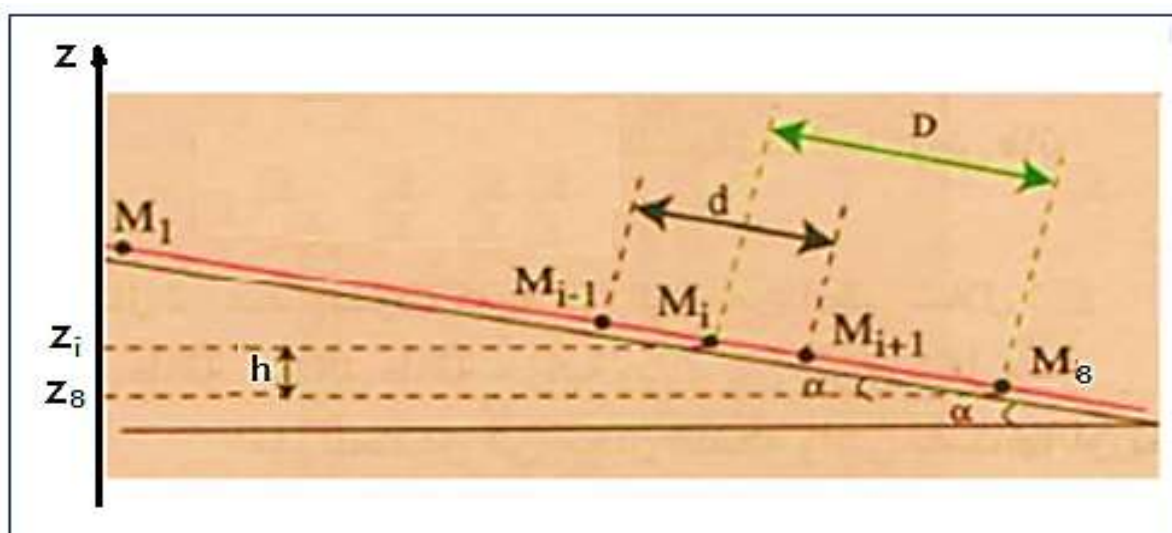
2-2- Cas d'un corps solide soumis à plusieurs forces sans frottement :

2-2-1- Activité expérimentale :

Etude du mouvement d'un autoporteur sur une table à coussin d'air inclinée

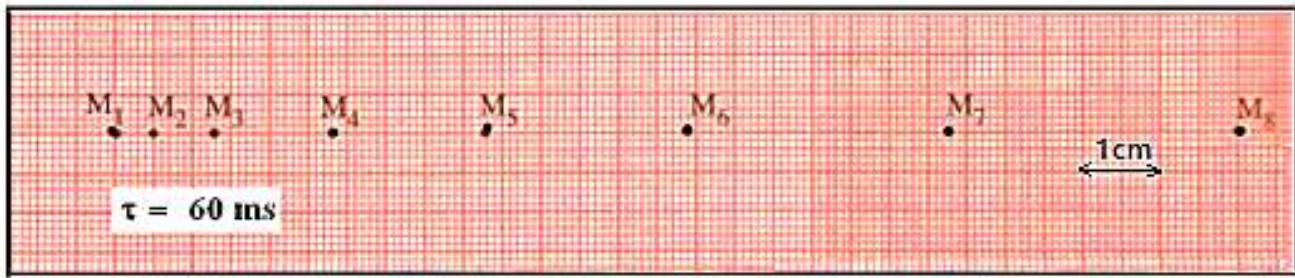
On dispose d'un autoporteur de masse $m = 732 \text{ g}$, posé sur une table à coussin d'air inclinée d'un angle $\alpha = 10^\circ$ par rapport à l'horizontale.

On prend $g = 9,8 \text{ N/kg}$.



L'autoporteur est abandonné sans vitesse initiale.

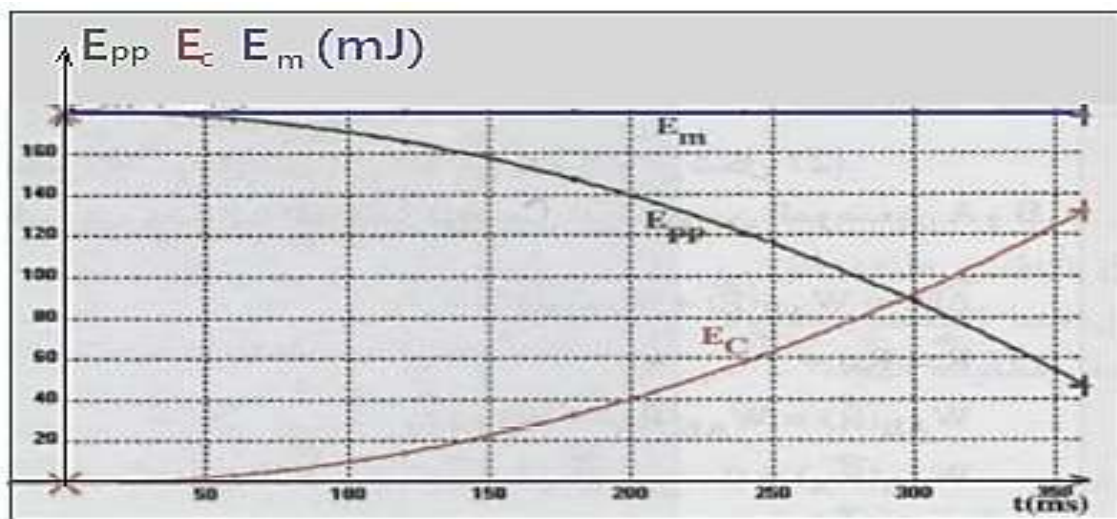
On enregistre les positions du centre d'inertie de l'autoporteur pendant des durées consécutifs et égaux $\tau = 60 \text{ ms}$, On obtient l'enregistrement suivant :



2-2-2- Le tableau des résultats :

Position M_i	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8
$t(\text{ms})$	0	60	120	180	240	300	360	420
$d = M_{i-1}M_{i+1}$	***	1,30	2,30	3,50	4,60	5,90	7,10	***
$D = M_i M_8 (10^{-1} \text{m})$	1,45	1,40	1,32	1,17	0,97	0,71	0,38	***
$E_c(\text{mJ})$	***	4,295	13,445	31,135	53,782	88,475	128,125	***
$E_{pp}(\text{mJ})$		174,395	164,43	145,745	120,831	88,443	47,336	***
$E_c + E_{pp}(\text{mJ})$	***	178,69	177,875	176,88	174,613	176,918	175,461	

2-2-3- Représentation des énergies E_c , E_{pp} et E_m en fonction du temps :



2-3- Conclusion :

Lorsqu'un système est soumis sous l'action des forces conservatives ou non conservatives, et que le travail des forces non conservatives est nul, alors son énergie mécanique se conserve.

3- Non conservation de l'énergie mécanique :

3-1- Etude du mouvement d'un corps solide avec frottement sur un plan incliné :

La variation de l'énergie mécanique s'écrit :

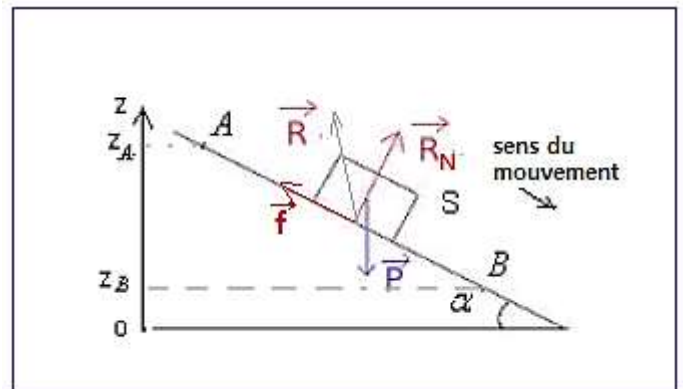
$$\Delta E_m = E_{mB} - E_{mA}$$

$$\Delta E_m = E_{CB} + E_{PPB} - E_{CA} - E_{PPA}$$

$$\Delta E_m = \Delta E_C + \Delta E_{PP}$$

D'après le théorème de l'énergie cinétique :

$$\Delta E_C = E_{CB} - E_{CA} = W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{R})$$



On sait que :

$$\Delta E_{PP} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$$

Donc :

$$\Delta E_C = -\Delta E_{PP} + W_{A \rightarrow B}(\vec{R})$$

$$\Delta E_m = \Delta E_C + \Delta E_{PP}$$

$$\Delta E_m = W_{A \rightarrow B}(\vec{R})$$

On a : $\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{f}$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_N) + W_{A \rightarrow B}(\vec{f})$$

$\vec{R}_N \perp \vec{AB}$ Donc : $W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_N) = 0$ et $W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{AB} = -f \cdot AB$

Donc :

$$\Delta E_m = W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = -f \cdot AB < 0$$

Conclusion :

La variation de l'énergie mécanique est égale au travail des forces de frottement. Une partie de l'énergie mécanique du système est convertie en chaleur Q :

$$\Delta E_m = W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = -Q$$

3-2- Application :

Un corps solide (S) de masse $m = 0,4 \text{ kg}$, peut glisser sans frottement sur un plan incliné AB de longueur $L = 1,2 \text{ m}$, d'un angle $\alpha = 30^\circ$ par rapport à l'horizontale.

Le solide (S) part du point A avec une vitesse $V_A = 2 \text{ m/s}$ et passe par le point B avec une vitesse $V_B = 1 \text{ m/s}$.

1- Calculer la variation de l'énergie mécanique ΔE_m

2- En appliquant la variation de l'énergie cinétique, montrer que : $\Delta E_m = W_{A \rightarrow B}(\vec{f})$

Solution :

Calcul de ΔE_m

On sait que $\Delta E_m = \Delta E_C + \Delta E_{PP}$

$$\text{Avec } \Delta E_C = E_{CB} - E_{CA} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (V_B^2 - V_A^2) = \frac{1}{2} \times 0,2 \times (2^2 - 1^2) = 0,3 \text{ J}$$

$$\Delta E_{PP} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = -m \cdot g \cdot h \text{ avec } h = L \cdot \sin \alpha$$

$$\Delta E_{PP} = -m \cdot g \cdot L \cdot \sin \alpha = -0,2 \times 10 \times 0,2 \times \sin(30^\circ) = -0,4 \text{ J}$$

$$\Delta E_m = \Delta E_C + \Delta E_{PP} = 0,3 - 0,4 = -0,1 \text{ J}$$

2- On applique le T.E.C entre les deux points A et B :

$$\Delta E_C = W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{R})$$

$$\Delta E_{PP} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$$

$$\Delta E_C = -\Delta E_{PP} + W_{A \rightarrow B}(\vec{R})$$

$$\Delta E_C + \Delta E_{PP} = W_{A \rightarrow B}(\vec{R})$$

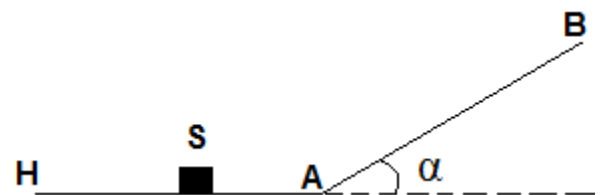
$$\Delta E_m = W_{A \rightarrow B}(\vec{R})$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = \underbrace{W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_N)}_{=0} + W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{f})$$

$$\Delta E_m = W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = -0,1 \text{ J} < 0$$

Exercice 1 :

Un objet ponctuel S, de masse $m = 2,00 \text{ kg}$, glisse sans frottement sur une piste horizontale (HA). Il aborde au point A une piste plane (AB) inclinée d'un angle $\alpha = 20^\circ$ par rapport à l'horizontale. Sa vitesse au point A est $v_A = 8,00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Déterminer la



longueur $L = AB$ dont l'objet remonte sur la piste AB .

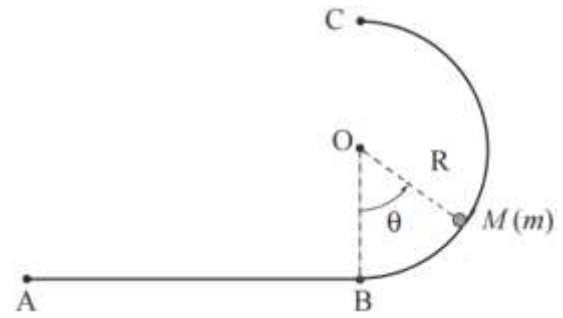
Exercice 2 :

Un solide ponctuel de masse m est lancé du point A sur une piste horizontale prolongée par un demi-cercle vertical de rayon R .

On donne : $AB = 1m$; $R = 1m$; $m = 0,5 kg$; $g = 9,81 N/kg$

1- Les frottements étant négligeable, calculer en A la vitesse minimale v_{min} que doit avoir l'objet pour qu'elle atteigne le pont C .

2- Même question lorsque les frottements entre l'objet et la piste sont assimilables à une force constante de norme $f = 1N$.





Le travail et l'énergie potentielle de pesanteur

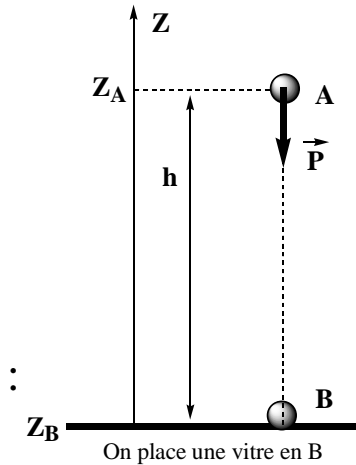
Activité : chute libre

vidéo N°1

- on lâche un corps (s) de masse m de la position A qui se trouve à la hauteur h du sol, sans vitesse initiale.
- une fois le corps (s) arrive en B, la vitre casse.

**Questions :*

1. quelle est la forme d'énergie qui a cassé la vitre ?
2. cette énergie provient d'une autre forme d'énergie : Laquelle ? Expliquer ? nommer-là ?



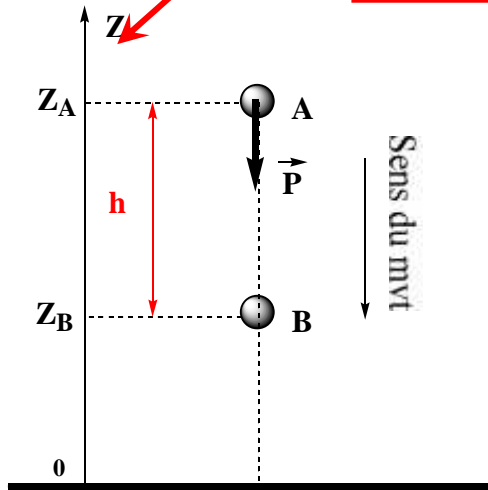
* *Réponses :*

- 1- Arrivé en B, le corps (s) de masse m a une vitesse V_B , donc énergie cinétique $E_c(B)$ qui a cassé la vitre.
- 2- si h est trop petite, la vitre ne casse pas donc, il y a une autre forme d'énergie dépend de l'altitude du corps(s). Comme on est en présence d'un champ de gravitation, donc cette énergie dépend aussi de la pesanteur g .

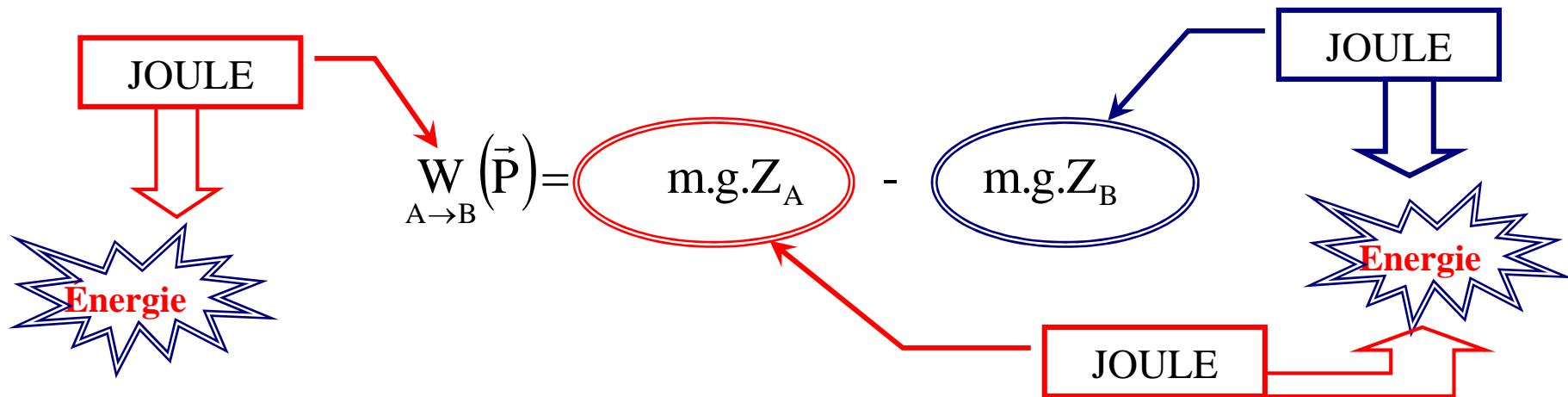
Conséquence :

A la position A, le corps (s) de masse emmagasine une énergie qui dépend de l'altitude et de la pesanteur : On la nomme : *énergie potentielle de pesanteur*. On la symbolise : E_{pp} .

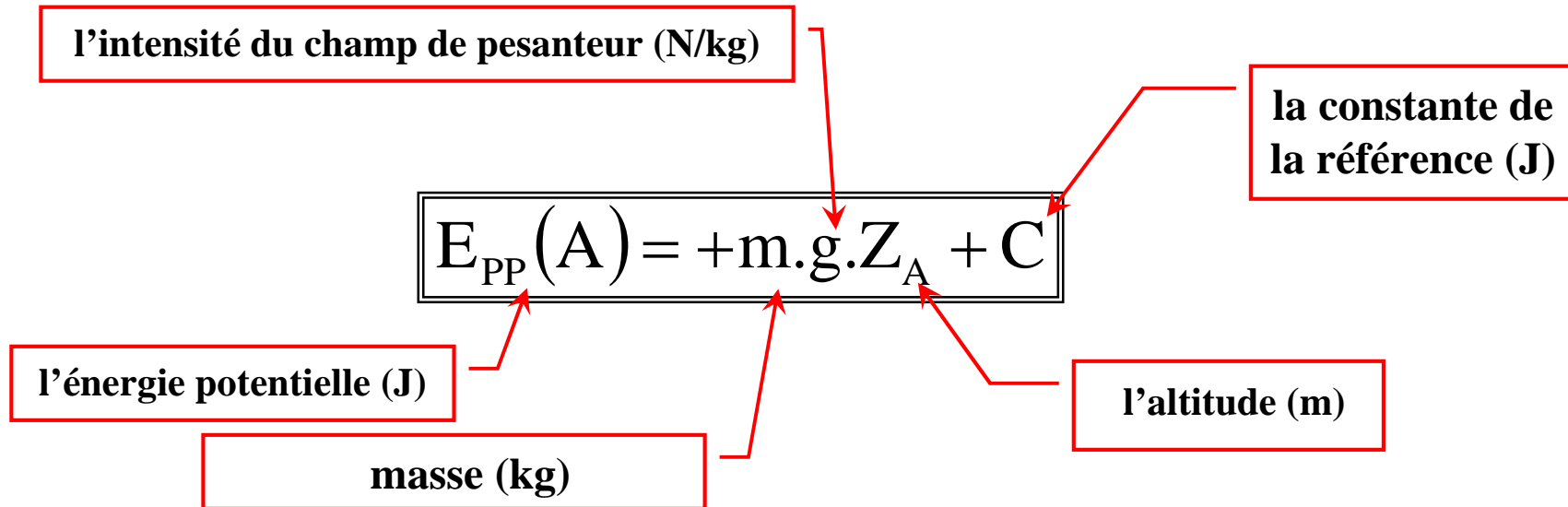
Attention le sens vers le haut



$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot h = m \cdot g \cdot (Z_A - Z_B)$$



Expression de l'énergie potentielle de pesanteur état de référence



$$E_{PP}(Z) = +m \cdot \underbrace{Z}_{\downarrow} \cdot \underbrace{g}_{\downarrow} + C$$

l'énergie potentielle de pesanteur

Détermination de la constante c :

En Z_{ref} on a $E_{\text{pp}} = 0$

On remplace dans l'expression générale

$$E_{\text{PP}}(Z_{\text{ref}}) = +m.g.Z_{\text{ref}} + C \Rightarrow C = -m.g.Z_{\text{ref}}$$

The diagram shows the final formula $E_{\text{PP}}(Z) = m.g.(Z - Z_{\text{ref}})$ enclosed in a blue box. A red circle with the number 1 is placed to the right of the formula. Two red arrows point from external red boxes to the formula: one points to Z_{ref} and is labeled "l'altitude de l'état de ref (m)", and the other points to Z and is labeled "l'altitude (m)".

$$E_{\text{PP}}(Z) = m.g.(Z - Z_{\text{ref}}) \quad \textcircled{1}$$

❑ Remarque :

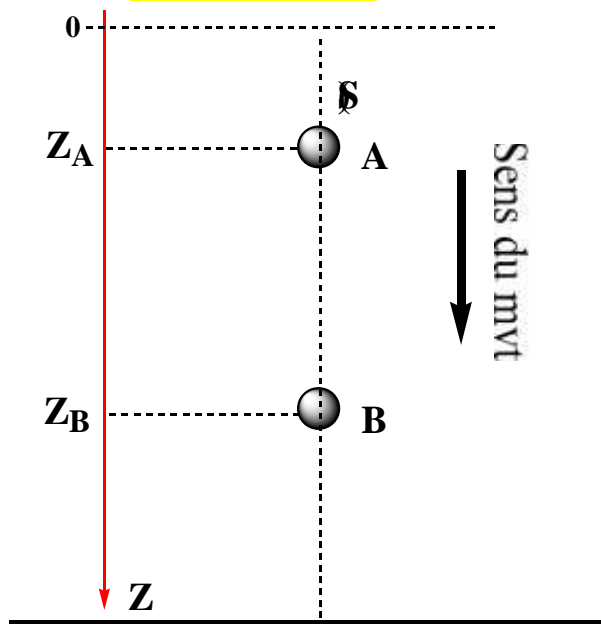
Pour la relation ①

$$\left\{ \begin{array}{l} Z > Z_{\text{ref}} : E_{\text{PP}} \text{ positif} \\ Z < Z_{\text{ref}} : E_{\text{PP}} \text{ négatif} \\ Z = Z_{\text{ref}} : E_{\text{PP}} \text{ nulle} \end{array} \right.$$

E_{pp} reste la même valeur pendant un déplacement horizontal .

E_{pp} est une grandeur algébrique tandis que E_c est toujours positive

Attention

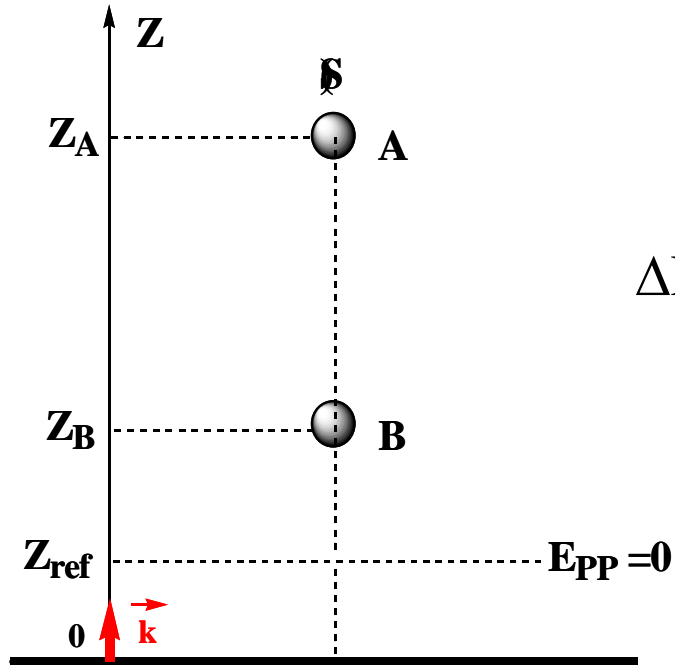


$$E_{\text{PP}}(Z) = - m.g.(Z - Z_{\text{ref}}) \quad \textcircled{2}$$

Attention le sens vers le haut

la variation énergie potentielle de pesanteur :

$$E_{PP}(A) = m.g.Z_A - m.g.Z_{ref} \quad E_{PP}(B) = m.g.Z_B - m.g.Z_{ref}$$



$$\Delta E_{PP} = E_{PP}(B) - E_{PP}(A)$$

$$\Delta E_{PP} = m.g.Z_B - \cancel{m.g.Z_{ref}} - m.g.Z_A + \cancel{m.g.Z_{ref}}$$

$$\Delta E_{PP} = m.g.Z_B - m.g.Z_A$$

$$\Delta E_{PP} = m.g.(Z_B - Z_A)$$

remarque

la variation de l'énergie potentielle ΔE_{PP} lors d'un déplacement d'un état initial à un état final ne dépend pas de la référence Z_{ref} .

La relation entre le travail du poids et E_{PP} :

la variation de l'énergie potentielle pendant le déplacement entre A et B:

$$\Delta E_{PP} = m.g.(Z_B - Z_A)$$

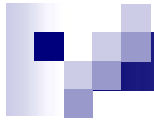
le travail du poids pendant le déplacement entre A et B:

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m.g.(Z_A - Z_B)$$

*la variation de l'énergie
potentielle (J)*

le travail du poids (J)

$$\Delta E_{PP} = - W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$$



L'énergie mécanique d'un corps solide

1 / introduction à l'énergie mécanique

Dans une chute libre en l'absence de frottement d'un corps (S) de masse m , de A vers B.

D'après le théorème de l'énergie cinétique, le travail du poids de A vers B s'écrit : $W(\vec{P}) = E_c(B) - E_c(A)$ ①

D'autre part, le déplacement de A vers B est conséquent du poids du corps seulement, on écrit : $W(\vec{P}) = -\Delta E_{pp} = E_{pp}(A) - E_{pp}(B)$ ②

D'après l'égalité (1) et (2) on obtient :

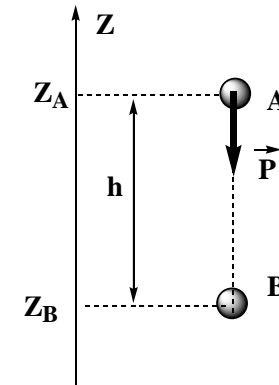
$$E_c(B) + E_{pp}(B) = E_{pp}(A) + E_c(A)$$

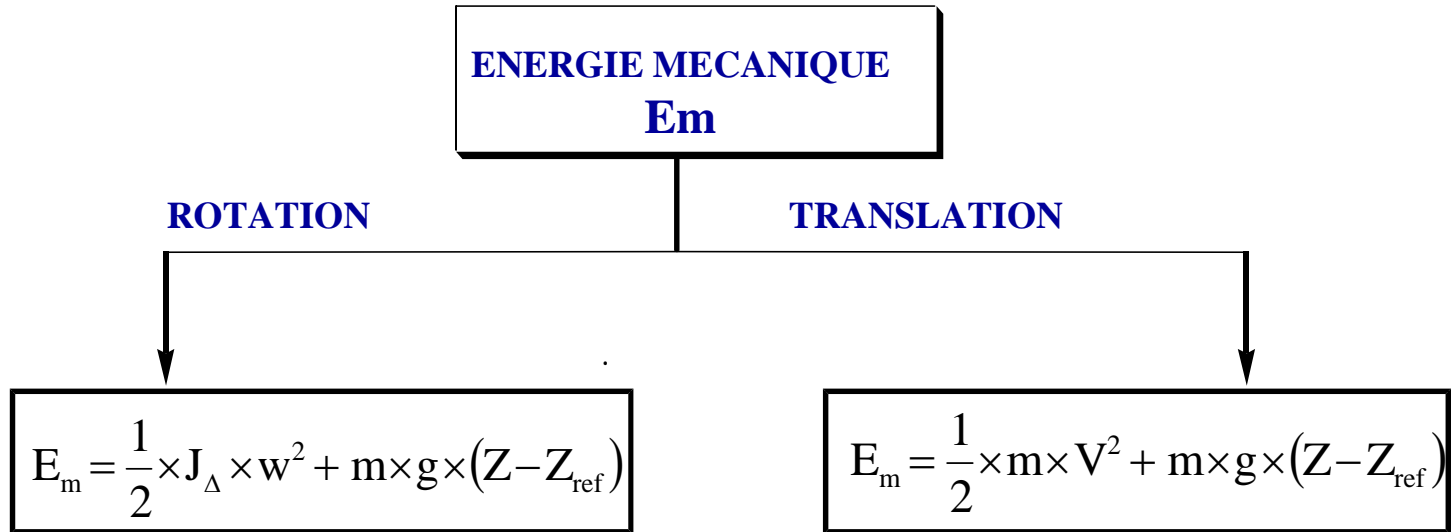
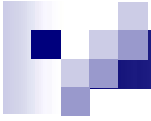
Donc la somme $E_c + E_{pp}$ est une constante qu'on appelle énergie mécanique de symbole E_m .

$$E_m = E_c + E_{pp}$$

2./ Définition:

L'énergie mécanique d'un corps solide à toute instante dans un référentiel donné est égale à la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle de pesanteur de ce corps :





3 / conservation de l'énergie mécanique

Dans le cas de l'absence de frottement l'énergie mécanique se conserve c-à-d :

$$E_m = \text{Cte} \qquad E_m = E_m(f) - E_m(i) = 0$$

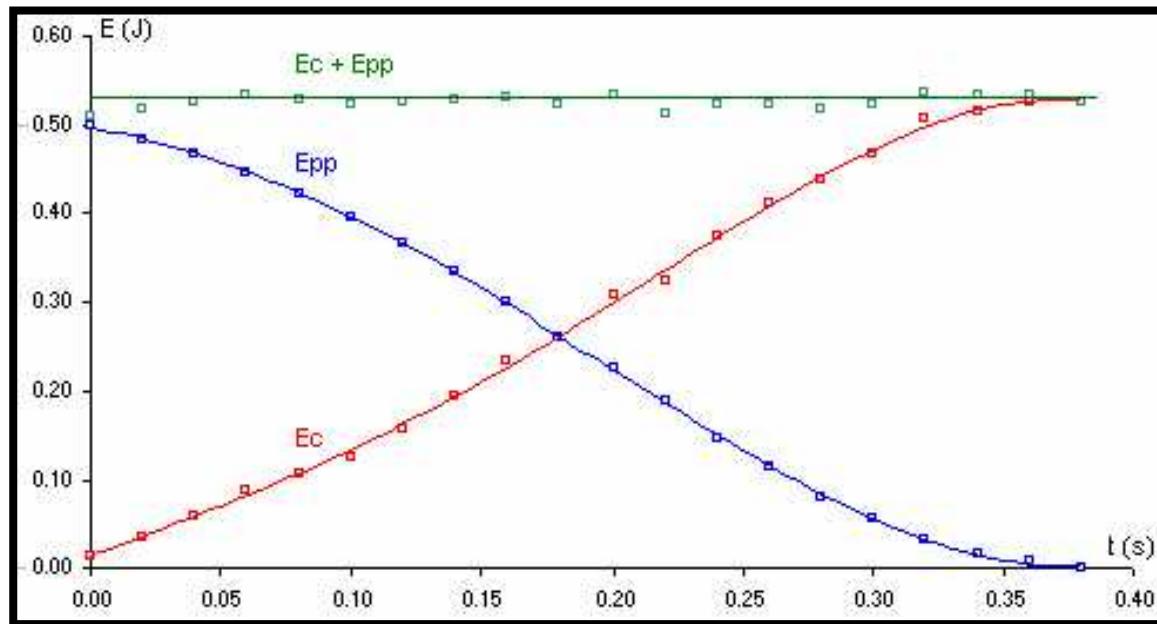
Dans En présence des frottements ou présence des forces non conservatives, l'énergie mécanique ne se conserve pas et sa variation entre un état initial et un état final s'écrit :

$$\Delta E_m = \sum_{i \rightarrow f} W(\text{forces non conservatives})$$

Une force est conservative si son travail sur un déplacement AB, ne dépend que de la position des points A et B, pas du chemin suivi entre A et B.

Toute force constante est conservative (ex : poids, force électrique, ...).

Entres autres, les forces de frottements sont non conservatives.

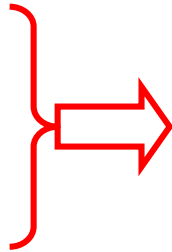


$$E_m(Z) = E_C(Z) + E_{PP}(Z) = Cte$$

Exemple :

$$E_{pp}(A) = -m \times g \times (Z_A - Z_{ref})$$

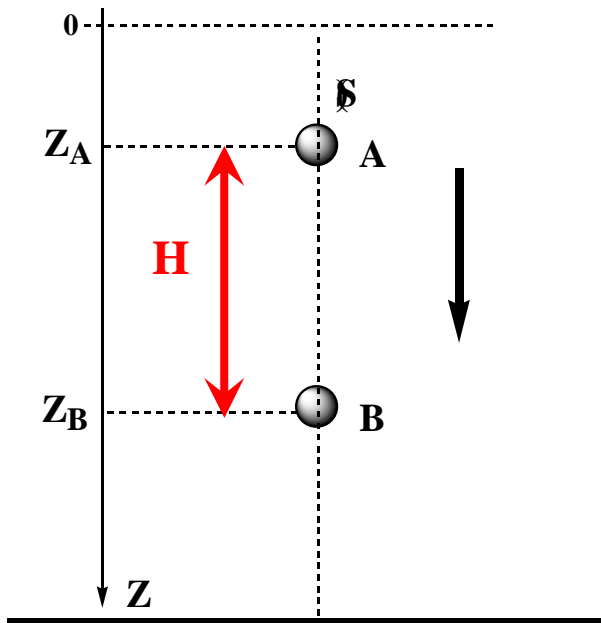
$$E_{pp}(B) = -m \times g \times (Z_B - Z_{ref})$$



$$E_{PP} = E_{PP}(B) - E_{PP}(A)$$



$$\Delta E_{PP} = m \times g \times (Z_A - Z_B)$$





$$E_C = W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \times g \times H$$

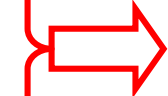

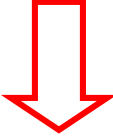
$$E_C = m \times g \times (Z_B - Z_A)$$

Donc :

$$\Delta E_{PP} = - \Delta E_C$$


$$E_m = E_m(B) - E_m(A) = E_C(B) + E_{PP}(B) - E_C(A) - E_{PP}(A)$$


$$E_m = [E_C(B) - E_C(A)] + [E_{PP}(B) - E_{PP}(A)] = E_C + E_{PP}$$

$$E_m = E_C + E_{PP}$$

$$E_m = 0$$

$$E_m(B) - E_m(A) = 0$$

$$E_{PP} = -E_C$$

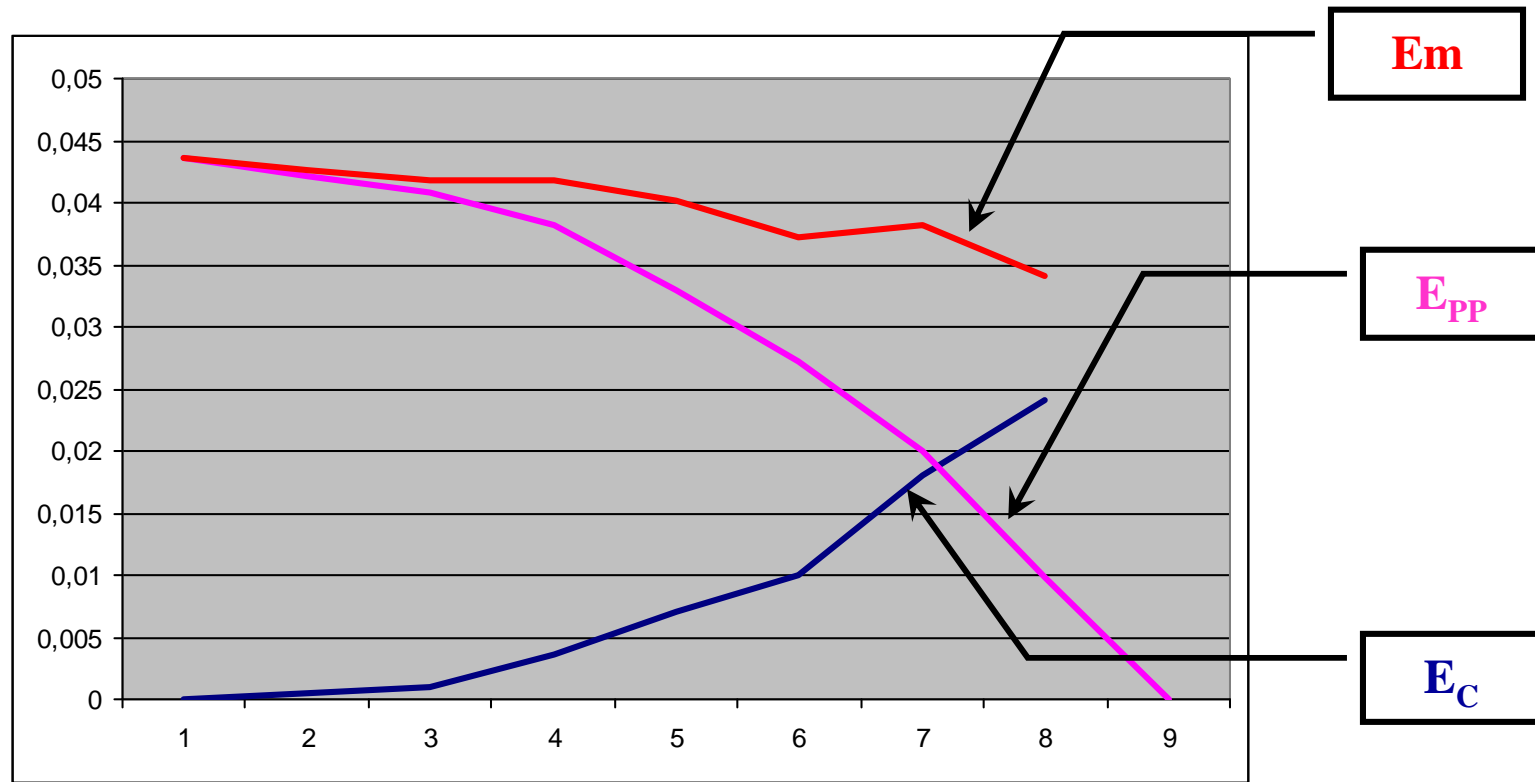
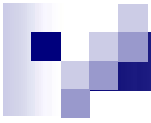


conservation de l'énergie mécanique

$$E_m(B) = E_m(A)$$

Animation 1

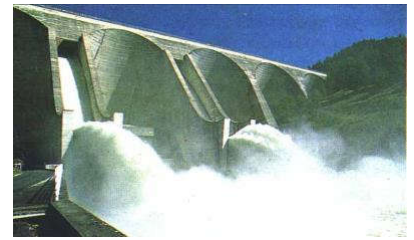
Animation 2



$$E_m(Z) = E_C(Z) + E_{PP}(Z) \neq \text{Cte}$$

Chapitre 4 et 5 : Travail et énergie potentielle de pesanteur - énergie mécanique (12h-14h*).

S.P: L'eau de barrage emmagasine une grande quantité d'énergie pouvant être exploitée pour produire de l'électricité. Cette énergie est appelée : **énergie potentielle de pesanteur.**



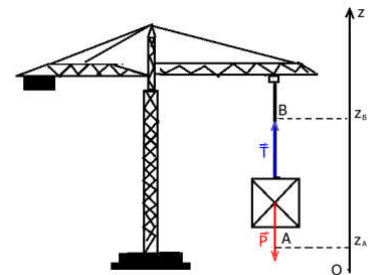
**Qu'est - ce que l'énergie potentielle de pesanteur d'un corps solide ?
Quelle est son expression mathématique ? Et comment est-elle exploitée ?**

I. Énergie potentielle de pesanteur.

1. Mise en évidence de l'énergie potentielle de pesanteur.

Activité:

- ✓ En appliquant le théorème d'énergie cinétique .calculer le travail de la tension de câble pour soulever la charge de masse m du point A d'altitude z_A au point B d'altitude z_B .
- En supposant que la montée se fait lentement, d'après le T.E.C :



$$\Delta E_C = 0 \implies W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{T}) = 0$$

$$W_{AB}(\vec{T}) = -W_{AB}(\vec{P})$$

$$W_{AB}(\vec{T}) = mgz_B - mgz_A$$

Conclusion :

Lorsque une grue soulève une charge par un câble de A(z_A) à B(z_B), la tension du câble \vec{T} effectue un travail $W_{AB}(\vec{T}) = mgz_B - mgz_A$ qui transmet au charge de l'énergie qui dépend de sa masse et de son altitude $h = z_B - z_A$. Cette énergie s'appelle **énergie potentielle de pesanteur**.

2. Définition.

L'énergie potentielle de pesanteur d'un solide est l'énergie que possède un solide du fait de sa position par rapport à la Terre. Elle résulte de l'interaction gravitationnelle entre le solide et la terre. Elle est notée E_{pp} . Cette énergie s'exprime en joule (J).

3. L'expression de l'énergie potentielle de pesanteur.

Au voisinage de la Terre, l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide de masse m est définie par : **$E_{pp} = m \cdot g \cdot z + Cte$** avec l'axe Oz vertical et orienté vers le haut,

- E_{pp} énergie potentielle de pesanteur du centre de gravité du système en J ;
- m : masse du système en kg ;
- g : intensité du champ de pesanteur en $N \cdot kg^{-1}$;
- z : altitude du centre de gravité en m.

Par convention $E_{pp}=0$ pour $z=0$ (normalement au sol) donc $Cte=0$: $E_{pp} = m \cdot g \cdot z$

- Il est possible de choisir le niveau de référence pour l'énergie potentielle ($E_{pp}=0$) à une altitude quelconque.

- L'énergie potentielle de pesanteur d'un solide dépend de son altitude z, c'est à dire de sa position par rapport à la Terre. Elle est due à l'interaction du solide avec la Terre.

Remarque important:

Orientation d'axe \vec{Oz}	Vers le haut	Vers le bas
Expression de E_{pp}	$E_{pp} = mg(z - z_{ref})$.	$E_{pp} = -mg(z - z_{ref})$.

z_{ref} : l'altitude du point où on a choisi l'état de référence de E_{pp} .

4. Propriétés de l'énergie potentielle de pesanteur.**a. La variation de l'énergie potentielle de pesanteur.**

l'expression de la variation de l'énergie potentielle de pesanteur entre état initial (A) et l'état final (B) est : $\Delta E_{pp} = mg(z_B - z_A)$ « voir démonstration ex 1 ».

b. Relation entre la variation de l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide et le travail de son poids.

Dans le cas où l'axe \vec{oz} est orienté vers le haut la variation de l'énergie potentielle de pesanteur est : $\Delta E_{pp} = mg(z_B - z_A)$ et le travail de poids entre A et B est : $W_{AB} = mgh$ avec $h = z_A - z_B$ donc : $W_{AB} = mg(z_A - z_B)$

$$\text{Enfin : } \Delta E_{pp} = - W_{AB}(\vec{P})$$

Exercice N° 1:

Un parachutiste de masse 70kg est largué à 1500m d'altitude et attiré sur le sol, au niveau de la mer. Donnée : L'axe \vec{oz} est orienté vers le haut L'intensité de pesanteur : $g = 9,80 \text{ N/kg}$.

1. Donner l'expression de l'énergie potentielle en choisissant les états de référence suivantes :

- Le niveau du sol.
- le niveau de l'avion.

2. Calculer la variation de l'énergie de potentielle ΔE_{pp} dans chacun des états de référence choisi dans la 2ème question (1-b).

II. Énergie mécanique.**1. notion d'énergie.**

La notion d'énergie est une notion fondamentale de la physique. Bien que le terme « énergie » soit utilisé couramment, on constate qu'il est difficile de définir la notion d'énergie.

Voici les principales propriétés de l'énergie :

- elle dépend de l'état du système ;
- elle peut apparaître sous différentes formes ;
- elle ne peut être ni créée ni détruite, elle se conserve.

La dernière propriété est un principe fondamental de la physique.

En mécanique, l'énergie d'un système change de forme ou est transférée d'un corps du système à un autre lorsqu'une force effectue un travail. Le travail est un mode de transfert d'énergie.

2. Définition d'énergie mécanique.

L'énergie mécanique d'un objet est liée à la position et au mouvement de l'objet. C'est la somme de son énergie potentielle et de son énergie cinétique.

$$E_{\text{mécanique}} = E_{\text{cinétique}} + E_{\text{potentielle}}$$

3. expression d'énergie mécanique.**a. cas de mouvement de translation.**

$$E_m = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot z + \text{Cte}$$

b. cas de mouvement de rotation.

$$E_m = \frac{1}{2} J_{\Delta} \cdot \omega^2 + m \cdot g \cdot z + \text{Cte}$$

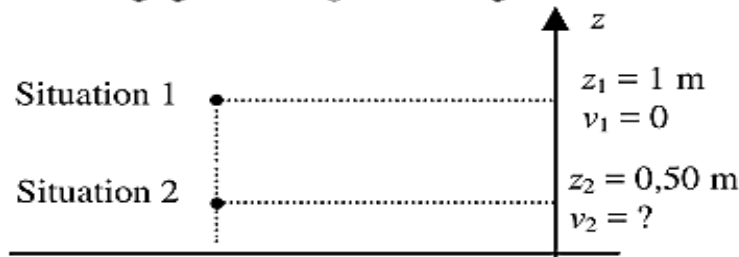
4. Conservation de l'énergie mécanique.

Lorsqu'un objet n'est soumis qu'à son poids et que les frottements sont négligeables, alors l'énergie mécanique reste constante tout au long du mouvement. On dit qu'elle se conserve.

Ceci signifie que, dans cette situation, si on connaît l'énergie mécanique d'un système à un moment donné, on peut connaître à tout moment sa vitesse si on connaît son altitude et réciproquement.

Exemple:

On laisse tomber un objet de masse $m = 1,0 \text{ kg}$ d'une altitude de 1 m . Quelle est sa vitesse lorsqu'il se trouve à $0,5 \text{ m}$ d'altitude ? Les frottements sont considérés comme négligeables et $g = 10 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$



Comme cet objet n'est soumis qu'à son poids et qu'on néglige les frottements, alors l'énergie mécanique se conserve : $E_{M1} = E_{M2}$

$$0,5 \times m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot z_1 = 0,5 \times m \cdot v_2^2 + m \cdot g \cdot z_2$$

On simplifie tout les termes de chaque membre de l'équation par m et on isole v_2 avec un calcul littéral :

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2 \cdot g \cdot z_1 - 2 \cdot g \cdot z_2}$$

$$v_2 \cong 3,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

5. frottement-énergie thermique Q.

Des forces de frottement apparaissent sur un système dès qu'il y a déplacement dans un fluide ou qu'il y a contact avec un solide.

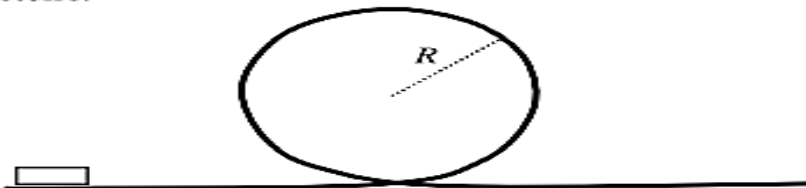
Lors d'un mouvement, les forces de frottement transforme une partie de l'énergie mécanique du système en énergie thermique : les frottements sont responsables d'échauffement.

Si les frottements ne sont pas négligeables, alors le système perd peu à peu de l'énergie mécanique. Celle-ci est convertie en énergie thermique

$$\Delta E_m = -Q^{(*)}$$

Exercice N° 2:

Une attraction foraine est constituée d'un rail comportant une boucle circulaire de rayon R . Un palet de masse m peut glisser sans frottement sur le rail. Le palet peut effectuer une boucle si sa vitesse au sommet est supérieure à $\sqrt{R \cdot g}$. L'origine de l'altitude est prise au niveau le plus bas de la trajectoire.



1. Quelle est l'expression générale de l'énergie mécanique du palet ?
2. Pourquoi l'énergie mécanique est-elle constante ?
3. Avec quelle vitesse minimale doit-on lancer le palet sur la partie horizontale du rail afin qu'il effectue une boucle ?
Calculer cette vitesse pour $R = 1 \text{ m}$ et $m = 150 \text{ g}$. On prendra $g = 10 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$



I) Effets du travail reçu par quelques systèmes:

1) Augmentation de la température :

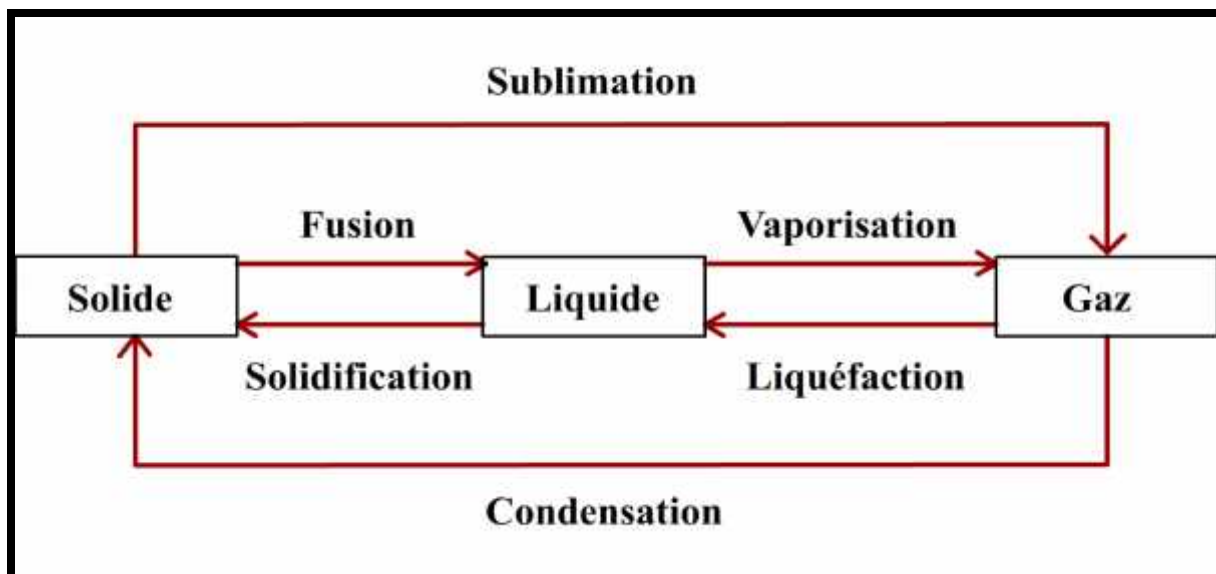
L'augmentation de la température, par les forces de frottement d'un frein, traduit une plus grande agitation microscopique (donc une augmentation de l'énergie cinétique microscopique).



En fournissant de l'énergie par travail à un système on peut élever sa température.

2) Changement d'état physique :

Le travail des forces de frottement des skis sur la neige entraîne la fusion de la neige, donc une modification des interactions microscopiques.



En fournissant de l'énergie par travail à un système on peut produire un changement d'état physique.

3) Déformation élastique :

Lorsqu'on tend un arc, il se déforme ce qui modifie les interactions microscopiques entre les particules qui constituent l'arc. Cette déformation de l'arc entraîne une mise en réserve d'énergie qui pourra être cédée à la flèche.

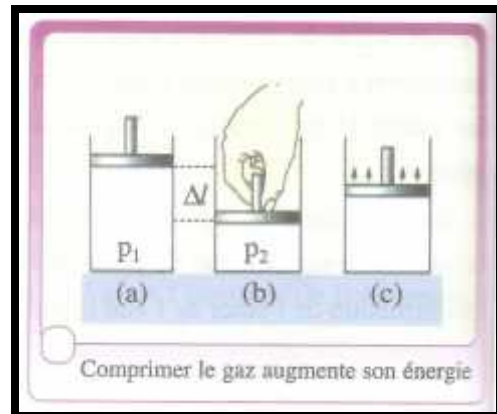


En produisant des déformations de corps élastiques ceux-ci acquièrent une énergie qui sera stockée tant qu'ils restent déformés

4) Augmentation de la pression d'un gaz :

4-1/ Compression d'un gaz :

Le travail de la force exercée par l'expérimentateur a été utilisé pour comprimer le gaz dont l'énergie stockée augmente



4-2/ Travail de la force pressante:

Définition:

Lorsqu'une force n'est pas appliquée en un point mais répartie sur une surface, on dit que la force est une force pressante

La pression P est le rapport de l'intensité de la force pressante F sur la surface de contact S

$$P = \frac{F}{S}$$

Pression en Pa (pointing to P), *force pressante en N* (pointing to F), *Surface de contact en m²* (pointing to S)

Une force pressante produit sur la surface pressée un effet d'autant **plus petit** que l'aire de la surface est **grande**.

Le travail de la force pressante:

animation

$$W_{i \rightarrow f}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{h} = F \times h \quad ; \quad h = L_i - L_f$$

Avec

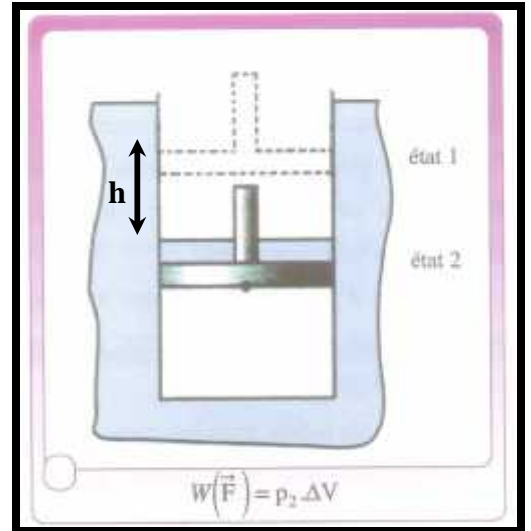
$$P = \frac{F}{S} \Rightarrow F = P \times S$$

A l'équilibre :

$$F = P_f \times S$$

Donc :

$$W_{i \rightarrow f}(\vec{F}) = P_f \times S (L_i - L_f) = P_f \times (V_i - V_f)$$



5) Conclusion :

Dans les exemples précédents, l'énergie reçue par le corps sous forme de travail à modifier les interactions microscopiques entre les particules.

Comme à l'échelle macroscopique, on peut définir à l'échelle microscopique une énergie cinétique due à l'agitation des particules et une énergie potentielle d'interaction due aux positions des particules en interaction.

II) **Energie interne:**

Définition :

L'énergie interne, notée U, d'un système est la somme des énergies cinétiques microscopiques et des énergies potentielles d'interaction de toutes les particules du système :

$$U = E_{Cmic} + E_{Pmic}$$

Remarque:

✓ On définit l'énergie totale E d'un système par :

$$E = E_m + U = E_c + E_{pp} + U$$

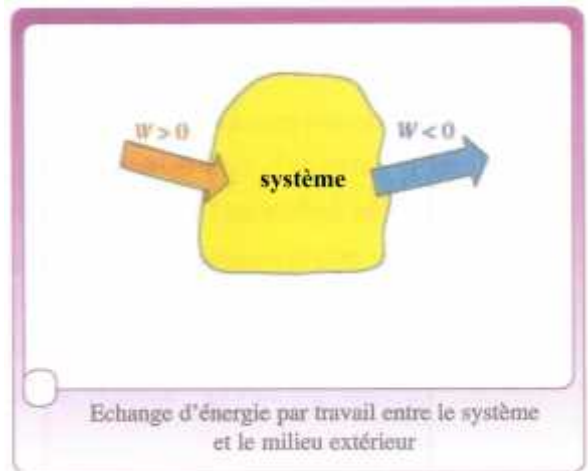
✓ On ne peut pas calculer E_{Cmic} et E_{Pmic} car la connaissance des vitesses et des positions des particules est impossible du fait de leur nombre énorme.

III) Variation de l'énergie interne:

1) Convention :

En physique l'énergie transférée W , par travail au système au cours d'une transformation (en joule), est une grandeur algébrique :

- W est positive ($W > 0$) si le système reçoit effectivement l'énergie W .
- W est négative ($W < 0$) si le système fournit de l'énergie au milieu extérieur : il fournit l'énergie $|W|$.



2) Energie transférée par travail à un système et variation d'énergie interne :

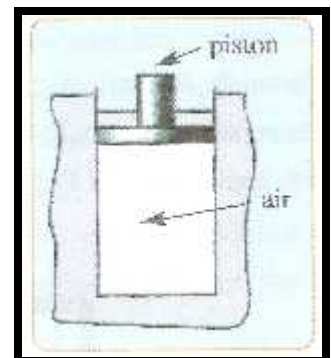
Au cours d'une transformation quelconque d'un système, si les énergies échangées par le système avec le milieu extérieur ne se font que par travail seul alors la variation l'énergie interne ΔU du système est égale à la l'énergie fournie par le milieu extérieur au système :

$$\Delta U = W > 0$$

Exercice d'application 1 On prend : $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$

On dispose d'un cylindre adiabatique fermé par un piston notamment adiabatique de masse $m = 500 \text{ g}$ et de section $S = 1 \text{ dm}^2$ pouvant se déplacer verticalement sans frottement. Le cylindre contient un volume $V = 1 \text{ L}$ d'air à la température $\theta = 20^\circ\text{C}$.

- 1) Sachant que la pression externe est $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$, calculer la pression de l'air contenu dans le cylindre.
- 2) On place sur le piston un solide (C) de masse $M = 1 \text{ kg}$. Le piston se stabilise dans une nouvelle position, et la température à l'intérieur du cylindre est supposée invariante. Calculer la nouvelle pression de l'air contenu dans le cylindre.
- 3) Calculer le travail de la force exercée sur l'air comprimé sachant que le piston s'est déplacé de 1 mm .
- 4) L'air contenu dans le cylindre est supposé un gaz parfait dans les conditions de l'expérience, sa température est considérée inchangée. Que peut-on dire de l'énergie interne de l'air contenu dans le cylindre ?



Exercice d'application 2 On prend : $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$

un dispositif est formé d'un ressort comprimé en position vertical lançant un projectile verticalement vers le haut avec une vitesse initiale \vec{V} . Le projectile monte alors d'une hauteur $h = 10 \text{ m}$.

- 1) Citer les différentes transformations énergétiques successives qui se produisent au cours de cette opération en précisant les formes d'énergies transférées. *Les frottements sont négligeables.*
- 2) Calculer la valeur de la vitesse initiale V .
- 3) Que se passe-t-il si les frottements sont non négligeables ?

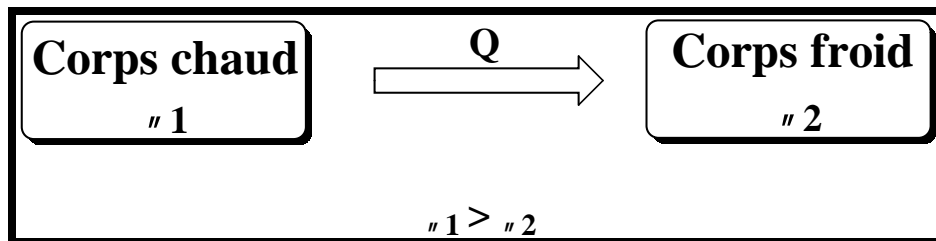


I) Transfert thermique:

1) Définition et sens transfert thermique:

Lorsque 2 corps à des températures différentes sont mis en contact, on constate que la température du corps chaud diminue tandis que celle du corps froid augmente. Il y a transfert d'énergie entre les deux corps : c'est le transfert thermique.

Un transfert thermique se fait spontanément du corps ayant la température la plus élevée vers le corps ayant la température la plus basse.



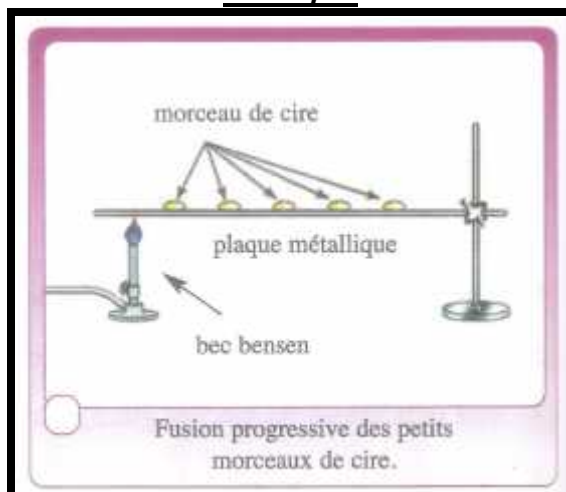
2) Modes de transfert thermique:

3-1/ *transfert thermique par conduction:*

Définition:

Transfert thermique par conduction est un mode de transfert d'énergie ayant lieu à travers des corps conducteurs thermique *sans déplacement de la matière*

Exemple :



3-2/ *transfert thermique par convection:*

Définition:

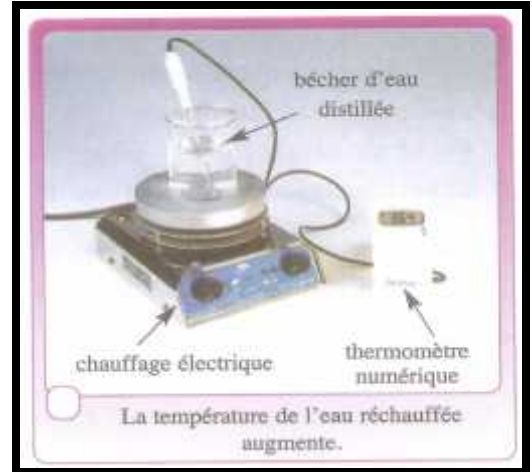
Transfert thermique par convection est un autre mode de transfert d'énergie *avec déplacement de la matière*

Exemple :



3) Effets du transfert thermique:

- ❑ Le transfert peut élever la température d'un corps.
- ❑ Le transfert thermique peut aboutir à un changement d'état physique d'un corps pur.



II) Transfert thermique et Energie thermique:

1) Energie thermique (Quantité de chaleur):

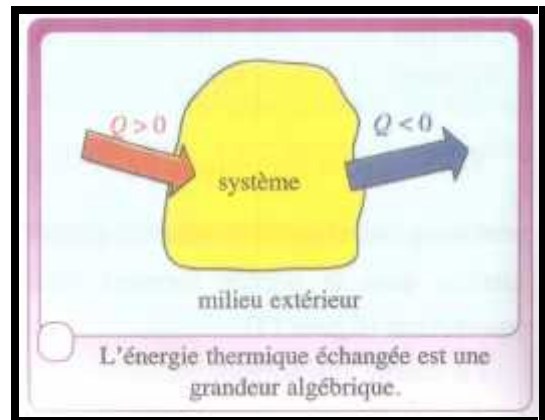
Définition:

Un transfert thermique est un transfert d'énergie d'un corps chaud (ou système chaud) à un corps froid (ou système froid), cette énergie est dite énergie thermique (ou quantité de chaleur). on note une énergie thermique par la lettre Q, son unité dans S.I. des unités est le joule noté (J).

Convention:

Un système peut recevoir ou céder de l'énergie par transfert thermique avec l'extérieur.

- Si système **reçoit** effectivement de l'énergie par transfert thermique, Q sera positive ($Q > 0$).
- Si système **perd** effectivement de l'énergie par transfert thermique, Q sera négative ($Q < 0$).



Expression de l'énergie thermique:

$$Q = m \times C \times (t_f - t_i)$$

Q : énergie thermique ou quantité de chaleur (J) ; m : masse (kg) ; t_i : température initiale (K)
 C : capacité thermique massique ($J.kg^{-1}.K^{-1}$) ; t_f : température finale (K)

Définition capacité thermique massique C:

La **capacité thermique massique** d'un corps pur est l'énergie thermique nécessaire à 1 kg de ce corps pour élever sa température de 1°C.

Substances	Chaleur massique ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)
Eau	4186.8
Glace	2100
Verre	830
Huile végétale	2300
Aluminium	900
Fer	450

Définition capacité thermique ~:

La **capacité thermique** ~ d'un corps de masse m est l'énergie thermique nécessaire pour élever sa température de 1°C, elle est exprimée par la relation:

$$\mu = m \times C$$

~ : capacité thermique ($J..K^{-1}$) ou ($J..C^{-1}$) ; m : masse (kg) ;
C : capacité thermique massique ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)

Remarque :

La **capacité thermique** ~ d'un système (S) formé de plusieurs corps est égale à la somme des capacités thermiques de ces corps :

$$\mu_S = \sum_i \mu_i = \sum_i m_i \times C_i$$

2) Equilibre thermique:

Lorsque deux corps de températures différentes entrent en contact "dans une enceinte isolante: **fuites thermique négligeable**", ils échangent de l'énergie thermique : le corps chaud perd de l'énergie Q' et sa température diminue tandis que le corps froid perd de l'énergie Q et sa température augmente.

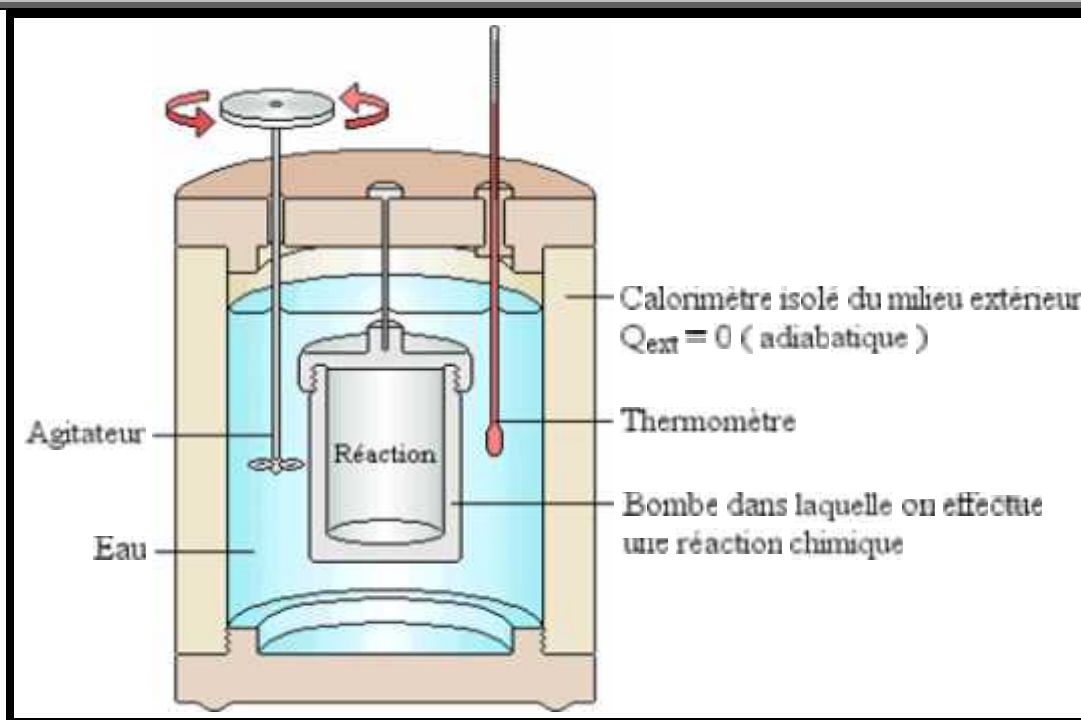
Le transfert thermique se produit de sorte à ce que leurs températures respectives s'égalisent. ils sont alors dans un état appelé équilibre thermique, il est exprimé par la relation :

$$Q + Q' = 0$$

Remarque :

Souvent un transfert thermique s'accompagne de fuites thermiques pour remédier à ce problème "minimiser les fuites" on utilise souvent une **enceinte adiabatique** (pas d'échange thermique avec le milieu extérieur) qui n'est autre que le **calorimètre**.





Applications:

Application N°1 :

Détermination de la capacité thermique d'un calorimètre

La capacité thermique d'un calorimètre (et ces accessoires) est l'énergie nécessaire pour élever la température du calorimètre et ses accessoires de 1°C. on la note μ_c .

On verse rapidement une masse m_2 d'eau chaude de température θ_2 dans un calorimètre contenant une masse m_1 d'eau froide de température θ_1 . on agite le mélange, après un moment la température du mélange se stabilise à θ (équilibre thermique)



- Le système (S) formé par le calorimètre et la masse m_1 d'eau reçoit une énergie Q_1 ($Q_1 > 0$):

$$Q_1 = m_1 \times C_e (\theta - \theta_1) + \mu_c (\theta - \theta_1)$$

- La masse m_2 d'eau chaude perd une énergie Q_2 ($Q_2 < 0$):

$$Q_2 = m_2 \times C_e (\theta - \theta_2)$$

A l'équilibre thermique : $Q_1 + Q_2 = 0$

$$m_1 \times C_e (\theta - \theta_1) + \mu_c (\theta - \theta_1) + m_2 \times C_e (\theta - \theta_2) = 0$$

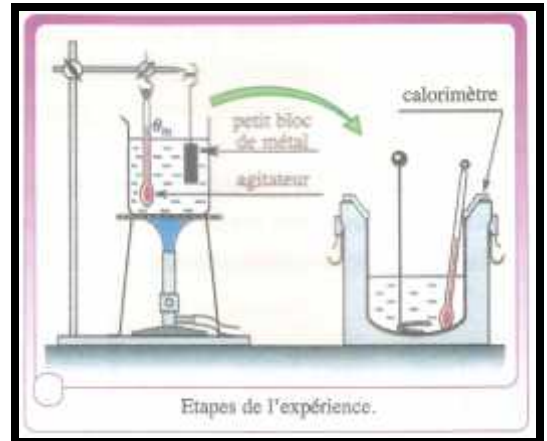
$$\mu_c (\theta - \theta_1) = m_2 \times C_e (\theta_2 - \theta) - m_1 \times C_e (\theta - \theta_1)$$

$$\mu_c = \frac{m_2 \times C_e (\theta_2 - \theta)}{(\theta - \theta_1)} - m_1 \times C_e$$

Application N°2 :

Détermination de la capacité thermique massique d'un métal

On dispose d'un calorimètre de capacité thermique μ_C contenant une masse m_1 d'eau dont la température est θ_1 . on introduit dans le calorimètre un petit bloc d'un métal de masse m après d'avoir retiré d'une eau bouillante et l'avoir séché. après agitation température du mélange se stabilise à θ (Figure ci contre).



$$m_1 = 300 \text{ g} ; m = 122 \text{ g} ; \mu_C = 100 \text{ J.K}^{-1} ;$$

$$\theta_1 = 19,8^\circ\text{C} ; \theta_2 = 76^\circ\text{C} ; \theta = 22,1^\circ\text{C} ;$$

- Le système (S_1) formé par le calorimètre et la masse m_1 d'eau reçoit une énergie Q_1 ($Q_1 > 0$):

$$Q_1 = m_1 \times C_e (\theta - \theta_1) + \mu_C (\theta - \theta_1) = [m_1 \times C_e + \mu_C] (\theta - \theta_1)$$

- Le système (S_2) formé par le bloc de métal a perd une énergie Q_2 ($Q_2 < 0$):

$$Q_2 = m \times C (\theta_2 - \theta)$$

A l'équilibre thermique entre les 2 systèmes : $Q_1 + Q_2 = 0$

$$[m_1 \times C_e + \mu_C] (\theta - \theta_1) + m \times C (\theta_2 - \theta) = 0$$

$$C = \frac{[m_1 \times C_e + \mu_C] (\theta - \theta_1)}{m \times (\theta_2 - \theta)}$$

Calculer la valeur de C ?

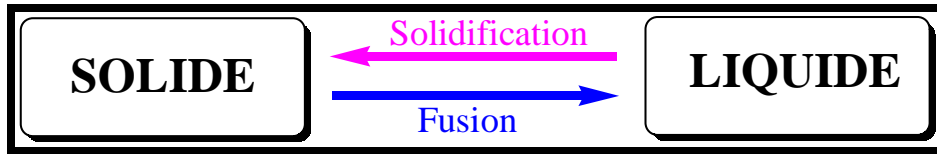
Exercice d'application N°1:

On verse rapidement dans un calorimètre de capacité thermique $\mu_C = 210 \text{ J.C}^{-1}$ une masse $m_1 = 355 \text{ g}$ d'eau dont la température $\theta_1 = 23,8^\circ\text{C}$. on introduit ensuite dans le calorimètre un morceau de laiton " *alliage composé essentiellement de cuivre et de zinc* " de masse $m_2 = 173 \text{ g}$ et de température $\theta_2 = 88,5^\circ\text{C}$.

- 1) Comment appelle-t-on le transfert d'énergie entre les 2 systèmes {calorimètre , masse d'eau} et {morceau de laiton} .
- 2) Préciser le sens du transfert.
- 3) Ecrire la relation traduisant l'équilibre thermique ayant lieu.
- 4) en déduire la température finale θ du mélange sachant que la capacité thermique massique du laiton est $C = 378 \text{ J.kg}^{-1}.\text{C}^{-1}$.

3) Transfert thermique avec changement d'état physique d'un corps pur(chaleur latente):

3-1/ *Fusion et solidification :*



Définition *Chaleur latente massique de fusion* L_f :

La *chaleur latente massique* L_f de fusion d'un corps pur est l'énergie thermique nécessaire pour transformer totalement à 1 kg de ce corps de l'état solide à l'état liquide à température θ_f et pression constante.

Expression de l'énergie thermique:

L'énergie reçue par le corps pur au cours de sa fusion, à température et pression constante, est donnée par la relation :

$$Q = m \times L_f$$

Q : énergie thermique (J.) ; m : masse (kg) ; L_f : Chaleur latente massique de fusion ($J.kg^{-1}$.)

Corps pur	$L_f(j.kg^{-1})$	$\theta_f(^{\circ})$
Glace	$3,35.10^5$	0
Aluminium	$4,04.10^5$	660
Fer	$2,70.10^5$	1635

Remarque :

On admet que l'énergie Q' perdu par le corps pur au cours de sa solidification, à température et pression constante, est : $Q' = m \times L_{Sol}$; $Q' < 0$ avec L_{SOL} *Chaleur latente massique de solidification* ; avec $Q' = - Q$ donc :

$$L_{Sol} = - L_f$$

Exercice d'application N°2:

Cent tonnes de ferrailles sont chauffées dans un four électrique afin d'obtenir du fer liquide à $1538^{\circ}C$. La température initiale est $20^{\circ}C$. La durée de l'opération dure 5 heures et le rendement du four est de 70%.

Données : $C_{fer} = 450 J.kg^{-1} K^{-1}$; $L_{fusion fer} = 270 kJ kg$; $\theta_{f(fer)} = 1538^{\circ}C$.
Quelle est l'énergie électrique nécessaire. En déduire la puissance du four.

3-2/ Vaporisation et liquéfaction :



Définition Chaleur latente massique de vaporisation L_V :

La chaleur latente massique L_V de fusion d'un corps pur est l'énergie thermique nécessaire pour transformer totalement à 1 kg de ce corps de l'état liquide à l'état gazeux à température θ_V et pression constante.

Expression de l'énergie thermique:

L'énergie reçue par le corps pur au cours de sa vaporisation, à température et pression constante, est donnée par la relation :

$$Q = m \times L_V$$

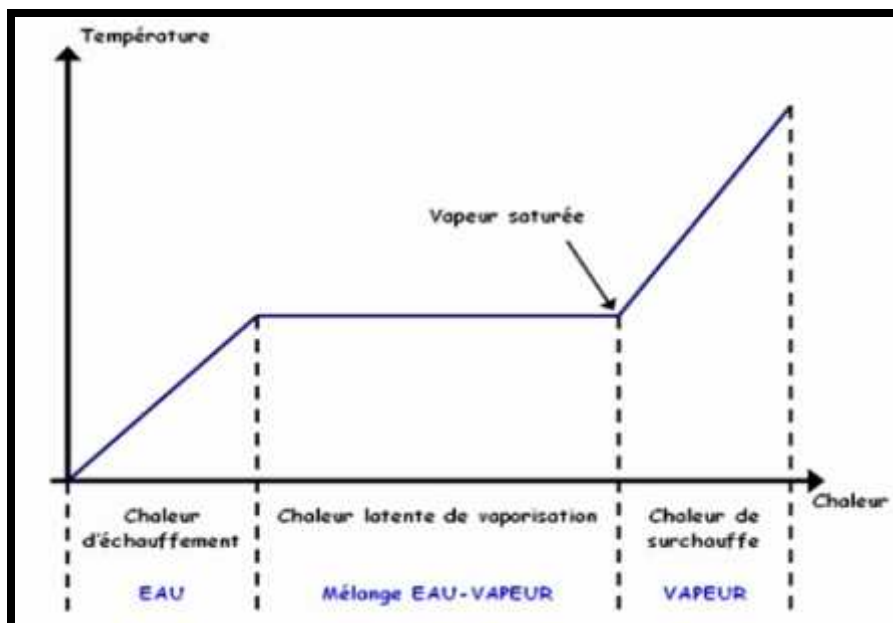
Q : énergie thermique (J.) ; m : masse (kg) ; L_V : Chaleur latente massique de vaporisation (J.kg⁻¹.)

Corps pur	L_V (Kj.kg ⁻¹)	$\theta_V(^{\circ})$
eau	2261	100
éthanol	906	78
dioxygène	212,5	-182,962
dihydrogene	450	-252,87

Remarque :

On admet que l'énergie Q' perdu par le corps pur au cours de sa liquéfaction, à température et pression constante, est : $Q' = m \times L_l$; $Q' < 0$ avec L_l Chaleur latente massique de liquéfaction; avec $Q' = - Q$ donc :

$$L_l = - L_V$$



III) Transfert d'énergie par rayonnement:

L'énergie transportée sous forme de radiations électromagnétiques est appelée énergie rayonnante. Elle est notée W_R . Elle s'exprime en Joule. Tout corps chaud émet des radiations électromagnétiques qui transportent de l'énergie.



IV) Energie interne et transfert d'énergie:

- ❑ Si le transfert s'effectue par travail uniquement, la variation de l'énergie interne du système est :

$$\Delta U = W$$

Avec W étant l'énergie transfert par travail

- ❑ Si le transfert s'effectue seulement par chaleur, la variation de l'énergie interne du système est :

$$\Delta U = Q$$

Avec Q étant l'énergie transfert par chaleur

- ❑ Si le transfert s'effectue par travail, par chaleur ou par rayonnement, la variation de l'énergie interne du système est :

$$\Delta U = W + Q_T$$

Avec Q étant l'énergie transfert par chaleur et/ ou par rayonnement

Enoncé du premier principe de la thermodynamique :

La variation de l'énergie interne d'un système, au cours d'une transformation, est égale à la somme des énergies transférées (par travail, par chaleur ou par rayonnement) entre le système et le milieu extérieur.

$$U = W + Q_T$$

Importances des mesures chimiques

1-Mesurer pour informer

Activité 1 :

Pourquoi mesurer en chimie ?

Quelles informations indique l'étiquette d'une bouteille d'eau minérale ?

Etiquette A				Etiquette B			
Minéralisation moyenne en g/L				Minéralisation moyenne en g/L			
Calcium	89,2	Chlorures	29,2	Calcium	98,9	Chlorures	28,3
Magnésium	4,1	Sulfates	32,9	Magnésium	8,6	Sulfates	53,7
Sodium	17,5	Bicarbonates	214	Sodium	17,5	Bicarbonates	239
Potassium	3,3	Fluor	0,1	Potassium	2,9	Fluor	0,2

Examiner les informations portées sur les étiquettes de bouteilles d'eaux minérales A et B.

a- Quels espèces chimiques contiennent –elles ?

b- Que représentent les données chiffrées ?

Exploitation

a- L'eau de la bouteille A contient les ions suivantes :

Anions		Cations	
bicarbonates ou hydrogénocarbonates	HCO_3^-	sodium	Na^+
Chlorures	Cl^-	potassium	K^+

Sulfates	SO_4^{2-}	Calcium	Ca^{2+}
fluorures	F^-	magnésium	Mg^{2+}

b- Les données chiffrées indiquent les concentrations massiques des différentes espèces chimiques exprimées en mg/L .

Définition :

La concentration massique (teneur ou titre massique) noté C_m , d'une espèce chimique est égale au quotient de la masse m de l'espèce dissoute par le volume V de la solution.

$$(g.L^{-1}) \rightarrow \boxed{C_m = \frac{m}{V}} \leftarrow \begin{array}{l} (g) \\ (L) \end{array}$$

Conclusion :

Pour informer le consommateur, le fabricant indique la composition du produit alimentaire.

2- mesurer pour surveiller et protéger

Activités 2 :

Pourquoi contrôler la qualité de lait ?

Pour un lait de qualité, il faut :

$$1,030 > d > 1,034 \quad \text{et} \quad 6,5 > pH > 6,7$$

Lors d'un contrôle de la qualité d'un lait, on constate que sa densité est égale à 1,032 et son pH égale à 6,6.

a- Rappeler la définition de la densité par rapport à l'eau ?

b- La qualité de ce lait est-il satisfaisante ?

Exploitation

a-Définition :

La densité d par rapport à l'eau d'un liquide (ou d'un solide) est égale au quotient de la masse m de ce liquide (ou de ce solide) par la masse m_0 du même volume V d'eau.

$$d = \frac{m}{m_0}$$

b- La densité de ce lait est comprise entre 1,030 et 1,034 donc sa richesse nutritionnelle est satisfaite.

Son pH est dans les normes. Son état de fraîcheur est correct.

Conclusion :

Pour surveiller et protéger l'environnement, le contrôle de la qualité du produit agro-alimentaire, de l'air, nécessitent des mesures nombreuses et variées.

3- Mesurer pour agir

Activité 3 :

Pourquoi effectuer des analyses du sang ?

Les analyses de sang d'un patient ont donné les résultats suivants :

Urée	Cholestérol
0,86 g/L (0,70 – 1,10)	2,72 g/L (1,50 - 2,20)

Interpréter les résultats de cette analyse

Exploitation

Le taux d'urée de ce patient se situe entre les valeurs normales.

Par contre le taux de cholestérol est supérieur à la valeur limite.

Le médecin lui donnera un traitement pour abaisser le taux de cholestérol.

Conclusion :

Les mesures effectuées lors d'analyses permettent de donner des traitements pour corriger des valeurs situés en dehors des normes.

Exemples : Contrôler l'état de santé, les eaux de piscine, la pollution...

COURS :

1-Importance de la mesure des quantités de matière dans la vie courante

ACTIVITE 1 :

ACTIVITE 2 :

I - Nécessité de la mesure dans différents domaines de la vie courante :

1°) Mesurer pour informer :

Pour informer le consommateur, le fabricant indique, sur l'emballage, la composition du produit alimentaire, c'est-à-dire la nature et la masse des espèces chimiques qu'il contient.

Exemple : Composition des eaux minérales ou des plats cuisinés.

2°) Mesurer pour contrôler :

Les résultats des différentes mesures de contrôle sont comparés à des résultats de référence (lois, normes, étiquettes, recommandations, cahiers des charges, décrets...)

Exemples :

- ☞ Contrôler le respect de la réglementation pour les additifs alimentaires. Par exemple le nitrite de sodium NaNO_2 est un conservateur et un agent colorant utilisé en charcuterie. Les ions nitrite NO_2^- étant toxiques, leur teneur ne doit pas dépasser 150 mg par kg de charcuterie.
- ☞ Contrôler l'état de santé. Par exemple les analyses de sang permettent de mesurer le taux de cholestérol, triglycérides, glycémie... Elles permettent aussi de déceler la présence de substances dopantes dans le milieu sportif.
- ☞ Dépister certaines maladies, en réalisant des analyses. Cela permet d'établir un diagnostic et de donner un traitement.

3°) Mesurer pour surveiller et agir :

Les mesures des quantités de matière permettent de mieux connaître le monde qui nous entoure

Exemples :

☞ Surveiller la qualité de l'eau du robinet :

La composition de l'eau du robinet peut varier d'une région à une autre en raison de la nature du sous-sol et risque d'être polluée par les activités humaines, industrielles ou agricoles.

On contrôle donc régulièrement la teneur en ions nitrate, phosphate, en métaux lourds, en pesticides.....

Une eau potable doit avoir une teneur en ions nitrate NO_3^- inférieure à 50 mg.L^{-1} et en pesticides inférieure à $0,5 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$.

☞ Surveiller la qualité des eaux de piscine :

Afin d'éviter la croissance d'algues et la prolifération de microbes, le pH d'une eau de piscine doit être compris entre 7,2 et 7,6 et la teneur en « chlore » (acide hypochloreux HClO et ion hypochlorite ClO^-) doit être comprise entre 1 et 2 mg.L^{-1} .

Pour cela, on utilise des produits correcteurs de pH et des galets de « chlore ».

☞ **Surveiller la qualité du lait :**

Des mesures permettent de connaître :

- L'état de fraîcheur du lait, grâce au pH qui doit être compris entre 6,5 et 6,7.
- Sa richesse nutritionnelle, grâce à la densité qui doit être comprise entre 1,026 et 1,036.
- L'ajout éventuel d'eau, grâce à la température de solidification qui doit être comprise entre $0,54^\circ\text{C}$ et $-0,56^\circ\text{C}$.

☞ **Surveiller la qualité de l'air :**

On mesure tous les jours la concentration massique des trois principaux polluants gazeux : dioxyde de soufre (SO_2), oxydes d'azote (NO , NO_2), ozone (O_3) ; et des poussières en suspension.

4°) **Mesurer pour produire ou préparer :**

La mise en œuvre de préparations suivant des proportions bien définies demande de mesurer des quantités de matière précises.

Exemples : Il faut effectuer des mesures pour suivre :

- ☞ des protocoles de synthèse au laboratoire et dans l'industrie.
- ☞ des préparations pharmaceutiques.
- ☞ la mise en œuvre d'une recette de cuisine.

II - Les techniques de mesures

1°) Exemples de techniques simples, mais approximatives :

- ☞ Papier pH et indicateur coloré : ils donnent une valeur approximative du pH d'une solution aqueuse.
- ☞ Les bandelettes-tests. Exemples :
 - Uritest pour une analyse rapide des urines (recherche de sucres, d'albumine).
 - Hydrottest pour contrôler la teneur en ions nitrate, la dureté et le pH de l'eau.

2°) Exemples de techniques plus précises, nécessitant un matériel plus élaboré :

- ☞ Le pH-mètre : il donne une valeur précise du pH d'une solution aqueuse.
- ☞ Le ionomètre : il donne la concentration des ions présents dans une solution.
- ☞ Le système télémétrique pour contrôler la pollution de l'air en continu : un rayon lumineux est transmis d'un émetteur jusqu'à un récepteur distant de plusieurs centaines de mètres. L'analyse de la lumière reçue permet de déterminer la nature et la concentration des polluants présents dans l'air.
- ☞ Les dosages : Ce sont des transformations chimiques qui permettent de déterminer la concentration d'une espèce chimique présente en solution.

Grandeurs liées aux quantités de matière

I- Quantité de matière de matière d'un solide et d'un liquide

1- Quantité de matière :

- En chimie, la quantité de matière correspond à un nombre fixé d'éléments (atomes, molécules, ions...).
- Une mole est le nombre d'éléments contenus dans 12 g de carbone 12. C'est l'unité de quantité de matière.
- Le nombre d'éléments dans une mole est le nombre d'Avogadro $N_a = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- La quantité de matière n d'un échantillon est le rapport du nombre d'élément N qu'il contient sur le nombre d'Avogadro N_a .

$$(mol) \rightarrow n = \frac{N \leftarrow \text{sans unité}}{N_a \leftarrow (mol^{-1})}$$

2- La quantité de matière et la masse :

Définition :

La quantité de matière $n(X)$ d'un échantillon de masse $m(X)$ et de masse molaire $M(X)$ est définie par la relation :

$$(mol) \rightarrow n(X) = \frac{m(X) \leftarrow (g)}{M(X) \leftarrow (g \cdot mol^{-1})}$$

Application 1 :

Avec une balance électronique, on mesure la masse m_1 d'un échantillon d'eau et m_2 d'un échantillon de fer.

On trouve : $m_1 = m_2 = 100g$

a- Calculer la masse molaire $M(H_2O)$ de la molécule d'eau.

b- Calculer les quantités de matière contenue dans chaque échantillon.

Données : $M(H) = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(O) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(Fe) = 56 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Corrigé :

a- La masse molaire de l'eau :

$$M(H_2O) = 2M(H) + M(O) = 2 \times 1 + 16 = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

b- La quantité de matière contenue dans la masse m_1 :

$$n(H_2O) = \frac{m_1}{M(H_2O)} = \frac{100}{18} = 5,56 \text{ mol}$$

-La quantité de matière contenue dans la masse m_2 :

$$n(Fe) = \frac{m_2}{M(Fe)} = \frac{100}{56} = 1,78 \text{ mol}$$

3- La quantité de matière et la masse volumique :

Définition

La masse volumique ρ d'une espèce chimique est égale au rapport de sa masse m par son volume V .

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

Son unité dans S.I est kg/m^3

Application 2 :

L'hexane est un corps liquide à température de 20°C , de masse volumique

$\rho = 0,66 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, de formule chimique C_6H_{14} .

On donne la masse molaire de l'hexane : $M(\text{C}_6\text{H}_{14}) = 86 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Quel volume d'hexane doit-on mesurer à l'aide d'une éprouvette graduée pour obtenir $n = 0,1 \text{ mol}$ de ce liquide ?

Corrigé :

- La masse de l'hexane est : $m = \rho \cdot V$

- Sa quantité de matière s'écrit : $n = \frac{m}{M} = \frac{\rho \cdot V}{M}$
- Calcul du volume V de l'hexane : $V = \frac{n \cdot M}{\rho} = \frac{0,1 \times 86}{0,66} = 13 \text{ mL}$

4- La quantité de matière de densité

Définition :

La densité d par rapport à l'eau d'un solide (ou d'un liquide), est égale au quotient de la masse m de ce corps par la masse m_0 du même volume V d'eau.

$$d = \frac{m}{m_{eau}} = \frac{\rho}{\rho_{eau}}$$

ρ est la masse volumique du corps et ρ_{eau} est la masse volumique de l'eau

La densité est un nombre qui s'exprime sans unité.

- On écrit donc : $n = \frac{m}{M} = \frac{\rho \cdot V}{M} = \frac{d \cdot \rho_{eau} \cdot V}{M}$

III- Quantité de matière de matière d'un gaz

1- La loi de Boyle-Mariotte.

On considère une seringue remplie d'air et reliée à un manomètre qui indique la pression P.

On diminue le volume occupé par l'air. On constate alors que la pression affichée par le manomètre augmente.

Compléter le tableau suivant :

V(L)	1	0,5	0,33	0,25
P(bar)	1	2	3	4
P.V				

Conclusion :

Lorsqu'on diminue le volume d'air, la pression de ce gaz augmente et le produit $P.V$ reste constant.

Enoncé de la loi de Boyle-Mariotte :

A température constante, pour une quantité de matière donnée de gaz, le produit de la pression P par le volume V de ce gaz ne varie pas : $P.V = cte$

3- La densité d'un gaz par rapport à l'aire :

Définition :

La densité d'un gaz par rapport à l'air, est égale au quotient de la masse m d'un volume V de gaz par la masse m_{air} du même volume V d'air (m et m_{air} étant mesurées dans les mêmes conditions de température et de pression)

$$d = \frac{m}{m_{air}} = \frac{n \cdot M}{\rho_{air} \cdot n \cdot V_m} = \frac{M}{\rho_{air} \cdot V_m}$$

Dans les conditions normales :

$$\rho_{air} = 1,293 \text{ g/L} \quad \text{et} \quad V_m = 22,4 \text{ L/mol} \quad \text{ainsi} \quad \rho_{air} \cdot V_m = 29 \text{ g/mol}$$

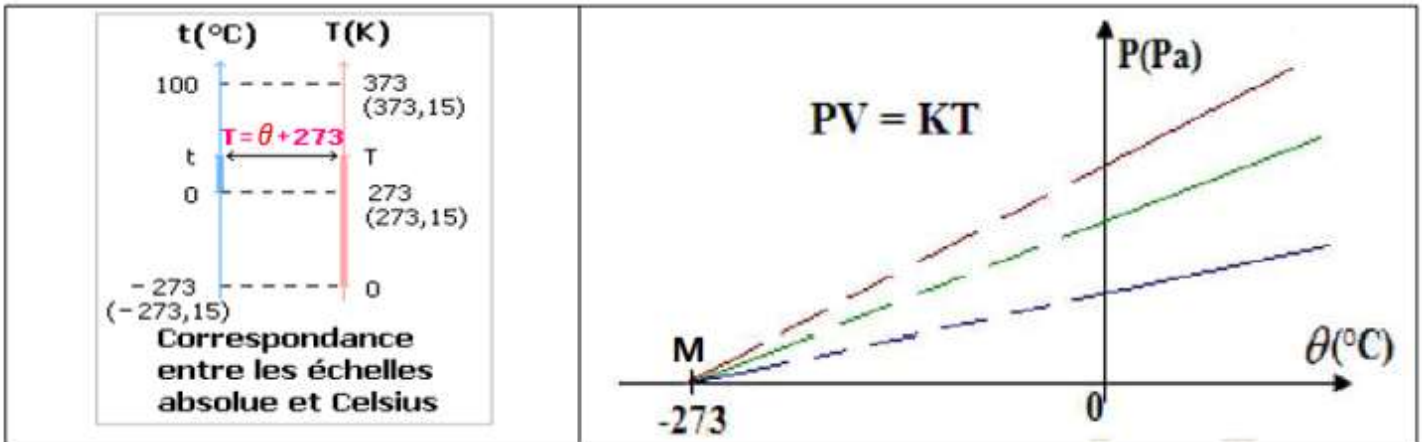
Donc :

$$d = \frac{M}{29}$$

4- Température absolue

La température exprimée en degrés Celsius peut être positive ou négative.

$$T(K) = \theta(^{\circ}C) + 273,15$$



Les expériences montrent que les coordonnées du point M ne dépendent pas de la nature du gaz ni de son volume ni de quantité de matière.

Le point M qui correspond à $273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$, c'est l'origine de Kelvin appelé zéro absolue.

5- Equation d'état des gaz parfaits :

Un gaz est dite parfait lorsque les particules qui le constituent sont sans interaction les unes aux autres.

A basse pression et à haute température le comportement d'un gaz réel peut se considérer le même qu'un gaz parfait.

L'expérience montre que les quatre variables d'état (P, V, n, T) sont liées par une équation s'appelle l'équation d'état des gaz parfait :

$$P.V = n.R.T$$

P : La pression du gaz en pascal (Pa)

V : Le volume du gaz, en m^3

n : La quantité de matière, en mol

T : La température absolue, en Kelvin (K)

R : Constate de gaz parfait sa valeur

dans S.I est $R = 8,314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Application :

Calcul de volume molaire V_m dans les conditions normales de température et de pression (CNTP) ($\theta = 0^\circ C$, $P = 1013 \text{ hPa}$).

Corrigé :

Le volume molaire est le volume occupé par une mole de gaz parfait dans les conditions normales de température et de pression ($\theta = 0^\circ C$, $P = 1013 \text{ hPa}$)

$$P.V = n.R.T \Rightarrow V_m = \frac{V}{1} = \frac{R.T}{P}$$

$$V_m = \frac{8,31 \times (0 + 273,15)}{1013 \times 10^2} = 2,24 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$V_m = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$$

COURS :

2- Grandeurs physiques liées aux quantités de matière

A- Masse, volume et pression :

I - Quelques définitions :

- Une mole, est un paquet de $6,02 \times 10^{23}$ entités chimiques identiques.
- Le nombre d'AVOGADRO : Le nombre N_A représente le nombre d'entités élémentaires par mol, on l'exprime en mol^{-1} . $N_A = 6,022137 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- La masse molaire atomique est la masse d'une mole d'atomes de l'espèce considérée. On symbolise la masse molaire par M . La masse molaire s'exprime en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- 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 atomiques des atomes qui constituent la molécule)

Exemple : Déterminer la masse molaire moléculaire de H_2SO_4 .

$$M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 M(\text{H}) + M(\text{S}) + 4 M(\text{O})$$

$$M(\text{H}_2\text{SO}_4) \approx 2 \times 1,0 + 1 \times 32,1 + 4 \times 16,0$$

$$M(\text{H}_2\text{SO}_4) \approx 98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

- La masse volumique :

C'est la masse en kg de 1 m^3 de substance. Elle est définie comme le quotient de la masse d'un corps par son volume : $\mu = \frac{m}{V}$ avec :

- m : Masse de l'échantillon considéré en Kg
- V : Volume occupé par l'échantillon en m^3
- μ : Masse volumique de l'échantillon en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Remarque : on exprime aussi les masses volumiques en $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

Rappel : $1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ dm}^3 = 10^6 \text{ cm}^3 = 10^3 \text{ L}$

- Densité d'un liquide.

La densité d'un liquide par rapport à l'eau est égale au rapport entre la masse d'un volume V du liquide et la masse d'un même volume d'eau.

$$d = \frac{\text{Masse d'un volume } V \text{ du liquide}}{\text{Masse d'un même volume } V \text{ d'eau}}$$

La densité est un nombre qui s'exprime sans unité.

On écrit aussi :

$$d = \frac{m_{\text{liq}}}{m_{\text{eau}}}$$

Connaissant la masse volumique du liquide, on peut utiliser la relation suivante :

$$m_{\text{liq}} = \mu_{\text{liq}} \cdot V$$

De même pour le volume V d'eau : $m_{\text{eau}} = \mu_{\text{eau}} \cdot V$

On déduit la relation suivante :

$$d = \frac{m_{\text{liq}}}{m_{\text{eau}}} = \frac{\mu_{\text{liq}} \cdot V}{\mu_{\text{eau}} \cdot V}$$

$$d = \frac{\mu_{\text{liq}}}{\mu_{\text{eau}}}$$

II- Quantité de matière d'un solide ou d'un liquide :

1)- Quantité de matière et masse (détermination de la quantité de matière par pesée) :

La quantité de matière d'une espèce chimique ne se mesure pas, elle se détermine grâce à d'autres grandeurs physiques qui elles se mesurent comme la masse : $m = n \times M$, avec :

- n : Quantité de matière de l'espèce chimique considérée en mol .
- M : Masse molaire de l'espèce chimique considérée en g.mol^{-1} .
- m : Masse de l'espèce chimique considérée en g.

Applications 1 : Calculer la quantité de matière n d'eau contenue dans un litre d'eau.

On donne : la masse de un litre d'eau est $m = 1,00 \text{ kg}$.

L'eau a une structure moléculaire de formule H_2O .

Application 2 : On pèse un morceau de sucre à l'aide d'une balance électronique. La pesée donne une masse $m = 6 \text{ g}$.

Déterminer la quantité de matière de saccharose que contient ce morceau de sucre ?

On donne la masse molaire du saccharose : $M (\text{C}_{12} \text{H}_{22} \text{O}_{11}) \approx 342 \text{ g.mol}^{-1}$.

Remarque : En pratique, pour déterminer la valeur de la quantité de matière d'une espèce solide ou liquide, on peut utiliser la pesée. Par contre la pesée d'un échantillon gazeux est très délicate. Elle est rarement utilisée pour la détermination de la quantité de matière d'un échantillon gazeux.

2)- Quantité de matière et volume :

Considérons un échantillon de liquide ,de volume V , de masse volumique μ et de masse molaire M .

Avec la relation $m = \mu \cdot V$, on en déduit la quantité de matière de l'échantillon par la relation suivante :

$n = \frac{\mu \cdot V}{M}$	<ul style="list-style-type: none"> ▶ μ : Masse volumique de l'échantillon en kg / m^3 ▶ V : Volume occupé par l'échantillon en m^3 ▶ M : Masse molaire de l'espèce chimique considérée en g.mol^{-1}
-----------------------------	---

Attention aux unités : La masse molaire s'exprime en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Il faut que les unités de masse et de volume soient cohérentes.

Application 3 : L'hexane est un liquide incolore formé de molécule de formule C_6H_{14} et dont la masse volumique est $\mu = 660 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Déterminer la valeur du volume nécessaire, que l'on doit prélever, pour obtenir 0,10 mol d'hexane.

III- Quantité de matière d'un gaz (détermination par mesure du volume pour les gaz) :

1)- Rappels :

a)- Propriétés des gaz :

- Les gaz sont expansibles (ils occupent tout le volume offert). Ils sont compressibles.
- Tous les gaz ont une structure moléculaire.
- Les molécules se déplacent dans toutes les directions de façon désordonnée.
- Pour déterminer la quantité de matière d'un échantillon de gaz, il faut connaître sa température, son volume et sa pression.

b)- Pression d'un gaz :

Elle est due aux chocs des molécules. Elle permet de décrire l'état d'un gaz exerçant une force pressante F sur une surface S . Par définition $p = F / S$

- F : Force pressante en newton N.
- S : Aire de la surface plane en m^2 .
- p : Pression en pascal Pa.

On emploie couramment d'autres unités :

- Le bar (bar) : $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
- L'hectopascal : $1 \text{ hPa} = 10^2 \text{ Pa} = 1 \text{ mbar}$

c)- La température absolue :

La température est due à l'agitation des molécules : plus la vitesse des molécules est grande, plus la température est élevée

Le zéro absolue ($T = 0 \text{ Kelvin}$) correspond à une absence totale d'agitation thermique, toutes les températures absolues utilisées sont donc positives.

L'unité de température absolue est le Kelvin : symbole K.

L'échelle de température Celsius (température notée θ) se déduit de la température absolue (température notée T) par la relation : $T (\text{K}) = \theta ^\circ \text{C} + 273,15$ (on peut utiliser la relation approchée : $T (\text{K}) \approx \theta ^\circ \text{C} + 273$)

2)- Loi de Boyle Mariotte :

ACTIVITE : TP

Enoncé de la loi : A température constante T et pour une quantité de matière n d'un gaz donnée, le produit de la pression P par le volume V de ce gaz ne varie pas :

$$P \times V = \text{constante.}$$

3)- Équation d'état du gaz parfait :

Les quatre paramètres pression p , volume V , température absolue T et quantité de matière n sont liés par une relation appelée équation d'état du gaz parfait.

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$	<p>p : Pression en pascal (Pa)</p> <p>V : Volume en mètre cube (m^3)</p> <p>n : Quantité de matière (mol)</p> <p>T : Température en kelvin (K)</p>
---------------------------------	---

R est la constante du gaz parfait : $R \approx 8,31 \text{ SI}$

Cette relation permet de déterminer la quantité de matière d'un échantillon de gaz connaissant sa température son volume et sa pression.

Application 4 : Soit un flacon de volume $V = 1,1 \text{ L}$ rempli de dichlore sous la pression $p = 1013 \text{ hPa}$ à la température $\theta = 20,0^\circ \text{ C}$. Calculer la quantité de matière n de dichlore présente dans le flacon.

4)- Volume molaire d'un gaz :

a)- Définition.

Le volume molaire V_m est le volume d'une mole du gaz parfait . Il s'exprime en mol.L^{-1} .

Dans les conditions normales de température et de pression (C.N.T.P : $\theta = 0,00^\circ \text{ C}$ et 1013 hPa) le volume molaire V_m est le volume d'une mole du gaz parfait ($n = 1 \text{ mol}$) :

$p =$

$$V_m = \frac{RT}{P}$$

$$V_m = \frac{8,31 \times 273,15}{1,013 \times 10^5}$$

$$V_m = 2,24 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 = 22,4 \text{ L}$$

Remarque : la formule $V_m = \frac{RT}{P}$ montre que le volume molaire du gaz parfait dépend de la température et de la pression.

Application 5 : Calculer le volume molaire du gaz parfait dans les conditions standard définies par : $p = 1,00 \text{ bar}$ et $\theta = 20,0^\circ \text{ C}$.

b)- Relation entre le volume molaire et la quantité de matière.

$$V = n V_m \text{ avec :}$$

- n : Quantité de matière de l'espèce chimique gazeuse en mol.
- V_m : Volume molaire de l'espèce chimique considérée en L.

- V : Volume de l'espèce chimique gazeuse en L .

Application 6 : Au cours d'une expérience, on recueille un volume $V = 24 \text{ mL}$ de dioxyde de carbone. Calculer la quantité de matière n de dioxyde de carbone recueilli. On donne le volume molaire dans les conditions de l'expérience : $V_m = 22 \text{ L.mol}^{-1}$.

Grandeurs physiques liées aux quantités de matière

1. Détermination de la quantité de matière d'une espèce chimique solide ou liquide

1.1. Définition de la quantité de matière :

- La quantité de matière, notée n , est la grandeur utilisée pour spécifier un nombre d'entités microscopiques (atomes, molécules, ions, etc.). Son unité est la mole (**mol**).
- Une mole est la quantité de matière d'un système contenant N_A , entités élémentaires (atomes, molécules, ions ...)

$N_A = 6,02.10^{23}$ est appelé : le nombre d'Avogadro.

- La quantité de matière n d'un échantillon est le rapport du nombre d'élément N qu'il contient sur le nombre d'Avogadro N_A .

$$n = \frac{N(X)}{N_A}$$

1.2. Relation entre la masse et la quantité de matière :

- La quantité de matière contenue dans un échantillon de masse m est donnée par la relation suivante:

$$n(X) = \frac{m(X)}{M(X)}$$

- Cette relation s'applique pour les **solides** les **liquides** (et même pour les gaz) mais il est plus commode de caractériser un gaz par son volume que par sa masse.
- $M(X)$ est la masse molaire de l'espèce chimique X en g.mol^{-1} .

Application 1:

Déterminer la quantité de matière contenue dans 9,8g d'acide sulfurique H_2SO_4 .

On donne : $M(\text{H})=1\text{g/mol}$, $M(\text{O})=16\text{g/mol}$, $M(\text{S})=32\text{g/mol}$.

Corrigé :

On a $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2M(\text{H})+M(\text{S})+4M(\text{O})=2+32+4\times 16=98\text{g/mol}$

Donc $n = \frac{m}{M} = \frac{9,8}{98} = 0,1\text{mol}$

1.3. le volume et la quantité de matière :

1.3.1. La masse volumique et la densité

- La **masse volumique** ρ d'une espèce chimique est égale au rapport de sa masse m par son volume V .

$$\rho(X) = \frac{m(X)}{V(X)}$$

Son unité dans S.I est kg/m^3

- La **densité** d est le rapport entre la masse d'un volumique ρ du corps considéré et la masse volumique d'un corps de référence ρ_0 (l'eau pour les liquides et les solides).

- Pour un liquide ou solide : $\rho = \frac{m}{m_{\text{eau}}} = \frac{\rho}{\rho_{\text{eau}}}$

Remarque 1: À 25°C , la masse volumique de l'eau est égale à $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ kg.L}^{-1} = 1,00 \text{ g.mL}^{-1}$

Remarque 2: La densité est un nombre qui s'exprime **sans unité**.

1.3.2. Relation entre le volume et la quantité de matière

- Connaissant le volume V d'un échantillon d'une espèce chimique et la masse volumique ρ de cette espèce, on en déduit la masse de l'échantillon :

$$m(X) = \rho(X).V(X)$$

On a aussi :
$$n(X) = \frac{m(X)}{M(X)}$$

- On en déduit donc la relation entre la quantité de matière et le volume de l'échantillon :

$$n(X) = \frac{\rho(X) \cdot V(X)}{M(X)}$$

Ainsi, la masse volumique ρ d'un corps et sa densité d par rapport à l'eau sont liées par la relation :

$$\rho(X) = d \times \rho_{eau}$$

On écrit donc :

$$n(X) = \frac{d \cdot \rho_{eau} \cdot V(X)}{M(X)}$$

Application 2:

Calculer la quantité de matière contenue dans un volume $V=10\text{mL}$ de linalol $C_{10}H_{18}O$ de densité $d = 0,9$.

Corrigé :

On a $M(C_{10}H_{18}O) = 10M(C) + 18M(H) + M(O) = 10 \times 12 + 18 + 16 = 154\text{g/mol}$

Donc $n = \frac{\rho \cdot V}{M} = \frac{d \cdot \rho_{eau} \cdot V}{M} = \frac{0,9 \times 1 \times 10}{154} = 5,8 \times 10^{-2} \text{ mol}$

2. Détermination de la quantité de matière d'un gaz

2.1. La détermination de la quantité de matière à partir du volume molaire

2.1.1. Le volume molaire

- Définition :** Le volume molaire d'un gaz (V_m) est le volume occupé par une mole de ce gaz dans des conditions données (dépend de la **pression P** et de la **température T**).

Remarque 1 : Pour des conditions usuelles ($\theta=20^\circ\text{C}$ et $P=1 \text{ bar}$), le volume molaire est 24 L.mol^{-1} .

Pour des conditions normales ($\theta=0^\circ\text{C}$ et $P=1 \text{ bar}$), le volume molaire vaut $22,4 \text{ L.mol}^{-1}$.

Remarque 2 : Le volume molaire d'un gaz est donc indépendant de la nature de ce gaz et ne dépend que de la pression **P** et de la température **T** de ce gaz.

2.1.2. La quantité de matière d'un gaz

- Connaissant le volume **V** d'un échantillon de gaz, à température et pression connues, on peut calculer la quantité de matière **n** contenue dans cet échantillon à partir du volume molaire V_m des gaz dans les mêmes conditions de température et de pression :

$$n(X) = \frac{V(X)}{V_m}$$

n : la quantité de matière en **mol**.

V : le volume de ce gaz en **L**.

V_m : le volume molaire de ce gaz en L.mol^{-1} avec $V_m = 22,4 \text{ L.mol}^{-1}$ à 0°C ou $V_m = 24 \text{ L.mol}^{-1}$ à 20°C .

2.2. La loi de Boyle-Mariotte

2.2.1. Expérience :

- On comprime un gaz, en faisant varier le volume **V**, dans une seringue, et on mesure la pression **P** du gaz correspondant.

2.2.2. Résultat :

V(m ³)	1,5.10 ⁻⁵	2,0.10 ⁻⁵	2,5.10 ⁻⁵	3,5.10 ⁻⁵
P(Pa)	9985	7490	5990	4280
P.V(Pa.m ³) 0,1498 0,1498 0,1498 0,1498

1- Remplir le tableau ci-dessus.

2- A partir du tableau de mesures, indiquer comment évolue la pression de l'air

3- Tracer la courbe de variation de **P** en fonction de **1/V**.

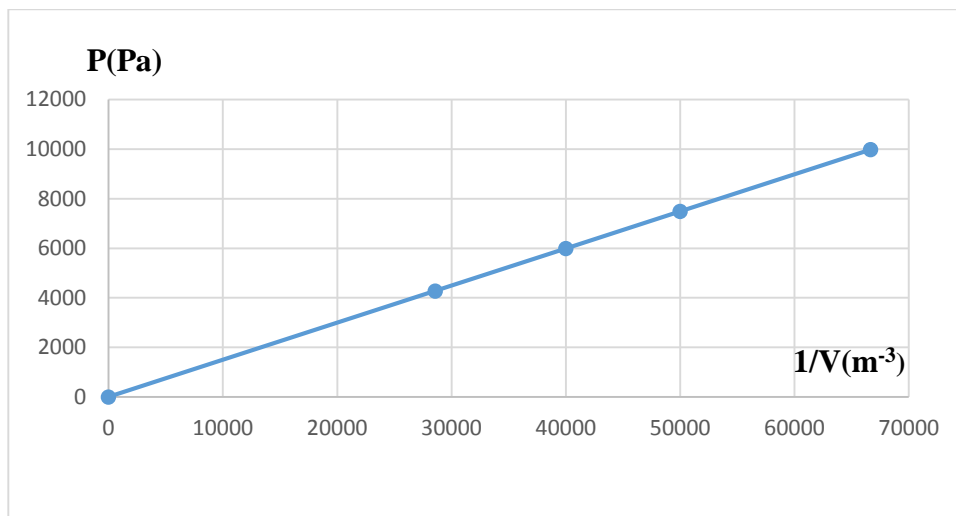
4- A température constante **T** et pour une quantité de matière **n** d'un gaz donnée, quelle relation remarquable lie les grandeurs **P** (pression) et **V** (volume).

Corrigé :

1- Voir le tableau ci-dessus.

2- À température constante, nous observons, lorsque le volume d'un échantillon de gaz augmente, sa pression diminue, et vice versa.

3-



4- On constate que la courbe passe par l'origine du repère :

$$P = \text{constante} \cdot \frac{1}{V}$$

$$\text{D'où } P \cdot V = \text{constante}$$

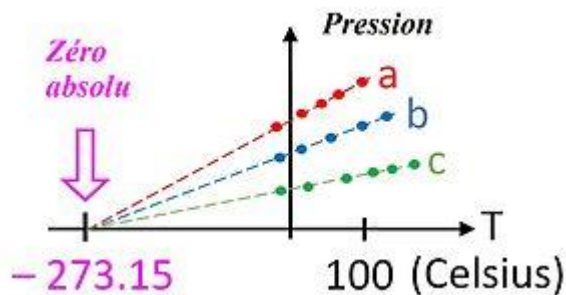
2.2.3. Conclusion

- **La loi de Boyle Mariotte** définit une relation entre le volume, la température et la pression. Elle explique que la pression varie en fonction du volume, à température constante.

$$P \cdot V = C^{te}$$

2.3. Echelle absolue de la température

- Le graphe suivant illustre la variation la pression d'une quantité de gaz à volume constant en fonction de la température.



- En prolongeant la courbe jusqu'à ce qu'elle se coupe avec l'axe de la température centésimale, on constate que la pression s'annule (théoriquement) lorsque la température est **-273°C**.

- La température **-273°C** correspond à l'origine de l'échelle de température absolue c'est-à-dire zéro kelvin.
- La relation entre la température absolue et la température

$$T(K) = \theta(^{\circ}C) + 273$$

2.4. Relation des gaz parfaits

- L'équation d'état des gaz parfaits est une relation entre la pression **P**, le volume **V**, et la température **T** d'un gaz pour une quantité de matière **n** :

$$P \times V = n \times R \times T$$

P est la pression en pascal **Pa**

V le volume du gaz en **m³**

n la quantité de matière en **mol**

T la température en kelvin **K**

R la constante des gaz parfait, sa valeur est : **R = 8,314 SI**

- Connaissant la température, la pression et le volume d'un gaz, on peut donc à l'aide de cette équation déterminer la quantité de matière correspondante :

$$n(X) = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$$

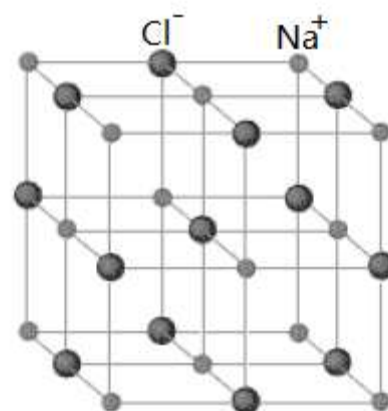
Concentration et solutions électrolytiques

I- Structure d'un solide ionique

- Un solide ionique est formé d'anions et de cations régulièrement disposés dans l'espace et formant une structure solide appelée cristal.
- La cohésion d'un solide ionique est assurée par les interactions électriques entre tous les anions et les cations.
- Le corps solide ionique est électriquement neutre : les charges positives des cations et les charges négatives des anions se compensent, il donne un isolant électrique.

- Exemple :

- Le chlorure de sodium est composé d'un assemblage d'un ion sodium (Na^+) et d'un ion chlorure (Cl^-).
- La formule statistique de chlorure de sodium est alors $NaCl$.



II- molécules polaires

1- L'électronégativité d'un élément chimique.

- L'électronégativité d'un élément traduit la tendance de cet élément à attirer le doublet d'électrons d'une liaison covalente qu'il forme avec un autre atome.
- Plus un élément est électronégatif, plus il attire à lui le doublet d'électrons de la liaison covalente.

Remarque

L'électronégativité varie selon la place de l'élément dans la classification périodique :

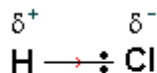
- Sur la même ligne, elle augmente de gauche à droite.
- Dans la même colonne, elle augmente de bas en haut.

2- La molécule Polaire

2.1- Molécule de chlorure d'hydrogène.

Dans la molécule de chlorure d'hydrogène HCl , l'atome de chlore et l'atome d'hydrogène mettent en commun un doublet d'électrons constituant ainsi une liaison covalente.

Le chlore est plus électronégatif que l'hydrogène, le doublet électronique est proche de l'atome de chlore que de celui d'hydrogène, ce qui provoque l'apparition d'une charge partielle négative δ^- sur l'atome de chlore et d'une charge partielle positive δ^+ sur l'atome d'hydrogène.



polarisation de la liaison de la liaison HCl

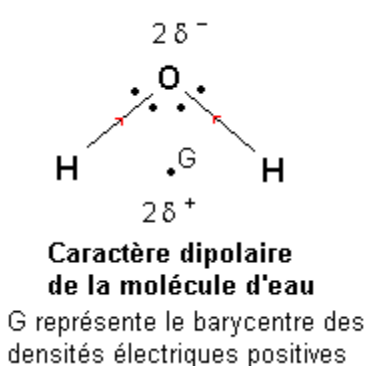
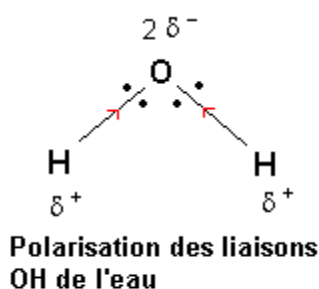
La liaison $H - Cl$ est dite **polarisée**.

La molécule HCl a un **caractère dipolaire**.

2.2- Molécule d'eau

La molécule d'eau H_2O l'oxygène est plus électronégatif que l'hydrogène. Les deux liaisons covalentes $O - H$ d'une molécule d'eau sont polarisées.

Il en résulte l'apparition d'une charge partielle $2\delta^-$ sur l'atome d'oxygène et d'une charge partielle δ^+ sur chaque atome d'hydrogène.



Le barycentre des charges positives ne coïncide pas avec le barycentre de charges négatives, la molécule est polaire.

L'eau, constituée de molécules polaires, est un solvant polaire.

2.3- Caractère dipolaire d'une molécule

Une liaison entre deux atomes est polarisée si ces deux atomes sont différents.

Une molécule dans laquelle les barycentres des charges positives et négatives ne sont pas confondus est polaire.

III- Préparation des solutions aqueuses électrolytiques

1- Définition :

- Une solution électrolytique est obtenue en dissolvant une substance appelée **soluté** dans un liquide appelée **solvant**. Le soluté peut-être un solide, un liquide ou un gaz. Si le solvant est l'eau la solution obtenue est appelée **solution aqueuse**.
- Une solution électrolytique est une solution contenant des ions. Elle conduit le courant et elle est électriquement neutre.

2- Dissolution de solides ioniques dans l'eau :

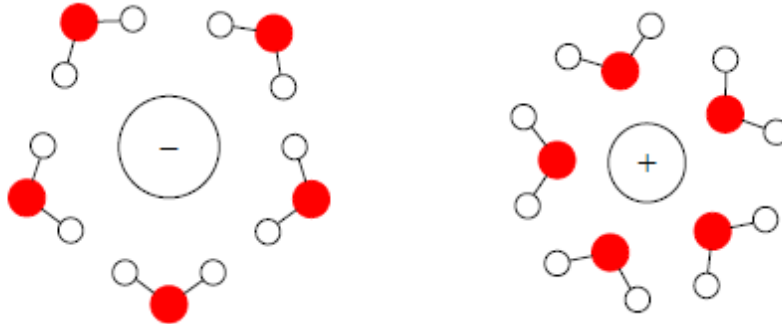
Activité :

Lorsqu'on ajoute du chlorure de sodium à l'eau, celle-ci devient plus conductrice du courant électrique. On dit que la solution obtenue est électrolytique.

- Pourquoi la solution de chlorure de sodium est plus conductrice que l'eau distillée ?

La solution de chlorure de sodium contient des ions mobiles qui assurent le passage du courant : c'est une solution électrolytique.

Les molécules d'eau grâce à leur caractère polaire entrent en interaction avec les ions du cristal. Elles affaiblissent puis rompent les liaisons ioniques. Les ions se dispersent dans l'eau et s'entourent de molécules d'eau. On dit qu'ils s'hydratent.



Les ions sodium et chlorure sont notés : $Na^+_{(aq)}$ et $Cl^-_{(aq)}$.

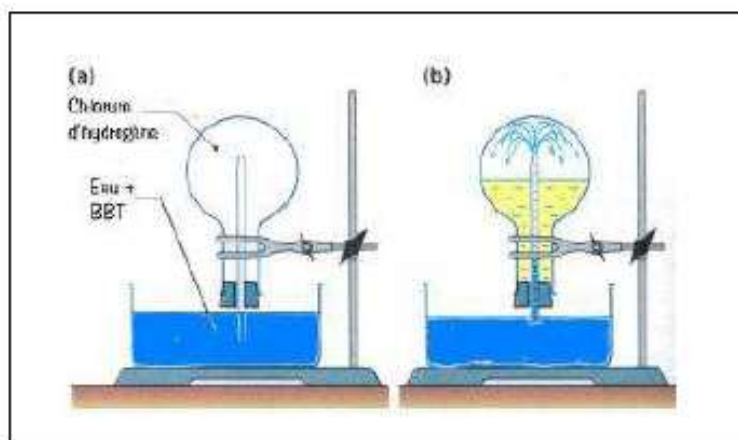
L'équation de la réaction de la dissolution du chlorure de sodium dans l'eau s'écrit :



La solution aqueuse de chlorure de sodium est notée : $Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$.

3- Dissolution d'un gaz polaire dans l'eau

Le chlorure d'hydrogène HCl est un gaz à pression et température ordinaire qui se dissout très facilement dans l'eau (expérience du jet d'eau).



Lors de la dissolution, il se produit une transformation chimique due à une interaction entre les molécules de chlorure d'hydrogène et d'eau, toutes les deux polaires.

Les liaisons intermoléculaires affaiblissent la liaison covalente $H - Cl$ pour se casser et conduisent ainsi à l'apparition des ions solvatés $H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$.

L'équation de la réaction de la dissolution du chlorure d'hydrogène dans l'eau s'écrit :



La solution aqueuse d'acide chlorhydrique est notée : $H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$.

4- Dissolution d'un liquide polaire dans l'eau

L'acide sulfurique pur est un liquide, sa formule est H_2SO_4 .

Lors de la dissolution de l'acide sulfurique H_2SO_4 , il se produit une transformation chimique due à une interaction entre les molécules d'acide sulfurique et d'eau. Ces deux types de molécules sont polaires. L'acide sulfurique se dissocie en ions hydrogène $H^+_{(aq)}$ et ions sulfates $SO_4^{2-}_{(aq)}$.

L'équation de la réaction de la dissolution de l'acide sulfurique dans l'eau s'écrit :



La solution aqueuse de l'acide sulfurique contient seulement des ions solvatés notés : $2H^+_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)}$.

IV- concentration molaire

1- Cas d'une solution :

La concentration molaire d'une solution en X , est la quantité de matière de soluté X dissoute par litre de solution :

$$C(X) = \frac{n(X)}{V} \quad \begin{cases} C(X): \text{concentration de la solution en soluté } X \text{ en mol. L}^{-1} \\ n(X): \text{quantité de matière de soluté } X \text{ mis en solution en mol} \\ V: \text{volume de la solution en L} \end{cases}$$

2- Cas d'une espèce dissoute

Si une espèce X est effectivement présente en solution, la concentration $[X]$ de cette espèce est la quantité de matière $n(X)$ de cette espèce présente par litre de solution.

$$[X] = \frac{n(X)}{V} \quad \begin{cases} [X]: \text{concentration de l'espèce } X \text{ en solution en mol. L}^{-1} \\ n(X): \text{quantité de matière de l'espèce } X \text{ en mol} \\ V: \text{volume de la solution en L} \end{cases}$$

Remarque :

La notation $[X]$ ne peut être utilisée que pour une espèce réellement présente en solution.

L'écriture $[NaCl]$ n'a pas de sens car l'espèce $NaCl$ n'existe pas en solution, il est totalement détruit par l'eau.

3- Exemple dissolution de chlorure de cuivre(II) dans l'eau

Soit une solution de chlorure de cuivre (II) de concentration C

Equation de la réaction :	$CuCl_2(s) \xrightarrow{\text{eau}} Cu^{2+}_{(aq)} + 2Cl^{-}_{(aq)}$		
Quantité de matière apportée	n_0	0	0
Quantité de matière dans la solution	0	n_0	$2n_0$

La concentration molaire du soluté :

$$C = \frac{n_0}{V}$$

La concentration molaire effective des ions dans la solution :

$$[Cu^{2+}] = \frac{n_0}{V} = C$$

$$[Cl^-] = \frac{2n_0}{V} = 2C$$

Donc :

$$[Cl^-] = 2[Cu^{2+}]$$

- Application :

Pour préparer une solution aqueuse de sulfate de sodium (Na_2SO_4), on dissout une masse $m = 14,2 \text{ g}$. Le volume de la solution est $V = 0,50 \text{ L}$.

1- Déterminer la concentration en soluté apporté de cette solution.

2- Déterminer la concentration en ions sodium et en ions sulfate de la solution précédente.

Corrigé

1- Concentration de la solution en soluté apporté :

Relation 1 :

$$C = \frac{n}{V}$$

Relation 2 :

$$n = \frac{m}{M}$$

En combinant 1 et 2 on obtient :

$$C = \frac{m}{M \cdot V}$$

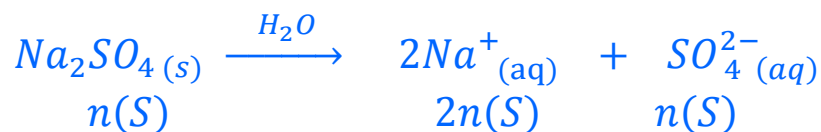
Masse molaire du soluté :

$$M = 2M(Na) + M(S) + 4M(O) = 2 \times 23 + 32,1 + 4 \times 16 = 142,1 \text{ g/mol}$$

Concentration en soluté apporté :

$$C = \frac{14,2}{0,50 \times 142,1} = 0,20 \text{ mol/L}$$

2- Pour Déterminer la concentration en ions sodium et en ions sulfate de la solution il faut utiliser l'équation de dissolution :



- Concentration en ion sodium :

$$\begin{aligned} [Na^+] &= \frac{2n(S)}{V} = 2C \\ [SO_4^{2-}] &= 0,40 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

- Concentration en ion sulfate :

$$\begin{aligned} [SO_4^{2-}] &= \frac{n(S)}{V} = C \\ [SO_4^{2-}] &= 0,20 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

Remarque :

La concentration effective d'un ion dans la solution peut être différente de la concentration en soluté apporté.

Exercices d'application

Exercice 1 :

1-On considère une solution S de chlorure d'ammonium $AlCl_3$ de concentration molaire $C = 0,02 \text{ mol/L}$.

Quelle est la concentration effective des espèces chimiques existant dans la solution.

2- La concentration molaire effective des ions chlorures dans la solution de chlorure de zinc est $[Cl^-] = 0,01 \text{ mol/L}$.

Quelle est la concentration molaire effective des ions Zn^{2+} dans la même solution.

Exercice 2 :

On veut préparer un volume $V = 250 \text{ mL}$ d'une solution de sulfate d'aluminium, de concentration massique $C_m = 17,12 \text{ g/L}$.

- 1- Quelle masse de sulfate d'aluminium doit-on utiliser ?
- 2- Quelle est la concentration molaire C de la solution obtenue, en sulfate d'aluminium.
- 3- Quelles sont les concentrations molaires de cette solution en anion sulfate et en cation aluminium.

Données :

Masses molaires des éléments : $M(Al) = 27 \text{ g/mol}$, $(O) = 16 \text{ g/mol}$,
 $M(S) = 32 \text{ g/mol}$

Exercice 3 :

Le sel de Mohr est un solide de formule $FeSO_4(NH_4)_2SO_4 + 6H_2O$. Lors de la dissolution de ce solide il se forme entre autre des ions ammonium NH_4^+ et des ions sulfates SO_4^{2-} .

- 1- Calculer la masse molaire de sel de Mohr.
- 2- Ecrire l'équation de sa dissolution dans l'eau.
- 3- Quelles sont les concentrations molaires effectives de tous les ions présents.

Données :

Masses molaires des éléments : $M(Fe) = 55,8 \text{ g/mol}$, $(O) = 16 \text{ g/mol}$,
 $M(S) = 32 \text{ g/mol}$, $M(N) = 14 \text{ g/mol}$; $M(H) = 1 \text{ g/mol}$

Exercice 4 :

On mélange un volume $V = 750 \text{ mL}$ d'une solution de chlorure de cuivre II ($Cu_{(aq)}^{2+} + 2Cl_{(aq)}^-$), de concentration molaire de soluté apporté $C = 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$, avec un volume $V' = 250 \text{ mL}$ de solution de chlorure de sodium ($Na_{(aq)}^+ + Cl_{(aq)}^-$) de concentration molaire de soluté apporté $C' = 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. On obtient une solution homogène sans apparition d'aucun précipité. Déterminer les concentrations molaires des ions présents dans la solution.

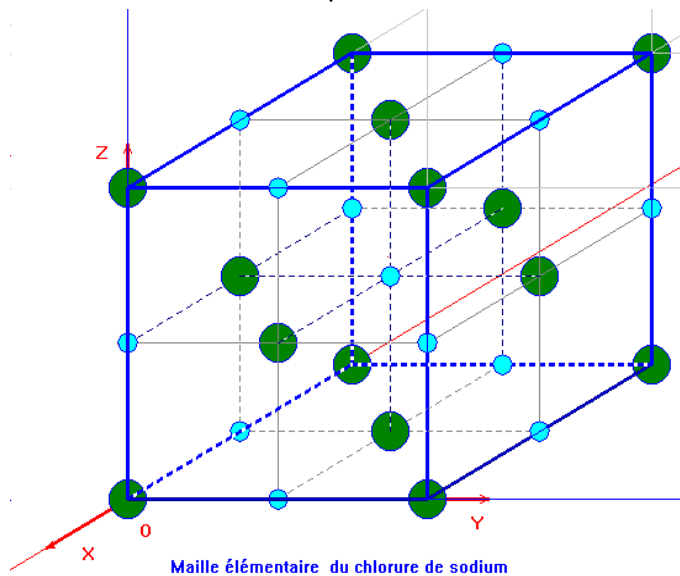
2- Grandeurs physiques liées aux quantités de matière

B - Concentration , solution électrolytique :

I- Les corps solides ioniques :

Exemple le chlorure de sodium :

Le chlorure de sodium est constitué d'un assemblage compact et ordonné d'ions sodium et d'ions chlorure. La formule statistique du cristal est NaCl. Le cristal est électriquement neutre. Il contient autant d'ions sodium que d'ions chlorure.



Cette maille élémentaire se reproduit dans les trois directions de l'espace. Chaque ion se trouve en contact avec des ions de signes contraires. Il en résulte une structure régulière dans laquelle un motif se répète à des millions d'exemplaires. Le motif est appelé maille élémentaire. On obtient un cristal à l'échelle macroscopique.

La cohésion du cristal ionique est due aux forces d'interactions électriques : les forces d'attraction électriques entre les ions de signes opposés l'emportent sur les forces de répulsions entre les ions de même signe.

II- Caractère dipolaire d'une molécule :

1)- Électronégativité d'un élément chimique :

L'électronégativité d'un élément traduit la tendance d'un atome de cet élément à attirer le doublet d'électrons d'une liaison covalent qu'il forme avec un autre atome. Plus un élément est électronégatif, plus il attire à lui le doublet d'électrons de la liaison covalent.

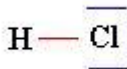
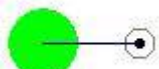
L'électronégativité varie selon la place de l'élément dans la classification périodique :

- Sur une même ligne, l'électronégativité augmente de gauche à droite.
- Dans une même colonne, elle augmente de bas en haut.

Les alcalins ont tendance à perdre des électrons, alors que les halogènes ont tendance à gagner des électrons. Ainsi, ils peuvent acquérir la structure des gaz nobles.

2)- La molécule de chlorure d'hydrogène :

Le chlorure d'hydrogène est constitué de molécules HCl dans lesquelles l'atome d'hydrogène est lié à l'atome de chlore par une liaison covalente.

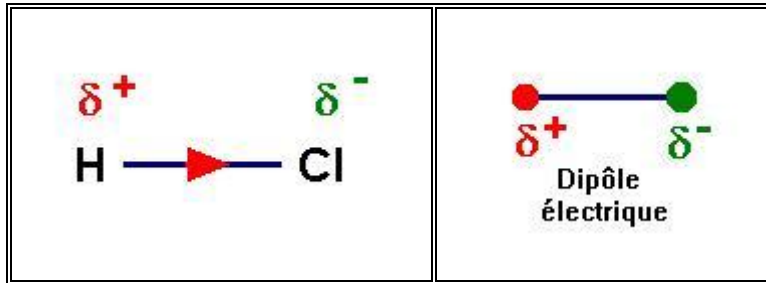
Représentation de Lewis	Caractéristiques géométriques	
		$d_{\text{H-Cl}} = 127 \text{ pm}$

Le chlore est beaucoup plus électronégatif que l'hydrogène. Il attire vers lui le doublet de liaison, on dit que la liaison H-Cl est polarisée.

Cette polarisation fait apparaître :

- Un excédant de charge négative, noté δ^- , sur l'atome de chlore (δ représente une charge partielle).
- Un excédant de charge positive, noté δ^+ , sur l'atome d'hydrogène.

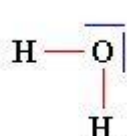
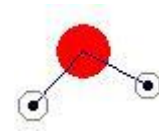
La molécule de chlorure d'hydrogène a un caractère dipolaire : elle constitue un dipôle électrique.



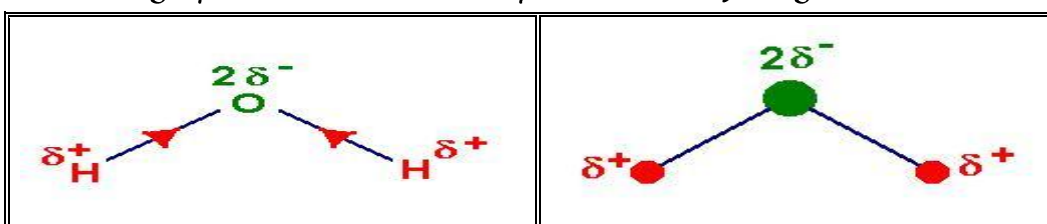
Conclusion :

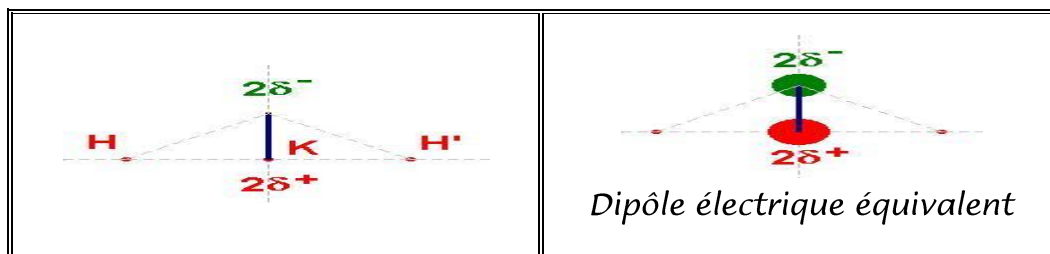
Une liaison covalente est polarisée lorsque les deux atomes liés ont des électronégativités différentes.

3)- La molécule d'eau : H_2O :

Représentation de Lewis	Caractéristiques géométriques	
		<p>Molécule coudée</p> $d_{\text{H-O}} = 96 \text{ pm}$ $\alpha = 105^\circ$

L'oxygène est plus électronégatif que l'hydrogène. Les deux liaisons covalentes O-H d'une molécule d'eau sont donc polarisées. Il en résulte l'apparition de charges partielles $2\delta^-$ sur l'atome d'oxygène et d'une charge partielle δ^+ sur chaque atome d'hydrogène.





Du point de vue de la répartition des charges, les deux charges partielles δ^+ sont équivalentes à une charge unique $2\delta^+$ située au point K situé au milieu du segment HH'. C'est le **barycentre** des charges positives. (Le barycentre de 2 charges électriques q_1 et q_2 est un point de l'espace où une charge $q = q_1 + q_2$ aurait le même effet que les deux charges q_1 et q_2 qu'elle remplace.)

Comme le barycentre des charges positives ne coïncide pas avec le barycentre des charges négatives, la molécule d'eau présente un caractère dipolaire. On dit qu'elle est polaire.

Conclusion : L'eau constituée de molécules polaires est un solvant polaire.

4)- Polarité d'une molécule :

Une liaison covalente entre deux atomes est polarisée si ces deux atomes sont différents.

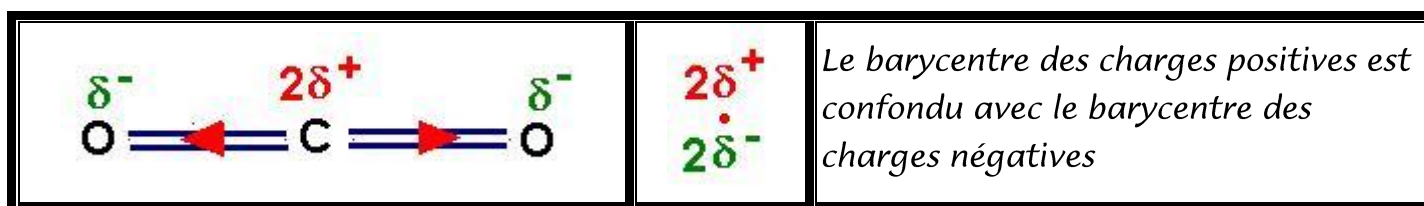
Une molécule dans laquelle le barycentre des charges positives n'est pas confondu avec le barycentre des charges négatives est polaire. La molécule constitue alors un dipôle électrique comme la molécule de chlorure d'hydrogène et la molécule d'eau.

Les molécules diatomiques dont les deux atomes sont identiques (I_2, O_2, \dots) sont apolaires (non polaires).

Une molécule dans laquelle le barycentre des charges positives est confondu avec le barycentre des charges négatives est apolaire. Exemple la molécule de dioxyde de carbone.

Représentation de Lewis	Caractéristiques géométriques	
$\text{O}=\text{C}=\text{O}$		molécule linéaire $d_{C-O} = 116 \text{ pm}$

L'oxygène est plus électronégatif que le carbone. Les deux liaisons covalentes $O=C$ d'une molécule de dioxyde de carbone sont polarisées. Il en résulte l'apparition de charges partielles δ^- sur chaque atome d'oxygène et d'une charge partielle $2\delta^+$ sur l'atome de carbone.



III - Dissolution - Hydratation (Solvatation) des ions :

ACTIVITE 1 :

1)- Dissolution d'une espèce chimique dans l'eau :

Lorsqu'on dissout une espèce chimique dans l'eau on obtient une solution aqueuse.

L'espèce chimique dissoute est appelée soluté.

Exemples :

- Dissolution du sucre (le glucose) dans l'eau : on obtient une solution sucrée qui est une solution aqueuse qui contient des molécules de glucose dissout.
- Dissolution de chlorure de sodium dans l'eau. On obtient une solution aqueuse salée qui contient des ions chlorure et des ions sodium.

2)- Dissolution des solides ioniques :

Prenons comme exemple une solution aqueuse de chlorure de sodium. Le soluté est le chlorure de sodium, le solvant est l'eau.

La dissolution du cristal se fait en plusieurs étapes :

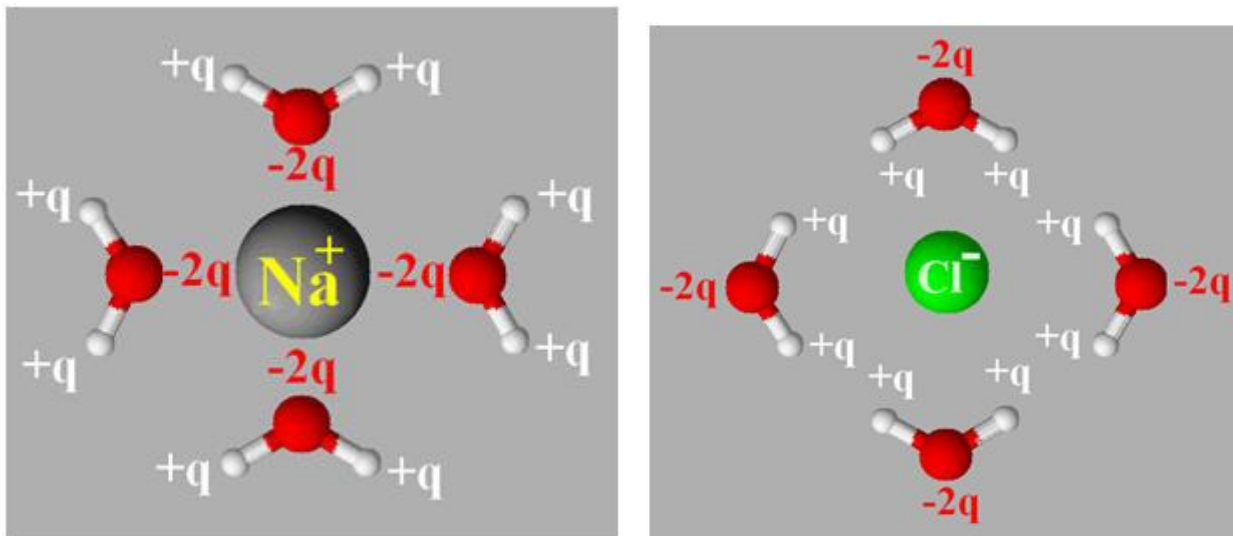
► Première étape : Dissociation du solide ionique.

Les ions sodium sont attirés par les pôles négatifs des molécules d'eau et les ions chlorure sont attirés par les pôles positifs des molécules d'eau. Ce phénomène entraîne la diminution des interactions entre les cations et les anions du cristal.

Les ions sodium et chlorure se dissocient du cristal ionique.

► Deuxième étape : Hydratation des ions.

Les ions sodium Na^+ et les ions chlorure Cl^- s'entourent d'un cortège de molécules d'eau. Ils sont hydratés.



► Troisième étape : La dispersion des ions.

Les ions hydratés se déplacent dans l'eau et s'éloignent sous l'effet de l'agitation thermique.

Ils se dispersent dans l'eau avec leur cortège respectif de molécules d'eau. Ce cortège masque en partie la charge portée par les ions et empêche l'agrégation des ions.

La dissolution d'un cristal ionique dans un solvant polaire se déroule en 3 étapes :

- La dissociation des ions du solide ;
- L'hydratation des ions ;
- La dispersion des ions dans le solvant.

En solution aqueuse, on utilise la notation simplifiée suivante pour les ions hydratés : exemple pour l'ion sodium hydraté : $\text{Na}^+ (\text{aq})$; pour l'ion chlorure : $\text{Cl}^- (\text{aq})$.

3) - Cas d'une molécule polaire :

Les molécules d'eau grâce à leur caractère dipolaire, entrent en interaction avec les molécules dipolaires. Des liaisons intermoléculaires se créent entre les molécules de soluté et les molécules d'eau. Ces liaisons affaiblissent les liaisons covalentes qui se cassent pour donner des ions. Les ions formés s'hydratent et se dispersent dans la solution.

4)- Un cas particulier : la solvation du proton :

L'ion hydrogène correspond à un proton. En solution aqueuse, le proton est lié à des molécules d'eau. On peut le représenter par la notation simplifiée suivante : $\text{H}^+ (\text{aq})$.

L'interaction entre une molécule d'eau et l'ion hydrogène est suffisamment grande pour donner une liaison assez forte pour former l'ion oxonium H_3O^+ .

IV - Équation de dissolution et formule des solutions électrolytiques :

Pour obtenir une solution aqueuse électrolytique, il faut dissoudre :

- Soit un solide ionique.
- Soit un liquide ou un gaz constitués de molécules polaires.

La dissolution d'un soluté dans l'eau est une transformation chimique due à l'interaction des molécules d'eau avec le soluté. Cette dissolution se fait en deux étapes :

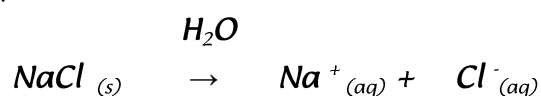
- Première étape : la dissociation du soluté (rupture des liaisons assurant la cohésion du soluté)
- Deuxième étape : l'hydratation et dispersion des ions.

La dissolution est une transformation chimique que l'on peut traduire ses étapes par une seule équation simplifiée .

Exemples :

- Préparation de la solution aqueuse de chlorure de sodium :

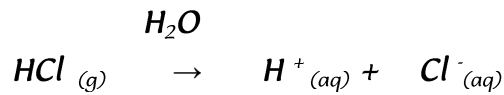
On dissout du chlorure de sodium dans l'eau. C'est une transformation chimique que l'on peut traduire par l'équation simplifiée suivante :



La formule de la solution aqueuse de chlorure de sodium : $(\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})})$

- Préparation de la solution aqueuse de chlorure d'hydrogène appelée acide chlorhydrique :

On dissout du chlorure d'hydrogène (gaz) dans l'eau.



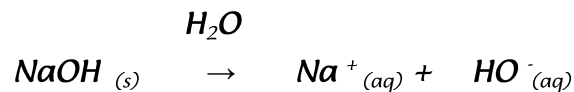
Autre écriture : $\text{HCl}_{(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$

La formule de la solution aqueuse : $(\text{H}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)})$ ou $(\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)})$

- Préparation d'une solution de soude. :

On dissout des pastilles d'hydroxyde de sodium. On obtient une solution aqueuse appelée soude.

L'équation de dissolution :

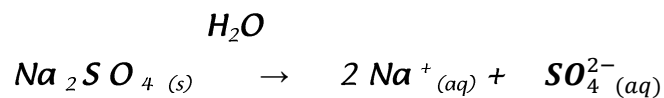


La formule de la solution : $(\text{Na}^+_{(aq)} + \text{HO}^-_{(aq)})$ Solution aqueuse d'hydroxyde de sodium.

- Préparation d'une solution de sulfate de sodium:

On dissout des pastilles du sulfate de de sodium. On obtient une solution aqueuse .

L'équation de dissolution :



La formule de la solution : $(2\text{Na}^+_{(aq)} + \text{SO}_4^{2-}_{(aq)})$ On indique dans la formule qu'il y a deux ions sodium pour un ion sulfate.

V - Concentration molaire de soluté apporté:

La concentration molaire de soluté apporté est la quantité de matière de soluté dissoute par unité de volume de solution. Elle est notée C et s'exprime généralement en mol.L^{-1} .

$C(S) = \frac{n(S)}{V}$	<ul style="list-style-type: none"> • $C(s)$ concentration molaire de soluté apporté en mol.L^{-1} . • $n(s)$ quantité de matière de soluté apporté en mol. • V volume de la solution aqueuse obtenue en L.
-------------------------	--

Application 1 : On prépare une solution aqueuse de sulfate de sodium. Pour ce faire, on dissout une masse $m = 14,2 \text{ g}$ de soluté dans l'eau. Le volume de la solution obtenue est $V = 0,50 \text{ L}$. Déterminer la concentration molaire de soluté apporté .

Application 2 : On souhaite préparer un volume $V = 250,0 \text{ mL}$ d'une solution de saccharose $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ de concentration molaire $C = 1,20 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. Déterminer la valeur de la masse m_s de saccharose à peser.

On donne : Masse molaire du saccharose : $M_s = M(C_{12}H_{22}O_{11}) = 342 \text{ g.mol}^{-1}$.

Remarque : On définit Concentration massique la concentration massique d'une espèce moléculaire A d'une solution est définie par la relation suivante : $C_m(A) = \frac{m(A)}{V}$

- $m(A)$: Masse de l'espèce moléculaire A dissoute en g
- V : Volume de la solution en L
- $C_m(A)$: Concentration massique en g.L^{-1} .

En remplaçant $m(A) = n_A \cdot M(A)$ dans l'équation précédente on trouve la relation liant la concentration molaire en soluté apporté et la concentration massique : $C_m = C \cdot M(A)$

VI - Concentration molaire d'une espèce dissoute (concentration effective) :

Pour chaque espèce chimique dissoute X en solution, la concentration molaire effective en espèce dissoute est la quantité de matière de cette espèce effectivement en solution par unité de volume. Elle est notée $[X]$ et s'exprime généralement en mol.L^{-1} .

$[X] = \frac{n(X)}{V}$	<ul style="list-style-type: none"> • $[X]$ concentration molaire effective en espèce dissoute X en mol.L^{-1}. • $n(X)$ quantité de matière de l'espèce X en mol. • V volume de la solution aqueuse en L.
------------------------	---

Application 3 : Déterminer la concentration molaire effective en en ions sodium et en ions sulfate dissout de la solution précédente.

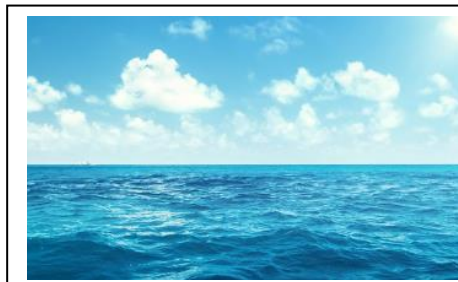
- Remarque 1 : La concentration molaire effective d'un ion dissout dans la solution peut-être différente de la concentration molaire en soluté apporté.
- Remarque 2 L'écriture $[Na_2SO_4]$ n'a pas de sens car l'espèce Na_2SO_4 n'existe pas en solution.

Application 4 : Introduire dans une fiole jaugée de 100 mL une masse $m = 2,68 \text{ g}$ de chlorure de cuivre (II) solide ; ajuster au trait de jauge avec de l'eau distillée.

- Déterminer les quantités de matière de soluté et les quantités de matière des ions en solution obtenues après dissolution complète du solide.
- En déduire la concentration molaire effective des ions dissout en solution.

La mer est une solution ionique ou solution électrolytique de volume immense.

- Qu'est-ce qu'une solution électrolytique ?
- Quelles sont les caractéristiques de ses constituants ?
- Comment peut-on calculer la concentration de ces constituants ?



I- Le solide ionique :

Un solide ionique (cristal ionique) est constitué d'**anions** et des **cations** régulièrement disposés dans l'espace.

La formule d'un solide ionique constitué des ions X^{a+} et Y^{b-} s'écrit sous la forme $X_b Y_a$.

Exemples :

<i>Cristal</i>	<i>Ions</i>	<i>Formule du cristal</i>	<i>Modèle du cristal</i>
Chlorure de sodium	Na^+ et Cl^-	$NaCl$	
Fluorure de calcium	Ca^{2+} et F^-	CaF_2	

Dans un cristal de **chlorure de sodium** chaque ion chlorure Cl^- est entouré de **six** ions sodium Na^+ et de même, chaque ion Na^+ est entouré de **six** ions Cl^- . Deux ions semblables ne peuvent pas se toucher.

La cohésion du cristal est assurée par l'existence d'interaction électrique entre *les anions* (ion Cl^-) et *les cations* (ion Na^+), conformément à la loi de coulomb.

Alors on peut dire que un solide ionique est **électriquement neutre**.

Chaque ion sodium Na^+ est entouré de six ions chlorure Cl^- et inversement.

II- Caractère dipolaire d'une molécule :

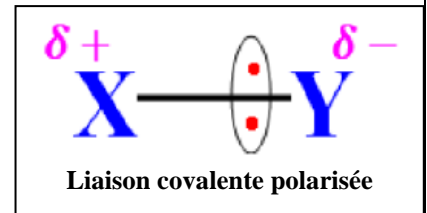
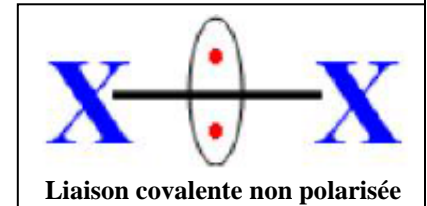
1- Liaison covalente polarisée et électronégativité :

Les molécules sont formées d'atomes liés par *des liaisons covalentes*.

Deux atomes liés par *une liaison covalente* simple mettent en *commun* un électron chacun, le doublet ainsi constitué étant localisé entre les deux atomes.

Une liaison covalente simple entre deux atomes est dite **polarisé** si les deux électrons mis en commun ne sont pas répartis de manière équivalente entre les atomes, dans le cas contraire la liaison est dite **non polarisée**.

Dans de nombreux cas, le doublet d'électrons est plus de fortement attiré par un atome que par l'autre.



L'atome le plus proche du doublet électronique porte donc *une charge partielle négative* notée (δ^-), l'autre atome, loin du doublet électronique, porte alors *une charge partielle positive* notée (δ^+).

On dit que la liaison covalente est **polarisée**, et que l'atome qui a attiré le doublet électronique est plus électronégatif que l'autre.

L'**électronégativité** est l'aptitude qu'a un atome à attirer vers lui le doublet électronique de la liaison covalente.

L'électronégativité d'un élément chimique dépend de sa position dans le tableau de la classification périodique.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

Elle augmente de gauche à droite sur chaque période et de bas vers le haut sur chaque groupe.

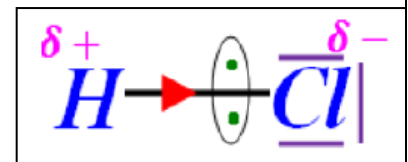
2- Molécules dipolaires :

Une molécule est dipolaire :

- Si elle présente au moins une liaison covalente polarisée :
- Si sa géométrie est telle que le barycentre des charges partielles positives ne coïncide pas avec le barycentre des charges partielles négatives.

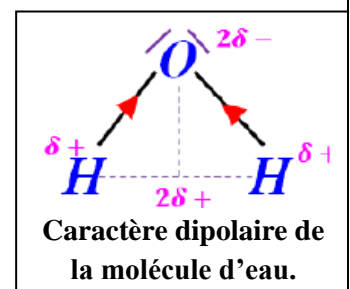
a- Molécule de chlorure d'hydrogène :

L'atome de chlore est plus électronégatif que l'atome d'hydrogène, il attire à lui le doublet de la liaison $H-Cl$. Cette liaison covalente est donc polarisée et **la molécule de chlorure d'hydrogène est dipolaire** : elle se comporte comme un dipôle.



b- Molécule d'eau :

Du fait que l'oxygène est plus électronégatif que l'hydrogène, les deux liaisons covalentes $O-H$ sont polarisées. Et puisque la molécule de H_2O est *coudée*, le barycentre des deux charges partielles positives (δ^+), ne coïncide pas avec la charge partielle négative ($2\delta^-$) : **la molécule d'eau est dipolaire**.



Elle peut être considérée comme un ensemble de deux charges ponctuelles de signes opposés ($2\delta^-; 2\delta^+$) non confondues.

L'ensemble, constitue un dipôle électrique : on dit que l'eau est *un solvant polaire*.

Le caractère dipolaire de la molécule d'eau est mis en évidence par l'expérience d'électrisation (Fig ci- contre). Le filet d'eau est dévié car chaque molécule d'eau est attirée par les charges électriques du tube en plastique frotté.



Expérience illustrant le caractère dipolaire des molécules d'eau.

III- Solutions aqueuses électrolytiques :

1- Activités:

Objectif : Préparer une solution aqueuse de chlorure de sodium.

Matériel expérimental : Chlorure de sodium $NaCl$ (sel de cuisine) – eau distillée – électrolyseur – spatule – générateur de tension – lampe – fils de connexion.

- On branche en série, un générateur de courant continu, une lampe, une cellule d'électrolyse, dans laquelle on place de l'eau distillée
- On applique une tension de 4,5V, on observe l'état de la lampe (Fig1).
- On verse une petite quantité de sel dans l'électrolyseur et on agite jusqu'à dissolution totale, on observe l'état de la lampe (Fig2).

1- Comparer l'état de la lampe dans les deux cas. Que peut-on en déduire ?

Pour le premier cas (Fig1) : la lampe ne brille pas.

Pour le deuxième cas (Fig2) : la lampe brille.

L'expérience montre que lorsqu'on ajoute de chlorure de sodium à l'eau distillée, on obtient une solution de chlorure de sodium qui est un bon conducteur d'électricité.

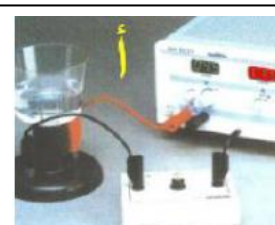


Figure 1

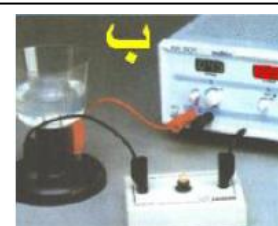


Figure 2

2- Comment expliquer le passage du courant électrique dans la solution aqueuse de chlorure de sodium ?

La solution aqueuse de chlorure de sodium conduit le courant électrique, car elle contient des ions mobiles qui assurent le passage du courant.

3- La solution qui permet le passage d'un courant électrique est appelée : solution électrolytique. Peut-on dire que la solution aqueuse de chlorure de sodium est une solution électrolytique ?

Oui ; la solution de chlorure de sodium est une solution électrolytique, car elle contient des ions mobiles qu'assurent le passage du courant.

2- Résumé :

- On obtient une solution par dissolution d'un solide ou d'un gaz ou d'un liquide dans un liquide appelé *solvant*.
- Si le solvant est l'eau, la solution est dite : *Solution aqueuse*.
- Si la solution contient des ions, elle est dite ; *solution ionique*, et puisqu'elle est conductrice du courant électrique, on l'appelle : *Solution électrolytique*.

- Les corps dont la dissolution dans l'eau donne une solution électrolytique, sont appelés des **électrolytes**. Parmi les électrolytes on trouve des solides ioniques et quelques corps moléculaires.

L'écriture du symbole d'une solution électrolytique doit tenir compte de l'électro-neutralité de la solution.

Exemples :

- ✓ Le symbole d'une solution de chlorure de sodium a pour symbole : $(Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)})$.
- ✓ Le symbole d'une solution d'acide sulfurique : $(2H^+_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)})$ ou $(2H_3O^+_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)})$.
- ✓ Le symbole d'une solution de sulfate de cuivre II : $(Cu^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)})$.

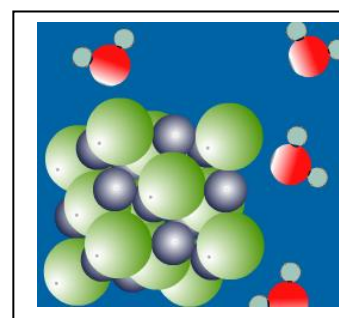
3- Dissolution d'un électrolyte dans l'eau :

La dissolution d'un électrolyte dans l'eau s'effectue selon trois étapes : **dissociation, solvation (ou hydratation) et dispersion.**

a- Etape de dissociation :

A cause de son caractère dipolaire, la molécule **d'eau** se comporte comme un **dipôle électronique**.

Quand des cristaux d'un solide ionique sont mis dans l'eau, Les cations sont attirés par les pôles négatifs des molécules d'eau et les anions sont attirés par les pôles positifs des molécules d'eau.



b- Etape de solvation :

Après dissociation d'un cristal, les ions (anions et cations) s'entourent d'un cortège de molécules d'eau joue le rôle de bouclier empêchant les ions de se rapprocher et former des liaisons entre eux. Ils sont hydratés ou solvatés.

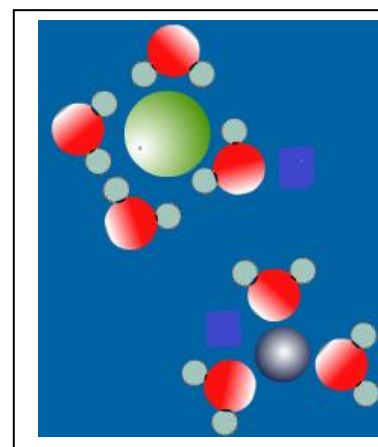
C'est le phénomène de **solvation**, nommé également **hydratation** quand le solvant est l'eau.

Remarque : Les ions hydratés sont désignés par le qualificatif **(aq)**.

Exemples : $Na^+_{(aq)}$; $Cl^-_{(aq)}$; $Cu^{2+}_{(aq)}$.

Cas particulier :

L'ion hydrogène $H^+_{(aq)}$ nommé aussi proton, s'hydrate en solution aqueuse et sera noté $H^+_{(aq)}$; mais on peut l'écrire également $H_3O^+_{(aq)}$, sous cette forme, on l'appelle **ion oxonium**.



c- Etape de dispersion :

Après l'étape de dissociation et l'étape de solvation, les ions hydratés se dispersent dans la solution, et au bout d'un certain temps, la solution devient homogène : c'est **la dispersion**. L'agitation permet d'accélérer cette étape.

IV- Concentrations molaires :

1- Activité :

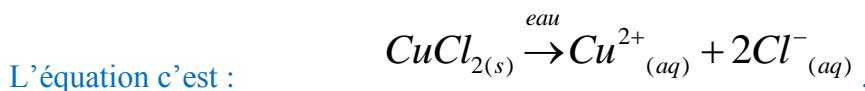
On prépare dans une fiole jaugée de volume $V = 100\text{ml}$, une solution aqueuse contenant $n = 4,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ de chlorure de cuivre (II) $\text{CuCl}_{2(s)}$.

1- Quelle est la concentration molaire de soluté apporté ?

Par définition la concentration molaire de soluté apporté vaut :

$$c(\text{CuCl}_{2(s)}) = \frac{n}{V} = \frac{4,00 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3}} \quad \text{alors} \quad c(\text{CuCl}_{2(s)}) = 4,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

2- Ecrire l'équation de la dissolution de $\text{CuCl}_{2(s)}$ dans l'eau.



3- Déterminer la quantité de matière pour chaque ion :

Dans cette solution on a :

$$n(\text{Cu}^{2+}_{(aq)}) = n$$

et $n(\text{Cl}^{-}_{(aq)}) = 2n$.

Equation	$\text{CuCl}_{2(s)}$	$\xrightarrow{\text{eau}}$	$\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$	+	$2\text{Cl}^{-}_{(aq)}$
Quantité utilisée	n_0		0		0
Quantité en solution	0		n_0		$2n_0$

4- Les concentrations molaires de ces ions sont appelées *concentrations molaires effectives en solution*

et notée $[\text{Cu}^{2+}]$ et $[\text{Cl}^{-}]$. Calculer ces concentrations :

On a :

$$[\text{Cu}^{2+}] = \frac{n(\text{Cu}^{2+})}{V} = \frac{n}{V} = c = 4,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$[\text{Cl}^{-}] = \frac{n(\text{Cl}^{-})}{V} = \frac{2n}{V} = 2 \cdot c = 8,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

Et

2- Résumé :

Dans une solution non saturée, la concentration molaire de soluté A apporté, ou concentration molaire de la solution en A, notée $C(A)$:

$$c(A) = \frac{\text{quantité } n(A) \text{ de soluté introduit}}{\text{volume } V \text{ de la solution}} = \frac{n(A)}{V}$$

mol →

mol/L →

← *L*

Pour l'ion X effectivement présent en solution, la concentration molaire effective est notée $[X]$.

$$[X] = \frac{\text{quantité } n(X) \text{ d'ion X présent}}{\text{volume } V \text{ de la solution}} = \frac{n(X)}{V}$$

mol →

mol/L →

← *L*

On sait que pour la concentration massique $C_m = \frac{m}{V}$, et on a $C = \frac{n}{V}$

Alors on peut écrire : $C_m = C \cdot M(X)$

Suivi d'une transformation chimique

I)- Transformation chimique et réaction chimique :

1- Système chimique :

Un système chimique est constitué par l'ensemble des espèces chimiques susceptibles de réagir entre elles.

Pour décrire un système chimique, il faut préciser :

- La nature, la quantité de matière et l'état physique (solide liquide ou gazeux) des différentes espèces chimiques qui constituent le système.
- Les conditions de température T et de pression P.
- Un système chimique peut évoluer et subir une transformation chimique qui modifie son état.

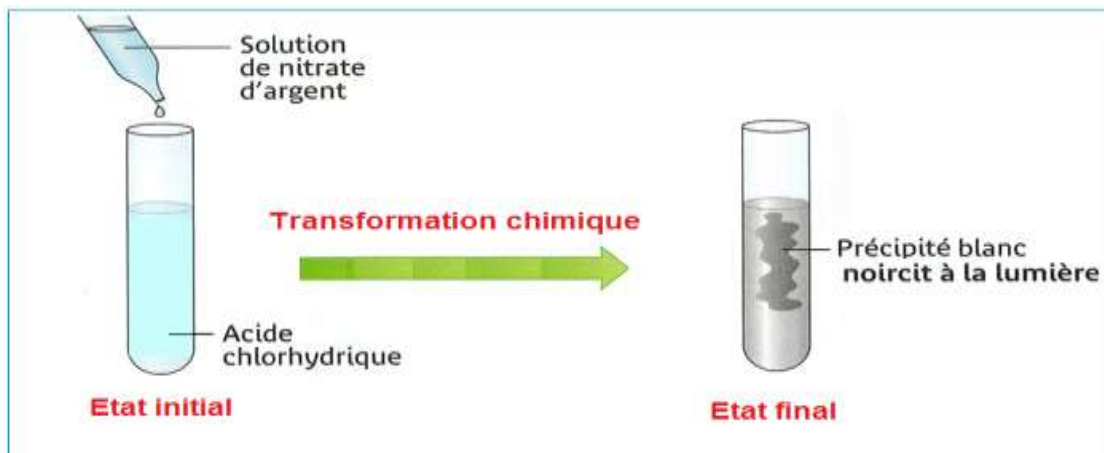
2- Transformation chimique :

Un système chimique subit une transformation chimique, la nature et la quantité de matière des espèces chimiques sont différentes à l'état initial et à l'état final.

Les espèces introduites sont appelées « réactifs », les espèces obtenues après la transformation, à l'état final sont appelées « produits ».

Exemple :

On verse quelques gouttes de solution de nitrate d'argent dans l'acide chlorhydrique.



3- Réaction chimique :

La réaction chimique rend compte, à l'échelle macroscopique de l'évolution d'un système subissant une transformation.

On présente la réaction par une équation, entre les réactifs et les produits, une flèche indique le sens de révolution du système.



Exemple :



Au cours d'une transformation chimique il y a conservation :

- Les éléments chimiques : les éléments présents dans les réactifs et les produits sont les mêmes.
- La masse des réactifs est égale à la masse des produits.
- La charge électrique : la somme des charges des réactifs est égale à la somme des charges des produits.

Il faut ajuster les nombres stœchiométriques pour respecter les lois de conservations.

I- Evolution d'un système au cours d'une transformation chimique :

Comment décrire l'évolution d'un système chimique ?

1- Activité expérimentale :

On verse dans un verre un volume $V_1 = 15 \text{ mL}$ d'une solution de nitrate de calcium $Ca^{2+}_{(aq)} + NO^-_{(aq)}$ de concentration $C_1 = 0,20 \text{ mol. L}^{-1}$.

On y ajoute un volume $V_2 = 20 \text{ mL}$ d'une solution de phosphate de sodium $3Na^+_{(aq)} + PO^{3-}_{(aq)}$ de concentration $C_2 = 0,20 \text{ mol. L}^{-1}$.

Il se produit une réaction chimique et se forme un précipité de phosphate de calcium $Ca_3(PO_4)_2$.

L'équation de la réaction chimique :



2- Le tableau d'avancement :

Pour suivre l'évolution de la quantité de matière des réactifs et des produits au cours d'une transformation chimique, on construit un tableau descriptif utilisant l'avancement.

Quantités de matière initiales dans l'activité expérimentale :

$$n_i(\text{Ca}^{2+}) = C_1 \cdot V_1 = 0,2 \times 150 \times 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 3 \text{ mmol}$$

$$n_i(\text{PO}_4^{3-}) = C_2 \cdot V_2 = 0,2 \times 20 \times 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 4 \text{ mmol}$$

Equation chimique		3Ca^{2+}	$+ 2\text{PO}_4^{3-}$	\rightarrow	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
Etat du système	Avancement	$n(\text{Ca}^{2+})(\text{mmol})$	$n(\text{PO}_4^{3-})(\text{mmol})$		$n(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)(\text{mmol})$
Etat initiale	0	3	4		0
En cours de transformation	x	$3 - 3x$	$4 - 2x$		x
Etat final	x_{\max}	$3 - 3x_{\max}$	$4 - 2x_{\max}$		x_{\max}

3- L'avancement maximal et le réactif limitant :

L'état final d'un système chimique en évolution est atteint, lorsque la quantité de matière d'au moins un des réactifs devient nulle.

Le réactif qui disparaît (sa quantité de matière s'annule) est appelé réactif limitant.

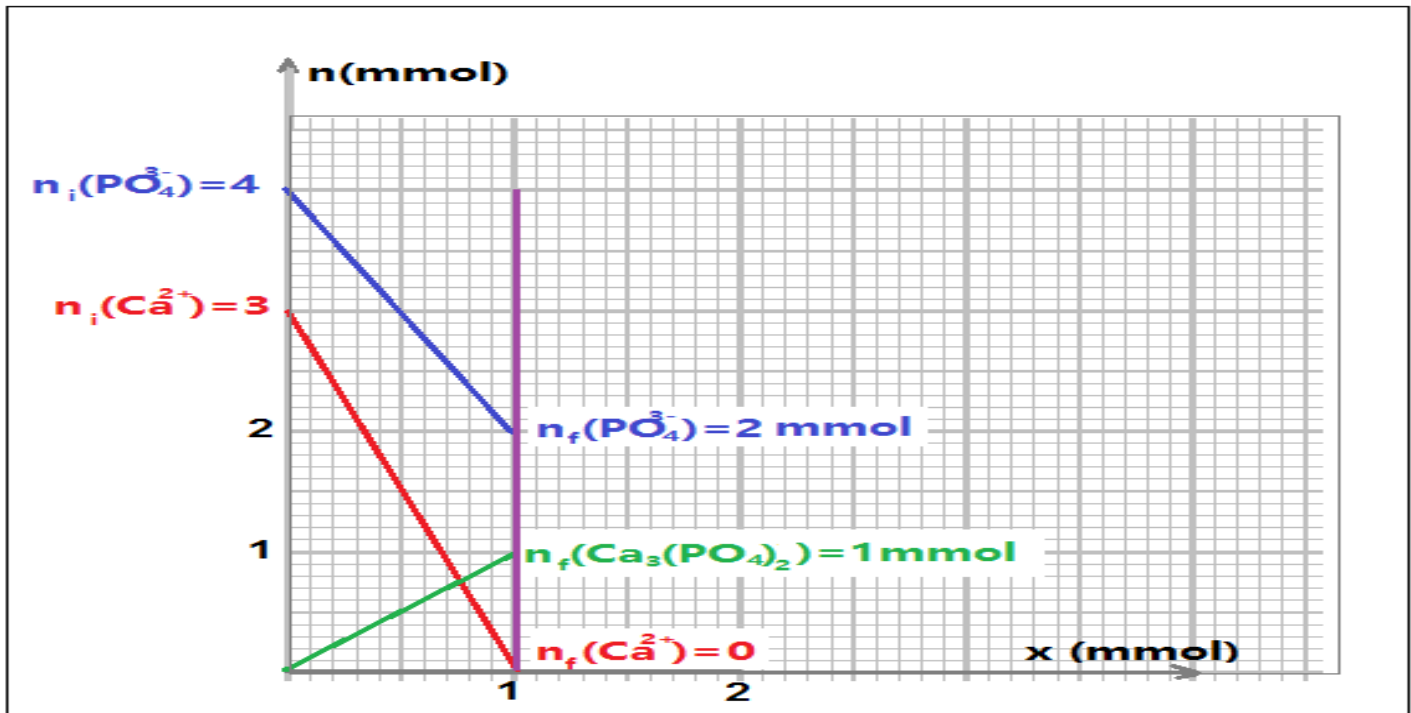
Exemple :

- Si le réactif limitant est Ca^{2+} : $n_f(\text{Ca}^{2+}) = 0$
 $3 - 3x_{\max 2} = 0$ soit : $x_{\max 2} = \frac{3}{3} = 1 \text{ mmol}$
- Si le réactif limitant est PO_4^{3-} : $n_f(\text{PO}_4^{3-}) = 0$
 $4 - 2x_{\max 2} = 0$ soit : $x_{\max 2} = \frac{4}{2} = 2 \text{ mmol}$

Le réactif limitant est celui pour lequel x_{max} est le plus petit.

- l'avancement maximal est $x_{max} = 1 \text{ mmol}$
- les ions calcium Ca^{2+} est le réactif limitant.

4- Quantité de matière en fonction de l'avancement :



5- Bilan de matière à l'état final :

L'état final d'un système chimique en évolution est atteint lorsque la quantité de matière d'un des réactifs est nulle, celle du réactif limitant.

$$n_f(Ca^{2+}) = 0$$

$$n_f(PO_4^{3-}) = 4 - 2x_{max} = 4 - 2 \times 1 = 2 \text{ mmol}$$

$$n_f(Ca_3(PO_4)_2) = x_{max} = 1 \text{ mmol}$$

6- Le mélange stœchiométrique :

Un mélange est stœchiométrique si les quantités de matière initiales sont proportionnelles aux coefficients stœchiométriques de l'équation chimique. Dans l'état final les réactifs disparaissent complètement.

Application :

Calculant le volume de la solution de phosphate de sodium nécessaire pour que le mélange précédent soit stœchiométrique ?

$$\frac{n_1(\text{Ca}^{2+})}{3} = \frac{n'_i(\text{PO}_4^{3-})}{2}$$
$$n'_i(\text{PO}_4^{3-}) = \frac{2}{3} \cdot n_i(\text{Ca}^{2+})$$

$$n'_i(\text{PO}_4^{3-}) = \frac{2}{3} \times 3 = 2 \text{ mmol}$$

$$n'_i(\text{PO}_4^{3-}) = C \cdot V' \Rightarrow V' = \frac{n'_i(\text{PO}_4^{3-})}{C} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{0,2} = 10^{-2} \text{ L}$$

$$V' = 10 \text{ mL}$$

II- Détermination de la pression d'un gaz :

Comment déterminer la pression d'un gaz ?

1- Activité expérimentale :

Dans les conditions de l'expérience, à la température $\theta = 20^\circ\text{C}$ et sous une pression $P_{atm} = 1013 \text{ hPa}$, on introduit dans un ballon de volume 500 mL , qui contient 10 mL d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration $C = 0,5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, un morceau de zinc de masse $m = 32,7 \text{ mg}$.

On ferme le ballon et on mesure la pression $P = P_{\text{H}_2} + P_{atm}$ de dihydrogène formé dans le ballon.

Comment peut-on prévoir la pression finale du gaz dans le ballon ?

1^{ère} Méthode :

Expérimentalement en mesurant la pression par un manomètre, dans l'état final, la pression est :

$$P_f = 1038 \text{ hPa.}$$

2^{ème} Méthode :

L'utilisation des grandeurs liées aux quantités de matière permet de prévoir la pression du dihydrogène formé.

Composition des réactifs à l'état initial :

$$n_i(\text{Zn}) = \frac{m}{M(\text{Zn})} = \frac{32,7 \cdot 10^{-3}}{65,4} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 0,5 \text{ mmol}$$

$$n_i(\text{H}^+) = C \cdot V = 0,5 \times 10 \times 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 5 \text{ mmol}$$

Construction du tableau d'avancement :

Equation chimique		$\text{Zn}_{(s)} + 2\text{H}^+_{(aq)} \rightarrow \text{Zn}^{2+}_{(aq)} + \text{H}_{2(g)}$				
Etat du système	Avancement	Quantité de matière en (mol)				
Etat initial	0	0,5	5	--	0	0
Etat intermédiaire	x	$0,5 - x$	$5 - 2x$	--	x	x
Etat final	x_{max}	$0,5 - x_{max}$	$5 - 2x_{max}$	--	x_{max}	x_{max}

- Si le réactif limitant est Zn : $n_f(\text{Zn}) = 0$

$$0,5 - x_{max1} = 0 \quad \text{soit : } x_{max1} = 0,5 \text{ mmol}$$

- Si le réactif limitant est H^+ : $n_f(\text{H}^+) = 0$

$$5 - 2x_{max2} = 0 \quad \text{soit : } x_{max2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ mmol}$$

L'avancement maximal correspond à la plus petite des deux valeurs :

- l'avancement maximal est $x_{max} = 0,5 \text{ mmol}$

D'après le tableau d'avancement, la quantité de matière de H_2 dans l'état final est :

$$n_f(H_2) = x_{max} = 0,5 \text{ mmol}$$

On appliquant l'équation des gaz parfait on peut déterminer la pression de H_2 dans le ballon :

$$P_{H_2} \cdot V = n_f(H_2) \cdot R \cdot T$$

$$P_{H_2} = \frac{n_f(H_2) \cdot R \cdot T}{V} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \times 8,314 \times (20 + 273)}{(500 - 10) \times 10^{-6}} = 2485,7 \text{ Pa} \approx 25 \text{ hPa}$$

La pression finale dans le ballon :

$$P_f = P_{H_2} + P_{atm} = 1013 + 25 = 1038 \text{ hPa}$$

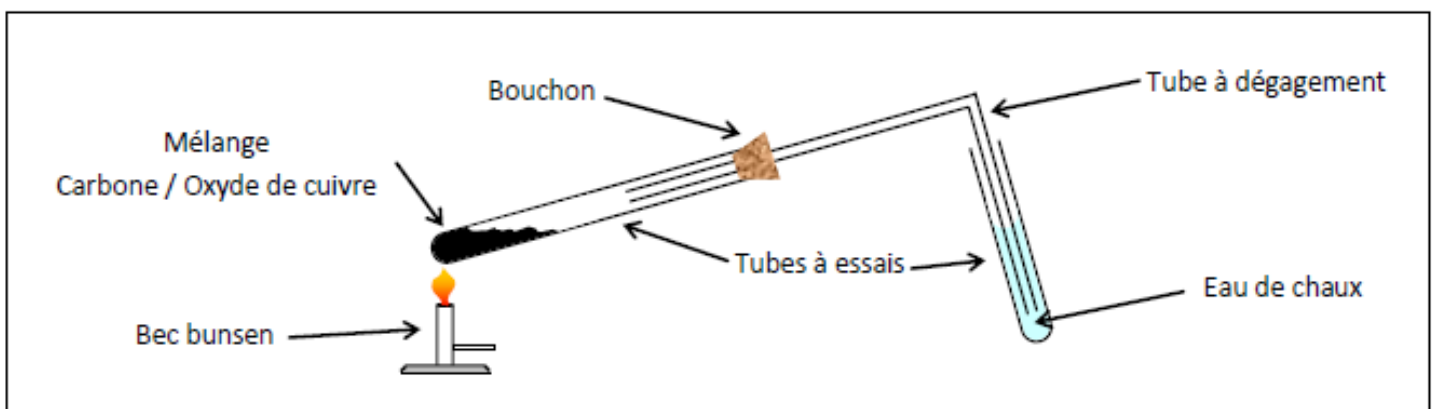
2- Prévoir l'état final :

L'utilisation des grandeurs liées aux quantités de matière permet de prévoir la masse, la pression et le volume des réactifs et des produits.

Exercice d'application :

Etude de la réaction entre le carbone et l'oxyde de cuivre.

- Schéma du montage :



On mélange $1,00 \text{ g}$ d'oxyde de cuivre et 120 mg de carbone.

Les observations montrent que du cuivre métallique (Cu) se forme au fond du tube à essais et du dioxyde de carbone (CO₂) s'échappe du tube à dégagement (eau de chaux troublée).

- 1- calculer la quantité de matière initiale des réactifs.
- 2- Ecrire l'équation de la réaction et construire le tableau d'avancement.
- 3- Préciser le réactif limitant et déterminer l'avancement de la réaction.
- 5-Déterminer la composition du système dans l'état final.
- 4- tracer le graphe $n = f(x)$ la quantité de matière en fonction de l'avancement des réactifs et des produits.

Corrigé :

1- La quantité de matière initiale d'oxyde de cuivre utilisée est :

$$n_0(\text{CuO}) = \frac{m(\text{CuO})}{M(\text{CuO})}$$

Avec $M(\text{CuO}) = M(\text{Cu}) + M(\text{O}) = 63,5 + 16,0 = 79,5 \text{ g. mol}^{-1}$

$$n_0(\text{CuO}) = \frac{1,00}{79,5} = 1,26 \cdot 10^{-2} \text{ mol} = 12,6 \text{ mmol}$$

-La quantité de matière initiale de carbone utilisée est :

$$n_0(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})}$$

A.N :

$$n_0(\text{C}) = \frac{120 \cdot 10^{-3}}{12} = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol} = 10 \text{ mmol}$$

$n_0(\text{Cu}) = 0$ et $n_0(\text{CO}_2) = 0$

2- L'équation de la réaction et le tableau d'avancement :

Equation chimique		$2 \text{ CuO}_{(s)}$	+	$\text{C}_{(s)}$	\rightarrow	$2 \text{ Cu}_{(s)}$	+	$\text{CO}_{2(g)}$
Etat	Avancement (mol)	Quantité de matière (mol)						
Initial	0	$n_0(\text{CuO})$		$n_0(\text{C})$	--	0		0
Intermédiaire	x	$n_0(\text{CuO}) - 2x$		$n_0(\text{C}) - x$	--	x		x
Final	x_{max}	$n_0(\text{CuO}) - 2x_{max}$		$n_0(\text{C}) - x_{max}$	--	x_{max}		x_{max}

3- Détermination de réaction limitant :

- Lorsque l'oxyde de carbone CuO s'épuise : $n_f(CuO) = 0$

$$n_0(CuO) - 2x_{max2} = 0 \quad \text{soit : } x_{max2} = \frac{n_0(CuO)}{2} = \frac{1,26 \cdot 10^{-2}}{2} = 6,30 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

- Lorsque le carbone C s'épuise :

$$n_0(C) - x_{max1} = 0 \quad \text{soit : } x_{max1} = n_0(C) = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

Le réactif limitant est celui pour lequel x_{max} est le plus petit.

- Puisque $x_{max2} < x_{max1}$ alors l'oxyde de cuivre II est un réactif limitant, l'avancement maximal est $x_{max2} = 6,30 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

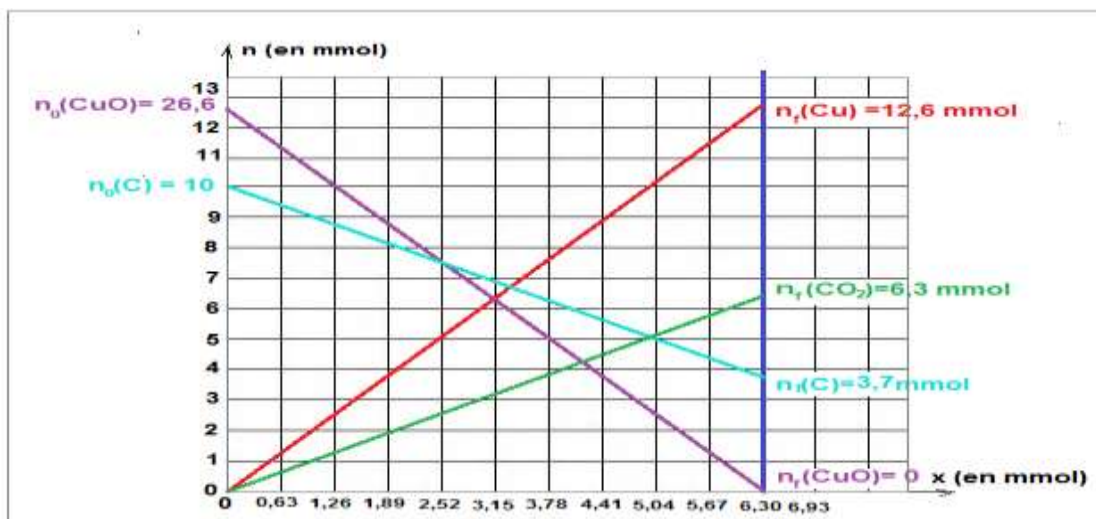
5- Composition du système à l'état final :

L'état final d'un système chimique en évolution est atteint lorsque la quantité de matière d'un des réactifs est nulle, celle du réactif limitant.

$$n_f(CuO) = 0 \quad n_f(C) = n_0(C) - x_{max} = 1,00 \cdot 10^{-2} - 6,30 \cdot 10^{-3} = 3,70 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_f(Cu) = 2x_{max} = 1,26 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \quad n_f(CO_2) = x_{max} = 6,30 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

4- Quantité de matière en fonction de l'avancement :



2- Grandeurs physiques liées aux quantités de matière

C- Applications au suivi d'une réaction chimique :

I- La transformation chimique :

1)- Description d'un système chimique.

Pour décrire un système chimique, il faut préciser :

- La nature, la quantité de matière et l'état physique (solide, liquide ou gazeux) des différentes espèces chimiques qui constituent le système.
- Les conditions de température T et de pression p .

Définition : un système subit une transformation chimique si la nature et (ou) la quantité de matière des espèces chimiques sont différentes à l'état initial et à l'état final.

Exemple : Une solution d'acide chlorhydrique ($H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$) réagit avec le magnésium métal. On observe un dégagement gazeux de dihydrogène (H_2) et il se forme des ions $Mg^{2+}_{(aq)}$.

	État initial (E.I)	Transformation chimique	État final (E.F)
Espèces chimiques	$p = 1013 \text{ hPa}$ $\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	→	$p = 1013 \text{ hPa}$ $\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
$H^+_{(aq)}$	$n_i(H^+) =$		$n_f(H^+) = ?$
$Mg_{(s)}$	$n_i(Mg) =$		$n_f(Mg) = ?$
$n_f(H_2)$	$n_i(H_2) = 0 \text{ mol}$		$n_f(H_2) = ?$
$Mg^{2+}_{(aq)}$	$n_i(Mg^{2+}) = 0 \text{ mol}$		$n_f(Mg^{2+}) = ?$
$Cl^-_{(aq)}$	$n_i(Cl^-)$		$n_f(Cl^-) = n_i(Cl^-)$
$H_2O_{(l)}$	Large excès : Solvant		Solvant

Lors de la réaction, les ions chlorure sont des ions spectateurs, il ne participe pas à la réaction. D'autre part, l'eau est le solvant, il est en large excès. On ne fera pas de calcul sur l'eau.

2)- La réaction chimique et son équation.

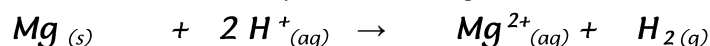
La réaction chimique rend compte, à l'échelle macroscopique de l'évolution d'un système subissant une transformation :

- On représente la réaction chimique par une équation.
- On note à gauche la formule des réactifs et à droite la formule des produits.

➤ Entre les réactifs et les produits, une flèche indique le sens d'évolution du système.

Réactifs → Produits

Exemple : Réaction entre l'acide chlorhydrique et le magnésium :



- Le coefficient placé devant chaque espèce chimique est appelé : nombre stœchiométrique.
- Il faut ajuster les nombres stœchiométriques afin de respecter la conservation des éléments chimiques et la conservation de la charge électrique.
- Par convention, on n'écrit pas le nombre stœchiométrique 1.
- Les nombres stœchiométriques nous renseignent sur les proportions en quantités de matière.

II- Évolution des quantités de matière au cours d'une transformation chimique :

1)- Bilan de matière et volume du gaz formé :

Exemple : La combustion complète du propane C_3H_8 dans le dioxygène .

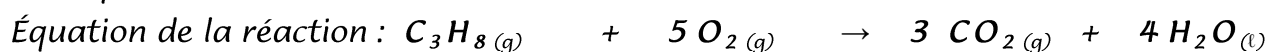
On fait brûler $n_1 = 1,0$ mole de propane dans $n_2 = 3,0$ moles de dioxygène. Les conditions de températures et de pression sont les suivantes : $p = 1013$ hPa et $\theta = 20$ °C .

- Donner l'état initial du système chimique.
- Donner l'état final du système chimique obtenu lorsque la réaction est finie.

a) État initial du système :

$p = 1013$ hPa $\theta = 20$ °C	$n_i(\text{C}_3\text{H}_8) = n_1$ $= 1,0$ mol	$n_i(\text{O}_2) = n_2$ $= 3,0$ mol	$n_i(\text{CO}_2) = 0,0$ mol	$n_i(\text{H}_2\text{O}) = 0,0$ mol
------------------------------------	--	--	------------------------------	-------------------------------------

Pour donner l'état final du système chimique, il faut utiliser l'équation de la transformation chimique et réaliser un tableau d'avancement de la réaction.



b) Avancement d'une réaction chimique x (mol) :

L'avancement x d'une transformation chimique est une grandeur exprimée en mole qui permet de décrire l'état du système au cours de la transformation.

Il permet d'exprimer les quantités de matière de réactifs et de produits présents dans le système chimique à chaque instant.

L'avancement x est une quantité de matière. Elle s'exprime en mol :

- Dans l'état initial, $x = 0$,
- Au cours de la transformation, $0 \leq x \leq x_{\max}$
- À l'état final : $x = x_{\max}$

c) Tableau d'avancement de la réaction :

Équation		$C_3H_8(g) + 5 O_2(g) \rightarrow 3 CO_2(g) + 4 H_2O(l)$			
État u système	Avancement				
État initial (mol)	$x = 0$	$n_1 = 1,0 \text{ mol}$	$n_2 = 3,0 \text{ mol}$		0,0 0,0
Au cours de la transformation	x	$1,0 - x$	$3,0 - 5x$		$3x$ $4x$
État final (mol)	$x = x_{max}$	$1,0 - x_{max}$	$3,0 - 5x_{max}$		$3x_{max}$ $4x_{max}$

d) Réactif limitant et avancement maximal :

L'avancement maximal x_{max} s'obtient en écrivant que les quantités de matière des réactifs restent positives ou nulles. Il permet de déterminer l'état final de la transformation.

En général, la réaction s'arrête lorsque l'un des réactifs a été totalement consommé.

À l'état final, la quantité de matière du réactif limitant est nulle.

Il se peut que lorsque la réaction s'arrête, tous les réactifs soient entièrement consommés. On dit qu'initialement, les réactifs étaient dans les proportions stœchiométriques.

➤ **Détermination de la valeur maximale de x_{max} :**

En fin de réaction, la quantité de matière de chaque réactif est soit positive, soit nulle. En conséquence, on peut écrire deux inéquations :

$x \geq 0$	donc	et	Soit alors	$0,6 \geq x \geq 0$	
$1 - x \geq 0$					$1 \geq x \geq 0$
$3 - 5x \geq 0$					$3 \geq 5x \geq 0$

En conséquence, l'avancement x peut varier entre 0 et 0,6 mol. L'avancement maximal :

$$x_{max} = 0,6 \text{ mol.}$$

Le réactif limitant est celui qui disparaît totalement c'est-à-dire celui dont la quantité de matière s'annule pour la plus faible valeur de x .

L'avancement est maximal lorsque le réactif limitant a totalement disparu : x_{max} est la plus petite valeur de x pour laquelle la quantité de matière de l'un des réactifs devient nulle.

Lorsque la valeur de x_{max} est connue, on peut déterminer les quantités de matière des différentes espèces chimiques dans l'état final du système (bilan de matière).

Remarque : À partir de ces quantités de matière, on peut calculer des masses, des concentrations des volumes, des pressions.

État Final du système (E.F)
$p = 1013 \text{ hPa}$ et $\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
$n_f(C_3H_8) = 0,40 \text{ mol}$

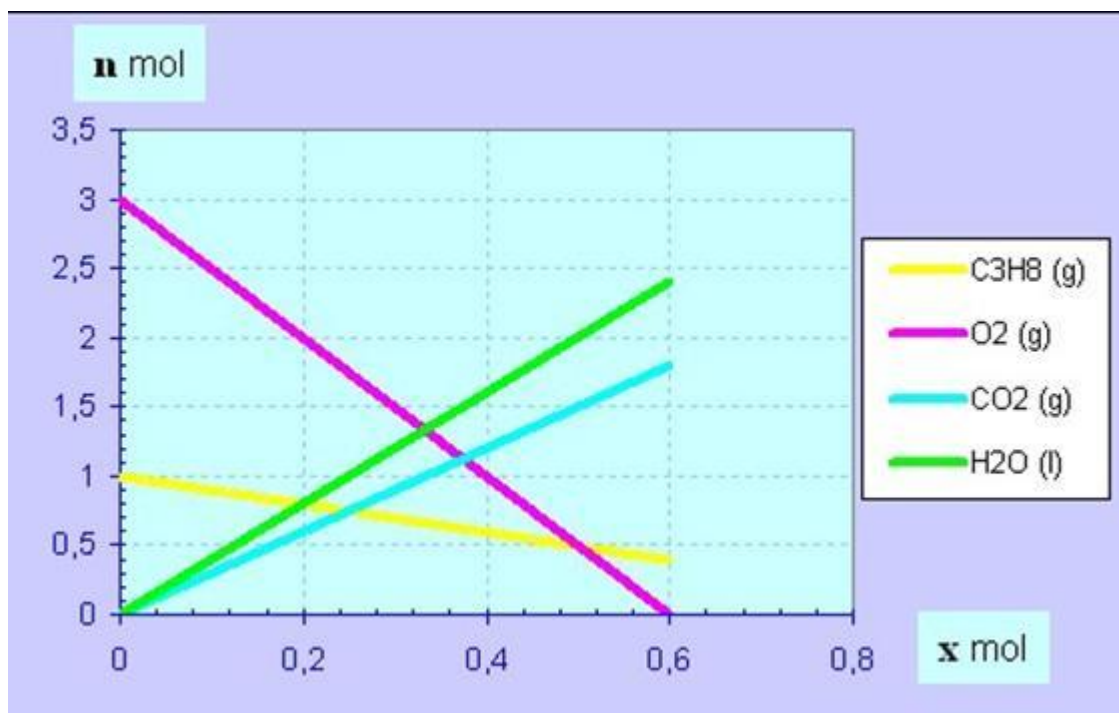
$n_f(O_2) = 0,0 \text{ mol}$
$n_f(CO_2) = 1,8 \text{ mol}$
$n_f(H_2O) = 2,4 \text{ mol}$

➤ Détermination graphique de la valeur de x_{max} :

On peut déterminer x_{max} en traçant les droites représentant les variations des quantités de matière des réactifs en fonction de l'avancement x de la réaction.

Dans le cas précédent : $n(C_3H_8) = 1 - x$ et $n_f(O_2) = 3 - 5x$

Les deux droites coupent l'axe horizontal et x_{max} est égal à la plus petite abscisse des deux points d'intersection.



e)- Cas particulier : Le mélange stœchiométrique :

Dans certains cas, à la fin de la réaction, tous les réactifs ont été entièrement consommés. On dit que dans l'état initial, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : le mélange est stœchiométrique.

Application 1 : Le zinc réagit avec l'acide chlorhydrique pour donner un dégagement gazeux de dihydrogène et des ions $Zn^{2+}_{(aq)}$ en solution aqueuse.

On fait réagir un volume $V_1 = 20,0 \text{ mL}$ d'acide chlorhydrique de concentration $C_1 = 5,00 \text{ mol.L}^{-1}$ avec une masse $m = 0,11 \text{ g}$ de zinc solide. Faire un bilan de matière et calculer le volume V de dihydrogène obtenu.

On précise que les ions chlorure sont des ions spectateurs et que dans les conditions de l'expérience, le volume molaire $V_m = 24,3 \text{ L.mol}^{-1}$ et la masse molaire du zinc $M(Zn) = 65,4 \text{ g.mol}^{-1}$.

Première Partie :
La mesure en
chimie
Unité 4
4 H

Suivi d'une transformation chimique

تتبع تحول كيميائي



1^{er} Bac Sciences

Chimie

I – L'évolution d'un système au cours d'une transformation chimique :

1 – Activité :

Le **fer** n'a pas besoin d'être analysé : il est constitué de **fer** !

En revanche, il faut analyser l'**acide chlorhydrique**.

I - COMPOSITION DE L'ACIDE CHLORHYDRIQUE

Manipulation 1 : On verse de l'**acide chlorhydrique** dans un **bécher** et on mesure son **pH** à l'aide d'un **pH-mètre stylo** : **pH = 2,35** .

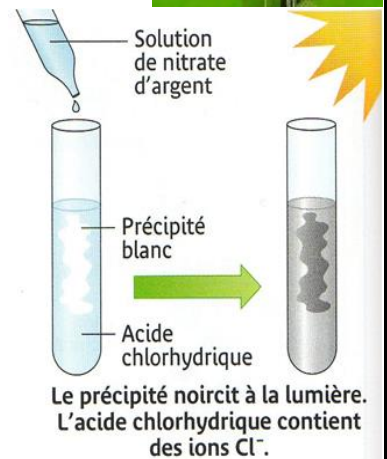
a- Quel est le **caractère** de l'**acide chlorhydrique** ? Quels sont les **ions** qui sont présents en **quantité importante** dans **cette solution** ? Puis que **pH < 7** , l'**acide chlorhydrique** possède un caractère **acide** ; cela signifie que la **solution** contient des **ions hydrogène** $H^+_{(aq)}$.

Manipulation 2 : On verse **quelques gouttes** de solution de **nitrate d'argent** dans un peu d'**acide chlorhydrique** contenu dans un **tube à essais**.

b- Qu'**observez-vous** ? Que montre cette réaction ?

On observe la **formation** d'un **précipité blanc** (**chlorure d'argent**) qui **noircit** à la **lumière**, ce qui indique la **présence** des **ions chlorure** $Cl^-_{(aq)}$ dans l'**acide chlorhydrique**.

Conclusion : L'**acide chlorhydrique** contient des **ions hydrogène** $H^+_{(aq)}$ et des **ions chlorure** $Cl^-_{(aq)}$ en solution dans l'**eau**, de formule chimique $(H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)})$.



II – La réaction entre l'acide chlorhydrique et le fer

Manipulation 1 : Dans un **tube à essais grand modèle**, mettre environ $\frac{1}{2}$ de spatule de **fer (Fe)** en **poudre** ; puis ajouter environ **2 cm³** d'**acide chlorhydrique**.

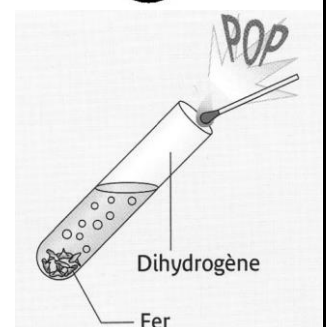
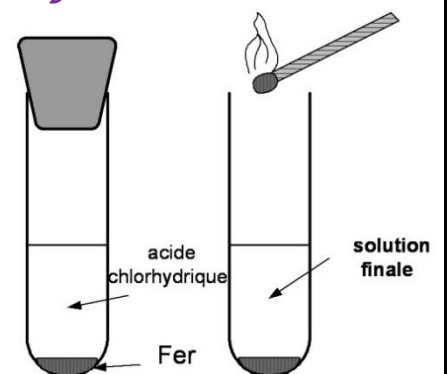
a- Qu'**observez-vous** ?

On observe une **effervescence** d'un gaz qui se forme et le **tube** devient **chaud**. Donc, le **fer** est attaqué par l'**acide chlorhydrique**. Alors, une **réaction chimique** se produit.

Manipulation 2 : Boucher le **tube** avec un **bouchon adapté**, attendre **quelques instants** pour que le **dégagement de gaz** soit **suffisant**, puis enlever le **bouchon** et approcher une **allumette enflammée** de l'**ouverture du tube légèrement incliné**.

b- Qu'**observez-vous** ? Que se produit-il ?

En présentant la **flamme**, on entend une **petite détonation** " un **bombe** " puis le **gaz brûle sans bruit** qui caractérise la présence du **gaz dihydrogène** $H_{2(g)}$.



Manipulation 3 : Lorsque la **réaction** entre le **fer** et l'**acide chlorhydrique** a eu lieu, ajouter de l'**eau distillée** dans le **tube à essais** jusqu'au $\frac{2}{3}$ environ, puis répartir la **solution S** obtenue dans **deux autres tubes** notés **1** et **2**.

Dans le tube 1, verser **quelques gouttes** d'une **solution de nitrate d'argent**.

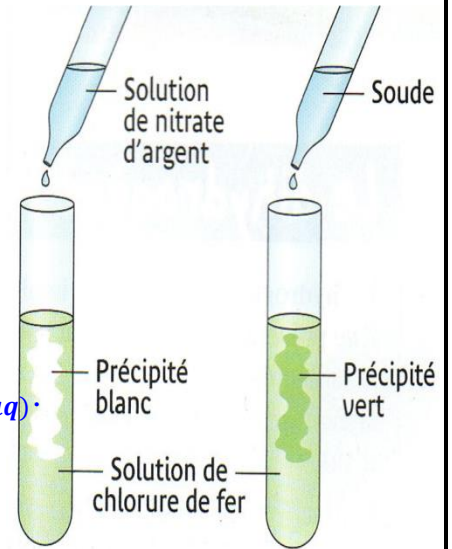
c- Qu'observez-vous ? Que montre ce test ?

On observe la **formation d'un précipité blanc (chlorure d'argent)** ce qui indique la **présence des ions chlorure $Cl^-_{(aq)}$** .

Dans le tube 2, ajouter **goutte à goutte** de la **soude** jusqu'à ce qu'un **précipité apparaisse**.

d- Qu'observez-vous ? Que montre ce test ?

On observe la **formation d'un précipité vert (hydroxyde de fer II)** ce qui indique la **présence des ions fer II $Fe^{2+}_{(aq)}$** .



Conclusion : La **solution S** de **chlorure de fer (II)** contient des **ions fer II $Fe^{2+}_{(aq)}$** et des **ions chlorure $Cl^-_{(aq)}$** en solution dans l'eau.

III - La transformation chimique

a-Déterminer les **espèces** trouvées dans le **tube à essais** avant le **début** de la **transformation**.

Le **système chimique** à l'état **initial** contient la **solution de l'acide chlorhydrique** ($H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$) et le **Fer $Fe_{(s)}$** .

b- Quelles **espèces chimiques** ont été **transformées** ?

On observe la **disparition** d'une partie du **fer** et que le **pH augmente** au cours de la **réaction** et le **dégagement** d'un **gaz** avec l'**apparition** de la **coloration verte** de la **solution**. Alors, les **réactifs $H^+_{(aq)}$ et $Fe_{(s)}$** se **transforment** aux **produits $H_{2(g)}$ et $Fe^{2+}_{(aq)}$** .

c- Quelles **espèces chimiques** n'ont pas **participés** à la **transformation** ?

Les **ions $Cl^-_{(aq)}$** n'ont pas **participés** à la **transformation** parce qu'ils sont des **ions inactifs**.

d-La **réaction** entre l'**acide chlorhydrique** et le **fer** est-elle une **transformation chimique** ?

Cette **réaction** est une **transformation chimique** car au moins un **produit apparait** (le **gaz**) et au moins un **produit disparaît** (le **fer**).

f- Écris l'**équation chimique** associée à cette **transformation**.

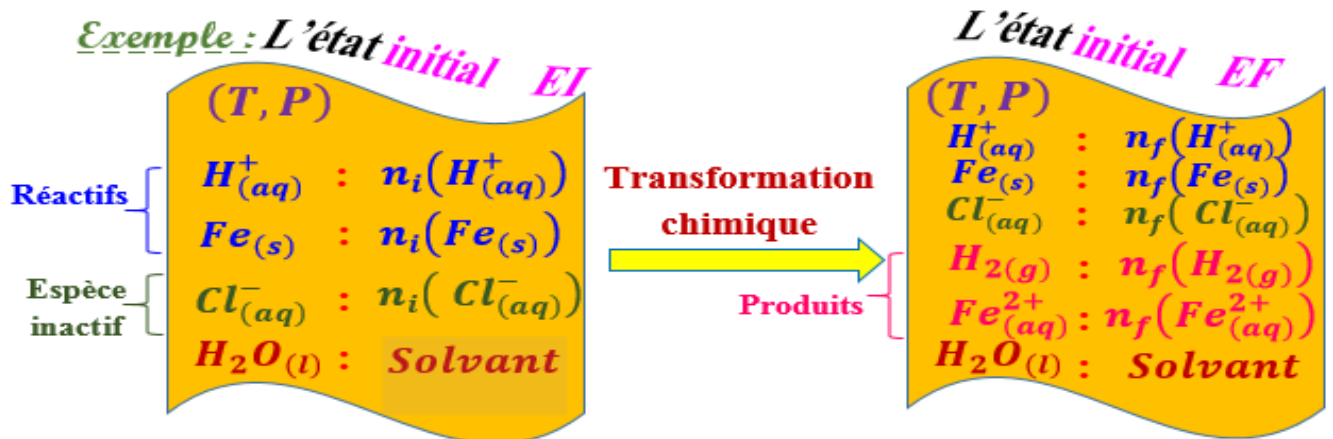
L'**équation chimique** est $Fe_{(s)} + 2 H^+_{(aq)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$

2 - La transformation chimique :

- + Au cours d'une **transformation chimique**, de nouveaux **espèces chimiques apparaissent** appelés **produits**, tandis que d'autres **espèces chimiques disparaissent** appelés **réactifs**, lorsque certaines **conditions** sont **disponibles**.
- + L'**ensemble** d'**espèces chimiques** constitué de **réactifs**, de **produits** et d'autres **espèces chimiques** qui **ne participent pas** à la **transformation** est appelé un **système chimique**.
- + L'**état** d'un **système chimique** est **défini** par la :
 - **Nature et état** (**solide s - liquide l - gaz g - aqueux aq**) et **quantités de matière** pour les **espèces chimiques** constituant du **système**.
 - **T température** et **P pression** du **système**.
- + Lorsqu'on **mélange** les **différentes espèces chimiques** qui composent le **système chimique**, on dit que le **système** est à l'**état initial**, et la **transformation chimique**

commence avec la **disparition** des **réactifs** et l'**apparition** des **produits**, on dit que le système est **évolué**. Lorsque l'évolution du système s'**arrête**, on dit que le système est à l'**état final**.

✚ La **transformation chimique** est le **passage** du système chimique de l'**état initial** à l'**état final**.



3 – La réaction chimique :

La **réaction chimique** est un **modèle descriptif** de la **transformation chimique** qui se réfère **uniquement** aux **réactifs**, aux **produits** et à leurs **proportions**, et est exprimée par une **écriture symbolique** appelée l'**équation chimique**.

Au cours d'une **transformation chimique**, il y a **conservation** :

- des **éléments chimiques** : les **éléments présents** dans les **réactifs** et les **produits** sont **identiques**.
- de la **charge électrique** : la **somme des charges** des **réactifs** est **égale** à la **somme des charges** des **produits**.
- du **nombre** : le **nombre d'entités chimiques** (**atomes** ou **ion**) de chaque **élément** présents dans les **réactifs** est **identique** au **nombre d'entités chimiques** de chaque **élément** dans les **produits**.
- de la **masse** : la **masse des réactifs** est **égale** à la **masse des produits**.

Pour **obéir** à ces **lois de conservation**, il faudra **ajuster** l'**équation chimique** avec des **nombres entier** placés devant les **symboles**, appelés **coefficients stœchiométriques**.

En général, l'**équation chimique** s'écrit sous la forme : $\alpha A + \beta B \rightarrow \gamma C + \delta D$

Où **A**, **B**, **C** et **D** sont les **espèces chimiques** et les **nombre** α , β , γ et δ sont les **coefficients proportionnels**.

Exemple : $Cu_{(s)} + 2 Ag^+_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2 Ag_{(s)}$ et $Zn_{(s)} + 2 H^+_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$

II – L'évolution des quantités de matière des espèces chimiques au cours de la transformation chimique :

1 – L'avancement de la réaction :

Au cours de la **transformation**, les variations des **quantités de matière** des **réactifs** et des **produits** sont **proportionnelles** à une **grandeur** appelée l'**avancement de la réaction**, symbolisée par la lettre **x** et **exprimée** en **mol**. La **constante de proportionnalité** est le **coefficient proportionnel** des **réactifs** et des **produits**.

Exemple :

On considère la **transformation** suivante : $Cu_{(s)} + 2 Ag^+_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2 Ag_{(s)}$

Au cours de la **transformation**, elle **consomme** **x mol** de **Cu_(s)** et **2x mol** de **Ag⁺_(aq)** et elle **forme** **x mol** de **Cu²⁺_(aq)** et **2x mol** de **Ag_(s)** .

2 – Le tableau d'avancement de la réaction :

Afin de **suivre l'évolution** des **quantités de matière** des espèces chimiques réactives et produits, nous créons un **tableau d'avancement (descriptif)** de la **réaction**, où la **quantité de matière** est déterminée pour chaque **espèce chimique** en fonction de l'**avancement de la réaction x** .

Le **système chimique** atteint son **état final** par l'**expiration** de la **quantité de matière** pour au moins l'**un des réactifs**, appelé **réactif limitant**, et l'**avancement de la réaction x** prend sa **valeur maximale** appelée l'**avancement maximal x_{max}** .

L'équation de la réaction		αA	+	βB	\rightarrow	γC	+	δD	
L'état du système	L'avancement de la réaction	La quantité de matière en (mol)							
Etat initial	0	$n_i(A)$		$n_i(B)$		0		0	
En cours	x	$n_i(A) - \alpha x$		$n_i(B) - \beta x$		γx		δx	
Etat final	x_{max}	$n_i(A) - \alpha x_{max}$		$n_i(B) - \beta x_{max}$		γx_{max}		δx_{max}	

Exemple :

L'équation de la réaction		$Cu_{(s)}$	+	$2 Ag_{(aq)}^+$	\rightarrow	$Cu_{(aq)}^{2+}$	+	$2 Ag_{(s)}$	
L'état du système	L'avancement de la réaction	La quantité de matière en (mol)							
Etat initial	0	$n_i(A) = 2$		$n_i(B) = 2$		0		0	
En cours	x	$2 - x$		$2 - 2x$		x		$2x$	
Etat final	x_{max}	$2 - x_{max}$		$2 - 2x_{max}$		x_{max}		$2x_{max}$	

■ Si $Cu_{(s)}$ est le **réactif limitant**, alors $n_f(Cu_{(s)}) = 2 - x_{max}(Cu_{(s)}) = 0$

d'où $x_{max}(Cu_{(s)}) = 2 \text{ mol}$

■ Si $Ag_{(aq)}^+$ est le **réactif limitant**, alors $n_f(Ag_{(aq)}^+) = 2 - 2x_{max}(Ag_{(aq)}^+) = 0$

d'où $x_{max}(Ag_{(aq)}^+) = \frac{2}{2} = 1 \text{ mol}$

Puisque $x_{max}(Ag_{(aq)}^+) < x_{max}(Cu)$, alors le **réactif limitant** est $Ag_{(aq)}^+$ et l'**avancement maximal** est $x_{max} = 1 \text{ mol}$.

Rq : le savoir de l'**avancement maximal** permet de déterminer les **quantités de matière** de tous les **réactifs** et **produits** dans l'**état final**, ce qui est appelé le **bilan de la matière**.

Exemple : le **bilan de la matière** pour la réaction précédente est la **composition du mélange** à l'état final.

L'équation de la réaction		$Cu_{(s)}$	+	$2 Ag_{(aq)}^+$	\rightarrow	$Cu_{(aq)}^{2+}$	+	$2 Ag_{(s)}$
bilan de la matière	$x_{max} = 1 \text{ mol}$	1 mol		0 mol		1 mol		2 mol

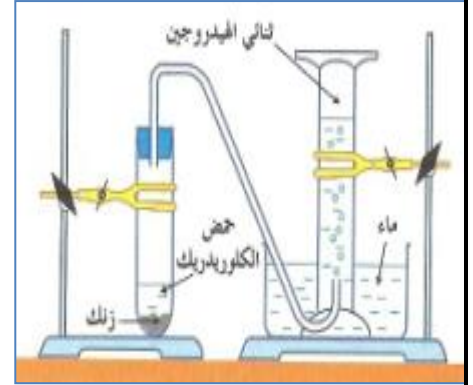
3 – Le mélange stœchiométrique (proportionnel) :

On dit que le **mélange** est **stœchiométrique** si les **quantités de matière initial** des **réactifs** sont **disponibles** selon les **coefficients proportionnels** des **réactifs** dans l'**équation**, alors les **réactifs disparaîtront complètement** à l'état final.

Pour la **réaction suivante** : $\alpha A + \beta B \rightarrow \gamma C + \delta D$. On peut dire que le **mélange** est **stœchiométrique** si la **condition** suivante $\frac{n_i(A)}{\alpha} = \frac{n_i(B)}{\beta}$ est **vérifiée**.

III – Application :

On introduit une **masse** $m = 0,2 \text{ g}$ de **fine grenaille** de **zinc** Zn dans un **tube à essai** et un **volume** $V = 10 \text{ ml}$ d'une **solution d'acide chlorhydrique** de **concentration** $C = 2 \text{ mol} \cdot L^{-1}$, puis on le **fermer immédiatement**. À l'aide du **montage ci-contre**, on mesure le **volume** de **dihydrogène dégagé** lors de cette réaction. A la **fin de la réaction**, on trouve que le **volume final** du gaz **dihydrogène dégagé** $V_f(H_2) = 74 \text{ mL}$.



On donne : $V_M = 24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(Zn) = 65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

a- Déterminer la **quantité de matière** des **réactifs** dans l'état initial .

$$\text{on a } n_i(Zn_{(s)}) = \frac{m}{M(Zn_{(s)})} = \frac{0,2}{65,4} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 3 \text{ mmol}$$

$$\text{et } n_i(H^+_{(aq)}) = C \cdot V = 2 \times 10 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ mol} = 20 \text{ mmol} .$$

b- Écrire l'équation de réaction et créer le **tableau d'avancement**.

L'équation de la réaction		$Zn_{(s)} + 2 H^+_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$			
L'état du système	L'avancement de la réaction	La quantité de matière en (mmol)			
Etat initial	0	$n_i(Zn) = 3$	$n_i(H^+) = 20$	0	0
En cours	x	$3 - x$	$20 - 2 \cdot x$	x	x
Etat final	x_{max}	$3 - x_{max}$	$20 - 2 \cdot x_{max}$	x_{max}	x_{max}

c- Déterminer le **réactif limitant** et la **valeur** de l'**avancement maximal** x_{max} .

■ Si $Zn_{(s)}$ est le **réactif limitant**, alors $n_f(Zn_{(s)}) = 3 - x_{max}(Zn_{(s)}) = 0$

d'où $x_{max}(Zn_{(s)}) = 3 \text{ mmol}$

■ Si $H^+_{(aq)}$ est le **réactif limitant**, alors $n_f(H^+_{(aq)}) = 20 - 2x_{max}(H^+_{(aq)}) = 0$

d'où $x_{max}(H^+_{(aq)}) = \frac{20}{2} = 10 \text{ mmol}$

Puisque $x_{max}(Zn_{(s)}) < x_{max}(H^+_{(aq)})$, alors le **réactif limitant** est $Zn_{(s)}$ et l'**avancement maximal** est $x_{max} = 3 \text{ mmol}$.

d- Déterminer le **volume final** attendu du **gaz dihydrogène** et le comparer avec la **valeur expérimentale**.

$$\text{On a } V_f(H_2) = n_f(H_2) \cdot V_M = x_{max} \cdot V_M = 3 \cdot 10^{-3} \times 24 = 72 \text{ mL}$$

On remarque que la **valeur attendue** égale presque la **valeur expérimentale**.

Conclusion

L'utilisation d'un **tableau d'avancement** permet de déterminer le **bilan de la matière**, en **quantité de matière**, au cours de la **transformation** et dans l'état final.

L'utilisation des **grandeurs** liées à la **quantité de matière** permet de **prévoir** : la **masse**, la **concentration**, la **pression** ou le **volume** des **réactifs** ou des **produits** .

Conductivité des électrolytes

I- Conductance d'une solution ionique

1- Rappel

Un courant circule dans une solution qui contient des ions. On appelle ces solutions des solutions électrolytiques ou électrolyte.

2- Courant dans une solution

-Observation :

- Au niveau de l'électrode reliée à la borne positive, on observe une coloration violette.
- Au niveau de la borne reliée à la borne négative, on observe une coloration bleue.

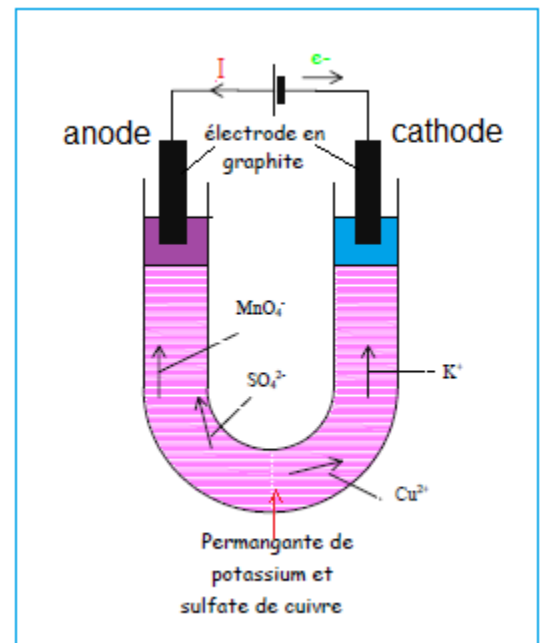
-Interprétation :

- Les ions permanganates, MnO_4^- de couleur violette, se dirigent vers l'électrode positive, appelé anode. Les ions MnO_4^- sont des anions.
- Les ions cuivres II, Cu^{2+} de couleur bleue, se dirigent vers l'électrode négative, appelé cathode. Les ions Cu^{2+} sont des cations.

•

-Conclusion :

- Les ions, MnO_4^- et Cu^{2+} subissent une double migration.
- Il en est de même pour les ions K^+ et SO_4^{2-} incolores.



Le passage du courant électrique dans une solution résulte d'une double migration des anions et des cations se des anions se déplacent en sens inverse.

II- Résistance et conductance d'une solution

1- Définition :

Une solution ionique peut se comporter comme un conducteur ohmique. Elle possède une certaine résistance. Elle répond à la loi d'Ohm.

$$U = R.I$$

La conductance est donnée par l'inverse de cette résistance :

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} \rightarrow \begin{cases} G : \text{Conductance mesurée en siemens (S)} \\ I : \text{est l'intensité du courant en Ampère (A)} \\ U : \text{Tention entre les électrodes en volt (V)} \end{cases}$$

Remarque :

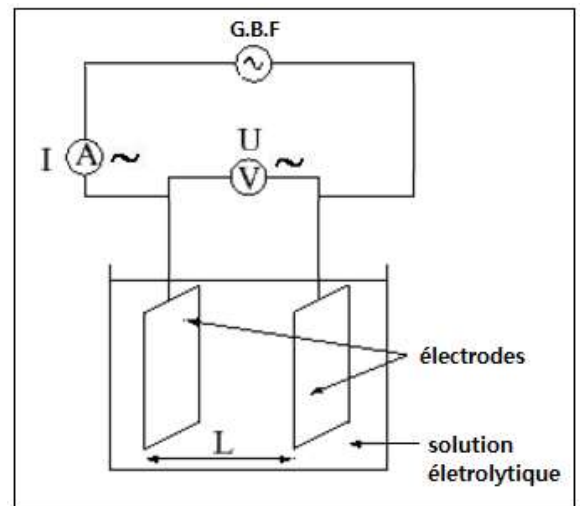
- ✓ On utilise généralement des sous multiples de siemens (mS ou μS).
- ✓ Pour les mesures de conductance, on utilise du courant alternatif.
- ✓ Exemple :
- ✓ On utilisant une solution aqueuse de chlorure de sodium de concentration $c = 5.10^{-3} \text{ mol/L}$.
- ✓ Les mesures donnent : $I = 1,08mA$ et $U = 1V$
- ✓ La conductance est $G = \frac{I}{U} = \frac{1,08}{1} = 1,08 \text{ mS}$

2- Conductance d'une portion de solution

- La cellule conductimétrie

La cellule de mesure de conductance est constituée de deux plaques métalliques planes, de même surface S , parallèles, disposées l'une en face de l'autre et séparées par une distance L .

Si on plonge les électrodes de la cellule dans une solution électrolytique, on peut mesurer la conductance G .



III- Facteurs influençant la conductance

1- Influence des caractéristiques géométriques de la cellule

Pour une solution donnée, la conductance G augmente quand :

- La surface S d'une électrode augmente.
- La distance L entre les électrodes diminue.

Conclusion : La conductance est proportionnelle à la surface S des électrodes et inversement proportionnelle à la distance L qui les séparent.

2- Influence des caractéristiques de la solution

La concentration : La conductance de la solution augmente avec sa concentration molaire.

Nature de l'électrolyte : La conductance d'une solution dépend de la nature du soluté, c'est-à-dire des ions présents dans la solution.

La température : La conductance d'une solution augmente avec sa température.

3- Courbe d'étalonnage $G = f(C)$

A la même température la mesure de conductance pour des solutions de chlorure de sodium de concentrations connues afin de tracer la courbe d'évolution de la conductance en fonction de la concentration.

La courbe $G = f(C)$ est appelée courbe d'étalonnage

Le tableau suivant fournit la conductance des différentes solutions :

Solution	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_7
$C \text{ mmol/L}$	2,5	5,0	7,5	10	12,5	15
$G(mS)$	0,75	3,75	3	2,25	3,75	4,5

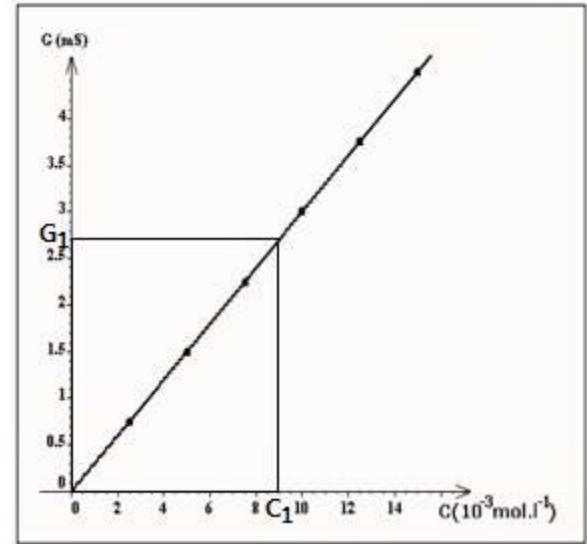
Tracer la courbe $G = f(C)$. Conclure. Echelle : $1\text{cm} \leftrightarrow 0,5 \text{ mmol/L}$ et $1\text{cm} \leftrightarrow 0,2 \text{ mS}$

Conclusion : la conductance G est proportionnelle à la concentration de la solution C :

On est en présence d'une fonction linéaire son équation s'écrit :

$$G = k.C$$

La courbe $G = f(C)$ permet de déterminer la concentration inconnue d'une solution de même soluté, en mesurant sa conductance.



Remarque :

Pour des solutions diluées, $C < 10^{-2} \text{ mol/L}$, la conductance est proportionnelle à la concentration molaire C en soluté. On écrit : $G = k.C$

k : dépend des caractéristiques de la cellule et de la nature du soluté.

IV- La conductivité d'une solution électrolytique

1- Relation entre la conductance et la conductivité

La conductance G d'une solution électrolytique est proportionnelle au rapport $\frac{S}{L}$.

$$G = \sigma \cdot \frac{S}{L} \begin{cases} G: \text{la conductance en siemens (S)} \\ \sigma: \text{la conductivité de la solution en (S.m}^{-1}\text{)} \\ S: \text{surface des électrodes en (m}^2\text{)} \\ L: \text{distance séparant les deux électrodes en(m)} \end{cases}$$

Le coefficient de proportionnalité σ représente la conductivité de la solution.

La grandeur σ est liée à la nature et la concentration des ions présents dans la solution.

Remarque :

La conductance peut s'exprimer en : $G = \sigma.k$ avec $k = \frac{S}{L}$

La constante k s'appelle la constante de la cellule son unité est (m).

2- Conductivité d'une solution diluée

Pour une solution ionique peu concentrée, la conductivité σ de la solution est proportionnelle à sa concentration.

Le facteur de proportionnalité entre σ et C est appelé conductivité molaire du soluté, généralement noté Λ .

$$\sigma = \Lambda \cdot C$$

$$\Lambda = \frac{\sigma}{C} \begin{cases} \sigma : \text{conductivité de la solution en } S \cdot m^{-1} \\ \Lambda : \text{conductivité molaire du soluté en } S \cdot m^2 \cdot mol^{-1} \\ C : \text{concentration molaire en } mol \cdot m^{-3} \end{cases}$$

3- Conductivité molaire ionique

Pour une solution diluée contenant des ions $M_{(aq)}^+$ et $X_{(aq)}^-$ dont les concentrations sont notées $[M^+]$ et $[X^-]$, la conductivité peut s'écrire sous la forme :

$$\sigma = \lambda_{M^+} \cdot [M^+] + \lambda_{X^-} \cdot [X^-]$$

Les grandeurs λ_{M^+} et λ_{X^-} sont les conductivités molaires des ions $M_{(aq)}^+$ et $X_{(aq)}^-$, elles se mesurent comme Λ en $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$.

La conductivité molaire ionique d'un ion dépend de sa nature et de la température de la solution.

Plus généralement la conductivité σ d'une solution ionique contenant plusieurs ions est :

$$\sigma = \sum \lambda_i \cdot [X_i]$$

Conductivités molaires de quelques ions :

Les valeurs de conductivité molaire ionique des ions oxonium H_3O^+ et hydroxyde HO^- sont plus élevées que celle des autres ions, donc leur présence dans une solution assure à celle-ci une conductivité importante.

$$\begin{aligned} \lambda_{H_3O^+} &= 35 \text{ } S \cdot m^2 \cdot mol^{-1} \\ \lambda_{HO^-} &= 19,9 \text{ } S \cdot m^2 \cdot mol^{-1} \end{aligned}$$

Application 1 :

Déterminons, à 25°C, la conductivité σ d'une solution de chlorure de sodium ($Na^+ + Cl^-$) de concentration : $c = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$

On donne : $\lambda_{Na^+} = 5,0 \text{ mS} \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$ et $\lambda_{Cl^-} = 7,6 \text{ mS} \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$

Exprimons la concentration avec les unités internationales :

$$1 \text{ mol} \cdot L^{-1} = 10^3 \text{ mol} \cdot m^{-3}$$

$$[Na^+] = [Cl^-] = c = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1} = 20 \text{ mol} \cdot m^{-3}$$

La conductivité de la solution d'acide chlorhydrique est :

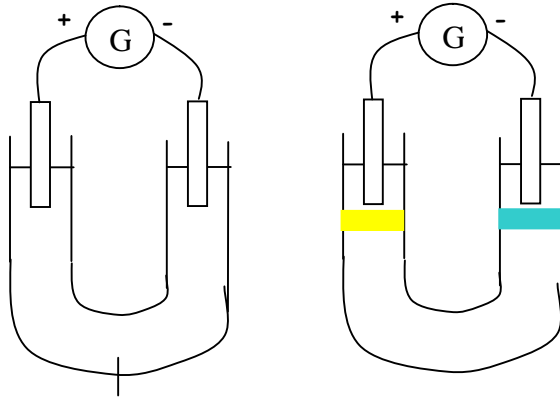
$$\sigma = \lambda_{Na^+} \cdot [Na^+] + \lambda_{Cl^-} \cdot [Cl^-] = (\lambda_{Na^+} + \lambda_{Cl^-}) \cdot c$$

$$\sigma = (5,0 \cdot 10^{-3} + 7,6 \cdot 10^{-3}) \times 20 = 0,25 \text{ S} \cdot m^{-1}$$

Détermination de la quantité de matière par mesure de la conductance

I) LA CONDUCTANCE ET SA MESURE

Expérience : migration des ions



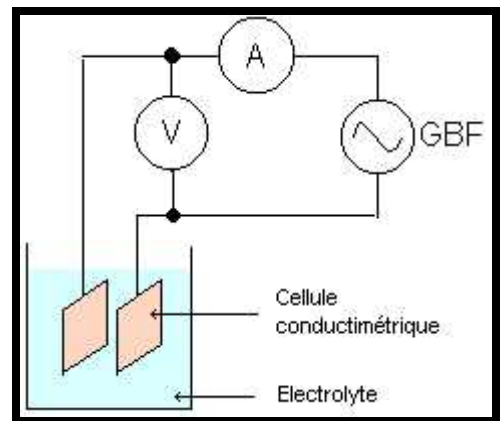
Solution de ($\text{Cu}^{2+} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$)

OBSERVATION

- Les ions Cu^{2+} , bleus verts, se déplacent vers la borne -.
- Les ions $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, jaunes, se déplacent vers la borne +.

INTERPRETATION (à savoir)

Dans une solution électrolytique, le courant électrique est dû au mouvement des ions.



II) CONDUCTANCE G:

Quand un conducteur ohmique, soumis à une tension U , est traversé par un courant d'intensité I , le quotient U/I est constant. Ce rapport est appelé résistance R du conducteur ohmique.

Loi d'Ohm $U = R \cdot I$ ou $I = G \cdot U \Rightarrow G = \frac{I}{U}$ avec $\begin{cases} I \text{ en A} \\ U \text{ en V} \\ R \text{ en } \end{cases}$

La conductance G d'une portion de circuit est égale à l'inverse de sa résistance R .

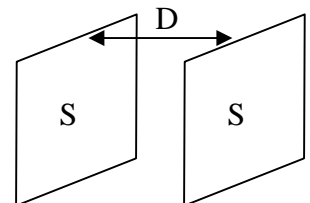
$$G = \frac{1}{R} \quad \text{avec} \begin{cases} R \text{ en } \\ G \text{ en S (siemens)} \end{cases}$$

Pour une tension donnée, plus la conductance est grande, plus l'intensité est élevée.

1) Cellule de conductimétrie

Elle est composée de deux plaques métalliques planes, de même surface S , parallèles, disposées l'une en face de l'autre et séparées par une distance D .

Lorsque cette cellule est complètement immergée dans un liquide, elle permet de mesurer la conductance G du volume de liquide compris entre les électrodes (volume $V = S \times D$).



2) Mesure de la conductance G par un conductimètre :

Un conductimètre mesure toujours la conductance G (en Siemens, de symbole S) de la portion de solution comprise entre les 2 plaques de sa cellule conductimétrique.

$$G = \frac{S}{L} \times \sigma$$

- ✓ G : La conductance (en S) (en Siemens).
- ✓ K : constante de cellule (en m).
- ✓ L : Distance entre les plaques de la cellule (en m)
- ✓ S : Surface d'une plaque (en m^2).



3) Facteurs influençant la conductance

(ANNIMATION)

La conductance G dépend de la nature de la solution. Pour une solution donnée, pour une température donnée, la conductance augmente quand :

- ✓ La **surface** S d'une électrode augmente ;
- ✓ la **distance** D entre les électrodes diminue ;
- ✓ la **température** θ de la solution augmente ;
- ✓ la **concentration** C de la solution augmente (G est proportionnelle à C).

S , D , θ et C sont appelées **grandeurs d'influence**.

III) CONDUCTIVITE σ :

La conductivité σ représente l'aptitude d'une solution à conduire le courant électrique. Elle est donc caractéristique de la solution (elle ne dépend que de la solution et pas des électrodes de mesure).

1) Calcul de la conductivité

On mesure la conductance G grâce à la cellule conductimétrique puis on effectue le calcul suivant :

$$\sigma = \frac{G \times L}{S}$$

2) Facteurs influençant la conductivité

La conductivité augmente quand :

- ✓ la concentration de la solution augmente ;
- ✓ la température de la solution augmente.

Elle dépend aussi de la nature des ions présents dans la solution.

IV) LA CONDUCTIVITE MOLAIRE IONIQUE

1) Conductivité molaire ionique d'un ion

Chaque ion i possède une conductivité molaire ionique notée λ_i . Son unité est le $S.m^2.mol^{-1}$.

Exemples : λ_{Na^+} ; λ_{Cl^-}

Remarque :

On trouve les valeurs de ces conductivités molaires ioniques dans des tables.

CONDUCTIVITES MOLAIRES IONIQUES A 25°C		
Cas des cations		
Cations	Nom	λ_i en $mS.m^2.mol^{-1}$
Na^+	Ion sodium	5,01
K^+	Ion potassium	7,35
Ag^+	Ion argent (I)	6,19
Ca^{2+}	Ion calcium	11,89
Mn^{2+}	Ion manganèse	10,7
Mg^{2+}	Ion magnésium	10,6
Cu^{2+}	Ion cuivre (II)	10,72
Fe^{2+}	Ion fer (II)	10,8
Zn^{2+}	Ion zinc (II)	10,56
Al^{3+}	Ion aluminium	18,3
Fe^{3+}	Ion fer (III)	20,4
H_3O^+	Ion oxonium	34,97
NH_4^+	Ion ammonium	7,35
Cas des anions		
Anions	Nom	λ_i en $mS.m^2.mol^{-1}$
Cl^-	Ion chlorure	7,63
Br^-	Ion bromure	7,81
I^-	Ion iodure	7,68
HO^-	Ion hydroxyde	19,8
NO_3^-	Ion nitrate	7,14
CH_3COO^-	Ion éthanoate	4,09
MnO_4^-	Ion permanganate	6,13
SO_4^{2-}	Ion sulfate	16,0
CO_3^{2-}	Ion carbonate	13,86
PO_4^{3-}	Ion phosphate	20,7

2) Conductivité d'une solution

La conductivité d'une solution est notée σ . Elle dépend de chaque ion en solution.

Chaque ion possède une conductivité molaire ionique est notée λ_i .

La conductivité d'une solution (pour des ions mono chargés) s'écrit :

$$\sigma = \sum \lambda_i \times [X_i]$$

† en $S.m^{-1}$, λ_i en $S.m^2.mol^{-1}$; $[X_i]$ en $mol.m^{-3}$

Exercice 1 : conversions d'unité

Exprimer en mol.L^{-1} les concentrations suivantes :

$$c_1 = 1,2 \text{ mol.m}^{-3}$$

$$c_2 = 0,014 \text{ mol.m}^{-3}$$

Exprimer en S.m^{-1} les conductivités molaires ioniques suivantes :

$$\sigma_1 = 1,292 \cdot 10^3 \mu\text{S.cm}^{-1}$$

$$\sigma_2 = 4,56 \text{ mS.cm}^{-1}$$

Exercice 2 :

Une cellule conductimétrique est construite en utilisant deux plaques métalliques de surface $2,0 \text{ cm}^2$ séparées par une distance de $1,0 \text{ cm}$.

On mesure la conductance d'une solution : $G = 795 \mu\text{S}$.

Calculer la conductivité de cette solution.

Exercice 3 :

Calculer la concentration molaire c d'une solution aqueuse de nitrate de potassium, de conductivité $\sigma = 12,40 \text{ S.m}^{-1}$ à 25°C .

Exercice 4 :

A 25°C , on mélange un volume $V_1 = 100 \text{ mL}$ d'une solution aqueuse S_1 d'iodure de potassium avec un volume $V_2 = 200 \text{ mL}$ d'une solution aqueuse S_2 de chlorure de sodium. Les deux solutions ont une concentration molaire c égale à $1,12 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$. On note V le volume du mélange.

1. Déterminer les conductivités σ_1 et σ_2 des deux solutions avant le mélange.

2.1. Calculer la quantité de matière de chaque ion du mélange.

2.2. Calculer la concentration molaire de chaque ion du mélange.

2.3. En déduire la conductivité σ du mélange.

Exercice 5

On mesure, à 25 °C, la conductivité de plusieurs solutions de même concentration c :

- chlorure de potassium : $\sigma_1 = 4,49 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$;
- hydroxyde de potassium : $\sigma_2 = 127,05 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$;
- hydroxyde d'ammonium : $\sigma_3 = 127,02 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$.

On veut déterminer la conductivité σ_4 d'une solution de chlorure d'ammonium de même concentration.

Données : $S = 1,0 \text{ cm}^2$ et $l = 5,0 \text{ cm}$.

1° Écrire la formule chimique de chaque solution.

2° a) Exprimer la conductivité de chaque solution en fonction des conductivités molaires ioniques et de la concentration c .

b) Démontrer que $\sigma_4 = \sigma_1 - \sigma_2 + \sigma_3$.

c) Déterminer la valeur de la conductivité de cette solution de chlorure d'ammonium en unité S.I.

d) Calculer la valeur de la conductance de cette solution.

Première Partie :
La mesure en
chimie
Unité 5
5 H

Conductimétrie

قياس الموصلية

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

1^{er} Bac Sciences
Chimie

I – Conductance d'une solution électrolytique :

1 – Nature de courant électrique dans les solutions électrolytiques : 1-1 – Activité :

On met dans un tube de forme U un mélange de solution aqueuse de sulfate de cuivre II ($Cu^{2+} + SO_4^{2-}$) (figure 1) et la solution aqueuse de dichromate de potassium acidifiée ($2K^+ + Cr_2O_7^{2-}$) (figure 2).

On émerge deux électrodes de graphite à chaque extrémité du tube et on les connecte à un générateur électrique.

Au bout d'une durée, on remarque l'apparition d'une couleur orange à côté de l'anode (l'électrode associée au pôle positif du générateur), et la couleur bleu à côté de la cathode (l'électrode associée au pôle négatif du générateur).

a- Quelles sont les espèces chimiques qui permettent de conduire l'électricité dans la solution ?

Les espèces chimiques qui permettent au courant électrique de traverser la solution sont les ions : K^+ et Cu^{2+} et $Cr_2O_7^{2-}$ et SO_4^{2-} et H^+ .

b- Quelle est l'espèce chimique responsable de la couleur bleu à côté de la cathode ?

Les ions Cu^{2+} sont caractérisés par la couleur bleu.

c- Quelle est l'espèce chimique responsable de la couleur orange à côté de l'anode ?

Les ions $Cr_2O_7^{2-}$ sont caractérisés par la couleur orange.

d- Déterminer l'élément chimique qui s'est déplacé vers la cathode et vers l'anode.

L'apparition de la couleur bleu à côté de la cathode indique que les ions Cu^{2+} sont déplacés vers la cathode, et l'apparition de la couleur orange à côté de l'anode indique que les ions $Cr_2O_7^{2-}$ sont déplacés vers l'anode.

e- déduire la nature du courant électrique dans les électrolytes.

Le courant électrique dans les électrolytes est le double déplacement des ions.

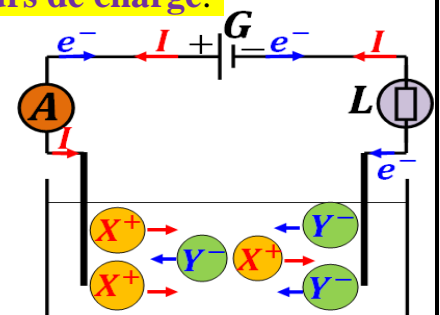
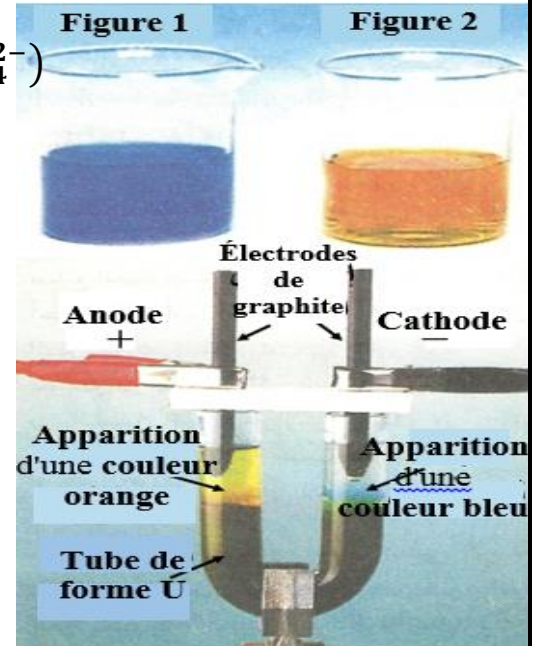
Les cations se déplacent selon le sens conventionnel du courant électrique et les anions dans le sens inverse.

1-2 – Résumé :

Le courant électrique produit par le déplacement de porteurs de charge.

⊕ Dans les métaux : est un déplacement des électrons libres dans le sens opposé du sens conventionnel.

⊕ Dans les électrolytes : est un double déplacement des cations dans le sens conventionnel et des anions dans le sens opposé du sens conventionnel.



2 – La loi d'Ohm dans les solutions électrolytiques :

2-1 – Activité :

On réalise le montage expérimental ci-contre où le bécher contient la solution de chlorure de sodium et les électrodes sont parallèles et complètement immergées dans la solution. On applique une tension alternative sinusoïdale de sorte que nous enregistrons différentes valeurs de la tension efficace U et de l'intensité de courant I correspondante, et on obtient les résultats suivants :

14,4	10	6,4	2,4	0	$I(\text{mA})$
1,2	0,8	0,44	0,2	0	$U(\text{V})$

a- Tracer la courbe de la variation de U en fonction de I .

Voir ci-contre.

b- Que concluez-vous ? La loi d'Ohm est-elle validée pour la solution électrolytique ?

La courbe est une fonction linéaire. Alors, on conclut que la tension U et l'intensité de courant I sont proportionnelles, ce qui indique que la solution électrolytique vérifie la loi d'Ohm.

2-2 – Résumé :

Dans une portion d'une solution électrolytique entre deux plaques, la tension U et l'intensité de courant I traverser la solution subir la loi d'Ohm, qui s'exprime :

$U = R \cdot I$ ou $I = G \cdot U$ où $S \leftarrow G = \frac{1}{R} \rightarrow \Omega$ la Conductance de la portion de la solution électrolytique est l'inverse de la résistance.

3 – Les facteurs influençant la conductance d'une solution :

3-1 – Facteurs associés à la cellule conductimétrique :

La cellule conductimétrique est constituée de deux plaques planes et parallèles de même surface, séparées par la distance L .

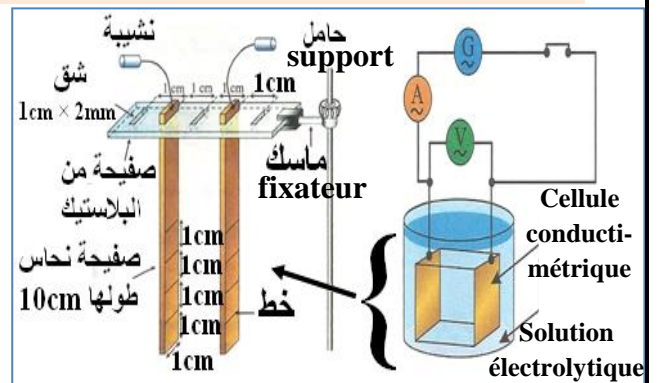
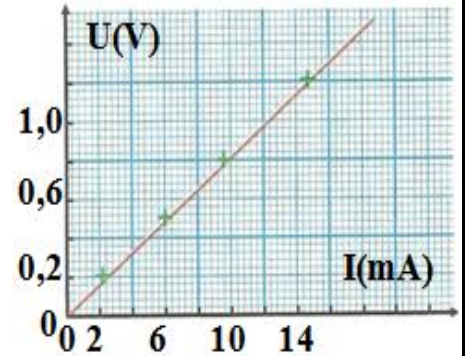
On fixe les deux plaques à une distance de $L = 1 \text{ cm}$ et on les place dans un bécher contenant 500 mL de solution de chlorure de sodium de $C = 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ puis on réalise le montage expérimental ci-contre.

■ On change la surface S immergée dans la solution en déplaçant la position du fixateur sur le support et en mesurant la tension efficace U et l'intensité de courant I à chaque position, on obtient les résultats suivants :

a- Compléter le tableau. Que concluez-vous ?

Voir ci-contre. On remarque que la Conductance G augmente si on augmente la surface S immergée en raison du nombre croissant d'ions capables de se déplacer d'une électrode à l'autre.

■ On Règle la hauteur des électrodes de sorte que la surface immergée reste $S = 1 \text{ cm}^2$ et on change la distance L entre les deux plaques en choisissant deux fissures (شقين) appropriés, on obtient les résultats suivants :



$S(\text{cm}^2)$	1	2	3	4
$G(\mu\text{S})$	137	280	415	545
$\frac{G}{S}$ (SI)	1,4	1,4	1,4	1,4

b- Compléter le tableau. Que **concluez**-vous ?

Voir ci-contre . On remarque que la

Conductance G diminue avec

l'augmentation de la **distance L** en raison du

nombre croissant d'espèces chimiques capables de **bloquer** le **déplacement** des **ions** d'une **électrode** à l'autre.

L(cm)	1	2	3	4
G(μ S)	137	70	44	34
G \times L (10^{-6} SI)	1,4	1,4	1,4	1,4

Conclusion : La **Conductance G** d'une **portion** d'une **solution électrolytique** entre **deux plaques** dépend de la **surface S** immergée et de la **distance L** où :

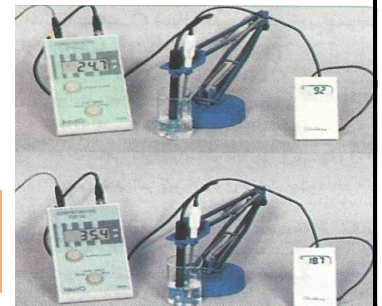
- La **Conductance G augmente** quand la **surface S immergée augmente**.
- La **Conductance G augmente** quand la **distance L diminue**.
- La **Conductance G dépend** de l'**état** de la **surface des électrodes** (propre, sale, rugueux).

3-2 - Facteurs associés aux caractéristiques de la solution :

■ On maintient les **dimensions géométriques** de la **cellule conductimétrique** **fixes** et on mesure la **Conductance G** d'une **solution de chlorure de sodium** de $C = 10^{-1} \text{ mol. L}^{-1}$ à **deux températures différentes**, on obtient les **résultats suivants** :

a- Comment la **température** influence-t-elle la **Conductance G** ?

$\theta(^{\circ})$	9,2	18,7
G (μ S)	24,7	35,4



On remarque que la **Conductance G augmente** avec **l'augmentation** de la **température** car plus la **température** est **élevée**, plus les **ions** se **déplacent rapidement**.

■ On mesure la **Conductance G** de **solutions de chlorure de sodium** de **différentes concentrations**, on obtient les **résultats suivants** :

b- Comment la **concentration de la solution** influence-t-elle la **Conductance G** ?

10^{-2}	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$C (\text{mol. L}^{-1})$
3,2	1,6	0,65	$G (\text{mS})$

On remarque que la **Conductance G augmente** avec **l'augmentation** de la **concentration de la solution** car plus la **concentration** est **élevée**, plus le **nombre d'ions** déplacés entre les **électrodes** est **élevé**.

■ On mesure la **Conductance G** de **différentes solutions de chlorure** de même **concentration** $C = 10^{-2} \text{ mol. L}^{-1}$, on obtient les **résultats suivants** :
c- Pourquoi la valeur de la **Conductance G** a-t-elle **variée** lors du changement de la **nature** de la **solution** ?

G (mS)	Solutions
3,2	$\text{Na}_{(aq)}^{+} + \text{Cl}_{(aq)}^{-}$
6,2	$\text{Na}_{(aq)}^{+} + \text{OH}_{(aq)}^{-}$
10,8	$\text{H}_{(aq)}^{+} + \text{Cl}_{(aq)}^{-}$

On remarque que la **Conductance G varie** selon la **nature** des **ions présents** dans la **solution**. Par exemple, la **solution de chlorure de sodium** et la **solution d'hydroxyde de sodium** se **diffèrent** par **leurs anions**, ce qui provoque leur **conductivité différente**.

Conclusion :

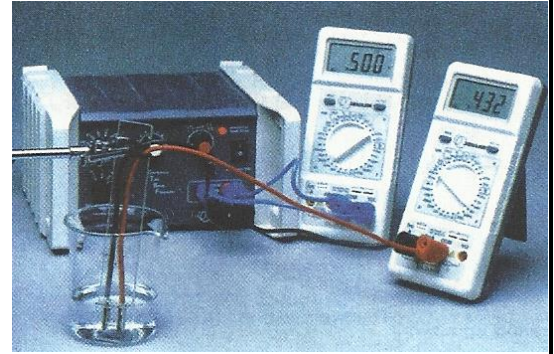
- La **Conductance G augmente** avec **l'augmentation** de la **température** .
- La **Conductance G augmente** avec **l'augmentation** de la **concentration de la solution**, c'est-à-dire $G = \alpha \cdot C$.
- La **Conductance G dépend** de la **nature** du **soluté**, c'est-à-dire la **nature** des **ions** présents dans la **solution**.

II-Détermination de la concentration de la sol ionique par la conductimétrie:

1 – Activité :

On réalise le montage expérimental ci-contre où on verse dans le bécher une solution de chlorure de sodium de différentes concentrations et on mesure la Conductance G de cette solution, on obtient les résultats suivants :

5	4	3	2	1	C (mmol.L ⁻¹)
1,75	1,40	1,05	0,70	0,35	G (mS)



On verse $V = 5 \text{ mL}$ du sérum physiologique (solution de chlorure de sodium diluée) dans une fiole jaugée de 500 mL et on ajoute l'eau distillée jusqu'à ce que le liquide atteigne le trait de jauge, puis on met la solution obtenue dans le bécher et on mesure sa Conductance G qui vaut $G = 1,25 \text{ mS}$.

a- Tracer la courbe d'étalonnage $G = f(C)$.

Voir ci-contre.

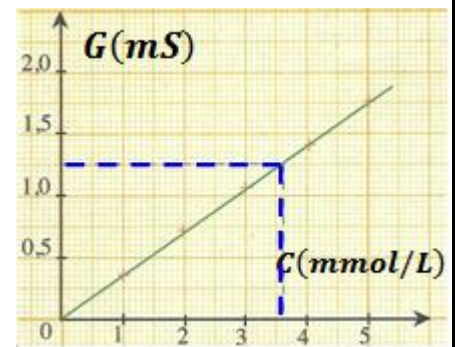
b- Déterminer la valeur du coefficient de dilution du sérum physiologique ? Quel est le but de la dilution ?

D'après la relation de dilution, on a $C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$.

Alors, le coefficient de dilution : $\alpha = \frac{V_f}{V_i} = \frac{500}{5} = 100$

Nous faisons la dilution parce que nous observons que la

courbe d'étalonnage $G = f(C)$ ne reste linéaire que pour les solutions diluées.



c- A l'aide de la courbe d'étalonnage $G = f(C)$, déterminer la concentration de la solution de chlorure de sodium préparée à partir du sérum physiologique puis en déduire la concentration de la solution de chlorure de sodium dans le sérum physiologique.

On a $G = 1,25 \text{ mS}$. Et à l'aide de la courbe d'étalonnage, on trouve que la concentration correspondante de cette valeur est $C_f = 3,6 \text{ mmol.L}^{-1}$.

Ainsi, la concentration de la solution de chlorure de sodium dans le sérum physiologique est $C_i = \alpha \cdot C_f = 100 \times 3,6 \cdot 10^{-3} = 0,36 \text{ mol.L}^{-1}$.

2 – La courbe d'étalonnage $G = f(C)$:

On effectue la mesure de la conductance de différents échantillons (de concentrations connues) d'une solution électrolytique du même type de solution électrolytique inconnue « d'une concentration inconnue », puis on trace la courbe $G = f(C)$ appelée courbe d'étalonnage.

On effectue la mesure de la conductance de la solution inconnue, et à l'aide de la courbe d'étalonnage, on détermine sa concentration.

3 – Les limites d'utilisation d'une courbe d'étalonnage $G = f(C)$:

Pour déterminer la concentration d'une solution à l'aide de la courbe d'étalonnage, il faut que :

- ⊕ La solution contient un seul solvant.
- ⊕ Tous les autres facteurs soit fixe.
- ⊕ la concentration inconnue soit dans le domaine des concentrations utilisées $C < 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

III- La conductivité d'une solution électrolytique :

1 – Définition :

Puisque la **Conductance** G d'une portion d'une solution électrolytique est **proportionnelle** avec la **surface** S immergée des électrodes et est **inversement proportionnelle** à la **distance** L entre elles, on peut écrire : $S \leftarrow G = \sigma \cdot \frac{S}{L}$ $\begin{matrix} \rightarrow m^2 \\ \rightarrow m \end{matrix}$

Où σ : la **conductivité d'une solution électrolytique** et son unité dans (SI) est $S \cdot m^{-1}$.

Remarque :

Le rapport $\frac{S}{L}$ est une **grandeur** qui caractérise la **cellule conductimétrique** appelée **constante de cellule** et son unité est m .

La **Conductance** G ne caractérise pas la **solution**, elle dépend de la **portion** de la **solution électrolytique** entre les deux **plaques cellulaires**.

Mais, la **conductivité** σ caractérise la **solution**, et qui traduit la **capacité** de la **solution à conduire le courant électrique**. C'est une l'un des **propriétés** de la **solution directement mesurables** par un appareil appelé **conductimètre**.

2 – la conductivité et la concentration d'une solution :

Pour les solutions diluées, on a $G = \alpha \cdot C$ et $G = \sigma \cdot \frac{S}{L} = K \cdot \sigma$

Donc $\sigma = \left(\alpha \cdot \frac{L}{S}\right) \cdot C = \lambda \cdot C$ Où λ : la **conductivité molaire de la solution**.

IV- La Conductivité molaire ionique :

1 – Définition :

Chaque **ion** dans une **solution** se caractérise par sa **taille**, sa **charge** et **leur état de solvatation** (pour les **solutions aqueuses**), ce qui le **différencie** des **autres types** des **espèces chimiques** qui se trouve dans la **solution** en termes de **capacité à conduire de l'électricité**. Cette **capacité** est exprimée par une **grandeur physique** appelée **conductivité molaire ionique** λ_X et son unité dans (SI) est $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$.

2 – la conductivité d'une solution et la conductivité molaire ionique :

Le **passage du courant électrique** dans une **solution électrolytique** est dû au **double déplacement** des **ions**.

On admet que σ^+ est dû aux **cations** et σ^- est dû aux **anions**.

On considère que la **conductivité** σ de la **solution** est la **somme** des deux **conductivité** σ^+ et σ^- , alors on écrit : $\sigma = \sigma^+ + \sigma^-$.

La **conductivité** σ^- est **proportionnelle** à la **concentration effective des anions**, alors on écrit : $\sigma^- = \lambda_{X^-} \cdot [X^-]$.

La **conductivité** σ^+ est **proportionnelle** à la **concentration effective des cations**, alors on écrit : $\sigma^+ = \lambda_{Y^+} \cdot [Y^+]$.

Ainsi, la **conductivité** σ d'une **solution électrolytique** composée de **cations** Y^+ et d'**anions** X^- s'écrit comme suit :

$$\sigma = \sum_{i=1}^n \lambda_{X_i} \cdot [X_i] = \lambda_{X^-} \cdot [X^-] + \lambda_{Y^+} \cdot [Y^+]$$

λ (S.m ² .mol ⁻¹)	Anions	λ (S.m ² .mol ⁻¹)	Cations
2,0 x 10 ⁻²	HO ⁻ (aq)	3,5 x 10 ⁻²	H ⁺ (aq)
7,8 x 10 ⁻³	Br ⁻ (aq)	7,4 x 10 ⁻³	K ⁺ (aq)
7,7 x 10 ⁻³	I ⁻ (aq)	7,4 x 10 ⁻³	NH ₄ ⁺ (aq)

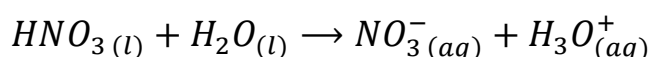
Les réactions acido-basiques

I – Notion d'acide et base selon de Bronsted

1- Exemple de réaction acido-basique :

❖ Réaction entre l'acide nitrique et l'eau :

La réaction entre l'acide nitrique HNO_3 et l'eau produit des ions nitrate NO_3^- et des ions oxonium H_3O^+ selon la réaction suivante :



❖ On constate au cours de cette équation que l'espèce chimique HNO_3 a perdu un proton H^+ alors que l'espèce H_2O a gagné ce proton.

❖ Définition :

Une réaction d'acido-basique est caractérisée par un transfert de proton H^+ entre un acide et une base.

2- Définition de l'acide et de base selon Bronsted

On appelle **acide** une espèce chimique capable de **céder** un ou plusieurs protons H^+ .

Exemples :



On appelle **base** une espèce chimique capable de **capter** un ou plusieurs protons H^+ .

Exemples :



II- Couples acide / base

1- Définition :

Deux espèces chimiques constituent un couple acide / base s'il est possible de passer de l'un à l'autre par perte ou gain d'un proton H^+ .

Exemples :

acide/base NH_4^+/NH_3 ; H_2O/HO^- ; H_3O^+/H_2O

2- Demi-équation acido-basique :

Soit AH/A^- un couple *acide/base*.

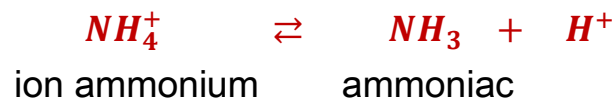
Si AH est l'un des réactifs il va donner sa base conjuguée : $AH \rightarrow A^- + H^+$

Si A^- est l'un des réactifs il va donner son acide conjugué : $A^- + H^+ \rightarrow AH$

La demi-équation du couple *acide/base* AH/A^- s'écrit :

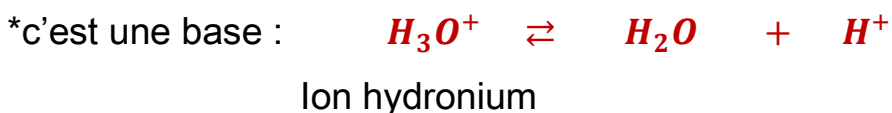
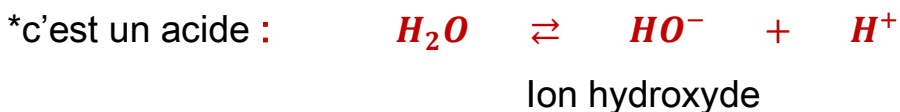


Exemple :



3- Couple acide- base de l'eau :

L'eau a des propriétés acido-basiques :

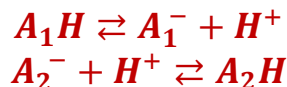


4- Notion d'ampholyte :

L'eau se comporte comme un acide dans le couple H_2O/HO^- et comme une base dans le couple H_3O^+/H_2O , on l'appelle ampholyte (ou amphotère).

III- L'équation chimique d'une réaction acido-basique

Si l'acide A_1H réagit sur la base A_2^- , On écrit directement les demi-équations dans le sens où elles se produisent.



La combinaison de ces 2 demi-équations donne l'équation de la réaction :



Application 1 :

La base NH_3 réagit avec l'acide éthanoïque CH_3COOH .

- 1- Ecrire les couples qui participent dans cette réaction.
- 2- Ecrire l'équation de la réaction.

Solution

1- Les couples participant à cette réaction sont :



2- L'équation de la réaction :



IV – Indicateurs colorés acido-basiques :

Un indicateur coloré est un couple acide-base dont l'acide HIn et la base In^- n'ont pas la même couleur. Son couple est noté : HIn/In^- .

En présence de l'acide HA , la base de l'indicateur réagit selon la réaction :



Le mélange prend la couleur de l'espèce acide HIn .

En présence de la base A^- , l'acide de l'indicateur réagit selon la réaction :



Le mélange prend la couleur de l'espèce basique In^- .

Exemples :

Indicateur coloré	Couleur de l'espèce acide	Couleur de l'espèce base
BBT	jaune	Bleue
Hélianthine	rose	Jaune
Phénolphtaléine	incolore	rose

Exemples de couple acido-basique :

demi-équation	L'acide	sa base conjuguée	couple acido-basique
$CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$	CH_3COOH	CH_3COO^-	CH_3COOH/CH_3COO^-
$HNO_3 \rightleftharpoons NO_3^- + H^+$	HNO_3	NO_3^-	HNO_3/NO_3^-
$NH_4^+ \rightleftharpoons NH_3 + H^+$	NH_4^+	NH_3	NH_4^+/NH_3
$HCOOH \rightleftharpoons HCOO^- + H^+$	$HCOOH$	$HCOO^-$	$HCOOH/HCOO^-$
$H_3O^+ \rightleftharpoons H_2O + H^+$	H_3O^+	H_2O	H_3O^+/H_2O
$HIn \rightleftharpoons In^- + H^+$	HIn	In^-	HIn/In^-

Application 2 :

1- Ecrire les demi-équations de réactions acido-basiques relatives à :

a- L'acide nitreux $HNO_2(aq)$

b- L'ammoniac $NH_3(aq)$

2- En déduire l'équation de la réaction entre l'acide nitreux et l'ammoniac.

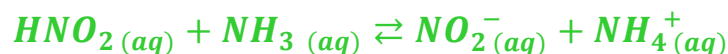
Solution

1-

a- Acide nitreux : $HNO_2 \rightleftharpoons NO_2^- + H^+$

b- Ammoniac : $NH_3 + H^+ \rightleftharpoons NH_4^+$

2- Equation de la réaction :



Exercice :

On mélange un volume $V_1 = 12,0 \text{ mL}$ d'une solution d'acide méthanoïque $HCOOH(aq)$ de concentration $C_1 = 0,16 \text{ mol/L}$ avec un volume $V_2 = 23,0 \text{ mL}$ d'une solution basique de l'ammoniac $NH_3(aq)$ de concentration $C_2 = 5 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$.

1- Avec quelle verrerie a-t-on pu mesurer les volumes indiqués ?

2- Ecrire les couples acide/base étudiés et la demi-équation de chaque couple.

3- Ecrire l'équation de la réaction qui peut se produire.

3- Etablir la composition finale du système en quantité de matière, puis en concentrations (construire le tableau d'avancement).

Correction

1- Verrerie utilisée pour mesurer les volumes :

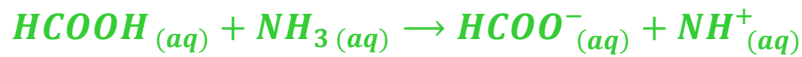
Pipettes graduées de 25 mL ou burette de 25 mL .

2- Couples acide/base :

Acide méthanoïque / ion éthanoate : $HCOOH \rightleftharpoons HCOO^- + H^+$

Ion ammonium / ammoniac : $NH_4^+ \rightleftharpoons NH_3 + H^+$

3- Equation de la réaction:



4- Tableau d'avancement:

Calculons la quantité de matière des réactifs à l'état initial:

$$n_i(HCOOH) = C_1 \cdot V_1 = 0,16 \times 12 = 1,92 \text{ mmol}$$

$$n_i(NH_3) = C_2 \cdot V_2 = 5 \cdot 10^{-3} \times 23 = 1,15 \text{ mmol}$$

Equation de la réaction		$HCOOH_{(aq)} + NH_{3(aq)} \rightarrow HCOO^-_{(aq)} + NH_4^+_{(aq)}$			
Etat du système	avancement	Quantité de matière en (mmol)			
Etat initial	$x = 0$	1,92	1,15	0	0
Au cours de la transformation	x	$1,92 - x$	$1,15 - x$	x	x
Etat final	$x = x_{max}$	$1,92 - x_{max}$	$1,15 - x_{max}$	x_{max}	x_{max}
	$x_{max} = 1,15$	0,77	0	1,15	1,15

-Concentration des différentes espèces chimiques :

$$[HCOOH] = \frac{n_f(HCOOH)}{V_1 + V_2} = \frac{C_1 V_1 - x_{max}}{V_1 + V_2}$$

$$[HCOOH] = \frac{0,77 \times 10^{-3}}{(12+23) \times 10^{-3}} \approx 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$[HCOO^-] = [NH_4^+] = \frac{x_{max}}{V_1 + V_2}$$

$$[HCOO^-] = [NH_4^+] = \frac{1,15 \times 10^{-3}}{(12 + 23) \times 10^{-3}} \approx 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

I) Les acides et les bases selon Bronsted :

Définition d'un acide selon Bronsted :

Un acide est espèce chimique (molécule ou ion) capable de céder un proton H^+ lors d'une réaction chimique.

Définition d'une base selon Bronsted :

Une base est une espèce chimique (molécule ou ion) capable de capter un proton H^+ lors d'une réaction chimique.

Quelques exemples d'acides et de bases usuels

➤ *Acides du laboratoire :*

- ✓ Solution d'acide chlorhydrique ($H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$)
- ✓ Solution d'acide nitrique ($H_3O^+_{(aq)} + NO_3^-_{(aq)}$)
- ✓ Solution d'acide sulfurique ($2H_3O^+_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)}$)
- ✓ L'acide éthanoïque CH_3COOH
- ✓ Solution de dioxyde de carbone CO_2, H_2O

➤ *Acides de la vie courante :*

- ✓ Les détartrants ,Antikal, Ajax, Harpic.. (contiennent de l'acide chlorhydrique ou phosphorique)
- ✓ Le vinaigre (contient de l'acide éthanoïque)
- ✓ Le coca-cola (contient de l'acide phosphorique)...

➤ *Bases du laboratoire :*

- ✓ Solution d'hydroxyde de sodium ou soude ($Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}$)
- ✓ Solution d'hydroxyde de potassium ($K^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}$)
- ✓ L'ammoniac (NH_3)
- ✓ Solution de carbonate de sodium ($2Na^+_{(aq)} + CO_3^{2-}_{(aq)}$)

➤ *Bases de la vie courante :*

- ✓ Déboucheur, Destop (contient de la soude)
- ✓ Levure.

II) Couple acide / base

1 – Définition

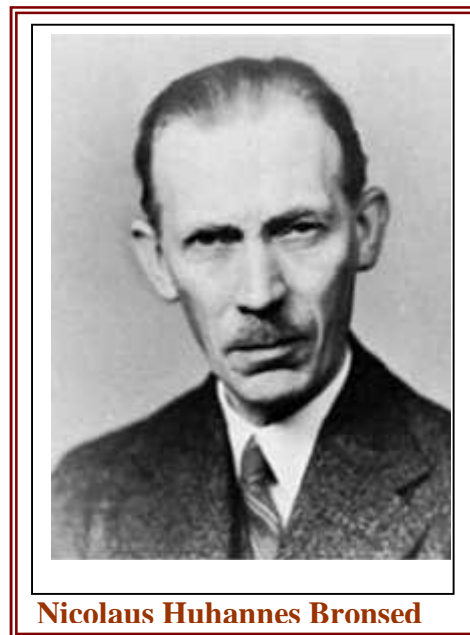
Un couple acide / base est constitué d'un acide et d'une base qui se transforment l'une en l'autre par un transfert d'un proton H^+ .



L'acide et la base sont conjugués.

Exemple :

Formule du couple acide/base	noms	Demi-équation
$NH_4^+_{(aq)}/NH_{3(aq)}$	Ion ammonium/ammoniac	$NH_4^+_{(aq)} \rightleftharpoons NH_3_{(aq)} + H^+$
CH_3COOH/CH_3COO^-	Acide éthanoïque/ion éthanoate	$CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^-_{(aq)} + H^+$
HCO_3^-/CO_3^{2-}	Ion hydrogénocarbonate/ion carbonate	$HCO_3^- = CO_3^{2-} + H^+$
$CO_2, H_2O/ HCO_3^-$	Dioxyde de carbone solvaté/ Ion hydrogénocarbonate	$CO_2, H_2O = HCO_3^- + H^+$



2 – Les couples de l'eau

L'eau est un ampholyte (ou espèce amphotère) car elle appartient à deux couples acido-basique :

- l'eau est la base du couple acido-basique $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$ ($\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} = \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + \text{H}^+$)

- l'eau est l'acide du couple acido-basique $\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-$ ($\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} = \text{HO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}^+$)

autre espèce amphotère : l'ion hydrogénocarbonate HCO_3^-

3 – Les indicateurs colorés

Un indicateur coloré est un couple acido-basique pour lequel la forme acide n'a pas la même couleur que sa forme conjuguée basique.

Le changement de couleur de l'indicateur coloré a lieu pour une valeur de pH particulière caractéristique de l'indicateur. On peut noter ce couple IndH/Ind^- .

Exemples

Indicateur coloré	Couleur forme acide	Zone de virage	Couleur forme basique
Bleu de bromothymol (BBT)	jaune	$6 < \text{pH} < 7,6$	Bleu
Hélianthine	rouge	$3,1 < \text{pH} < 4,4$	Jaune
Phénolphtaléine	incolore	$8,2 < \text{pH} < 10$	Rouge-violacé

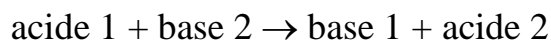
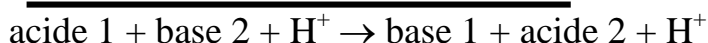
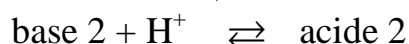
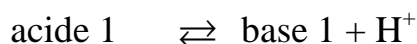
III) Equation chimique d'une réaction acido-basique

1 – Caractéristiques

Une réaction acido-basique fait intervenir deux couples acide/base.

Pour obtenir l'équation d'une réaction acido-basique, on peut additionner les deux demi-équations de chacun des couples acide/base mis en jeu.

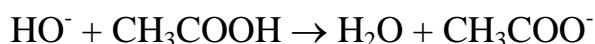
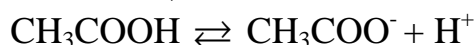
Réaction entre un acide 1 et une base 2 appartenant respectivement aux couples acide 1/base 1 et acide 2/base 2 :



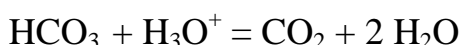
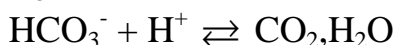
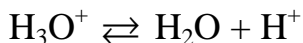
Remarque : cette réaction s'accompagne d'une variation de pH.

2 – Exemples :

Réaction entre HO^- et CH_3COOH :



Réaction entre HCO_3^- et H_3O^+ :



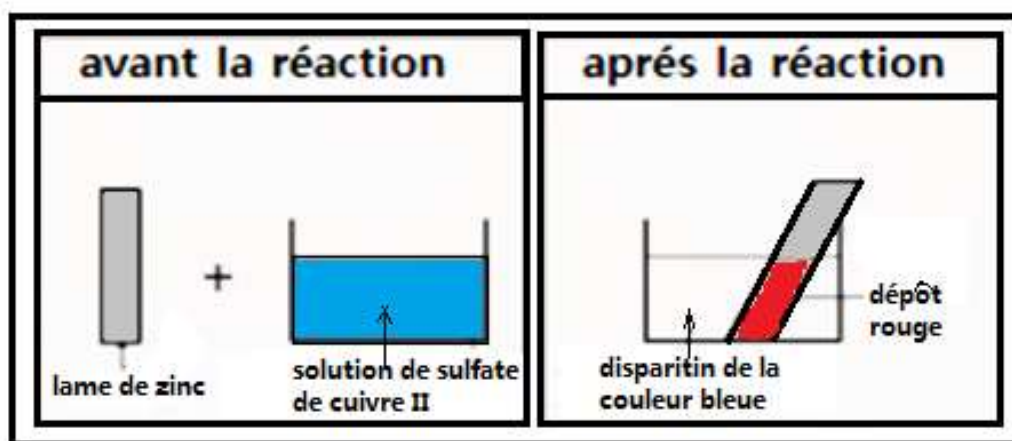
Les réactions d'oxydo-réductions

I- Réaction d'oxydo-réduction

1- Transfert électronique :

Expérience et observation :

On immerge une plaque de zinc dans une solution de sulfate de cuivre(II).



On observe un dépôt rouge de cuivre et la décoloration de la solution.

L'addition de la soude fait apparaître un précipité blanc ce qui implique la présence des ions Zn^{2+} dans la solution.

L'équation de la réaction peut alors s'écrire :



Chaque atome de zinc se transforme en ion zinc par perte de deux électrons, On écrira :



L'ion cuivre II capte deux électrons pour se transformer en atome Cu , on écrira :



Au cours de cette réaction il y'a transfert d'électrons entre l'atome de zinc et l'ion cuivre II.

Il caractérise une réaction d'oxydo-réduction.

2- Définitions :

2-1- Oxydation et réduction :

Une **oxydation** est une réaction chimique au cours de laquelle une espèce chimique un **oxydant** gagne un ou plusieurs électrons.

Une **réduction** est une réaction chimique au cours de laquelle une espèce chimique un **réducteur** perd un ou plusieurs électrons.

2-2- Un oxydant et un réducteur :

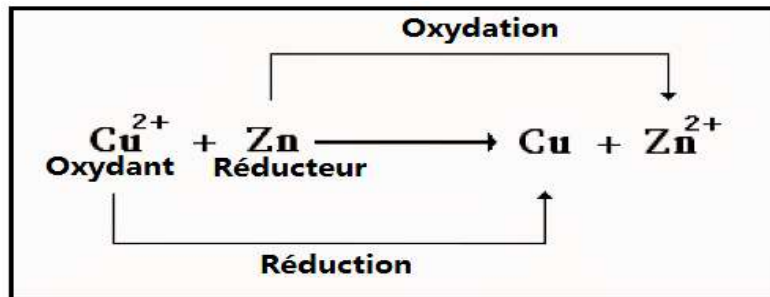
Un **oxydant** est une espèce chimique susceptible de **capturer un ou plusieurs électrons**.

Un **réducteur** est une espèce chimique susceptible de **perdre un ou plusieurs électrons**.

2-3- Réaction d'oxydo-réduction :

On appelle une réaction qui met en jeu un **transfert d'électron** entre un oxydant et un réducteur, une réaction d'**oxydo-réduction**.

Exemple :



Une oxydation transforme un **réducteur** en son **oxydant conjugué**.

Une réduction transforme un **oxydant** en son **réducteur conjugué**.

II- Couple oxydant / réducteur :

1- Définition :

Un couple oxydant / réducteur est un ensemble formé par un oxydant et un réducteur qui se correspondent dans la même demi-équation redox.



2- Exemples :

Les exemples suivants sont à connaître.

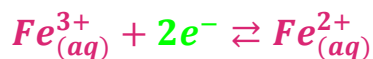
Couple	Oxydant	Réducteur	Demi-équation rédox
$H_{(aq)}^+ / H_{2(g)}$	Ion hydrogène $H_{(aq)}^+$	Dihydrogène $H_{2(g)}$	$2H_{(aq)}^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_{2(g)}$
$M_{(aq)}^{n+} / M_{(s)}$	Cation métallique	Métal	$M_{(aq)}^{n+} + ne^- \rightleftharpoons M_{(s)}$
$Fe_{(aq)}^{3+} / Fe_{(aq)}^{2+}$	Ion fer (III) $Fe_{(aq)}^{3+}$	Ion fer (II) $Fe_{(aq)}^{2+}$	$Fe_{(aq)}^{3+} + e^- \rightleftharpoons Fe_{(aq)}^{2+}$
$I_{2(aq)} / I_{(aq)}^-$	Diode $I_{2(aq)}$	Ion iodure $I_{(aq)}^-$	$I_{2(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons 2I_{(aq)}^-$
$S_4O_6^{2-}_{(aq)} / S_2O_3^{2-}_{(aq)}$	Ion tétrathionate	Ion thionate	$S_4O_6^{2-}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons 2S_2O_3^{2-}_{(aq)}$

III- Réaction d'oxydo-réduction :

1- Demi-équation d'oxydo-réduction :

L'écriture des demi-équations redox est basée sur les lois de conservation des éléments et des charges électriques.

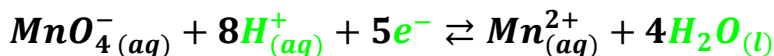
Premier exemple :



La conservation de la charge électrique est assurée par les électrons

Deuxième exemple :

On considère le couple $MnO_4^-_{(aq)} / Mn^{2+}_{(aq)}$



La conservation de l'oxygène nécessite l'intervention de l'eau et les ions H_3O^+ ou H^+ .

2- Les réactions d'oxydo-réduction :

Une réaction d'oxydo-réduction met en jeu deux couples redox. Elle consiste en un transfert d'un ou plusieurs électron(s) du réducteur de l'un des couples à l'oxydant de l'autre couple.

Les électrons n'apparaissent pas dans l'équation de la réaction.

On écrira pour les deux couples $Ox_1/réd_1$ et $Ox_2/réd_2$:

Demi-équation électronique :



Demi-équation électronique :



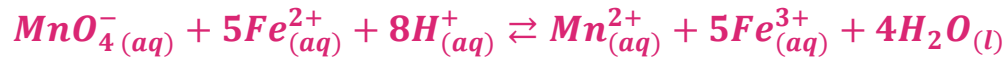
Equation bilan :



Application 1 :

Ecrire l'équation de l'oxydo-réduction entre les ions *fer (II)* et les ions permanganate MnO_4^- en milieu acide.

On écrira pour les deux couples $\text{Fe}_{(aq)}^{3+}/\text{Fe}_{(aq)}^{2+}$ et $\text{MnO}_{4(aq)}^-/\text{Mn}_{(aq)}^{2+}$:



Application 2 :

Ecrire l'équation de l'oxydo-réduction entre l'eau oxygénée H_2O_2 et les ions bichromate Cr_2O_7^- en milieu acide.

On écrira pour les deux couples $\text{O}_{2(g)}/\text{H}_2\text{O}_{2(aq)}$ et $\text{Cr}_2\text{O}_{7(aq)}^{2-}/\text{Cr}_{(aq)}^{3+}$:



Exercice corrigé :

On plonge une lame de zinc de masse $m = 2g$ dans une solution d'acide chlorhydrique ($H_{(aq)}^+ + Cl_{(aq)}^-$) en excès.

Au cours de la réaction il y a formation des ions Zn^{2+} et production d'un gaz qui donne une détonation en présence d'une flamme.

1- Ecrire les demi-équations équations redox et l'équation bilan entre l'acide chlorhydrique et le zinc.

2- Dresser le tableau d'avancement de la réaction et déterminer l'avancement maximal.

3- Calculer le volume de dihydrogène libéré à la fin de réaction.

4- Calculer la masse m' du chlorure de zinc formé à la fin de la réaction.

On donne : $V_m = 25 L \cdot mol^{-1}$; $M(Zn) = 64,5 g \cdot mol^{-1}$; $M(Cl) = 35,5 g \cdot mol^{-1}$

Correction

1- Demi-équations équations redox et l'équation bilan :



2- Tableau d'avancement de la réaction :

Déterminons le nombre de mole de Zn initial :

$$n_i(Zn) = \frac{m}{M(Zn)} = \frac{2}{65,4} \approx 3,1 \cdot 10^{-2} mol$$

Equation de la réaction		$Zn_{(s)} + 2H_{(aq)}^+ \rightleftharpoons Zn_{(aq)}^{2+} + H_{2(g)}$			
Etat du système	Avancement en (mol)	Quantité de matière en (mol)			
initial	$x = 0$	$3,1 \cdot 10^{-2}$	en excès	0	0
Intermédiaire	x	$3,1 \cdot 10^{-2} - x$	en excès	x	x
final	$x = x_{max}$	$3,1 \cdot 10^{-2} - x_{max}$	en excès	x_{max}	x_{max}

Réactif limitant est le zinc puisque l'acide est en excès donc l'avancement maximal est :

$$3,1 \cdot 10^{-2} - x_{max} = 0 \Rightarrow x_{max} = 3,1 \cdot 10^{-2} mol$$

3- Volume de dihydrogène libéré à la fin de réaction :

D'après le tableau d'avancement :

$$n_f(H_2) = x_{max} = \frac{V}{V_m} \Rightarrow V = V_m \cdot x_{max}$$

$$V = 25 \times 3,1 \cdot 10^{-2} = 0,775 \text{ L}$$

4- Masse m' du chlorure de zinc formé : ($Zn^{2+} + 2Cl^-$)

D'après le tableau d'avancement :

$$n_f(Zn^{2+}) = n_f(ZnCl_2) = x_{max}$$

$$n_f(ZnCl_2) = \frac{m'}{M(ZnCl_2)} \Rightarrow m' = x_{max} \cdot [M(Zn) + 2M(Cl)]$$

$$m' = 3,1 \cdot 10^{-2} \times (64,5 + 35,5 \times 2) = 4,20 \text{ g}$$

Les réactions d'oxydo-réduction

DELAHI MOHAMED (1 bac SM)

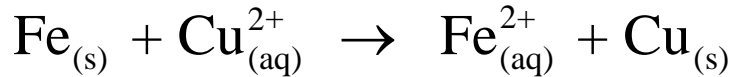
I – REACTIONS D'OXYDO-REDUCTION, OXYDANT, REDUCTEUR

1 – Définitions

Définition d'une réaction d'oxydo-réduction :

C'est une réaction caractérisée par un **transfert d'électrons** entre un oxydant et un réducteur.

Exemple : réaction entre Fe et Cu²⁺_(aq)



Définition d'un oxydant :

Un oxydant est une espèce chimique (molécule ou ion) capable de capter un ou plusieurs électrons lors d'une réaction chimique.

Définition d'un réducteur :

Un réducteur est une espèce chimique (molécule ou ion) capable de céder un ou plusieurs électrons lors d'une réaction chimique.



Réducteur

Oxydant

Définition d'une oxydation :

Une oxydation est une perte d'électrons.

Définition d'une réduction :

Une réduction est un gain d'électrons.

2 – Oxydants et réducteurs dans la classification périodique

En classe de 2^{nde}, nous avons vu qu'un élément dont la dernière couche n'est pas remplie complètement tend à acquérir la structure du gaz rare le plus proche.

- S'il tend à gagner des électrons, c'est un oxydant.
- S'il tend à perdre des électrons, c'est un réducteur.

Exemples :

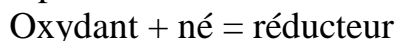
Na (gaz rare le plus proche Ne) : tend à perdre 1 é ; c'est le réducteur du couple Na⁺/Na.

I₂ (gaz rare la plus proche Xe) : tend à gagner 1 é ; c'est l'oxydant du couple I₂/I⁻.

II – COUPLE OXYDANT-REDUCTEUR

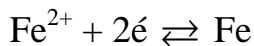
1- Définition

Un couple oxydant/réducteur est constitué d'un oxydant et d'un réducteur qui se transforment l'un en l'autre par un transfert d'électrons.



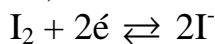
Exemples :

- couple Fe^{2+}/Fe



(oxydant) (réducteur)

- couple I_2/I^-



2 – Equilibre d'une demi-équation associée à un couple

La demi-équation respecte les mêmes règles d'ajustement de la stoechiométrie que les équations chimiques.

Méthode d'équilibre d'une demi équation redox en milieu acide :

- Ecrire la demi-équation sous la forme $\text{Ox} + \text{né} = \text{red}$
- Assurer, si nécessaire la conservation des éléments autres que H et O.
- Assurer la conservation de l'élément O avec des molécules d'eau.
- Assurer la conservation de l'élément H avec des protons H^+ .
- Assurer la conservation de la charge avec des électrons.

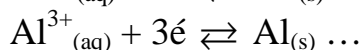
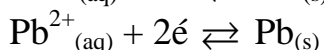
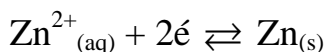
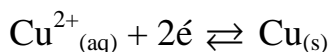
Méthode d'équilibre d'une demi équation redox en milieu basique :

- Equilibrer la demi-équation en milieu acide.
- Ecrire l'autoprotolyse de l'eau avec autant d' H^+ que dans l'équation précédente

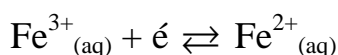


- Additionner les deux équations précédentes de manière à éliminer les H^+ .

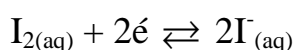
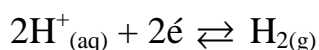
a) Exemples de couples cation métallique / métal



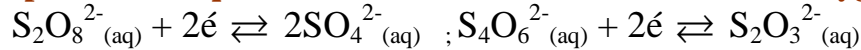
b) Exemple de couple cation métallique / cation métallique



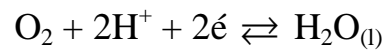
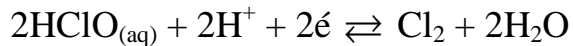
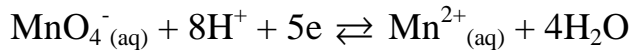
c) Exemples de couples ion métallique / molécule



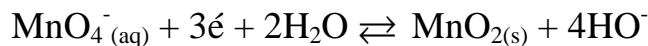
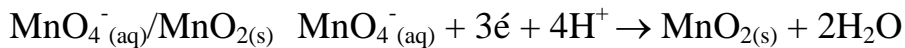
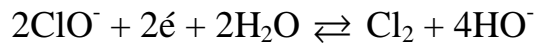
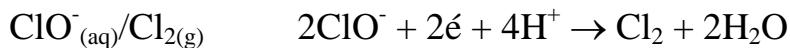
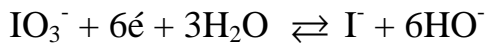
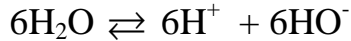
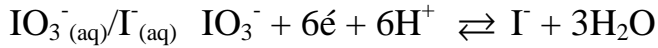
d) Exemples de couples dans lequel un élément commun s'associe à l'oxygène



Equilibre en milieu acide :



Equilibre en milieu basique :



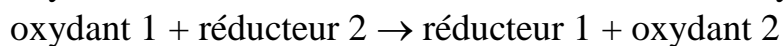
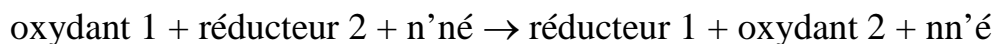
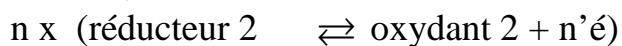
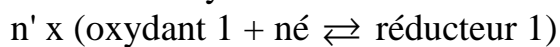
III – EQUATION CHIMIQUE D'UNE REACTION D'OXYDO-REDUCTION

1 – Caractéristiques

Une réaction d'oxydo-réduction fait intervenir deux couples oxydant/réducteur.

Pour obtenir l'équation d'une réaction d'oxydo-réduction, on peut additionner les deux demi-équations de chacun des couples oxydant/réducteur mis en jeu.

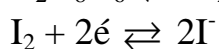
Réaction entre un oxydant 1 et un réducteur 2 appartenant respectivement aux couples oxydant 1/ réducteur 1 et oxydant 2/ réducteur 2 :



2 – Exemples

Réaction entre la vitamine (ou acide ascorbique) $\text{C}_2\text{H}_8\text{O}_6$ et le diiode

Couples : $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_6/\text{C}_2\text{H}_8\text{O}_6$ I_2/I^-



Dosages directs

I- Principe du dosage

1- Dosage d'une espèce chimique :

Doser (ou titrer) une espèce chimique en solution, c'est déterminer sa concentration molaire dans la solution considérée.

Lors du titrage, la concentration de l'une des deux solutions doit être connue, et celle de l'autre est à déterminer.

La solution de concentration connue est appelée **solution titrante**, l'autre est appelée **solution titrée**.

2- Méthode de dosage :

2-1- dosage non destructifs :

Ce type de dosage ne modifie pas la solution dosée, donc cette solution peut être utilisée une autre fois.

Exemple : l'utilisation de la courbe d'étalonnage pour déterminer la concentration d'un soluté en solution.

2-2- Dosage destructifs :

Il se produit, dans ce type de dosage, une transformation chimique de la solution dosée, ce qui entraîne la destruction de cette solution.

3- Réaction de dosage :

Pour qu'une réaction chimique soit utilisée comme réaction de dosage, il faut qu'elle soit :

- **Univoque** : les deux réactifs, titré et titrant, réagissent selon une seule et unique réaction.
- **Totale** : un des deux réactifs mis en présence doit disparaître complètement.
- **Rapide** : l'état final du système chimique rapidement.

4- L'équivalence :

L'étude de la réaction du dosage permet la détermination de la concentration cherchée.

A l'équivalence les deux réactifs titré et titrant sont consommés totalement.

-Comment on repère l'équivalence ?

L'objectif principal du dosage c'est le repérage de l'équivalence.

On peut repérer l'équivalence à l'aide du :

- Changement du couleur du milieu réactionnel.
- Changement de couleur de l'indicateur coloré ajouté au milieu réactionnel avant le dosage.
- Traçage de la courbe de l'évolution de la conductance du milieu réactionnel.

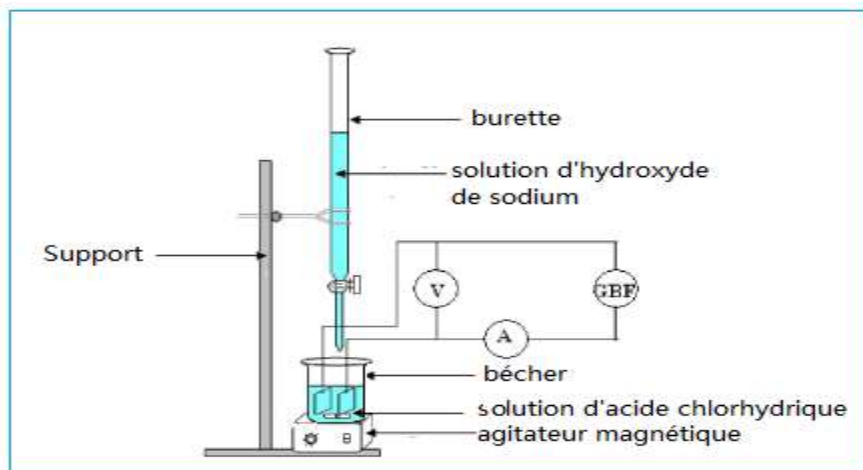
II- Dosage acido-basique

1- Manipulation :

Le bécher contient un volume $V_A = 100 \text{ mL}$ d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration C_A inconnu.

On met la cellule conductimétrique dans le bécher pour mesurer la conductance de la solution.

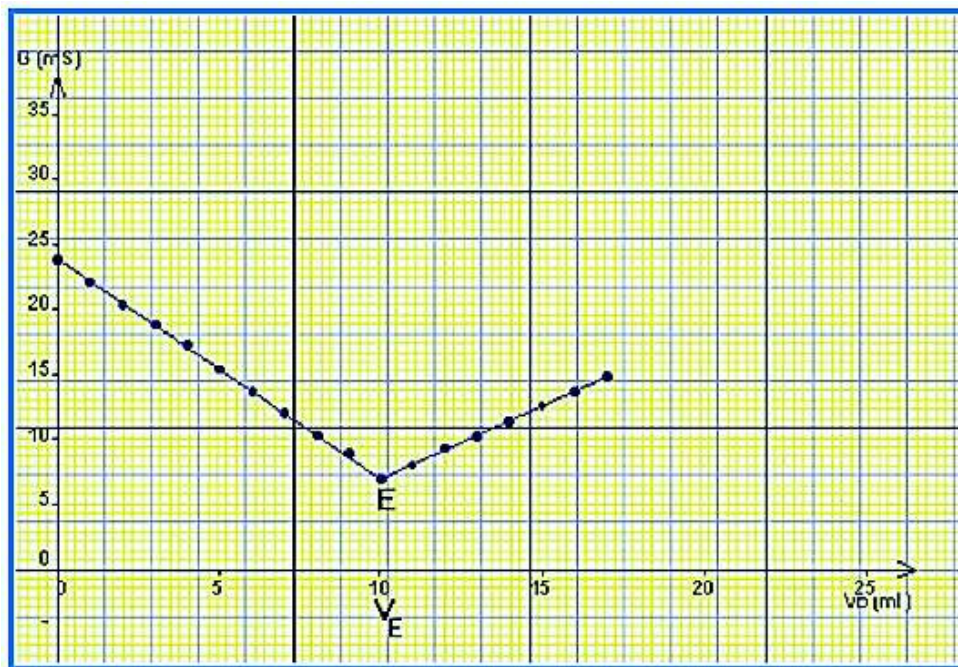
On remplit une burette par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_B = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$.



Le tableau de résultats :

G (mS)	23,8	22,1	20,4	18,8	17,3	15,4	13,7	12,0	10,3	8,9	7,0	8,0	9,3	10,2	11,4	12,6	13,7	14,8
V_B (mL)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

La courbe $G = f(V_B)$:



2- Analyse de la courbe :

La courbe est formée de deux portions de droites qui se coupent en un point E d'abscisse $V_{\text{éq}}$.

-Avant l'équivalence $V_B < V_{\text{éq}}$: Le réactif limitant est HO^- .

Dans le bécher les ions H_3O^+ disparus sont remplacés par les ions Na^+ apportés par la solution d'hydroxyde de sodium. Puisque $\lambda_{Na^+} \ll \lambda_{H_3O^+}$, la conductance diminue.

-Après l'équivalence $V_B > V_{\text{éq}}$: le réactif limitant est H_3O^+ est totalement consommé.

Les ions Na^+ et HO^- apportés par la solution basiques ajoutée ne sont plus consommés, et la conductance augmente.

-A l'équivalence : la conductance est minimale.

3- Equivalence :

Tableau d'avancement de la réaction de dosage :

L'état du système	L'avancement	$H_3O^+_{(aq)}$	+	$HO^-_{(aq)}$	→	$H_2O_{(l)}$
Initial	$x = 0$	$n_i(H_3O^+) = C_A \cdot V_A$		$n_a(HO^-) = C_B \cdot V_B$		En excès
final	x_E	$C_A \cdot V_B - x_E$		$C_B \cdot V_{BE} - x_E$		En excès

A l'équivalence la quantité de matière initiale des ions H_3O^+ est égale à la quantité de matière des ions HO^- ajoutés :

$$n_i(H_3O^+) = n_a(HO^-) \Leftrightarrow \begin{cases} n_i(H_3O^+) = C_A \cdot V_A \\ n_a(HO^-) = C_B \cdot V_{BE} \end{cases} \Rightarrow C_A \cdot V_A = C_B \cdot V_{BE}$$

$$C_A = \frac{C_B \cdot V_{BE}}{V_A} \Rightarrow C_A = \frac{0,1 \times 10}{100} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

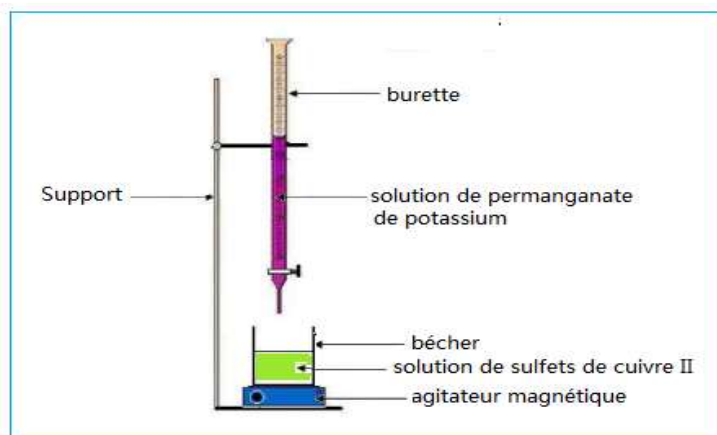
III- Dosage oxydo-réduction

1- Manipulation :

2-1- évolution du système chimique :

La burette contient une solution de permanganate de potassium ($K^+ + MnO_4^-$) acidifiée de concentration $C_2 = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$.

Le bécher contient un volume $V_1 = 10 \text{ mL}$ d'une solution de sulfate de fer II ($Fe^{2+} + SO_4^{2-}$) de concentration C_1 .



On appelle $n_i(Fe^{2+})$ la quantité de matière des ions Fe^{2+} initiale et $n_a(MnO_4^-)$ la quantité de matière ajoutée de la burette.

Equation de la réaction		$MnO_4^-(aq) + 5Fe^{2+}(aq) + 8H^+(aq) \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 5Fe^{3+}(aq) + 4H_2O(l)$					
Etat du système	avancement	Quantité de matière en (mol)					
Etat initial	$x = 0$	$C_2 \cdot V_2$	$C_1 \cdot V_1$	En excès	0	0	En excès
Au cours de transformation	x	$C_2 \cdot V_2 - x$	$C_1 \cdot V_1 - 5x$	En excès	x	$5x$	En excès
Etat final	x_E	$C_2 \cdot V_2 - x_E$	$C_1 \cdot V_1 - 5x_E$	En excès	x_E	$5x_E$	En excès

1-2- L'équivalence :

L'équivalence est atteinte lorsque les réactifs (espèce titrée et espèce titrante) ont été mélangés dans les proportions stœchiométriques.

$$\begin{cases} n_a(MnO_4^-) - x_E = 0 \\ n_i(Fe^{2+}) - 5x_E = 0 \end{cases} \Rightarrow n_i(Fe^{2+}) = 5n_a(MnO_4^-) \Rightarrow C_1 \cdot V_1 = 5 C_2 \cdot V_{2E}$$

$$C_1 = \frac{5 C_2 \cdot V_{2E}}{V_1}$$

2- Repérage de l'équivalence :

Le repérage de l'équivalence se fait grâce au changement de couleur de la solution contenue dans le bécher.

Avant l'équivalence : le réactif limitant est la solution titante, il disparaît totalement. La couleur de la solution dans le bécher est celle de la solution titrée (vert pour Fe^{2+}) et les espèces produites (rouille pour Fe^{3+} incolore pour Mn^{2+}). **La couleur de la solution dans le bécher est rouille.**

Après l'équivalence : le réactif limitant est la solution titrée, il disparaît totalement. La couleur de la solution dans le bécher est celle de la solution titrante (violet). **La couleur de la solution dans le bécher est violette.**

Exercice corrigé :

Pour une solution de diiode $I_{2(aq)}$, on verse un volume $V_{Ox} = 20,0 \text{ mL}$ dans un bécher avec l'empois d'amidon ; on obtient alors une solution bleu foncé (l'empois d'amidon est un indicateur coloré permettant de visualiser le passage de l'équivalence : avant l'équivalence la solution est bleue : après l'équivalence la solution est incolore).

Dans une burette graduée, on introduit une solution de thiosulfate de sodium ($2Na_{(aq)}^+ + S_2O_3^{2-}_{(aq)}$) où la concentration des ions thiosulfate est : $C_{réd} = 0,20 \text{ mol. L}^{-1}$.

On fait couler cette solution dans le bécher jusqu'à disparition de la couleur bleu foncé : on versé un volume $V_{réd} = 24,2 \text{ mL}$ de solution titrante. La disparition de la couleur bleue foncé démontre la disparition totale du diiode $I_{2(aq)}$ dans le bécher.

1- Ecrire l'équation de la réaction du dosage sachant que les couples d'oxydo-réduction mis en œuvre sont : $I_{2(aq)}/I_{(aq)}^-$ et $S_4O_6^{2-}_{(aq)}/S_2O_3^{2-}_{(aq)}$.

Préciser lors de cette équation chimique quelle est l'espèce oxydante et l'espèce réductrice.

2- Définie l'équivalence d'un dosage.

3- A l'aide d'un tableau d'avancement déterminer la relation que l'on peut écrire à l'équivalence.

4- Calculer la concentration de diiode I_2 dans la solution dosée.

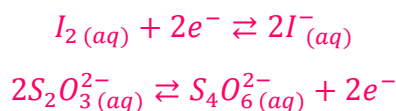
En déduire la masse de diiode I_2 dans le volume $V = 200 \text{ mL}$ de solution.

5- A l'équivalence, déterminer la concentration de toutes les espèces chimiques présentes dans le mélange.

Donnés : masse molaire de diiode I_2 : $M(I_2) = 253,8 \text{ g. mol}^{-1}$

Correction

1- Equation de la réaction du dosage :



I_2 est l'espèce oxydant

$S_2O_3^{2-}$ est l'espèce réducteur

2- l'équivalence est atteinte lorsque les réactifs (titrant est titré) ont totalement disparu.

3- Tableau d'avancement :

Equation de la réaction		$I_2(aq) + 2S_2O_3^{2-}(aq) \rightleftharpoons 2I^-_{(aq)} + S_4O_6^{2-}(aq)$			
Etat du système	Avancement	Quantité de matière en (mol)			
Etat initial	0	$C_{ox} \cdot V_{ox}$	$C_{réd} \cdot V_{réd} = 0$	0	0
Etat intermédiaire	x	$C_{ox} \cdot V_{ox}$	$C_{réd} \cdot V_{réd} - 2x$	$2x$	x
Etat final (équivalence)	x_{max}	$C_{ox} \cdot V_{ox} - x_E$	$C_{réd} \cdot V_E - 2x_E$	$2x_E$	x_E

D'après le tableau d'avancement, à l'équivalence :

$$\begin{cases} C_{ox} \cdot V_{ox} - x_E = 0 \\ C_{réd} \cdot V_E - 2x_E = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_{ox} \cdot V_{ox} = x_E \\ C_{réd} \cdot V_E = 2x_E \end{cases} \Rightarrow C_{réd} \cdot V_E = 2C_{ox} \cdot V_{ox}$$

4- La concentration de diiode I_2 dans la solution dosée :

- D'après la relation d'équivalence :

$$\begin{aligned} C_{réd} \cdot V_E &= 2C_{ox} \cdot V_{ox} \\ C_{ox} &= \frac{C_{réd} \cdot V_E}{2 \cdot V_{ox}} \end{aligned}$$

Application numérique :

$$C_{réd} = \frac{0,2 \times 24,2}{2 \times 20} = 0,12 \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

- La masse de diiode I_2 dans le volume $V = 200 \text{ mL}$ de solution :

$$\begin{aligned} n(I_2) &= C_{ox} \cdot V \Rightarrow n(I_2) = 0,12 \times 0,2 = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \\ m(I_2) &= n(I_2) \times M(I_2) \Rightarrow m(I_2) = 2,4 \cdot 10^{-2} \times 253,8 = 6,14 \text{ g} \end{aligned}$$

5- la concentration de toutes les espèces chimiques présentes dans le mélange :

A l'équivalence les deux réactifs I_2 et $S_2O_3^{2-}$ sont militants :

$$\begin{aligned} [I_2] &= 0 \\ [S_2O_3^{2-}] &= 0 \\ [Na^+] &= \frac{2C_{réd} \cdot V_E}{V_{réd} + V_E} = \frac{2 \times 0,2 \times 24,2}{20 + 24,2} = \text{mol} \cdot L^{-1} \\ [S_4O_6^{2-}] = [I^-] &= \frac{x_E}{V_{réd} + V_E} = \frac{C_{ox} \cdot V_{ox}}{V_{réd} + V_E} = \frac{0,12 \times 20}{20 + 24,2} = \text{mol} \cdot L^{-1} \end{aligned}$$

Les dosages directs

DELAHI MOHAMED (1 bac SM)

I) . Principe d'un dosage

Animation N°1 et Vidéo N°1

1) Définition :

Doser (ou titrer) une espèce chimique (molécule ou ion) en solution, c'est déterminer sa concentration molaire dans la solution considérée.

Nous avons besoin de ces dosages dans tout ce qui concerne les analyses, par exemple, analyse chimique du sang : Dosage du cholestérol, la concentration peut-être molaire (mol/L) ou massique (en g/L). Détection et dosage de produits dopants.

2) Plusieurs méthodes de dosage :

➤ On peut utiliser des méthodes non destructives :

Elles ne font pas intervenir de réactions chimiques. On utilise des grandeurs physiques dont la valeur ne dépend que de la concentration en espèce de la solution : Variation de la conductance G ; Variation de l'absorption de lumière (absorbance)..

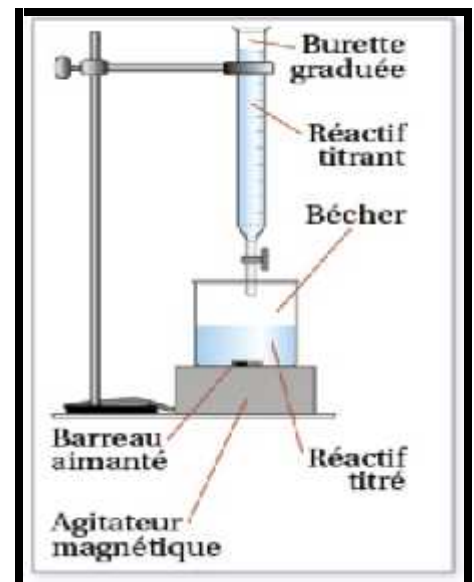
➤ Dosages destructifs ou directs :

On utilise alors une réaction chimique. Le réactif titré est l'espèce dont on veut déterminer la concentration, il est contenu dans la solution à doser.

On utilise une solution *titrante* contenant un réactif *titrant* choisi en fonction de l'espèce à doser.

Les solutions sont placées comme sur le schéma ci-contre : Le matériel nécessaire au dosage est :

- ✓ Un dispositif d'agitation magnétique.
- ✓ Un bécher.
- ✓ Une burette graduée.



3) Déroulement d'un dosage direct :

- On verse à l'aide de la burette la solution *titrante* dans la solution à titrer. Il se produit alors la réaction de dosage qui met en jeu le réactif titré et le réactif titrant. Celle-ci peut être *soit acido-basique, soit d'oxydoréduction*.
- Pour qu'une réaction chimique soit utilisée comme réaction de dosage, il faut qu'elle soit :
 - ✓ Univoque : il faut que les deux réactifs, titré et titrant, réagissent selon une seule et unique réaction.
 - ✓ Totale : Un des deux réactifs mis en présence doit disparaître complètement.
 - ✓ Rapide.

➤ **Jusqu'à quand faut-il verser la solution titrante ?**

On verse la solution titrante jusqu'à ce que le réactif titré soit totalement réagi. On atteint alors l'équivalence.

Au cours du dosage, les réactifs réagissent dans les proportions stœchiométriques. Avant l'équivalence, le réactif titrant est le réactif limitant (**à chaque fois que l'on en verse, il disparaît**).

A l'équivalence, les réactifs sont intégralement consommés.

Après l'équivalence, le réactif titrant est introduit en excès (**il n'y a plus de réactif titré donc plus de réaction**).

➤ **Que se passe-t-il au niveau de l'avancement de la réaction ?**

A chaque ajout de réactif titrant, l'avancement est maximal. *A l'équivalence, les deux réactifs sont totalement consommés est l'avancement prend la valeur x_{eq} .*

➤ **Repérage de l'équivalence :**

C'est le but de chaque dosage, repérer l'équivalence et noter le volume de solution titrante que nous avons introduit.

On peut effectuer ce repérage soit par :

- ✓ Un changement de couleur du milieu réactionnel (fréquent en oxydoréduction).
- ✓ Un changement de couleur d'un indicateur coloré. Il a été introduit préalablement au dosage dans la solution à titrer.
- ✓ Le tracé d'une courbe

II) Dosage acide base par mesure de la conductance.

Animation N°3 et N°4

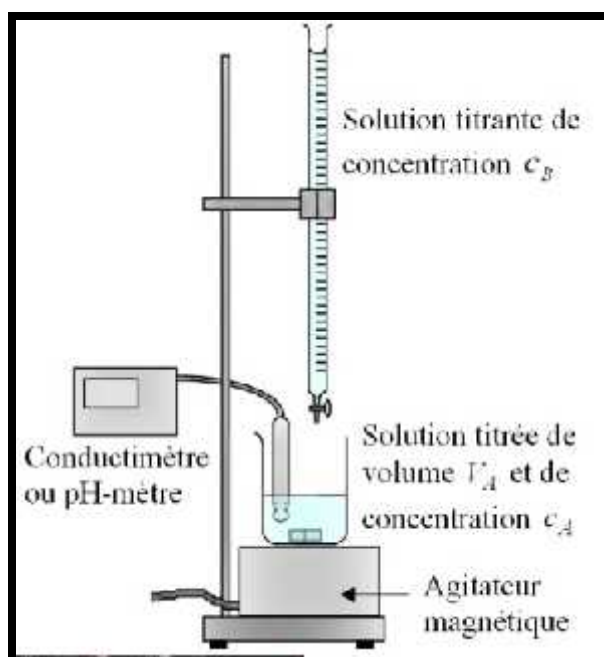
1) **But.**

Comprendre le principe d'un dosage acide base suivi par conductimétrie, introduire la notion d'équivalence pour vérifier la concentration d'une solution d'acide chlorhydrique.

2) **Protocole expérimental**

On mesure la conductivité σ d'une solution d'acide chlorhydrique à l'aide d'une cellule conductimétrique. On ajoute ensuite à la burette une solution d'hydroxyde de sodium. Pour chaque volume V ajouté, on mesure la conductivité σ de la solution obtenue afin de tracer le graphique $\sigma = f(V)$

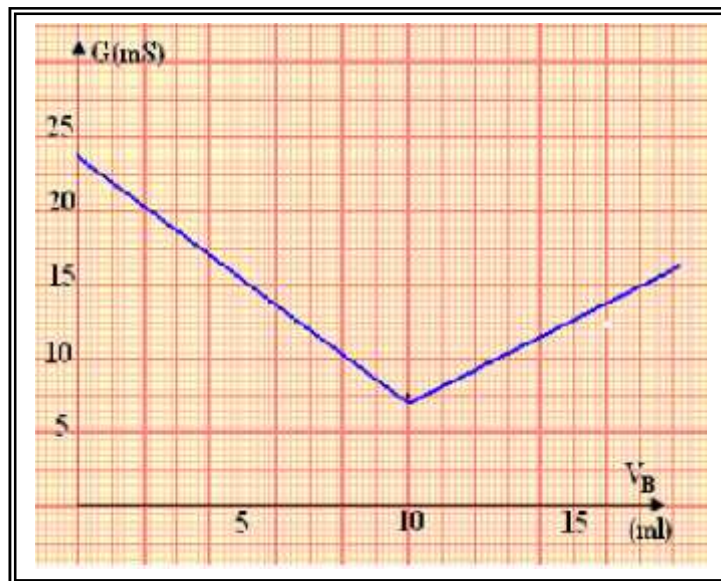
3) **Exploitation et interprétation :**



A. Etude de la réaction de dosage.

Afin d'interpréter et d'exploiter le graphique précédent, il nous faut étudier la réaction chimique acido-basique puis faire un bilan de matière dans un tableau d'avancement.

1. Rappeler l'équation bilan de la réaction acido-basique.
2. Exprimer littéralement la quantité initiale d'acide chlorhydrique présente dans le bécher.
3. On appelle le point d'équivalence, le point du graphique précédent où les réactifs de la réaction de dosage ont été placés dans les proportions stœchiométriques. On note V_{eq} le volume de soude versé pour atteindre cette équivalence. Exprimer littéralement la quantité d'ions HO^- versé pour atteindre ce point.
4. Dresser un tableau d'avancement littéral correspondant à ce point d'équivalence.
5. En déduire une relation entre C , V_{eq} , c' et V_0



B. Exploitation du dosage.

On donne les conductivités des ions suivants :

Ions	H_3O^+	OH^-	Cl^-	Na^+
} ($mS \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$)	35	19,8	8	5

4) : Tableau d'avancement

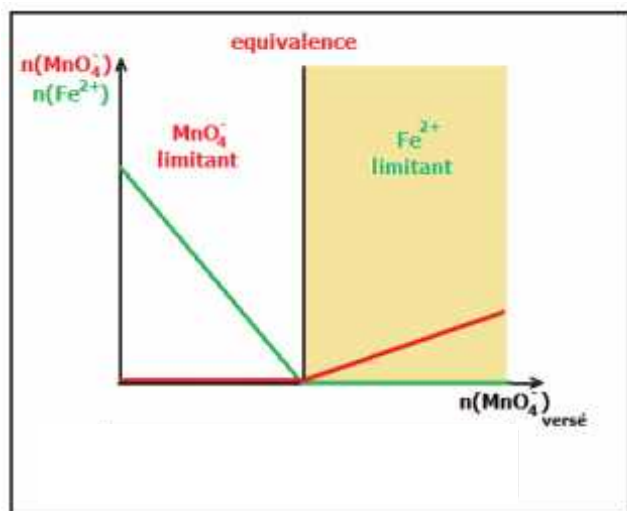
$H_3O^+ + HO^- \longrightarrow 2 H_2O$			Equation du dosage	
$n(H_3O^+)$	$n(HO^-)$	$n(H_2O)$	avancement	Etat
$n_i = C_A \cdot V_A$	$n_a = C_B \cdot V_B$	Excès	0	<i>initial</i>
$C_A \cdot V_A - C_B \cdot V_B \neq 0$	$C_B \cdot V_B - x = 0$		$x = C_B \cdot V_B$	Avant l'Equivalence $V_B < V_{eq}$
$C_A \cdot V_A - C_B \cdot V_{eq} = 0$	$C_B \cdot V_B - x_{eq} = 0$		$x_{eq} = C_B \cdot V_{eq}$	A l'Equivalence $V_B = V_{eq}$
0	$C_B \cdot V_B - x_{eq} \neq 0$		$x_{eq} = C_B \cdot V_{eq}$	Après l'Equivalence $V_B > V_{eq}$

III) Dosage colorimétrique : dosage d'oxydoréduction.

1. Remplir la burette graduée avec la solution de permanganate de potassium acidifiée ($K^+ + MnO_4^-$). Purger et ajuster le niveau au zéro.
2. Prélever précisément 20,0 mL de solution de sulfate de fer II ($Fe^{2+} + SO_4^{2-}$) dans un bécher de 100 mL.
3. Introduire un barreau aimanté (appelé aussi turbulent) dans le bécher. Placer le bécher sur l'agitateur magnétique et démarrer l'agitation (pas trop rapide pour ne pas projeter).
4. Verser de la solution de permanganate de potassium dans le bécher, mL par mL, et noter les observations. Attention, on attend des observations détaillées : il peut y avoir plusieurs étapes ! Dans ce cas, on précisera pour quel volume V de solution de permanganate de potassium, on observe le changement...
5. Remplir à nouveau la burette graduée jusqu'au zéro. Refaire un essai en versant la solution de permanganate de potassium mL par mL, puis goutte à goutte 2 mL environ avant le volume du changement observé précédemment. Le but est de déterminer le volume pour lequel a lieu ce changement le plus précisément possible (à la goutte près).

Tableau d'avancement

$MnO_4^- + 5 Fe^{2+} + 8 H^+ \longrightarrow Mn^{2+} + 5 Fe^{3+} + 4 H_2O$						Equation du dosage	
Quantité de matière						avancement	Etat
$n_i(MnO_4^-)$	$n_i(Fe^{2+})$	Excès	0	0	Excès	0	Initial
$n_i(MnO_4^-) - x_{eq}$	$n_i(Fe^{2+}) - 5 \cdot x_{eq}$		x_{eq}	$5 \cdot x_{eq}$		x_{eq}	Final



A l'Equivalence:

$$n_i(MnO_4^-) - x_{eq} = 0 \quad \text{et} \quad n_i(Fe^{2+}) - 5 \cdot x_{eq} = 0$$

Donc

$$n_i(MnO_4^-) = C_{Ox} \cdot V_{eq} \quad \text{et} \quad n_i(Fe^{2+}) = C_{Red} \cdot V_{Red}$$

$$\frac{C_{Red} \cdot V_{Red}}{5} = C_{Ox} \cdot V_{eq}$$

$$(V_{eq} = 19.4 \text{ mL})$$

$$C_{Red} = \frac{5 \cdot C_{Ox} \cdot V_{eq}}{V_{Red}} = \frac{5 \cdot 0,02 \cdot 19,4}{20} \text{ mol/L} = 0,097 \text{ mol/L}$$

Chpitre8 : dosages(ou titrages) directs (3h). devoir4

S.P : Il est souvent nécessaire, dans certains cas, de déterminer la concentration d'une espèce chimique dans une solution en réalisant une analyse quantitative en faisant intervenir quelques espèces, de ces solutions, dans des réactions oxydoréduction ou acido-basique.

On appelle dosage, les réactions chimiques qui permettent de déterminer la concentration d'une solution ou la quantité de matière d'une espèce chimique donnée.

☞ **Quelle est le principe du dosage et comment le réaliser ?**

I. Le dosage.

1. définition :

Doser (ou titrer) une espèce chimique (molécule ou ion) en solution, c'est déterminer sa concentration molaire dans la solution considérée.

Exemples : Dosage des ions fer (II) dans une solution de sulfate de fer(II) .

Dosage du cholestérol dans le sang.

2. dosage direct :

*Le dosage direct consiste à faire réagir la solution à doser contenant le réactif à titrer avec une solution contenant le **réactif titrant** (réactif dont on connaît la concentration).*

II. Comment réalise un dosage direct?

1. Le matériel nécessaire au dosage:

- ❖ Un dispositif d'agitation magnétique
- ❖ Un bécher
- ❖ Une burette graduée

☛ Déroulement d'un dosage direct :

On verse à l'aide de la burette la solution titrant dans la solution à titrer. Il se produit alors la réaction de dosage qui met en jeu le réactif titré et le réactif titrant. Celle-ci peut être soit acido-basique, soit d'oxydoréduction.

☛ La réaction de dosage doit satisfaire à trois conditions suivantes .

Elle doit être :

- ✓ **unique**: (aucune autre réaction ne doit consommer l'un des deux réactifs titrant et titré),
- ✓ **totale**: (disparition au moins l'un des réactifs mis en présence),
- ✓ **rapide**: (atteint son état final rapidement).

2. L'équivalence

L'étude de la réaction du dosage permet la détermination de la concentration cherchée.

À l'équivalence les deux réactifs titré et titrant sont consommés totalement .

Comment on repère l'équivalence ?

L'objectif principal lors du dosage est le repérage de l'équivalence. Il y a plusieurs possibilités pour réaliser ce repérage . Parmi eux on trouve :

- ✓ Changement de couleur du milieu réactionnel;
- ✓ Changement de couleur d'indicateur coloré ;
- ✓ Traçage de la courbe de l'évolution d'une grandeur physique du milieu réactionnel (la conductance).

III. Exemple du dosage direct

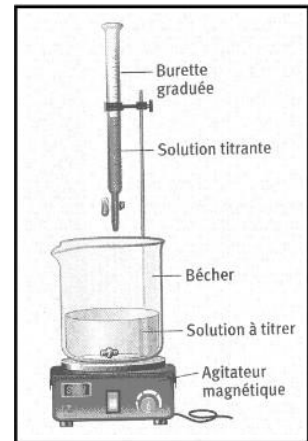
DOSAGE DES IONS FER (II) PAR UNE SOLUTION CONTENANT DES IONS PERMANGANATE EN MILIEU ACIDE.

1) Dispositif

Un volume connu (prélevé à la pipette jaugée) de la solution contenant l'espèce à titrer (solution contenant les ions Fe^{2+}) est, en général, placé dans un bécher.

La solution titrante (solution de permanganate de potassium acidifiée) est, en général, placée dans la burette graduée (burette de **Mohr**).

2) Tableau d'avancement de la réaction de dosage.



Ce tableau est dressé en supposant que nous avons placé un volume V_1 de solution d'ion fer (II) à la concentration cherchée C_1 . Et, à l'aide de la burette graduée, nous avons versé un volume V_2 de solution titrante acidifiée d'ions permanganate, de concentration connue C_2 . Dans ce tableau d'avancement nous ne faisons figurer que l'espèce titrante MnO_4^- et l'espèce titrée Fe^{2+} . Nous n'avons plus fait figurer la mention (aq) qui surcharge les écritures. Il n'en reste pas moins que les espèces sont en solution, donc hydratées.

Équation de la réaction	MnO_4^-	+	$5Fe^{2+}$	$+ 8H^+ \longrightarrow$	$Mn^{2+} + 5Fe^{3+} + 4H_2O$
État initial (mol)	$n(MnO_4^-)_0 = C_2 V_2$		$n(Fe^{2+})_0 = C_1 V_1$	-	
État à la date t l'avancement est x	$n(MnO_4^-) = n(MnO_4^-)_0 - x$		$n(Fe^{2+}) = n(Fe^{2+})_0 - 5x$	-	
État final (mol) l'avancement est x_{max}	$n(MnO_4^-)_f = n(MnO_4^-)_0 - x_{max}$		$n(Fe^{2+})_f = n(Fe^{2+})_0 - 5x_{max}$	-	

3) Notion d'équivalence.

L'examen de l'état final dans le tableau d'avancement permet de dégager trois situations différentes.

- Les ions permanganates constituent le réactif limitant (alors: $n(MnO_4^-)_f = 0$).

$$n(MnO_4^-)_0 - x_{max} = 0 \Rightarrow x_{max} = n(MnO_4^-)_0 \Rightarrow x_{max} = C_2 V_2$$

$$\text{et } n(Fe^{2+})_0 - 5x_{max} > 0 \Rightarrow n(Fe^{2+})_0 > 5x_{max} \Rightarrow n(Fe^{2+})_0 > 5n(MnO_4^-)_0$$

- Les ions fer (II) constituent le réactif limitant (alors: $n(Fe^{2+})_f = 0$).

$$n(Fe^{2+})_0 - 5x_{max} = 0 \Rightarrow 5x_{max} = n(Fe^{2+})_0 \Rightarrow x_{max} = \frac{n(Fe^{2+})_0}{5}$$

$$\text{et } n(MnO_4^-)_0 - x_{max} > 0 \Rightarrow n(MnO_4^-)_0 > x_{max} \Rightarrow n(Fe^{2+})_0 < 5n(MnO_4^-)_0$$

- L'espèce titrante et l'espèce titrée ont été mélangées dans les proportions stœchiométriques.

Il s'agit de la situation très particulière qui nous permet de déterminer la concentration C_1

recherchée. Cette situation est appelée: **équivalence**.

L'équivalence est atteinte lorsque les réactifs (espèce titrée et espèce titrante) ont été mélangés dans les proportions stœchiométriques.

D'après ce qui précède, à l'équivalence, il y a changement de l'espèce limitante. Avant l'équivalence, l'espèce limitante est l'espèce titrante. Après l'équivalence, l'espèce limitante est l'espèce titrée.

L'équivalence se traduit donc par:

$$\begin{cases} n(MnO_4^-)_0 - x_{\text{éq}} = 0 \\ n(Fe^{2+})_0 - 5x_{\text{éq}} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} n(MnO_4^-)_0 = x_{\text{éq}} \\ n(Fe^{2+})_0 = 5x_{\text{éq}} \end{cases} \Rightarrow n(Fe^{2+})_0 = 5n(MnO_4^-)_0$$

A partir de cette dernière relation traduisant l'équivalence on en déduira la concentration cherchée:

$$n(Fe^{2+})_0 = 5n(MnO_4^-)_0 \Rightarrow C_1 V_1 = 5 C_2 V_{2\text{éq}} \Rightarrow C_1 = \frac{5 C_2 V_{2\text{éq}}}{V_1}$$

où $V_{2\text{éq}}$ représente le volume de la solution titrante versé à l'équivalence.

4) Repérage de l'équivalence.

Le repérage de l'équivalence se fait grâce au changement de couleur de la solution contenue dans le bécher.

- **Avant l'équivalence:** Le réactif limitant est la solution titrante. Ce réactif limitant disparaît totalement et sa couleur (violet) disparaît donc aussi. La couleur de la solution dans le bécher est donc celle de la solution titrée (vert pâle) à laquelle s'ajoute la couleur des espèces produites (rouille très pâle pour Fe^{3+} et quasi incolore pour Mn^{2+}). La solution dans le bécher est **pratiquement rouille très pâle**.
- **Après l'équivalence:** Le réactif limitant est la solution titrée. Ce réactif a totalement disparu et sa couleur (vert pâle) aussi. La couleur de la solution dans le bécher est donc celle de la solution

titrante (violet). Les couleurs des espèces produites sont beaucoup moins intenses que le violet.

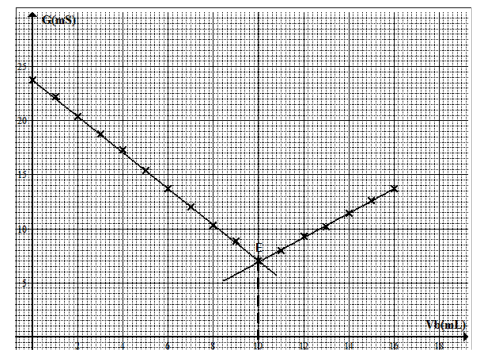
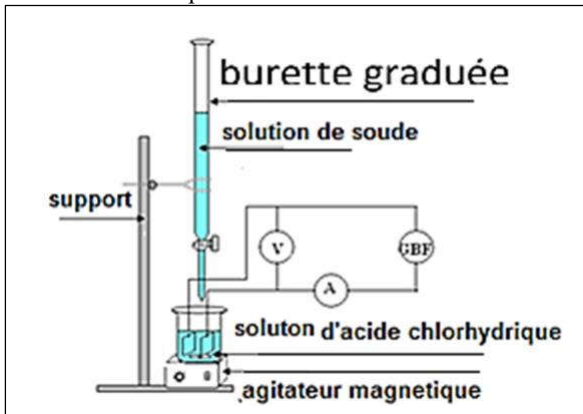
- L'équivalence est donc repérée, à une goutte près, par l'apparition de la teinte violet persistant de la solution titrante.

IV. Qu'est-ce qu'un dosage conductimétrique ?

1. Activité: Comment varie la conductance lors du dosage d'une solution d'acide chlorhydrique par une solution d'hydroxyde de sodium ?

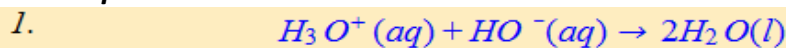
On réalise le montage ci-dessous, en introduisant dans le bécher, un volume $V_A = 100,0\text{ml}$ d'une solution d'acide chlorhydrique, de concentration $C_A = 0,0100\text{mol/l}$. On règle la tension à 1V et on mesure l'intensité I et on détermine la valeur de la conductance G . Tout en agitant, on introduit, mL par mL, la solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_B = 0,100\text{mol/ml}$, on détermine, de la même façon, la conductance après chaque ajout.

On trace la courbe représentant la conductance G en fonction de volume V_B de solution d'hydroxyde de sodium ajoutée.



1. Écrire l'équation de la réaction de dosage. quelle est la nature de cette réaction ?
2. Dresser un tableau d'avancement décrivant l'évolution du système au cours du dosage.
3. Déterminer par le calcul, le volume V_{BE} versé à l'équivalence et comparer sa valeur à celle de l'abscisse du point d'intersection des deux portions de droites obtenues lors du tracé de la courbe $G = f(V_B)$.
4. Comment expliquer le changement de la conductance avant et après le point d'équivalence ?

2. exploitation



La nature de cette réaction : acido-basique.

2. Calcul de la quantité de matière des réactifs :

$$n_0(H_3O^+) = C_A V_A = 1\text{mmol}$$

$$n_0(HO^-) = C_B V_B$$

d'où le tableau d'avancement :

Equation chimique		$H_3O^+(aq) + HO^-(aq) \rightarrow 2H_2O(l)$		
E.I	$x = 0$	$C_A V_A = 1\text{mmol}$	$C_B V_B$	Excès
E.F pour $V_B < V_{BE}$	x	$C_A V_A - x_{max} > 0$	$C_B V_B - x_{max} = 0$	Excès
E.F pour $V_B = V_{BE}$	x_E	$C_A V_A - x_E = 0$	$C_B V_B - x_E = 0$	Excès
E.F pour $V_B > V_{BE}$	x	$C_A V_A - x_{max} = 0$	$C_B V_B - x_{max} > 0$	Excès

3. À l'équivalence $C_A V_A - x_E = 0$ et $C_B V_{BE} - x_E = 0$ soit que $C_A V_A = C_B V_{BE}$, d'où

$$V_{BE} = \frac{C_A \cdot V_A}{C_B} = 10,0\text{ml}$$

On constate bien que les deux portions de droites se coupent au point d'abscisse $V_{BE} = 10\text{ml}$.

4. Les ions $Cl^-(aq)$ et $Na^+(aq)$ spectateurs, la quantité de $Cl^-(aq)$ reste constante alors que les ions Na^+ croît avec le volume de la solution d'hydroxyde de sodium ajoutée.

* Avant l'équivalence, HO^- réactif limitant, les ions H_3O^+ sont progressivement remplacés par des ions Na^+ dont la conductivité molaire ionique est plus faible : la conductance de la solution diminue. D'où la première portion de la courbe.

$$G_{\text{avant}} = \lambda_{H_3O^+} \cdot [H_3O^+] + \lambda_{Na^+} \cdot [Na^+] + \lambda_{Cl^-} \cdot [Cl^-]$$

* Après l'équivalence, H_3O^+ le réactif limitant, qui sont totalement consommés, les concentrations des ions HO^- et Na^+ augmentent et la conductance aussi. D'où la deuxième portion de la courbe.

$$G_{\text{après}} = \lambda_{HO^-} \cdot [HO^-] + \lambda_{Na^+} \cdot [Na^+] + \lambda_{Cl^-} \cdot [Cl^-]$$

* La conductance à l'équivalence :

$$G_{\text{Equi}} = \lambda_{Na^+} \cdot [Na^+] + \lambda_{Cl^-} \cdot [Cl^-]$$

3. conclusion

Au cours d'un dosage conductimétrique la courbe $G = f(V_B)$ est constituée de portion des droites.

Le changement de pente de la courbe qui caractérise l'équivalence du dosage permet de repérer le point d'équivalence et de déterminer le volume versé à l'équivalence $V_{B,E}$.

Exercices :

Exercice 1:

1. définir le titrage d'une espèce chimique ?
2. comment repérer l'équivalence d'un dosage colorimétrique ?

Exercice 2:

On désire par cet exercice déterminer la concentration molaire C_0 en acide acétique (CH_3COOH) du vinaigre du commerce, on prépare alors une solution diluée 100 fois de concentration C_A . Ensuite, on prélève un volume $V_A = 10,0$ mL de cette solution diluée que l'on dose par une solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+ + HO^-$) de concentration $C_B = 10 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$.

Le volume de réactif titrant (hydroxyde de sodium) versé à l'équivalence vaut $V_{BE} = 9,7$ mL.

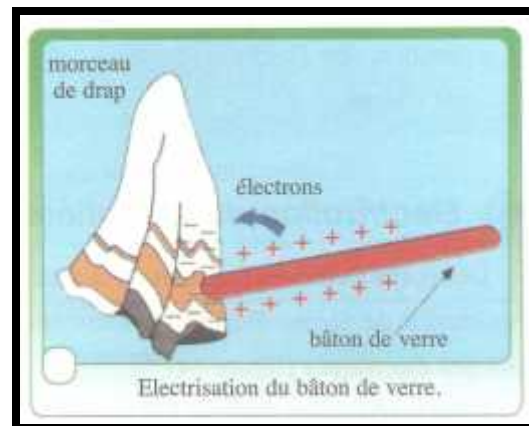
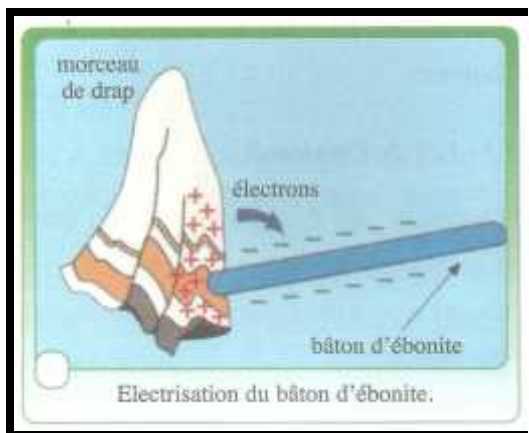
- 1) Identifier les deux couples acido-basiques mis en jeu dans ce titrage et écrire l'équation de la réaction.
- 2) Expliquer à quoi correspond l'équivalence.
- 3) Le titrage est suivi par une mesure de la conductivité de la solution dosée.
 - a. Expliquer pourquoi la conductivité augmente doucement du début du titrage jusqu'à l'équivalence.
 - b. Expliquer pourquoi la conductivité augmente fortement après l'équivalence.
- 4) En utilisant un tableau d'avancement simplifié, trouver la relation entre la quantité de matière d'acide acétique titrée n_A et la quantité de matière d'hydroxyde de sodium versé n_B à l'équivalence ?
- 5) Calculer la concentration en acide acétique C_A de la solution de vinaigre diluée.
- 6) En déduire la concentration C_0 en acide acétique du vinaigre commercial.



I) Electrification de la matière:

1) Electrification par frottement :

Certains corps "peigne, règle, stylo, ...", lorsqu'on les frotte, sont susceptibles de provoquer des phénomènes surprenants : ils deviennent capables d'attirer des petits corps légers on dit qu'ils sont électrisés par frottement.



2) Interprétation microscopique de l'électrification par frottement :

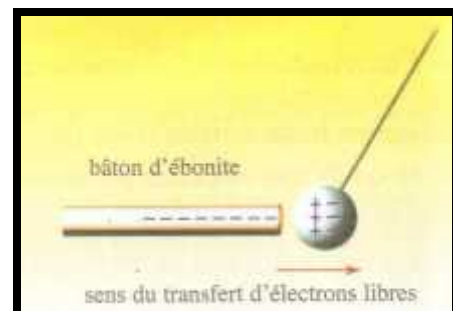
L'électrification par frottement résulte d'un transfert d'électrons d'un corps vers un autre.

- Un corps chargé positivement possède un défaut d'électrons.
- Un corps chargé négativement possède un excès d'électrons

3) Autres types d'électrifications :

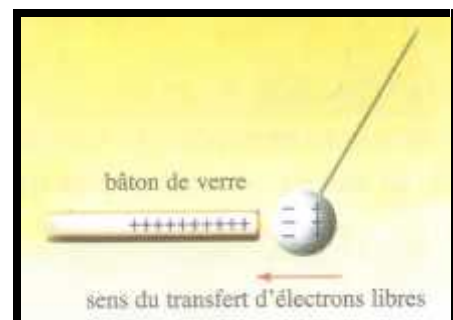
3-1/ Electrification par contact : *animation N°1*

Un corps s'électrise par contact quand il touche un autre corps électrisé en effet des électrons se sont transférés d'un corps vers l'autre.



3-2/ Electrification par influence :

Electrification par influence correspond à une dissymétrie de la répartition des électrons dans un corps sous influence d'un autre corps chargé.



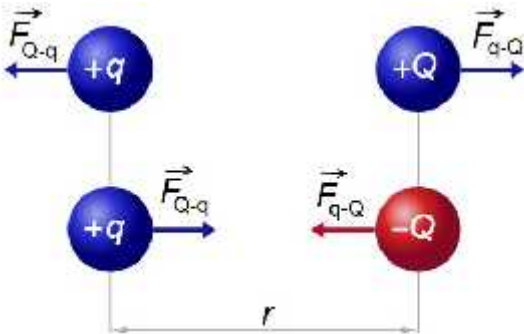
4) Enoncé de la Loi de coulomb:

« L'intensité de la force électrostatique entre deux charges électriques est proportionnelle au produit des deux charges et est inversement proportionnelle au carré de la distance entre les deux charges. La force est portée par la droite passant par les deux charges. »

5) Validité de la loi de Coulomb :

La loi de Coulomb est valable pour des charges au repos ou à la limite en mouvement relatif lent. Elle est aussi valable dans le vide.

6) Formule mathématiques de la loi de coulomb: animation N°2



① : $\vec{F}_{q/Q}$ et $\vec{F}_{Q/q}$ sont répulsives

② : $\vec{F}_{q/Q}$ et $\vec{F}_{Q/q}$ sont attractives

$$F_{q/Q} = F_{Q/q} = K \times \frac{|Q| \times |q|}{r^2}$$



Charles coulomb
1736 - 1806

$F_{Q/q}$: intensité de la force exercée de la charge Q sur la charge q (N); r : distance (m) ;

$F_{q/Q}$: intensité de la force exercée de la charge q sur la charge Q (N) ; Q et q : charges (C)

k : constante de coulomb $K = \frac{1}{4 \epsilon_0} = 9.10^9 \text{ m}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{C}^{-2}$ avec ϵ_0 : la permittivité du vide

7) Force électrostatique et force gravitationnelle :

INTENSITE DE LA FORCE ELECTROSTATIQUE	INTENSITE DE LA FORCE GRAVITATIONNELLE
$F_{A/B} = F_{B/A} = K \times \frac{ q_A \times q_B }{d^2}$	$F_{A/B} = F_{B/A} = G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2}$
$\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ sont attractives ou répulsives selon les charges q_A et q_B .	$\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ sont toujours attractives

Exercice d'application 1

Dans le model de BOHR de l'atome d'hydrogène, on considère que l'électron tourne autour du proton sur une orbite circulaire de rayon $r = 5,3.10^{-11}$ m. la masse du proton est

$m_p = 1,67.10^{-27}$ kg et celle de l'électron $m_e = 9,11.10^{-31}$ kg. la charge élémentaire est $e = 1,6.10^{-19}$ C . Les constantes $G = 6,67.10^{-11}$ (SI) et $k = 9.10^9$ (SI).

Calculer et comparer les intensités des interactions gravitationnelles et électrostatiques entre les 2 particules. conclure.

II) Champ électrostatique:

1) Définition:

Toute région de l'espace où une charge électrique q est soumise à une force électrostatique, est le siège d'un champ électrique.

2) Vecteur champ électrostatique

2-1/ champ électrique crée par une charge ponctuelle.

Un corps portant une charge ponctuelle q , placé au point A crée un champ électrique E dans l'espace autour de A.

On place en un point P de cet espace, tel que $\vec{AP} = r.\vec{u}$ avec $\|\vec{u}\| = 1$, respectivement des charges électriques d'essai $q_1, q_2, q_3, \dots, q_i$. ces charges électriques sont soumis aux forces électrostatiques suivantes : $\vec{F}_1; \vec{F}_2; \vec{F}_3; \dots; \vec{F}_i$ tel que : $\vec{F}_i = K \times \frac{q \times q_i}{r^2} . \vec{u}$

$$\vec{F}_1 = K \times \frac{q \times q_1}{r^2} . \vec{u} ; \vec{F}_2 = K \times \frac{q \times q_2}{r^2} . \vec{u} ; \vec{F}_3 = K \times \frac{q \times q_3}{r^2} . \vec{u} ; \dots$$

Calculons les rapports : $\frac{\vec{F}_1}{q_1} ; \frac{\vec{F}_2}{q_2} ; \frac{\vec{F}_3}{q_3} ; \dots ; \frac{\vec{F}_i}{q_i}$

$$\frac{\vec{F}_1}{q_1} = K \times \frac{q}{r^2} . \vec{u} ; \frac{\vec{F}_2}{q_2} = K \times \frac{q}{r^2} . \vec{u} ; \frac{\vec{F}_3}{q_3} = K \times \frac{q}{r^2} . \vec{u} ; \dots ; \frac{\vec{F}_i}{q_i} = K \times \frac{q}{r^2} . \vec{u}$$

On constate que :

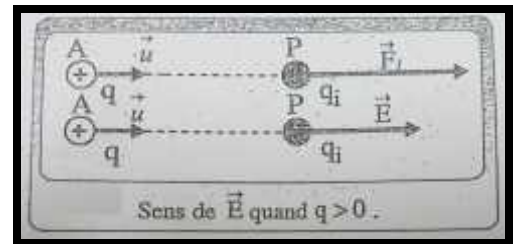
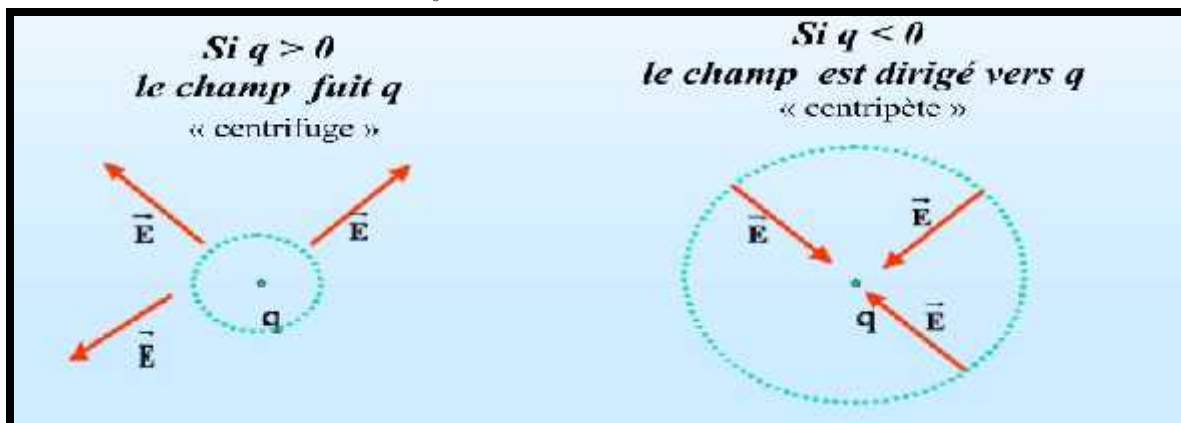
$$\frac{\vec{F}_1}{q_1} = \frac{\vec{F}_2}{q_2} = \frac{\vec{F}_3}{q_3} = \dots = \frac{\vec{F}_i}{q_i} = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \times \frac{q}{r^2} . \vec{u}$$

Sont égaux et indépendants des charges d'essai $q_1; q_2, q_3, \dots; q_i$; On pose :

\vec{E} est appelé vecteur champ électrique crée par la charge ponctuelle q au point A.

$$\vec{E} = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \times \frac{q}{r^2} . \vec{u}$$

E : valeur du champ électrique ($N.C^{-1}$) ou ($V.m^{-1}$); ; q : charge de l'objet source (C)
 r : distance (m) ; ϵ_0 : la permittivité du vide $8,85418782.10^{-12}$ (SI)



On a $\vec{F}_i = K \times \frac{q \times q_i}{r^2} \cdot \vec{u}$ et $\vec{E} = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \times \frac{q}{r^2} \cdot \vec{u}$ donc d'une façon générale : $\vec{F}_i = q_i \times K \times \frac{q}{r^2} \cdot \vec{u} = q_i \times \vec{E}$

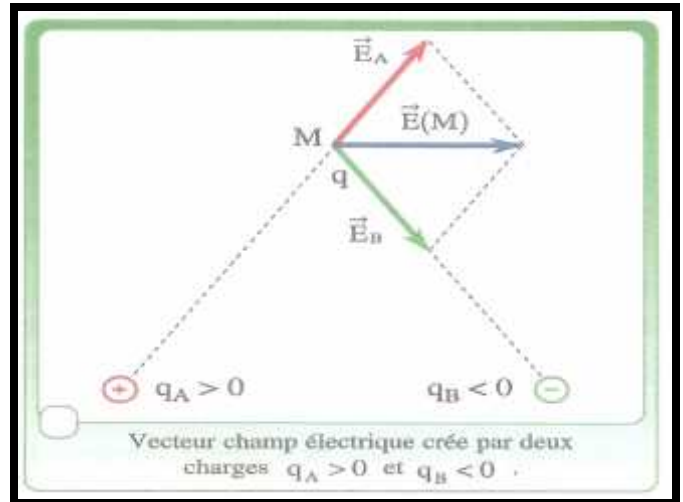
$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

\vec{E} : vecteur champ électrique ($N.C^{-1}$) ou ($V.m^{-1}$); q : la charge (C)

\vec{F} : vecteur force électrostatique (N)

2-2/ Vecteur champ électrique crée par 2 charges ponctuelles.

Soient 2 charges ponctuelles q_A et q_B placées respectivement en A et en B. Elles créent dans tout l'espace un champ électrique E. Pour déterminer les caractéristiques du vecteur \vec{E} au point M plaçons y une charge d'essai q.



$$\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B$$

Exercice d'application 1

Deux charges électriques Q_a et Q_b , placées en A et B, sont telles que $Q_a = 1 \mu C$; $Q_b = -3 \mu C$ et $AB = 20 \text{ cm}$.

1-/ Déterminer les caractéristiques du vecteur champ électrique au point M, milieu du segment AB. (faire un schéma précis pas de calcul)

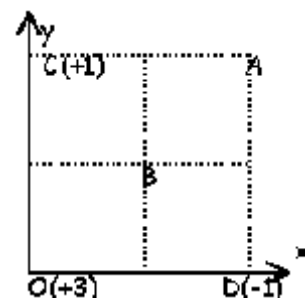
2-/ En quel point de la droite passant par A et B, le champ électrique est-il nul? (schéma précis)

Exercice d'application 2

Soit la distribution de charges (microcoulombs) ci contre ; $OC = OD = 1 \text{ dm}$.

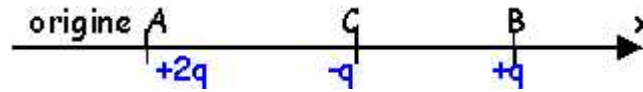
1-/ Calculer E_A le champ électrique en A.

2-/ Pour annuler le champ en A est qu'il suffit de placer en B une charge égale à -2 microcoulombs ?



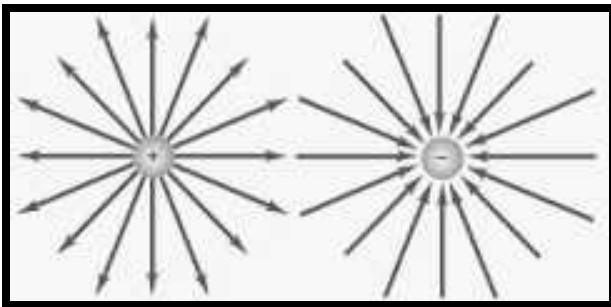
Exercice d'application 3

Soit la distribution de charges (microcoulombs) ci contre ; $AB = d = 20 \text{ cm}$; Les deux charges placées en A et B sont fixes; par contre la charge placée en C est mobile sur la droite AB.

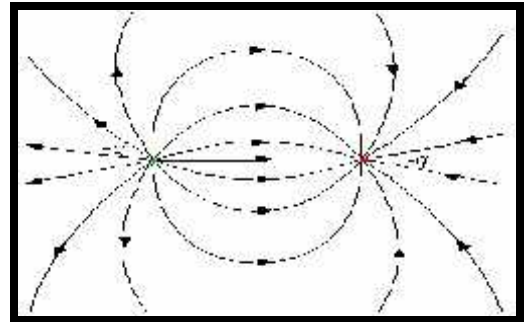


Quelle est la position d'équilibre de la charge placée en C, si elle existe ?

3) Ligne de champ :



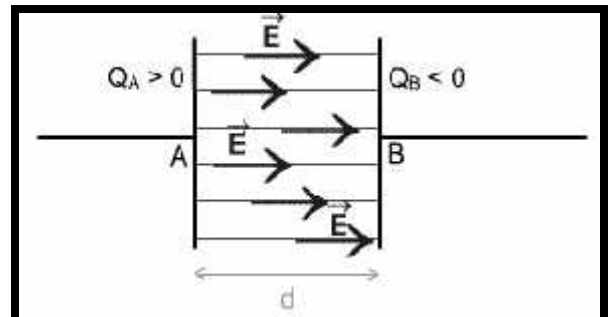
Animation N°3



Une « ligne de champ » ; du champ électrique est une courbe (ou une droite) ; en chaque point de laquelle la direction du vecteur champ » électrique fournit la direction de la tangente à la courbe.

4) Champ électrique uniforme

Un champ électrique est dit uniforme dans une région de l'espace si le vecteur champ électrique \vec{E} conserve en tout point de cette région la même direction, le même sens et la même intensité

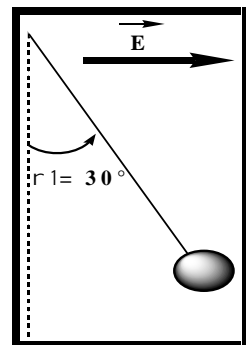


Exercice d'application 4

La boule d'un petit pendule électrostatique, de masse 2,5 g, porte une charge de $0,5 \mu\text{C}$. Elle est placée dans un champ électrique uniforme et horizontal. A l'équilibre, le fil du pendule s'incline d'un angle $\alpha = 30^\circ$ par rapport à la verticale.

Choisissez la bonne réponse de la valeur du champ électrique est :

$5,8 \cdot 10^4 \text{ Vm}^{-1}$; $2,9 \cdot 10^4 \text{ Vm}$; $2,9 \cdot 10^4 \text{ Vm}^{-1}$; $2,9 \cdot 10^{-4} \text{ Vm}$

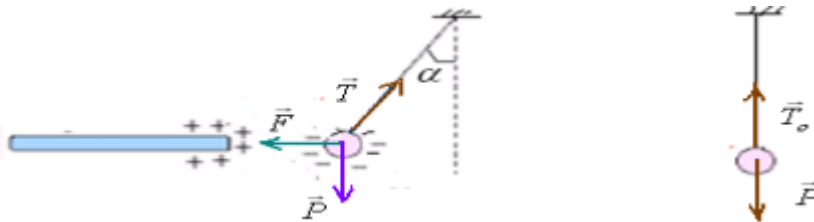


Le champ électrostatique

I-Notion de champ électrostatique:

1) Expérience :

En électrisant la boule d'un pendule électrostatique à l'aide d'un bâton d'ébonite électrisé par frottement puis en lui approchant un bâton de verre chargé positivement par frottement, on constate que le pendule s'incline et la boule prend une position après avoir été attirée vers le bâton.

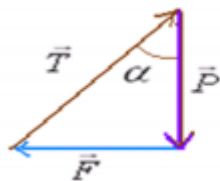


2) Interprétation :

Dans la 1^{ère} position d'équilibre, le pendule est vertical, la boule se trouve seulement dans le champ de pesanteur : $\vec{P} + \vec{T}_o = \vec{0}$

Dans la 2^{ème} position d'équilibre, le pendule est incliné, la boule se trouve en plus du champ de pesanteur dans un autre champ appelé: le **champ électrostatique** dans lequel les charges positives du bâton appliquent une force appelée : **force électrostatique** sur les charges négatives de la boule du pendule.

Dans ce dernier cas la condition d'équilibre s'écrit : $\vec{P} + \vec{T} + \vec{F} = \vec{0}$ donc le polygone des trois forces est fermé.



$$\tan \alpha = \frac{F}{P}$$

$$F = P \cdot \tan \alpha = m \cdot g \cdot \tan \alpha$$

3) Conclusion :

Dans une région de l'espace la charge électrique crée autour d'elle un **champ électrique** et tout corps chargé qui se trouve en un point de ce champ, est soumis à une **force électrique**.

Dans le cas de charges fixes dans le référentiel d'étude, le champ électrique est appelé champ électrostatique

Le physicien français Coulomb a étudié les interactions électrostatiques et il a réalisé une expérience avec la balance de torsion en 1785 lui permettant de formuler la loi d'attraction et de la répulsion qui a pris son nom.

4) Enoncé de la loi de Coulomb :

Deux corps A et B de charges q_A et q_B s'attirent ou se repoussent selon une force proportionnelle à leur charge et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

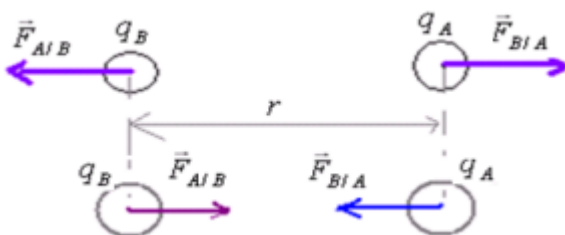
Les deux forces ont :

-même droite d'action et des sens opposés.

-même intensité.

$$F_{A/B} = F_{B/A} = K \cdot \frac{|q_A| \times |q_B|}{r^2} \quad K = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$$

ϵ_0 : permittivité du vide, sa valeur : $\epsilon_0 = \frac{1}{36 \cdot 10^9 \pi} = 8,84 \text{ S.I.}$



- répulsion (q_A et q_B ont même signe)

- attraction (q_A et q_B ont des signes contraires)

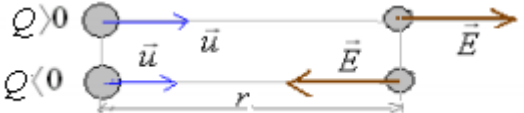
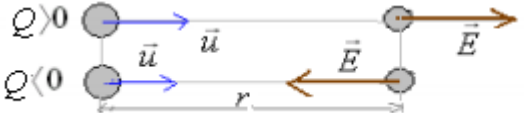
II-Champ électrique = force électrique :

1) Champ électrique créé par une charge ponctuelle:

Une charge ponctuelle Q, placée en un point A crée un champ électrique dans l'espace qui l'entour. En un point M de cet espace

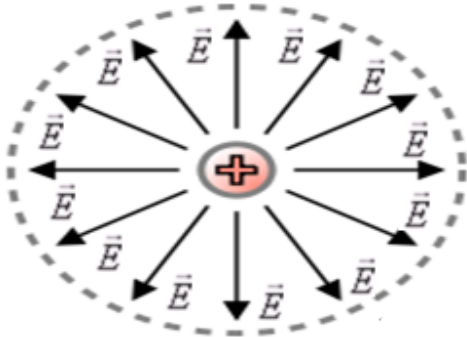
(où règne le champ électrique) une charge q est soumise à une force électrique : $\vec{F} = K \cdot \frac{Q \times q}{r^2} \cdot \vec{u}$ qui est de la forme : $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$

Le vecteur champ électrique créé par la charge Q en un point M est : $\vec{E} = K \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \vec{u}$

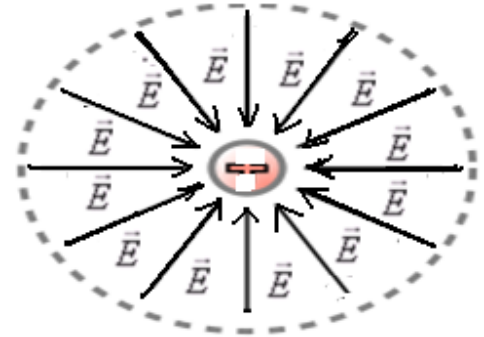
$\vec{E} = K \frac{Q}{r^2} \vec{u}$	\vec{E} est le vecteur champ électrique créé par la charge ponctuelle Q au point M.
- pour $Q > 0$, \vec{E} a le même sens que \vec{u} .	$Q > 0$ 
- pour $Q < 0$, \vec{E} a le sens contraire de \vec{u}	$Q < 0$ 

Remarquons que c'est la charge Q qui a créé le champ électrique alors que q a subit la force électrique (car elle est placée dans le champ électrique).

Toute charge immobile crée autour d'elle un champ électrique dont le **vecteur champ** \vec{E} en un point M du champ est **centripète** si la charge (qui crée le champ) est négative et **centrifuge** si elle est positive.



Les vecteurs champs sont centrifuges



Les vecteurs champs sont centripètes

2) Force électrique :

Toute charge q placée dans un champ électrique \vec{E} est soumise à une force électrique: $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ d'intensité: $F = |q| \cdot E$:

F : en N

q : en C

E : en (V/m) ou (N/C)

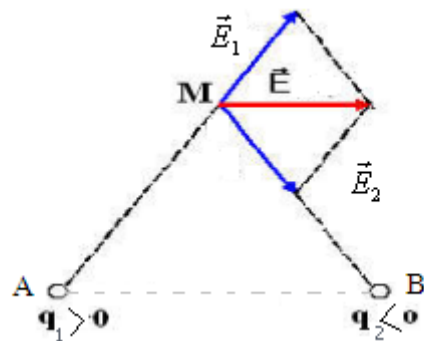
La force électrique $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ -si $q > 0$, \vec{F} a le même sens que \vec{E} .

- si $q < 0$, \vec{F} a le même contraire de \vec{E} .

3) Champ électrique créé par deux charges ponctuelles:

Considérons deux charges ponctuelles : $q_1 > 0$ et $q_2 < 0$ placées respectivement aux points A et B et un point M qui n'appartient pas à la ligne AB. (tel que $|q_A| = |q_B|$)

Soit \vec{E}_1 le vecteur champ électrique créé par la charge q_1 au point M et \vec{E}_2 celui créé par la charge q_2 au point M.



Le vecteur champ électrique résultant \vec{E} créé par les deux charges au point M est égale à la somme des deux vecteurs \vec{E}_1 et \vec{E}_2 :

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

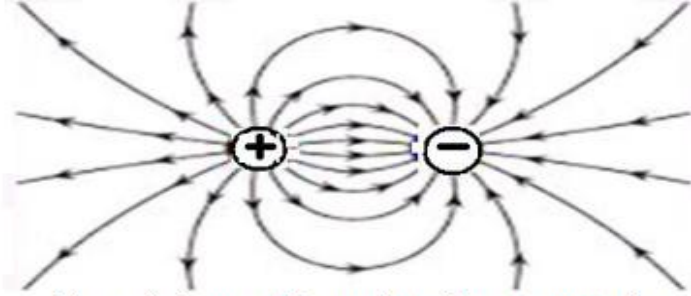
Généralisation :

Le vecteur champ électrique créé par un ensemble de charges électriques ponctuelles est égale à la somme des champs électriques créés par chaque charge électrique.

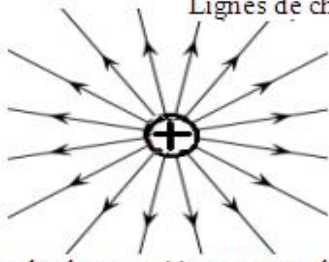
$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{i=n} \vec{E}_i$$

4) Lignes de Champ électrique :

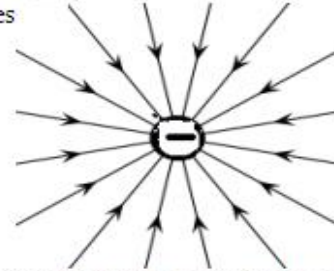
On appelle ligne de champ la ligne qui, en chacun de ses points, est tangente au vecteur champ électrique \vec{E} . Les lignes de champ sont orientées dans le sens du vecteur champ électrique.



Lignes de champ créées par deux charges ponctuelles



Lignes de champ créées par une charge ponctuelle positive



Lignes de champ créées par une charge ponctuelle négative

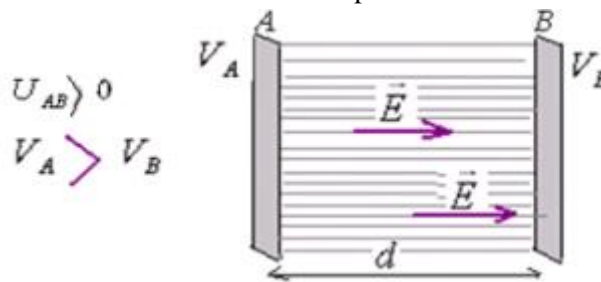
III - Champ électrique uniforme :

1) Définition :

Un champ électrique est dit uniforme dans une région de l'espace si le vecteur champ conserve en tout point de cette région, la même direction, le même sens et la même valeur.

2) Exemple :

Entre deux plaques métalliques parallèles soumises à une différence de potentielle existe un champ électrique uniforme .



V_A : potentiel de la plaque A .

V_B : potentiel de la plaque B .

d : distance entre les deux plaques

- Entre les deux plaques le champ électrique est uniforme .
- Les lignes de champ sont parallèles entre elles et perpendiculaires aux plans des plaques .
- Le vecteur champ électrique \vec{E} a le sens *des* potentiels décroissants c'est-à-dire de la plaque ayant le plus grand potentiel vers celle ayant le plus petit potentiel.

- La norme du champ électrique \vec{E} entre les plaques : $E = \frac{U_{AB}}{d}$ en (V/m) avec : $U_{AB} = V_A - V_B$



I) Travail d'une force électrostatique un champ électrique uniforme:

Le travail \vec{F} de la force qui a fait déplacer la boule sous l'action du champ électrique uniforme \vec{E}

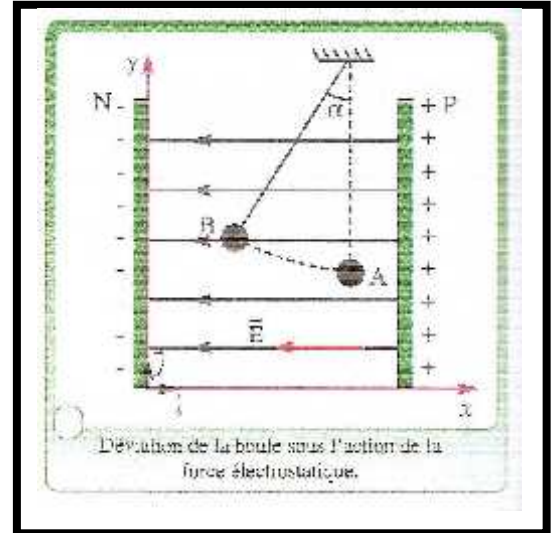
$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = q \times \vec{E} \cdot \vec{AB}$$

Avec :

$$\vec{E} = -E \cdot \vec{i} \quad \text{et} \quad \vec{AB} = (x_B - x_A) \cdot \vec{i} + (y_B - y_A) \cdot \vec{j}$$

Donc :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \times E \times (x_A - x_B)$$



Conclusion :

Le travail de la force électrique appliquée à une charge dans un champ électrique uniforme est indépendant du chemin suivi ; il ne dépend que de l'état initial x_A et de l'état final x_B . on dit que *la force électrique est conservative*.

II) Potentiel électrique.

1) Définition d'une différence de potentiel électrique

La différence de potentielle (ou tension) entre 2 points A et B d'une région où règne un champ électrique uniforme est égale au produit scalaire des vecteurs \vec{E} et \vec{AB} .

$$U_{AB} = V_A - V_B = \vec{E} \cdot \vec{AB} = E \times AB \times \cos(\)$$

\vec{E} : vecteur champ électrique ($V \cdot m^{-1}$); \vec{AB} : vecteur déplacement (m)
 U_{AB} : la tension (V); V_A : Potentiel en A (V); V_B : Potentiel en B (V)

Remarque :

Le champ \vec{E} est perpendiculaire aux surfaces équipotentielles et dirigé dans le sens de la décroissance de V « c-a-d vers les potentiels décroissants ».

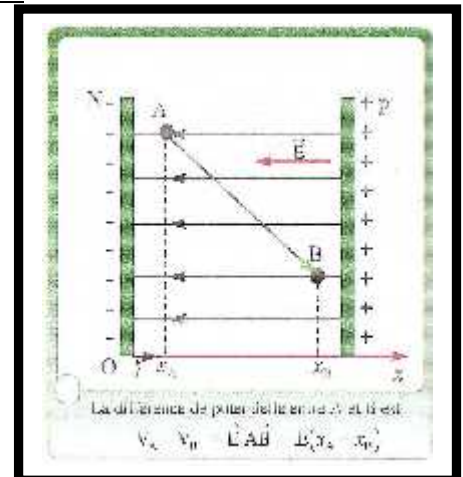
2) Potentiel électrique:

2-1/ Définition :

$$V_A - V_B = \vec{E} \cdot \vec{AB} = E \times (x_A - x_B) \quad \text{donc} \quad V_A - V_B = E \times x_A - E \times x_B$$

$$V_A = E \times x_A \quad \text{et} \quad V_B = E \times x_B \quad \text{d'où} : V = E \times x$$

Nouvelle unité pour le champ électrique \vec{E} : volt/mètre.



$$\overset{(V)}{\nearrow} \mathbf{V} = \mathbf{E} \times \mathbf{x} \quad \nwarrow (m)$$

\uparrow
 $(V \cdot m^{-1})$

Le potentiel créé par une charge ponctuelle q , placé dans le vide, en un point M de l'espace situé à la distance r de la charge q est donné par :

$$V(M) = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \times \frac{q}{r} \quad \text{avec } V(M) = 0 \text{ quand } r \rightarrow \infty$$

Conséquence :

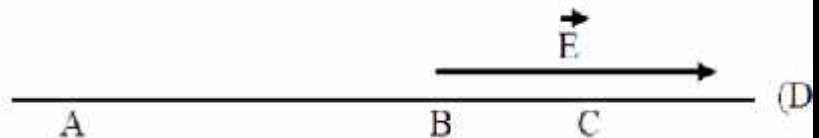
$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \times \vec{E} \cdot \vec{AB} = q \times [\mathbf{E} \times (\mathbf{x}_A - \mathbf{x}_B)] = q \times [\mathbf{E} \times \mathbf{x}_A - \mathbf{E} \times \mathbf{x}_B]$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \times [V_A - V_B] = q \times U_{AB}$$

Cette relation reste valable même si le champ électrique n'est pas uniforme.

Exercice d'application N°1 :

Trois points A, B et C situés dans cet ordre sur une droite (D), sont placés dans un champ électrostatique uniforme E , parallèle à la droite D et orienté comme le montre la figure. On donne $AB = 30\text{cm}$; $BC = 10\text{cm}$; intensité du champ $E = 1500\text{V/m}$. Calculer les tensions U_{AB} ; U_{BC} ; U_{CA} .



2-2/ Potentiel électrique créé par une distribution de charges ponctuelles

le potentiel électrostatique en un point M de l'espace créé par ensemble de charges ponctuelles. En utilisant le principe de superposition, le potentiel électrique en M est la somme du potentiel électrostatique créé par chaque charge :

$$V(M) = \sum V_i(M) = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \times \sum \frac{q_i}{r_i}$$

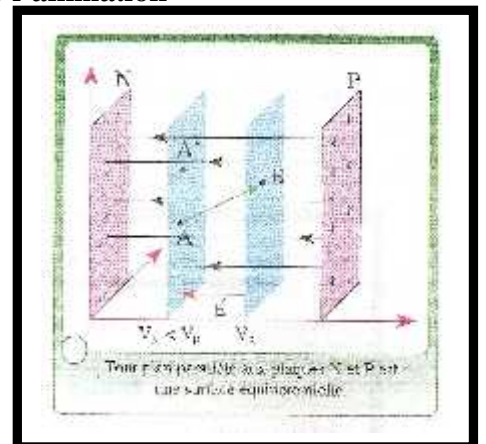
2-3/ Plan (ou surface) équipotentiel:

voir l'animation

Une surface (ou plan) équipotentielle électrique est une surface où la valeur du potentiel électrique est la même en tout point.

Les équipotentiels électriques possèdent les caractéristiques suivantes :

- ✓ Le potentiel électrique est égal en tout point de la surface.
- ✓ Le champ électrique est perpendiculaire à la surface équipotentielle.
- ✓ Le sens du champ électrique définit le sens où il y a une chute de potentiel.



Exercice d'application N°2 :

Une charge $q = 10^{-6} \text{ C}$ se déplace en ligne droite, de A vers B, dans un champ électrostatique uniforme E , d'intensité $E = 500 \text{ V/m}$, tel que $(AB, E) = 30^\circ$. Calculer :

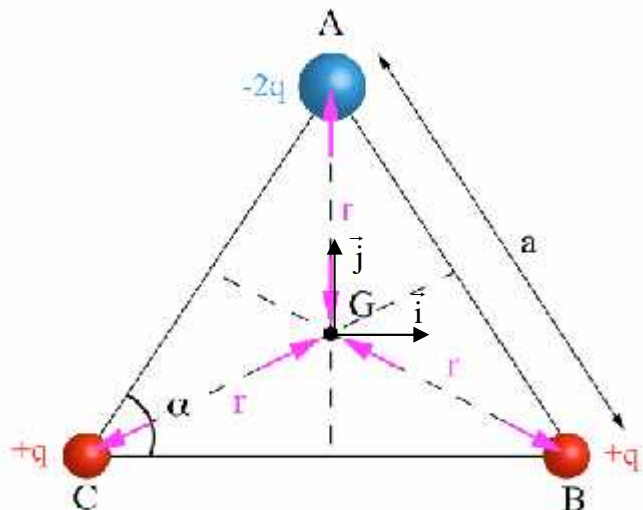
- 1) le travail de la force électrostatique qui s'exerce sur la charge q au cours du déplacement AB.
- 2) La valeur de la tension U_{AB} .

Donnée : Distance AB = 10 cm.

Exercice d'application N°3 :

Soit un ensemble de 3 charges électriques ponctuelles $-2q, +q, +q$ disposées aux sommets A, B et C d'un triangle équilatéral de côté a , dans l'air.

1. Calculer le potentiel V et déterminer le champ \vec{E} créés par cette distribution de charges au centre de gravité G du triangle ($q > 0$). On appellera \vec{j} le vecteur unitaire dirigé de G vers A d'origine G et \vec{i} le vecteur unitaire tel que (G, \vec{i}, \vec{j}) forme une base orthonormée.



Les propositions :

$$\text{Potentiel: } A: 0 \quad B: \frac{1}{\pi \epsilon} \frac{2q}{3a^2} \quad C: -\frac{1}{\pi \epsilon} \frac{2q}{3a^2} \quad D: \frac{1}{\pi \epsilon} \frac{q}{\sqrt{3}a} \quad E: -\frac{1}{\pi \epsilon} \frac{q}{\sqrt{3}a}$$

$$\text{Champ: } A: 0 \quad B: \frac{1}{4\pi \epsilon} \frac{9q^2}{a^2} \vec{i} \quad C: -\frac{1}{4\pi \epsilon} \frac{9q^2}{a^2} \vec{j} \quad D: \frac{1}{4\pi \epsilon} \frac{9q^2}{a^2} \vec{j} \quad E: \frac{1}{4\pi \epsilon} \frac{9q^2}{a^2} \vec{i}$$

III) Energie potentielle électrostatique :

1) Notion de l'énergie potentielle électrostatique :

Energie potentielle électrique d'une charge q quelconque située en un point d'abscisse x dans un champ électrique uniforme \vec{E} vaut :

$$E_{pe}(M) = q \times E \times x(M) + C \quad \text{ou} \quad E_{pe}(M) = q \times V(M) + C'$$

Avec C et C' sont des constantes qui dépendent du niveau de référence choisi.

2) La variation de l'énergie potentielle:

La variation de l'énergie potentielle électrique, entre le point A de potentiel $V(A)$ et le point B de potentiel $V(B)$, égale :

$$\Delta_{A \rightarrow B} E_{pe} = E_{pe}(B) - E_{pe}(A) = q \times V(B) - q \times V(A)$$

3) Relation entre l'énergie potentielle et le travail d'une force électrostatique :

On a : $\Delta_{A \rightarrow B} E_{pe} = q \times [V(B) - V(A)]$ et $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \times [V_A - V_B]$

Donc :

$$\Delta_{A \rightarrow B} E_{pe} = - W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$$

Généralité:

La variation d'énergie potentielle électrique d'un système se déplaçant d'un point A à un point B est égale à l'opposé de la somme des travaux effectués par les forces conservatives entre le point A et le point B.

$$\Delta_{A \rightarrow B} E_{pe} = - \sum_{A \rightarrow B} W(\vec{F}_c)$$

IV) Conservation de l'énergie totale d'une charge placée dans un champ électrostatique uniforme :

- L'énergie mécanique totale d'une charge q placée dans un champ électrique est la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle électrique :

$$E_m(M) = E_c(M) + E_{pe}(M)$$

- Si une charge évolue spontanément dans un champ électrique (sans autre force que celle du champ électrique), on peut déterminer sa vitesse acquise au bout d'un certain déplacement :

✓ Soit à l'aide du théorème de énergie mécanique:

$$\Delta E_m = 0$$

✓ Soit à l'aide du théorème de énergie cinétique :

$$E_c = -q \times_{A \rightarrow B} V = -q \times (V_B - V_A)$$

∅) L'électro-Volt :

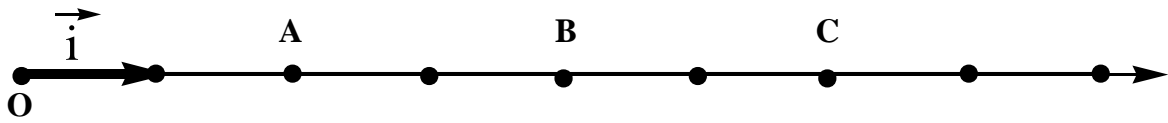
Si $q = e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C et si le potentiel $V = 1$ V alors $E_{pe} = 1$ eV « *électron volt* » ;

$1 \text{ eV} = 1 \times 1 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \times 1 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Exercice d'application N°4 :

On considère trois points A, B et C situés sur l'axe (OX) dans un champ électrostatique $\vec{E} = 2.10^4 \cdot \vec{i}$ avec $\|\vec{i}\| = 10 \text{ cm}$. On donne : $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$.



- 1) Calculer les tensions U_{BA} ; U_{BC} et U_{CA} .
- 2) Déterminer la distance entre 2 plans équipotentiels qui ont une différence de potentiel $U_1 = 5.10^3 \text{ V}$ et $U_2 = 15.10^3 \text{ V}$.
- 3) Calculer en joule puis en électro-volt la variation de l'énergie potentielle électrostatique d'une charge $q = 3e$ lors de son déplacement du plan équipotentiel A au plan B.

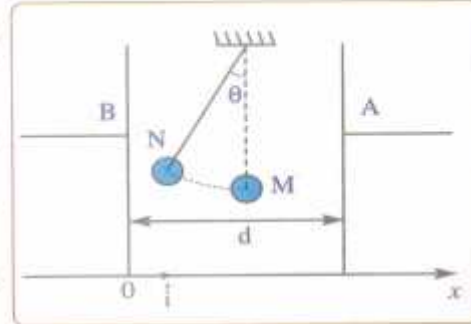
Exercice d'application N°5 :

Un pendule électrostatique, de longueur $l = 20 \text{ cm}$ et de charge $q = 20 \text{ nC}$, est en équilibre entre deux plateaux verticaux et parallèles A et B.

La distance entre ces deux plateaux est $d = 10 \text{ cm}$. Le champ électrostatique uniforme existant est d'intensité $E = 5.10^3 \text{ V.m}^{-1}$.

En l'absence du champ électrostatique, le pendule se trouve en équilibre au point M situé au milieu de la distance d.

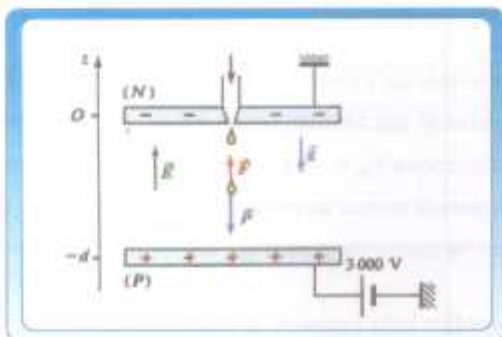
En appliquant la tension U_{AB} entre les plateaux, le pendule s'écarte de la verticale d'un angle $\theta = 45^\circ$.



- 1- Donner les caractéristiques du champ électrostatique \vec{E} . Calculer la tension U_{AB} .
- 2- Déterminer l'expression du travail de la force électrostatique agissant sur le pendule quand il se déplace de M vers N en fonction de q , E , l et θ . Calculer sa valeur.
- 3- En déduire la variation de l'énergie électrostatique ΔE_{pe} entre les deux positions M et N.
- 4- On choisit comme origine des énergies potentielles électrostatiques $E_{pe} = 0$ au plan du plateau B. Calculer $E_{pe}(M)$ l'énergie potentielle électrostatique au point M. En déduire V_M le potentiel électrique au point M.

Exercice d'application N°6 :

On applique une tension $U_{PN} = 3000 \text{ V}$ entre deux plaques métalliques parallèles horizontales séparées par une distance $d = 5 \text{ cm}$.



- 1- Calculer l'énergie potentielle de pesanteur de la goutte d'huile à la plaque P.
- 2- Calculer l'énergie potentielle électrostatique de la goutte à la plaque P. En déduire l'énergie potentielle totale E_p .
- 3- Comparer l'énergie totale E_p à celle E_N à la plaque N. Conclure.

On lâche une goutte d'huile de masse $m = 2,8.10^{-14} \text{ kg}$ et de charge $q = 10e$ sans vitesse initiale à partir de la plaque N, elle arrive à la plaque P avec la vitesse $v = 0,27 \text{ mm.s}^{-1}$.

* On choisit comme origine des énergies potentielles et de pesanteur : le plan passant par la plaque N.

Energie électrique fournie ou reçue en régime permanent

Loi de Joule

I- L'énergie électrique reçue par un récepteur

1- Bilan qualitatif d'énergie

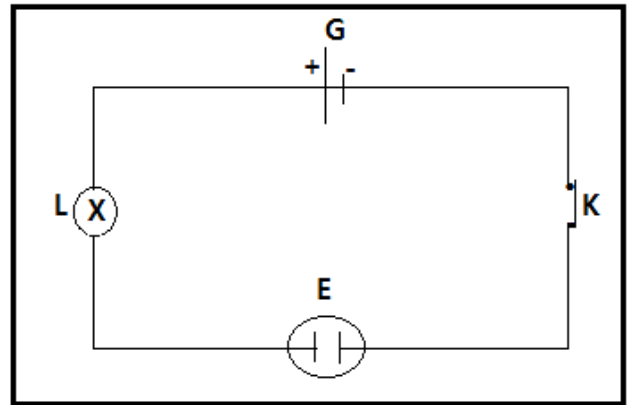
On considère le circuit électrique suivant :

L : lampe électrique

E : électrolyseur

G : générateur

Quand on ferme l'interrupteur K, on observe :



La lampe s'allume et s'échauffe. Elle reçoit de l'énergie électrique du générateur. Elle la convertit en énergie rayonnante et en énergie thermique.

$$W_e = W_r + W_{th}$$

L'électrolyseur produit des réactions chimiques, l'énergie reçue par l'électrolyseur est convertit en énergie chimique et en énergie thermique.

$$W_e = W_{ch} + W_{th}$$

Conclusion :

Le récepteur (lampe, moteur, ...) convertit l'énergie qu'il reçoit en une autre forme d'énergie en plus de l'énergie thermique.

Il y a conservation de l'énergie lors de ce transfert.

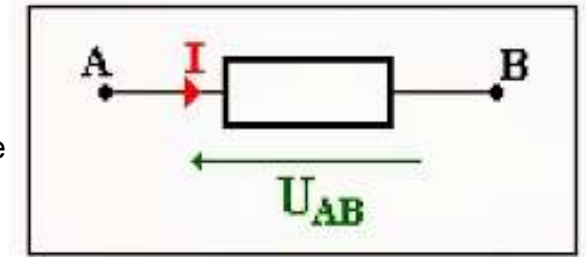
2- Récepteur

2-1- Définition :

Le récepteur est un dipôle qui reçoit l'énergie électrique et la convertit en une autre forme d'énergie en plus de l'énergie thermique.

2-2- Convention récepteur :

Dans la convention récepteur la tension U_{AB} est positive si le courant électrique circule de A à B.



3- L'énergie reçue par un récepteur :

En régime permanent, l'énergie électrique reçue par un récepteur parcourue par un courant I et soumis à une tension U_{AB} , pendant une durée Δt , est :

$$W = U_{AB} \cdot I \cdot \Delta t \quad \text{avec : } \begin{cases} W : \text{énergie reçue en joule (J)} \\ U_{AB} : \text{tension en volt (V)} \\ I : \text{Intensité du courant en ampère (A)} \\ \Delta t : \text{durée en seconde (s)} \end{cases}$$

Remarque :

On utilise une autre unité d'énergie : le kilowattheure (kWh) : c'est l'énergie consommée par un récepteur de 1kW pendant une durée d'une heure.

$$1kWh = 1000 Wh = 1000 \times 3600 = 3,6 MJ$$

4- La puissance électrique reçue par un récepteur :

En régime permanent, la puissance électrique reçue par un récepteur parcourue par un courant I et soumis à une tension U_{AB} est :

$$P = U_{AB} \cdot I \quad \text{avec : } \begin{cases} P: \text{puissance en watt (W)} \\ U_{AB}: \text{tension en volt (V)} \\ I: \text{Intensité du courant en ampère (A)} \end{cases}$$

II- Effet Joule :

1- Mise en évidence de l'effet Joule :

Définition :

L'effet Joule est l'effet thermique associé au passage du courant électrique dans les conducteurs.

Exemple :

Quand un courant électrique passe dans un fil, ce dernier s'échauffe.

2- Cas de conducteur ohmique :

On considère un conducteur ohmique de résistance R parcourue par un courant d'intensité I est soumis à une tension U_{AB} .

L'énergie électrique reçue par le conducteur pendant la durée Δt

est :

$$W_e = U_{AB} \cdot I \cdot \Delta t$$

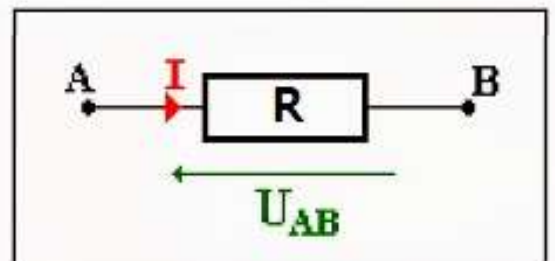
D'après la loi d'ohm : $U_{AB} = R \cdot I$ d'où la loi de Joule :

$$W_e = Q = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$$

Le conducteur ohmique transforme toute l'énergie électrique qu'il reçoit, en énergie thermique.

La puissance électrique est :

$$P = R \cdot I^2$$



3- Conséquences de l'effet Joule :

Effets bénéfiques :

On utilise cet effet Joule :

-dans tous les appareils chauffants : fer à repasser, grille-pain, four électrique, cafetière, radiateur

-L'éclairage par incandescence

-Les fusibles....

Effet indésirables :

Par contre, cet effet pose des problèmes dans d'autres cas : pertes énergétiques dans les appareils ou dans le transport de l'électricité, l'échauffement des appareils électriques et leur détérioration...

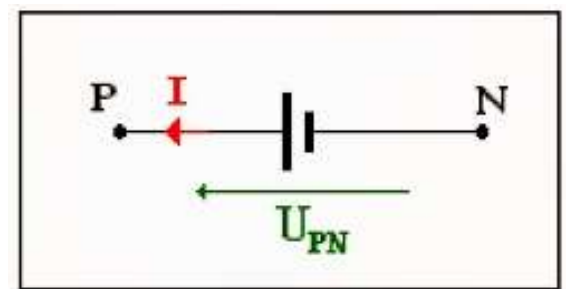
III- Energie électrique fournie par un générateur

1- Définition :

Un générateur est un dipôle qui convertit en énergie électrique une autre forme d'énergie.

2- Convention du générateur :

Dans la convention générateur la tension U_{PN} est positive si le courant électrique passe de N vers P.



Exemple :

La pile transforme l'énergie chimique en énergie électrique.

3- L'énergie fournie par un générateur :

On considère un générateur qui produit un courant électrique d'intensité I , U_{PN} est la tension entre ses bornes.

L'énergie électrique fournie, au reste du circuit, par le générateur, pendant la durée Δt est :

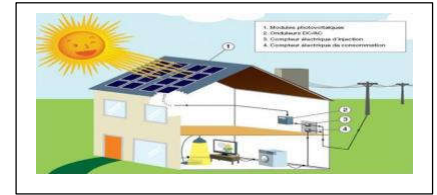
$$W_e = U_{PN} \cdot I \cdot \Delta t$$

La puissance fournie par le générateur au reste du circuit :

$$P_e = U_{PN} \cdot I$$

Chapitre 1(3*) : Transfert d'énergie dans un circuit électrique-Effet Joule (5h-8h*).

S.P: Les plaques solaires de cette maison reçoivent une énergie de rayonnement qui la transforme en énergie électrique ou thermique (chauffage de l'eau , éclairage,..)



Quelles sont les expressions de l'énergie et de la puissance électrique reçues ?

Quels sont les différents transferts ou transmissions d'énergies qui se font au niveau des récepteurs ? et qu'est ce que l'effet joule ?

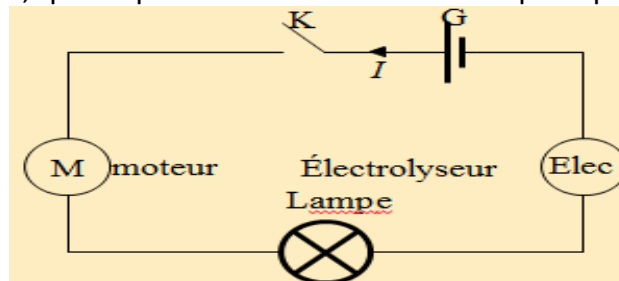
I. Transfert d'énergie au niveau d'un récepteur électrique.

1. Définition et exemples de récepteurs électriques

Activité:

On réalise le montage électrique suivant et qui est formé par un générateur branché en série avec une lampe, un moteur électrique, un interrupteur K et un électrolyseur.

On ferme l'interrupteur K, que se passe-t-il au niveau de chaque dipôle ?



Réponse : Lorsqu'on ferme le circuit on observe :

- * la lampe brille et chauffe.
- * l'électrolyseur est le siège de réactions chimiques au niveau de chaque électrode
- * Le moteur tourne.

1 Quelles sont les formes d'énergie qui sont produit par chaque dipôle ?

2. Qu'il est le dipôle électrique qui fournit de l'énergie au reste de circuit ?

3. Qu'appelle-t-on les dipôles électriques suivants : la lampe ; le moteur et l'électrolyseur ?

Exploitation

1. Les formes d'énergie qui se produit par chaque dipôle sont :

- * dans la lampe : énergie calorifique حرارية et énergie de rayonnement اشعاعية ;
- * dans le moteur : énergie calorifique et énergie mécanique ;
- * dans l'électrolyseur محلل : énergie calorifique et énergie chimique

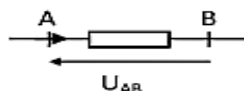
2. Le générateur qui fournit de l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les éléments de circuit électrique.

3. Ce sont des récepteurs électriques

Conclusion : Un récepteur électrique est un dipôle qui convertit l'énergie électrique reçue en une autre forme d'énergie

2. convention récepteur

On étudie les dipôles passifs grâce à la convention récepteur.



Dans une portion de circuit ne comportant pas de générateur, le courant circule dans le sens des potentiels décroissants.

Remarque important:

Le régime permanent

Lorsqu'on ferme un circuit électrique, le fonctionnement régulier (uniforme) de l'élément du circuit nécessite une certaine durée. Après cette durée, on dit que les récepteurs fonctionnent en régime permanent.

3. l'énergie électrique reçue par un récepteur

Si pendant un temps t, une charge q entre en A (potentiel V_A) et sort en B (potentiel V_B),

- Pendant le temps considéré, les échanges électriques ont perdu l'énergie électrique $qV_A - qV_B$.

Cette énergie perdue par les charges en mouvement se dissipe dans le dipôle et elle représente l'énergie reçue par le dipôle pendant le temps t.

$$E_{reçue} = q(V_A - V_B) = qU_{AB} \text{ puisque } q = It \text{ nous aurons } E_{reçue} = U_{AB}It$$

$E_{reçue} = UIt$	$U(V)$ volt
	$I(A)$ ampère
	$t(s)$ seconde
	$E(J)$ joule

4. puissance électrique reçue par un récepteur

En régime permanent et en courant continue, la puissance $\mathcal{P}_{reçue}$ transférée à un récepteur est égale au produit de la tension U à ses bornes par l'intensité du courant qui le traverse elle est égale aussi le quotient du travail (W) ou l'énergie ($E_{reçue}$) par Δt du transfert :

$$\mathcal{P}_{reçue} = \frac{E_{reçue}}{t} \quad E_{reçue} = UIt \Rightarrow \mathcal{P}_{reçue} = \frac{UIt}{t} = UI$$

$\mathcal{P}_{reçue}$ en watt (w) ; I en Ampère (A) et U en volt(V)

L'unité dans S.I de l'énergie électrique est le joule (J). On utilise une autre unité d'énergie, c'est le kWh

$$1kWh = 1000 \times 3600 = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

Remarque:

La puissance électrique $\mathcal{P}_{reçue}$ permet d'évaluer la rapidité d'un transfert d'énergie. Donc la puissance est la vitesse du transfert d'énergie.

II. Effet Joule .

1. définition de l'effet joule.

On appelle effet Joule l'effet thermique dû au passage du courant électrique dans les conducteurs électriques.

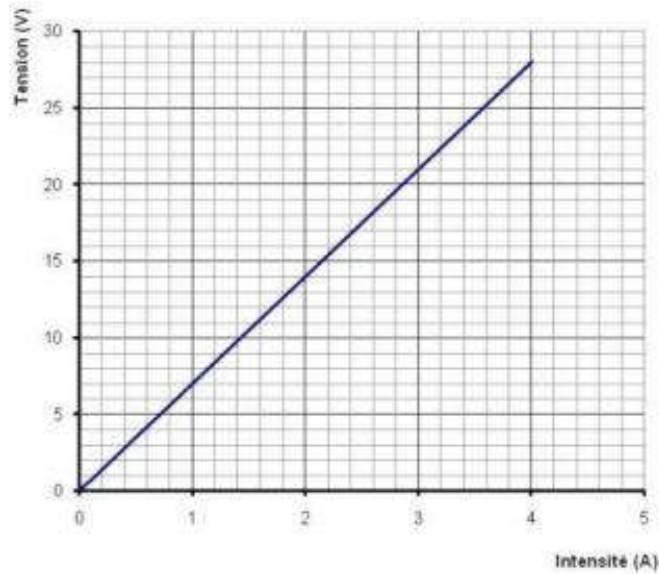
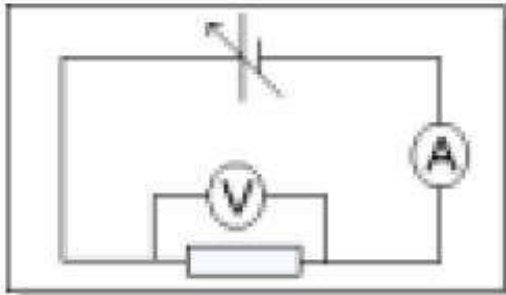
Il se manifeste sous deux formes : transfert sous forme thermique et par rayonnement.

Remarque: l'effet Joule nommée ainsi relativement au **savant Britannique JAMES PRESCOTT JOULE (1818-1889).**

2. loi d'ohm pour un conducteur ohmique.

La loi d'ohm pour un conducteur ohmique s'exprime par la relation $U = RI$. Pour un conducteur

filiforme $R = \frac{\rho l}{S}$ (ρ : résistivité (Ωm^{-1}); l:longueur du fil (m) et s: section du fil (m^2)).



Exemple: $U = 7 \times I$

3. loi de Joule pour un conducteur ohmique.

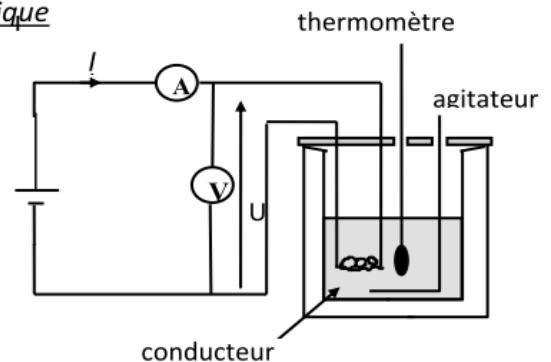
Dans un conducteur ohmique toute l'énergie électrique reçue par le dipôle est restituée au milieu extérieur sous forme de chaleur.

$$\left(\begin{array}{l} \text{Energie reçue par} \\ \text{le conducteur ohmique} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Energie thermique fournie} \\ \text{au milieu extérieur (chaleur)} \end{array} \right)$$

Échanges énergétiques dans un conducteur ohmique

$$E_{reçue} = UIt = (RI)It = RI^2t = Q_{fournie}$$

$$E_{reçue} = Q_{fournie} = UI^2t$$



4. Conséquences de l'effet Joule.

L'effet Joule manifeste dans tous les récepteur parcourus par un courant électrique, il est utile lorsqu'il constitue l'effet recherché (fournir l'énergie thermique par chaleur ou par rayonnement comme appareils de chauffage, éclairage par incandescence ..). En revanche, il correspond une perte d'énergie dans le cas contraire (échauffement inutile dans des récepteurs qui peut conduire à une détérioration تلف of ces récepteurs, perte d'énergie dans les lignes de transport d'électricité ..).

III. Transfert d'énergie au niveau d'un générateur.

1. définition d'un générateur.

Un générateur est un appareil qui produit de l'énergie électrique. Il effectue la transformation d'une forme d'énergie en énergie électrique. Exemple: pile, accumulateur.

2. convention générateur.

Dans un générateur le courant circule dans le sens des potentiels croissants.



3. l'énergie électrique fournie par un générateur.

$E_{ext} = UIt$: énergie fournie par le générateur au milieu extérieur.

4. puissance électrique fournie par un générateur.

$\mathcal{P}_{ext} = UI$: puissance fournie par le générateur au milieu extérieur

Remarque: On note :

W_e l'énergie électrique reçue par un dipôle	\mathcal{P}_e puissance électrique reçue par un dipôle
W_j l'énergie dissipée par effet joule	\mathcal{P}_j puissance dissipée par effet joule
W_u l'énergie utile.	\mathcal{P}_u puissance utile.

Exercice N° 1:

On applique aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance $R = 10\Omega$ une tension $U = 4V$.

1. Calculer la puissance électrique reçue par le conducteur ohmique. Sous quelle forme est convertie cette puissance ?
2. Sachant que la tension U est appliquée pendant la durée $\Delta t = 5min$ Calculer l'énergie dissipée par effet joule.

Exercice N° 2:

1. Le kilowatt-heure est-il une unité d'énergie ou de puissance? L'exprimer en unités S.I.
2. Quelle est, en joules, l'énergie électrique reçue par un conducteur ohmique de résistance $R = 20\Omega$, alimenté sous la tension $U = 40V$ pendant 5 minutes? Que devient-elle?
3. Une résistance chauffante consomme une puissance $\mathcal{P} = 1,5 kW$ lorsqu'on l'alimente sous la tension $U = 150V$.
Quelles sont les valeurs de cette résistance et de l'intensité du courant qui la traverse?
4. Une source de tension maintient entre ses bornes P et N une tension constante $U = 20V$. Dans une première expérience, on branche entre P et N un conducteur ohmique de résistance R .
a) Quelle doit être la valeur de R pour que la puissance Joule consommée dans la résistance soit de $10W$?
b) Quelle est la puissance \mathcal{P} consommée par effet Joule dans l'ensemble de deux résistances R identiques à la précédente branchées en parallèle entre P et N ?

5. La caractéristique intensité-tension d'une varistance est reproduite à la figure

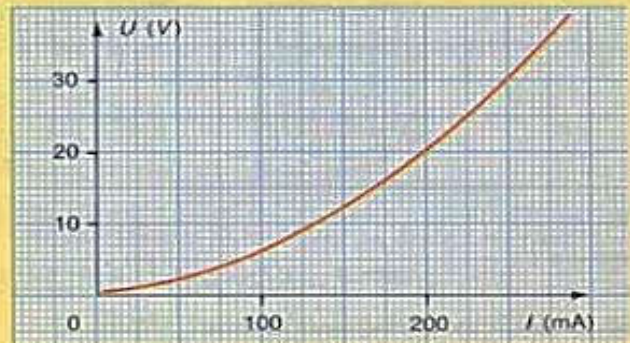


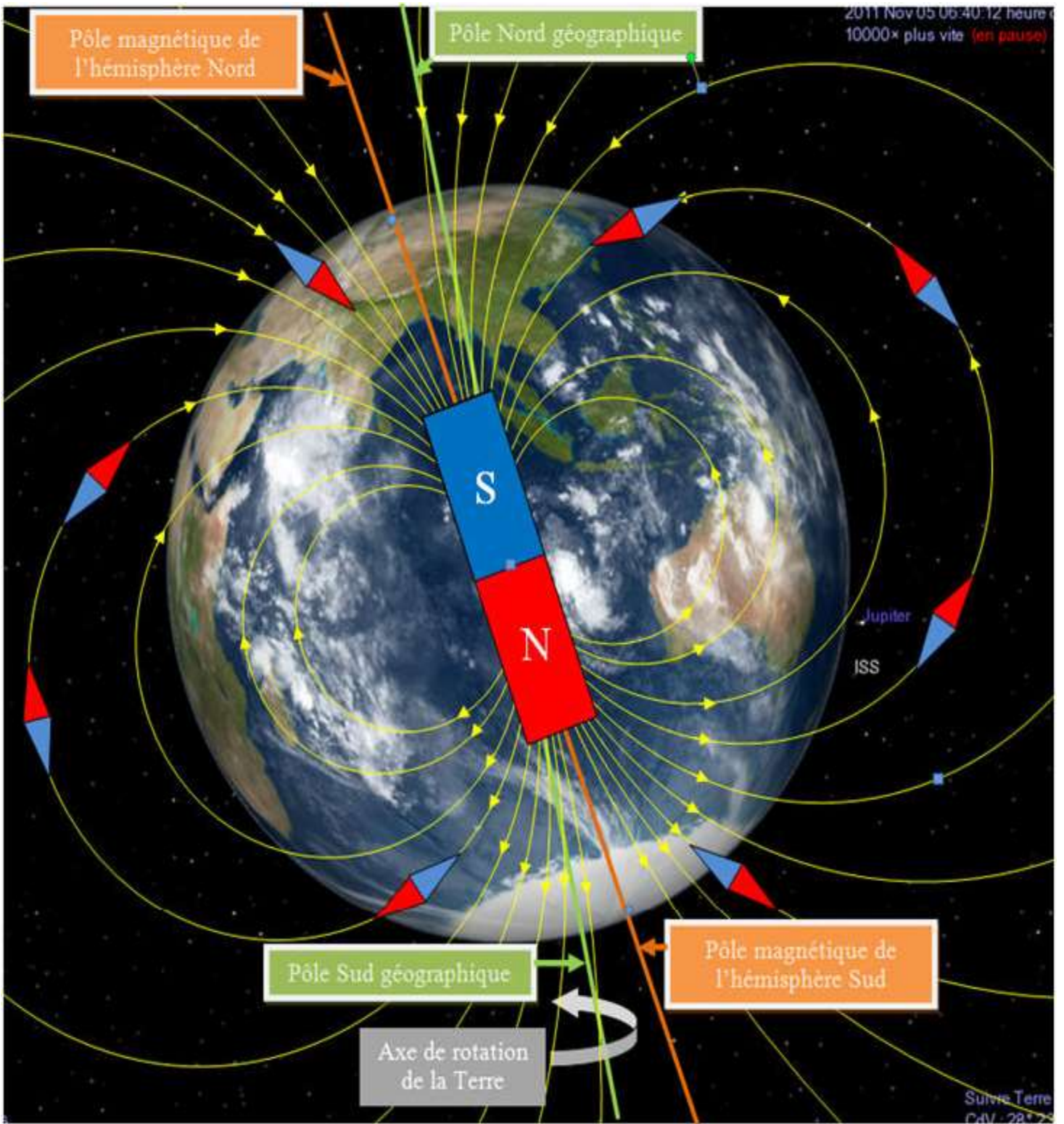
Fig. 15.

- Quelle puissance consomme-t-elle :
- lorsqu'elle est soumise à une tension $U = 6V$;
 - lorsqu'elle est traversée par un courant d'intensité $I = 200mA$?

L'effet Joule

L'effet Joule est omniprésent dans notre vie quotidienne : radiateur, four, grille-pain... Dans certains cas, cet effet est malheureusement indésirable et nécessite l'utilisation de ventilateurs pour abaisser la température. C'est le cas des ordinateurs ou des amplis.

Champ magnétique



Champ magnétique

I- Les aimants :

1- Définition :

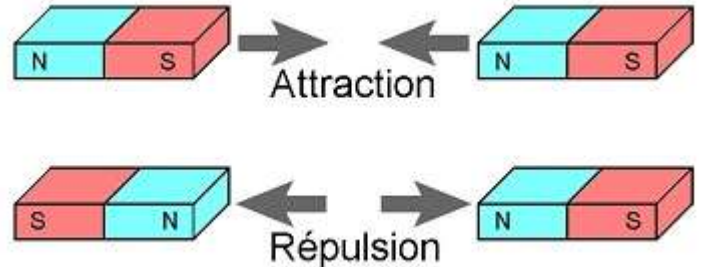
Un aimant est un corps qui a la propriété d'attirer le fer.

2- Les pôles d'un aimant :

Chaque aimant possède deux pôles : pôle nord et pôle sud.

Deux pôles identiques se repoussent

Deux pôles différents s'attirent.



II-- Mise en évidence du champ magnétique :

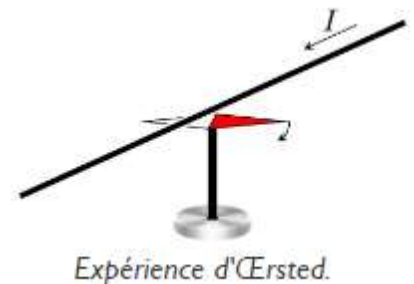
1- Action d'un aimant sur une aiguille aimantée :

Lorsqu'on approche une aiguille aimantée d'un aimant, on constate qu'elle prend une position stable, on dit qu'il y a une interaction entre l'aimant et l'aiguille aimantée.



2- Action d'un courant électrique sur une aiguille aimantée :

Une aiguille aimantée dévie au voisinage d'un conducteur parcouru par un courant électrique continu. Sa déviation dépend du sens du courant qui traverse le conducteur.

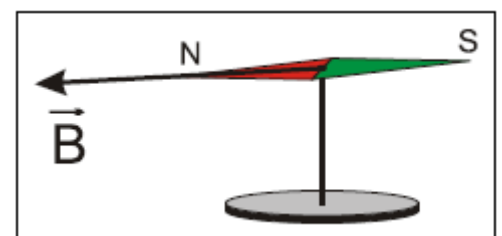


III- Champ magnétique et spectres magnétiques

1- Vecteur champ magnétique :

Lorsqu'on pose une aiguille aimantée pouvant osciller autour d'un axe vertical, dans un point où règne un champ magnétique noté \vec{B} , elle s'oriente suivant une direction et un sens déterminés.

Par convention le sens de \vec{B} est celui qui indique le pôle nord de l'aiguille aimantée.



Le vecteur champ magnétique \vec{B} en un point M a les propriétés mathématiques d'un vecteur :

- **Origine** : le point M
- **Direction** : celle prise par l'aiguille aimantée placée en M
- **Sens** : celui qui indique le pôle nord de l'aiguille aimantée (du sud vers le nord de l'aiguille)
- **Valeur** : (mesurée par un tesla-mètre) exprimée en Tesla (T).

2- Les spectres magnétiques :

2-1- les lignes du champ :

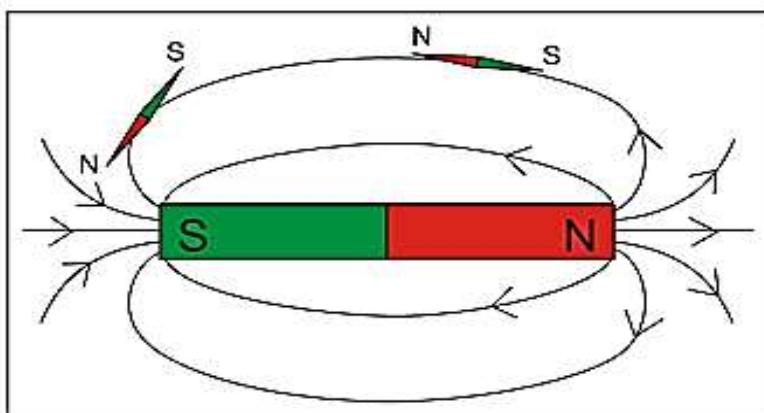
Une ligne de champ est une courbe qui est tangente aux vecteurs champs magnétiques en chacun de ces points.

Le spectre magnétique est l'ensemble des lignes de champ.

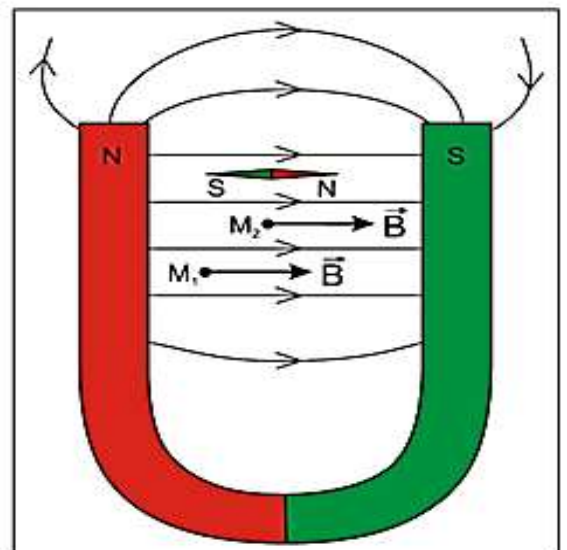
Les lignes de champ sont orientées dans le sens du vecteur champ magnétique.

Exemples :

Les lignes sortent du pôle N et entrent par le pôle S.



Champ créé par un aimant droit



Champ créé par un aimant en U

2-2- Champ magnétique uniforme :

Un champ magnétique est uniforme dans une région de l'espace, si le vecteur champ magnétique a les mêmes caractéristiques (directions, sens et valeur) en tout point de cette région.

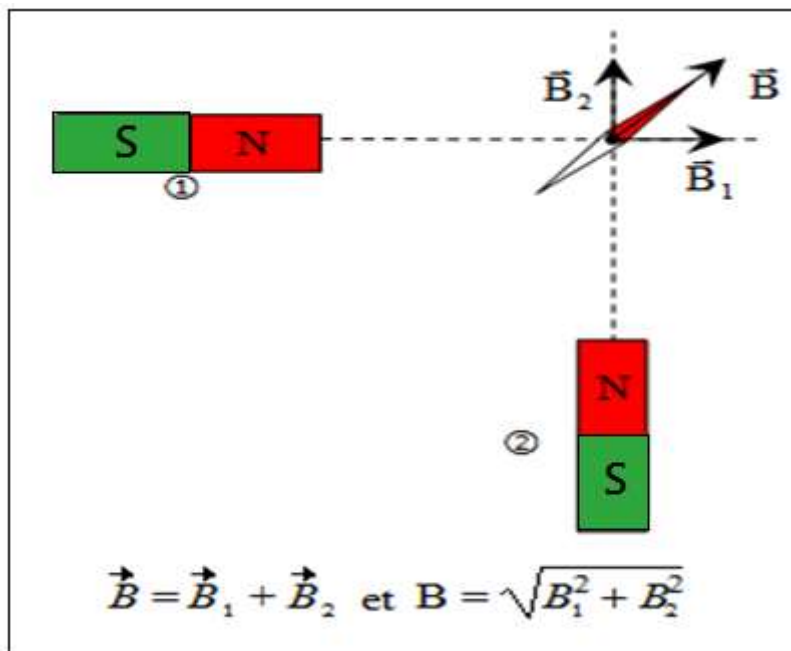
Le spectre du champ magnétique uniforme est formé de segments de droites parallèles entre eux. C'est le cas dans l'entrefer d'un aimant en U.

IV- superposition de champs magnétiques

S'il y a plusieurs champs magnétiques (créés par plusieurs sources distinctes), le vecteur champ magnétique résultant en un point est égal à la somme vectorielle des champs créés par chacune des sources en ce point.

$$\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i$$

Exemple :

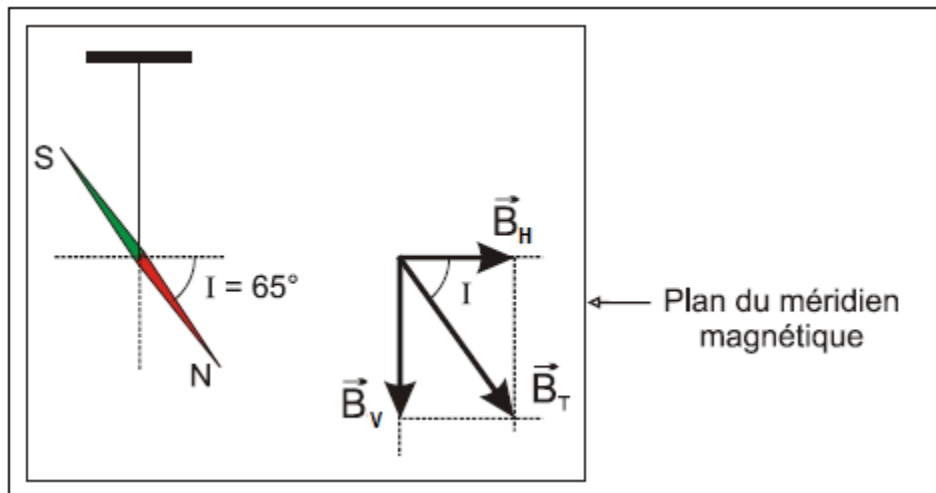
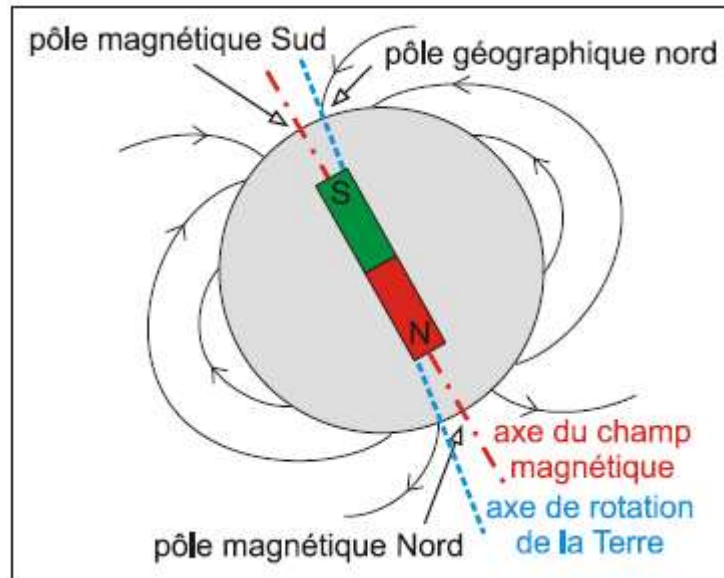


V- Champ magnétique terrestre :

Au tour de la terre règne un champ magnétique appelé champ géomagnétique.

Le pôle magnétique sud se trouve à proximité du pôle géographique nord. De même le pôle magnétique nord se trouve près du pôle sud géographique.

Le champ magnétique terrestre (ou champ géomagnétique) ressemble à celui produit par un aimant droit.



-Les boussoles s'orientent le long des lignes de champ magnétique terrestre.

- Le pôle nord de l'aiguille aimantée est attiré par le pôle terrestre magnétique sud.

-Le champ magnétique terrestre n'est pas horizontal mais forme un angle avec l'horizontale appelé inclinaison \hat{I} .

-On appelle le plan vertical dont se trouve l'aiguille : le plan méridien magnétique.

On écrit :

$$\vec{B}_T = \vec{B}_H + \vec{B}_V$$
$$B_T = \frac{B_H}{\cos \hat{I}} \Rightarrow B_H = B_T \cdot \cos \hat{I}$$

\vec{B}_H : Composante horizontale du champ magnétique terrestre

\vec{B}_V : Composante verticale du champ magnétique terrestre

Chpitre3 (5*) : le champ magnétique (3h-4h*).

S.P: les savants pensent que la migration collective des oiseaux se fait grâce au champ magnétique terrestre. **Qu'est-ce qu'un champ magnétique? Quelles sont ses caractéristiques et comment mesure son intensité?**

I. mis en évidence du champ magnétique.

1. utilisation d'aiguille aimantée à la découverte du champ magnétique.

Dans un endroit donnée au surface de la terre ; l'aiguille aimantée prend toujours une direction sud-nord. On en déduit l'existence d'un champ magnétique c'est le champ magnétique terrestre.

Convention : le pôle d'aiguille aimantée orienté vers le pôle nord de la terre est appelée le pôle nord ; tandis que l'autre pôle est appelée pôle sud.

2. action d'un aimant sur un autre aimant et sur une aiguille aimantée.

Un aimant agit à distance sur un autre aimant: il modifie les propriétés de l'espace qui l'entourne.

Nous dirons que l'espace environnant un aimant est le siège d'un champ magnétique.

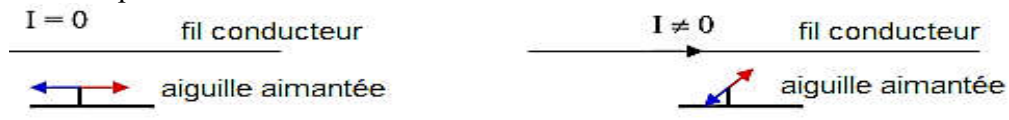
L'expérience montre que les pôles d'aimant de même nom se repoussent et les pôles de noms différents s'attirent.



Si on approche un aimant d'une aiguille aimantée on remarque que l'aiguille tourner selon la face d'aimant qu'on a approchée.

3. action d'un courant continu sur une aiguille aimantée.

Lorsqu'on approche une aiguille aimantée d'un fil conducteur parcourue par un courant électrique l'aiguille aimantée se dévie ; on déduit que le passage du courant électrique continu crée un champ magnétique dans l'espace environnant.

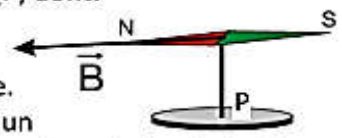


II. Vecteur champ magnétique.

1. définition.

Le champ magnétique en un point P est représenté par un vecteur noté $\vec{B}(P)$ dont:

- Le point d'application est le point P
- La direction est celle de l'aiguille aimantée (boussole) placée en P
- Son sens est dirigé du pôle sud vers le pôle nord de l'aiguille aimantée.
- Sa norme peut être déterminée par le calcul ou par mesure à l'aide d'un teslamètre à sonde de Hall. l'unité du champ magnétique dans le SI est le tesla (symbole T)



application:

Lorsqu'on approche un aimant droit à un aiguille aimantée susceptible de tourner verticalement ; l'aiguille se dévie dans le plan (M, \vec{i}, \vec{j}) d'un angle $\alpha = 25^\circ$ par rapport à l'axe (M, \vec{i}) que l'aiguille est confondu avec lui initialement. Le teslamètre donne une valeur $B = 35.5mT$.

- a) déterminer au point M les caractéristiques du vecteur champ magnétique $\vec{B}(M)$.
- b) déterminer les coordonnées de $\vec{B}(M)$ dans le repère $(M, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$.

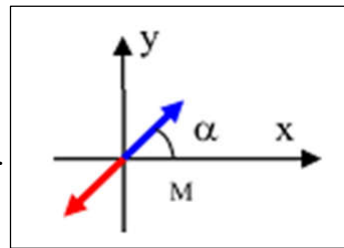
réponse:

- a) les caractéristiques de $\vec{B}(M)$ sont :

L'origine	La direction	Le sens	L'intensité
Le point M	Droite inclinée d'angle $\alpha = 25^\circ$ par rapport au (M, \vec{i})	Vers le bas	$B(M)=35.5mT$

- b) les coordonnées de $\vec{B}(M)$ dans le repere $(M, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$:

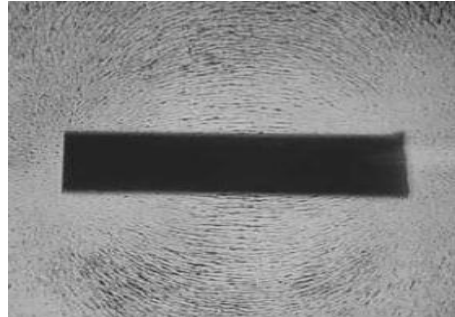
$$B_x = -B \cdot \cos\alpha = -32,1mT ; B_y = -B \cdot \sin\alpha = -15mT ; B_z = 0$$



2. lignes du champ magnétique.

a. Expérience et observations:

Sur une plaque de verre ou de plexiglas, située dans la zone utile du champ magnétique, on saupoudre de la limaille de fer. Les grains de limaille (de forme allongée) sous l'action du champ magnétique se transforment en petits aimants (ou petites boussoles) qui s'orientent alors parallèlement à ce champ magnétique.



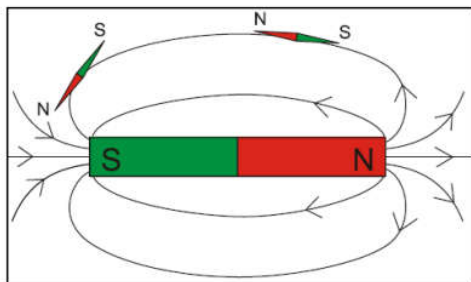
b. définition d'une ligne de champ magnétique et spectre du champ magnétique.

- Une ligne de champ est une courbe tangente en chacun de ses points avec le vecteur champ magnétique \vec{B} . Elle est orientée dans le sens de \vec{B} .
- Deux lignes de champ ne se coupent jamais parce qu'il n'existe qu'un seul vecteur champ magnétique en un point.
- L'ensemble des lignes de champ magnétique constitue le spectre du champ magnétique.

c. exemples:

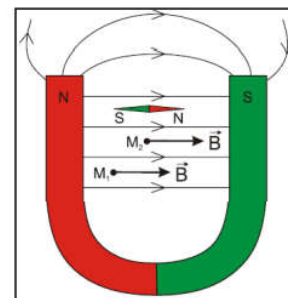
Spectre d'un champ magnétique créée par un aimant droit

- Près des pôles les lignes de champ sont resserrées: le champ y est plus intense.
- Les lignes de champ quittent le pôle nord pour converger vers le pôle sud.



Spectre d'un champ magnétique créée par un aimant en U

Entre les deux branches de l'aimant en U, les lignes de champ sont parallèles et de même sens. Dans cette région le champ magnétique est uniforme.



3. superposition des champs magnétiques.

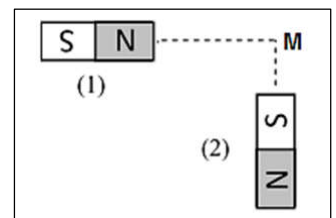
Le champ magnétique $\vec{B}(M)$ créée en M par plusieurs sources est égale à la somme vectorielle des champs magnétiques créés de la part de chaque source ; et on a : $\vec{B}(M) = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$

application:

Considérons deux aimants droits orientés (voir figure). on donne les intensités des champs magnétiques en M créés par les deux aimants :

$B_1 = 20mT$ et $B_2 = 10mT$. trouver les caractéristiques du champ magnétique

total $\vec{B}(M)$ on néglige le champ magnétique terrestre.

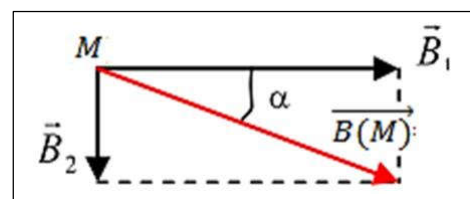


réponse:

Le champ magnétique total est : $\vec{B}(M) = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$

Selon le théorème de Pythagore: $B_M^2 = B_1^2 + B_2^2 = 22.3mT$.

$$\tan \alpha = \frac{B_2}{B_1} = 0.5 \Rightarrow \alpha = 26.6^\circ$$

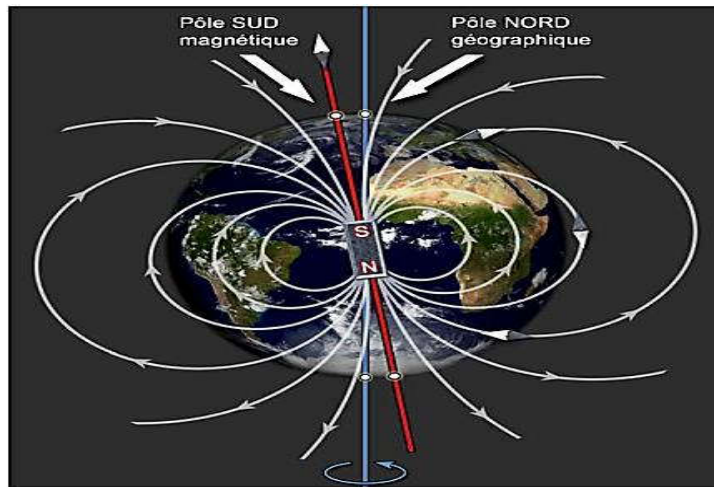


III. champ magnétique terrestre.

Plaçons plusieurs boussoles (ou aiguilles aimantées) dans une région de l'espace loin de toute source apparente de champ magnétique. Nous constatons qu'elles s'orientent toutes suivant la même

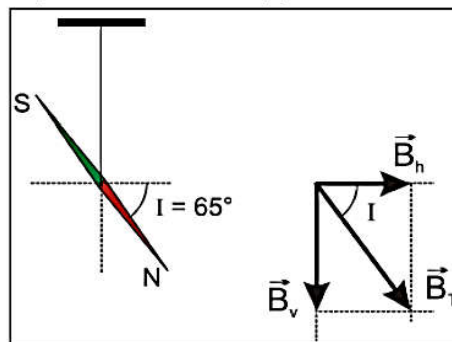
direction. Cette direction particulière est due à la présence dans l'espace d'un champ magnétique: c'est le champ magnétique terrestre \vec{B}_T .

Le champ magnétique terrestre peut-être considéré comme le champ créé par un aimant droit placé au centre de la Terre (en réalité, la magnétosphère est déformée par le vent solaire).



Pôles géographiques et magnétiques de la Terre, ainsi que les lignes de champ du champ magnétique terrestre

- Le méridien géographique est le plan vertical qui contient le point considéré et l'axe nord sud des pôles.
- Le plan du méridien magnétique est le plan vertical contenant la direction du champ magnétique du point considéré.
- L'angle formé par les deux plans s'appelle la déclinaison (D).
- L'angle que fait \vec{B}_T et l'horizontal du point considéré est appelé inclinaison (i).



Le champ magnétique terrestre est la résultante de deux composantes:

- \vec{B}_H : composante horizontale du champ magnétique terrestre au point M.
- \vec{B}_V : composante verticale du champ magnétique terrestre au point M.

$$\vec{B} = \vec{B}_H + \vec{B}_V$$

Exemple: à Paris $i = 65^\circ$ et $B = 4,7 \cdot 10^{-5} T$.

$$B_H = B \cdot \cos(i) \Rightarrow B_H = 4,7 \cdot 10^{-5} \cdot \cos(65) \Rightarrow B_H = 2,0 \cdot 10^{-5} T$$

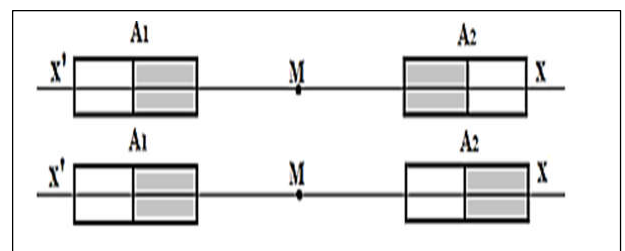
Remarque:

le champ magnétique terrestre se superpose toujours aux champs créés par les autres sources (aimants, courant) devant lesquels il est d'ailleurs souvent négligeable.

Exercice:

La figure ci-dessous montre deux aimants droits A_1 et A_2 sont placés sur l'axe $x'x$. Chacun d'eux crée au point M situé à égale distance des deux sources, un champ magnétique de 20 mT.

- 1) Représenter comment s'oriente une aiguille placée en M.
 - 2) Représenter le vecteur champ magnétique en M, lorsque les deux pôles en regard sont de même nom.
 - 3) Même question lorsque les deux pôles sont de noms différents.
- On désire qu'au point M le champ résultant ait une norme égale à 60 mT.
- 4) Quelle doit être la norme du champ magnétique créé par un 3^{ème} aimant ? (discuter).

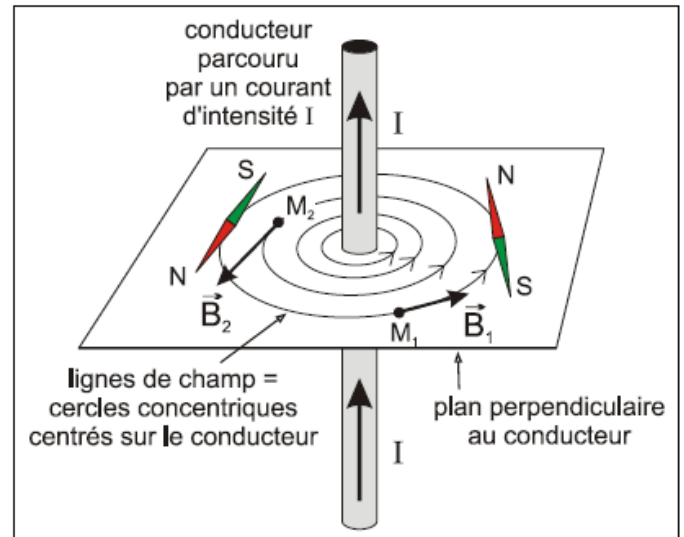


Champ magnétique créé par un courant électrique

I- Champ magnétique créé un fil rectiligne

1- spectre du champ magnétique :


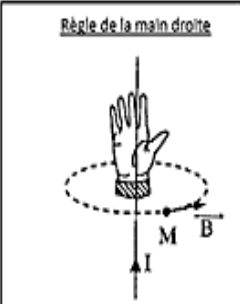
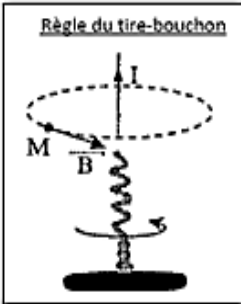
Un fil de longueur infinie parcouru par un courant d'intensité I , crée un champ magnétique dont les lignes de champ sont des cercles concentriques centrés sur le fil et situé dans le plan perpendiculaire au fil.



2- Caractéristiques du vecteur champ magnétique :

Direction : portée par la tangente au cercle du spectre passant par M.

Sens : donné par les règles d'orientation.

a- Règle du bonhomme d'ampère :	b- Règle de la main droite :	c- règle de tire-bouchon :
Lorsqu'un bonhomme d'ampère placé sur le fil, le courant entrant par ses pieds et sortant par sa tête, regarde le point M, son bras gauche indique le sens du champ \vec{B} .	On met la main droite sur le fil et on oriente la <u>pouce</u> de la main droite dans le sens du <u>courant I</u> , les autres doigts indiquent le sens du <u>champ magnétique B</u> sortant des ongles.	Lorsque le tire-bouchon progresse dans le sens du courant, il tourne dans le sens du champ.
		

Intensité : donnée par la relation :

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{d}$$

(T) → (A) (m)

B : intensité du champ magnétique au point M.

μ_0 : perméabilité magnétique du vide (ou de l'aire) sa valeur est $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (S.I)

I : intensité du courant.

$d = OM$: La distance du point M au fil.

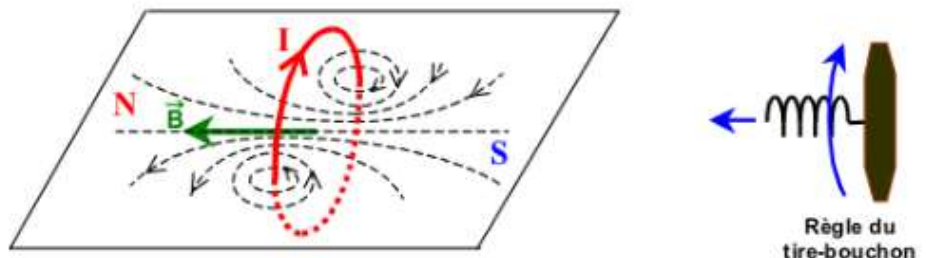
Donc :

$$B = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I}{d}$$

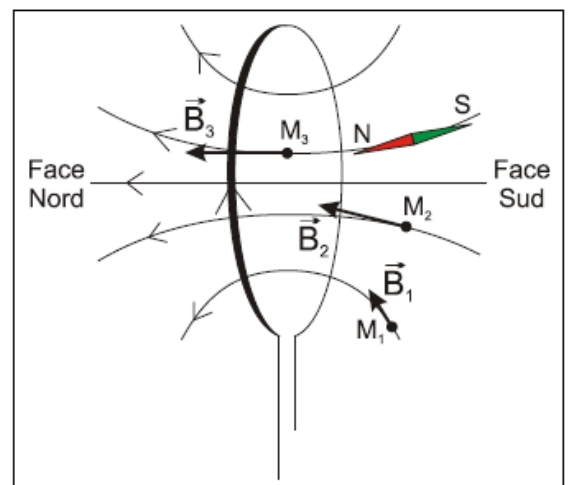
II- Champ magnétique créé par une bobine plate

Une bobine est constituée d'un enroulement de fil conducteur sur un cylindre isolant dont l'épaisseur est petite par rapport à son rayon.

1- Spectre du champ magnétique :



Dans un plan perpendiculaire au plan de la bobine et contenant son centre, les lignes de champ sont des droites rectilignes près du centre et s'incurvent en s'éloignant de celui-ci pour devenir des cercles fermés près des fils conducteurs.

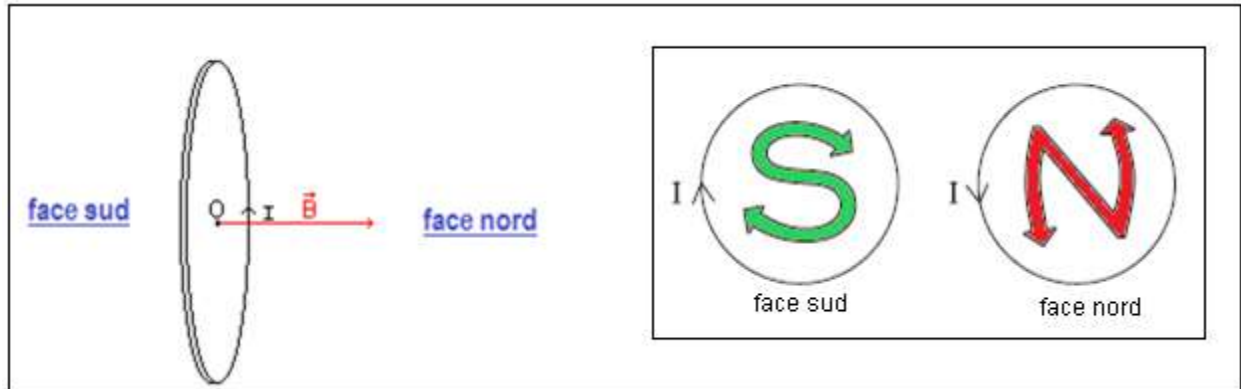


2- sens du vecteur champ magnétique :

Le sens du vecteur champ magnétique est déterminé par la règle du bonhomme d'Ampère ou de la main droite.

La face **nord** de la bobine est la face par laquelle **sortent** les lignes de champ.

La face **sud** de la bobine est la face par laquelle **entrent** les lignes de champ.



On regarde l'une des faces :

- s'il correspond au sens indiqué par la lettre S on regarde sur la face sud.
- s'il correspond à celui indiqué par la lettre N on regarde sur la face nord.

3- Intensité :

L'intensité du champ magnétique créé par une bobine plate de rayon R , contenant N spires et parcouru par un courant continu I en son centre O est :

$$(T) \longrightarrow B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{2 \cdot R} \longleftarrow \begin{matrix} (A) \\ (m) \end{matrix}$$

Avec : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} (S \cdot I)$

III- Champ magnétique créé par un solénoïde

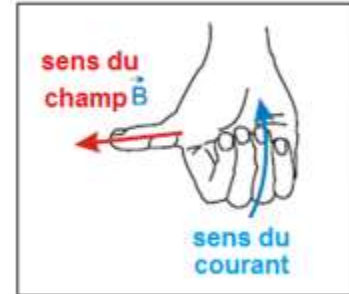
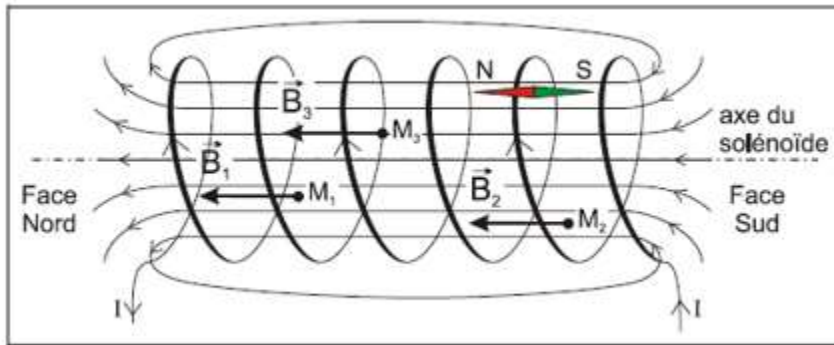
Un solénoïde est constitué d'un fil conducteur enroulé sur un cylindre isolant dont la longueur est très grande.



1- spectre du champ magnétique :

A l'intérieur d'un solénoïde les lignes de champ sont des droites parallèles, le champ est donc le champ est uniforme.

A l'extérieur du solénoïde, le spectre magnétique ressemble à celui d'un aimant droit.

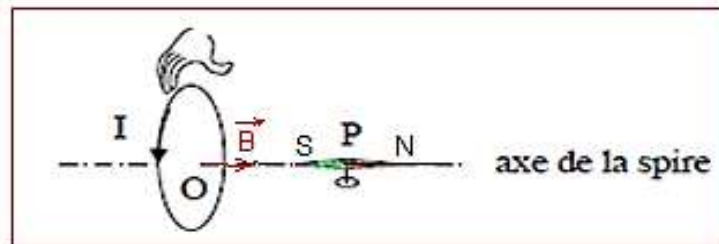


2- sens du vecteur champ magnétique :

Règle de la main droite (valable dans tous les cas) :

Pouce : sens de \vec{B}

Doigts courbés : sens du courant I



3- Intensité du champ magnétique :

A l'intérieur du solénoïde le champ magnétique est uniforme d'intensité :

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I = \mu_0 \cdot n \cdot I$$

μ_0 : perméabilité magnétique du vide $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} (S.I)$

n : densité de spires : $n = \frac{N}{L}$ avec L : longueur du solénoïde et N : nombre de spires.

I : intensité du courant à travers le solénoïde.

Le sens de \vec{B} dépend du sens de I .

Chpitre4 (6*) : champ magnétique crée par un courant électrique (4h-6h*).

S.P: En 1814, le physicien **Danois Oersted** observe que le courant électrique produit par une pile et circulant dans un fil conducteur dévie l'aiguille d'une boussole dans une direction perpendiculaire à celle du courant, cette observation constitue une découverte de l'électro-aimant. Donc le courant électrique crée un champ magnétique dans l'espace qui l'entoure. **Quelles sont les caractéristiques de ce champ magnétique dans un conducteur (fil conducteur, bobine et solénoïde)?**

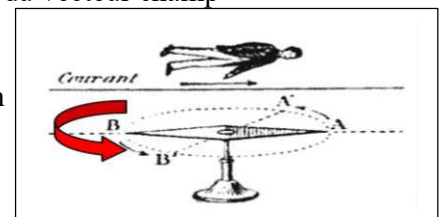
I. champ magnétique d'un conducteur rectiligne.

1. spectre du champ magnétique d'un conducteur rectiligne.

a. activité 1.

On réalise un circuit électrique constitue en série un fil conducteur très long, rhéostat, interrupteur et un générateur de courant continu. Sur une plaque de verre située perpendiculairement au fil on saupoudre de la limaille de fer et on ferme l'interrupteur.

1. décrire les lignes du champ magnétique crée par le courant dans le fil conducteur.
2. à l'aide d'une aiguille aimantée déterminer le sens et la direction du vecteur champ magnétique dans un point M_1 auprès du conducteur.
3. considérons un observateur observe le point M_1 , tel que le courant le traverse de ses pied vers sa tête .vérifier que la main gauche d'observateur détermine le sens de .on appelle cette règle la règle d'Ampère. donner le texte de cette règle.

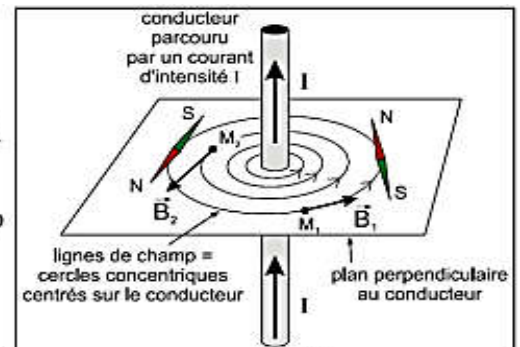


b. exploitation.

1. les lignes de champ sont des cercles concentriques centrés sur le fil et perpendiculaire à lui, l'ensemble de ses lignes constitue le spectre de champ.

2.et 3 Les caractéristiques du champ créé en un point M_1 appartenant au plan π sont les suivantes:

- Direction: celle de la tangente en M_1 à la ligne de champ
- Sens: son sens est donné par plusieurs règles parmi lesquelles le bonhomme d'Ampère (le bras gauche indique le sens de \vec{B}) et la main droite (la paume tournée vers le point où on veut définir le champ, le pouce indique le sens de \vec{B}).



- norme (intensité):voir paragraphe suivante.

2. intensité du champ magnétique d'un conducteur rectiligne.

on a montré qu'en se plaçant à la distance d d'un conducteur rectiligne parcouru par un

courant I , le champ magnétique vaut $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$ ($\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$ SI: perméabilité du vide)

soit : $B = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I}{d}$

3. application.

On place une aiguille aimantée sous un conducteur rectiligne ; distant de lui par $d=2\text{cm}$.ce conducteur existe dans le plan du méridien magnétique (مستوى الزوال المغنطيسي). lorsqu'un courant traverse le conducteur,l'aiguille se dévie d'un angle $\alpha = 20^\circ$.

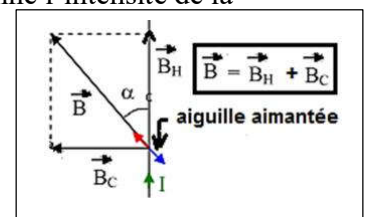
1. déterminer les caractéristiques du champ magnétique crée par le courant dans le conducteur.

2. en déduire le sens et l'intensité du courant I qui traverse le conducteur. On donne l'intensité de la composante verticale du champ magnétique terrestre : $B_h = 2 \cdot 10^{-5} T$

solution:

1. $B_c = B_h \tan \alpha = 7.3 \cdot 10^{-6} T$

2. $I = \frac{B_c \cdot d}{2 \cdot 10^{-7}} = 0.73 A$. Le sens du courant électrique est déterminera par la règle de bonhomme d'Ampère (voir figure).



II. champ magnétique d'une bobine plate circulaire.

1. définition.

Une bobine plate circulaire est constitué d'un fil conducteur enroulé autour d'une cylindre isolante, elle se caractérise par son nombre de spires **N** et son épaisseur **e** qui est très petit devant le rayon **R** de la bobine.

2. spectre du champ magnétique de la bobine.

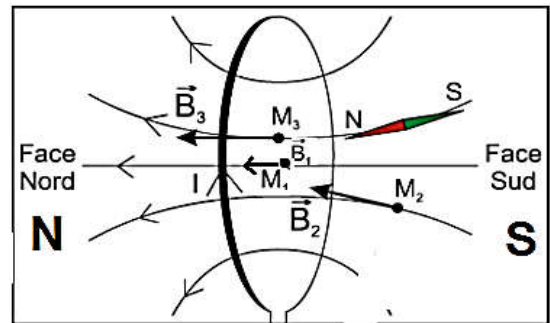
a. activité 2.

On réalise un circuit électrique constitue en série une bobine, rhéostat, interrupteur et un générateur de courant continu. Sur une plaque de verre transparente située perpendiculairement à la bobine on saupoudre de la limaille de fer et on ferme l'interrupteur.

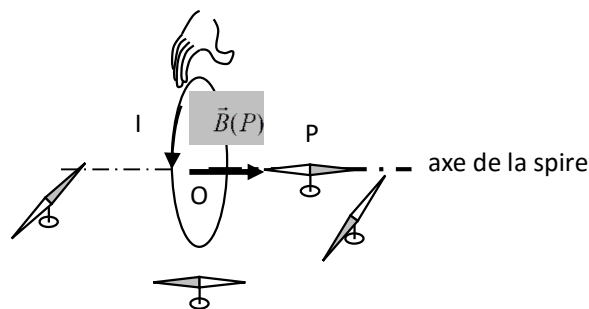
1. décrire les lignes du champ magnétique crée par le courant dans la bobine.
2. à l'aide d'une aiguille aimantée déterminer le sens et la direction du vecteur champ magnétique dans un point M_1 se situe au centre de la bobine.
3. vérifier le sens du vecteur champ magnétique en M_1 par les règles de bonhomme d'Ampère et la main droite.

b. exploitation.

- Les lignes de champ appartiennent au plan π perpendiculaire à la bobine.
- Le sens de \vec{B} est donné par la règle du bonhomme d'Ampère (un bonhomme d'Ampère placé sur la bobine, le courant entrant par ses pieds et sortant par sa tête, indique le sens du champ magnétique par son bras gauche lorsqu'il regarde le centre de la bobine M_1) ou de la main droite. et on verifera les resultats avec une aiguille aimantée .



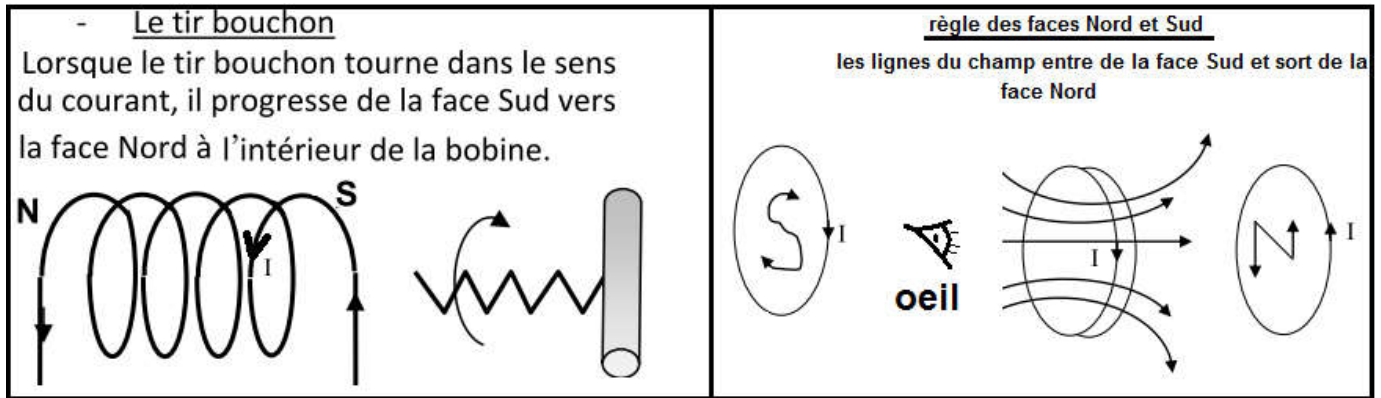
la **règle de la main droite** permet de trouver le sens de $\vec{B}(M)$ (déterminé par le pouce connaissant le sens du courant (autres doigts).



On ressemble une bobine(ou spire) a un aimant droit ; elle a donc deux faces Sud et Nord .comment déterminera les faces de la bobine ?

On détermine les noms des faces d'une bobine par les règles d'orientation selon le sens du courant.

<p>- Le bonhomme d'Ampère</p> <p>Le bonhomme d'Ampère couché sur le fil regarde vers l'intérieur de la bobine. Le courant lui entre par les pieds et sort par la tête. Son bras gauche tendu indique la face Nord.</p> 	<p>- La main droite</p> <p>La main droite disposée dans le sens du courant, la paume tournée vers l'intérieur de la bobine et la face Nord est indiquée par le pouce.</p> 
---	---



3. intensité du champ magnétique au centre de la bobine.

Dans l'activité 2 on mesure l'intensité de \vec{B}_M à l'aide d'un téslamètre et on montre que :
 avec : R rayon de la bobine en (m) ; I l'intensité du courant en(A), n nombre de spires
 et μ_0 pemeabilité du milieu. dans le cas de l'air: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} (S \cdot I)$

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2R}$$

III. champ magnétique d'un solénoïde.

1. définition.

Un solénoïde est une bobine longue dont sa longueur L est supérieure à dix fois son rayon R ($L > 10r$), il se caractérise par sa longueur L ; son rayon R et N son nombre de spires.

2. spectre du champ magnétique d'un solénoïde.

a. activité 3.

Sur une plaque de verre transparente constituant un plan de symétrie pour le solénoïde, on saupoudre de la limaille de fer et alimente le solénoïde par un courant continu.

1. décrire les lignes du champ magnétique à l'extérieur du solénoïde. Quel aimant a le même spectre.
2. quel est la nature du champ magnétique à l'intérieur du solénoïde. justifier.
3. schématiser un solénoïde ; et représenter le sens du vecteur champ magnétique en M_1 située à l'intérieur du solénoïde. vérifier les règles qu'on vues précédemment.

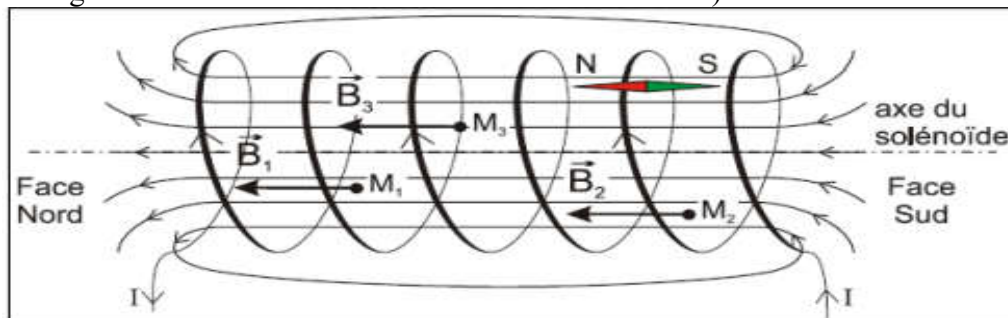
b. exploitation.

1. les lignes de champ a l'intérieur du solénoïde sont des droites parallèles ; tandis que à l'extérieur le spectre observée se ressemble au spectre d'aimant droit.
2. à l'intérieur du solénoïde le champ magnétique est uniforme car les lignes du champ sont des droites parallèles.

definition :

Lorsque dans tout point de l'espace le vecteur champ magnétique garde les mêmes propriétés (sens, direction et intensité) on parle du champ magnétique uniforme.

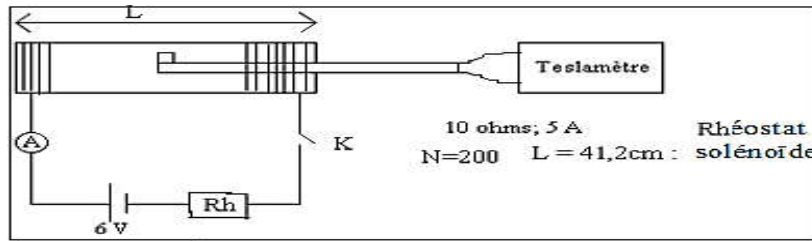
3. on détermine le sens du vecteur champ magnétique à l'aide d'une aiguille aimantée ou en utilisant les règles (bonhomme d'Ampère, main droite, règle des faces Nord et Sud tel que les lignes sortent de la face Sud et entrent de la face Nord).



3. intensité du champ magnétique a l'intérieur d'un solénoïde.

a. activité 4.

Réalisons le montage électrique suivant, et entrons le détecteur de Hall a l'intérieure du solénoïde. lorsque l'interrupteur K est ouvert le teslamètre affiche B=0.



on fixe le nombre de spires par unité de longueur $n = \frac{N}{L} = 485 \text{ spires/m}$ et on mesure l'intensité du vecteur champ magnétique pour différents valeurs de courant électrique (voir tableau ci-dessous).

3.5	3	2.5	1.9	1.5	1	0.5	0	I(A)
2.1	1.8	1.5	1.21	0.85	0.6	0.3	0	B(mT)

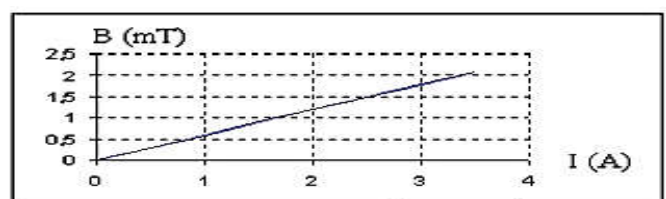
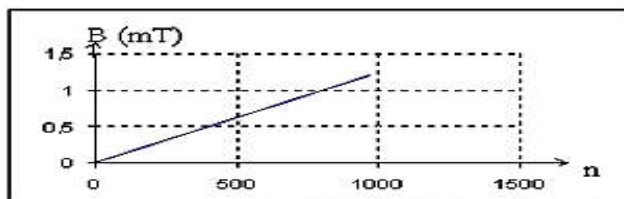
➤ on fixe l'intensité du courant électrique a la valeur $I=1A$ et on mesure l'intensité du vecteur champ magnétique pour différents nombres de spires par unité de longueur du solénoïde(voir tableau ci-dessous).

970	584	0	$n = \frac{N}{L} \text{ en } (\frac{\text{spires}}{\text{m}})$
1.2	0.6	0	B(mT)

1. tracer les courbes des fonctions : $B=f(I)$ et $B=g(n)$
2. démontrer que $B=K.n.I$
3. en déduire l'expression de B a l'intérieure du solénoïde en fonction de n, I et μ_0 .

b. exploitation.

1.



2. du courbe $B=f(I)$ en déduit que $B=K_1.I$ et du courbe $B=g(n)$ en déduit que $B=K_2.n$ on a donc: $B=K.n.I$.

3. d'après la courbe 1 on a : $K_1 = \frac{\Delta B}{\Delta I} = 6.10^{-4} (S.I) \Rightarrow B = \frac{K_1}{n} . n . I$ Or $n = 485$ donc $K = \frac{K_1}{n}$

soit : $K = 1.23.10^{-6} S.I$

on sait que $\mu_0 = 4\pi.10^{-7} (S.I) = 1.25.10^{-6} (S.I)$ finalement $K = \mu_0$

en déduit l'expression de B a l'intérieure du solénoïde: $B = \mu_0 . n . I = \mu_0 . \frac{N}{L} . I$

avec $\left\{ \begin{array}{l} B: \text{Champ magnétique à l'intérieur du solénoïde en teslas (T).} \\ \mu_0 = 4.\pi.10^{-7} S.I \text{ (perméabilité magnétique du vide)} \\ n: \text{nombre de spires par mètre du solénoïde (spires.m}^{-1}\text{).} \\ I: \text{Intensité du courant circulant dans le solénoïde en ampères (A).} \end{array} \right.$

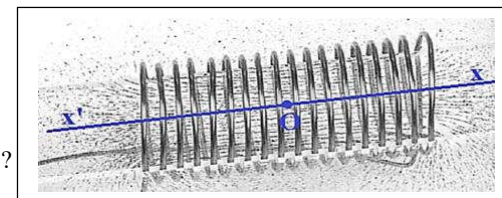
Exercice1:

Calculer l'intensité du courant qu'il faut faire circuler dans un fil de cuivre pour que le champ magnétique à 1cm du fil ait une intensité égale à 1mT.

Exercice2:

Une aiguille aimantée est disposée au point O à l'intérieur d'un solénoïde. En l'absence de courant électrique, la direction horizontale nord-sud de l'aiguille est perpendiculaire à l'axe xx' horizontal du solénoïde. L'aiguille tourne d'un angle $\alpha=30^\circ$ quand un courant d'intensité I circule dans le solénoïde.

- 1) Quelle est en O la direction du champ magnétique terrestre ?
- 2) Déterminer le champ magnétique \vec{B}_0 créé par le solénoïde et le champ magnétique résultant \vec{B} sachant que l'intensité du champ terrestre est de $2.10^{-5} T$
- 3) Déterminer le sens du courant électrique dans le solénoïde. Quelle est la face nord de ce dernier ?
- 4) Quelle est la nouvelle valeur de l'angle α quand $I'=2I$?



Optique

Visibilité d'un objet

I-Condition de visibilité d'un objet:

1) Situation 1:

Lorsqu'un observateur se trouve dans une pièce obscure, il ne voit rien. Pour pouvoir distinguer les objets présents autour de lui, il doit allumer la lumière. Donc la **visibilité** d'un objet nécessite de la **lumière**.

2) Situation 2:

Lorsqu'on place un objet et une bougie allumée dans une boîte à chaussures de carton fermée, on ne voit pas l'objet malgré qu'il est éclairé.

L'objet éclairé par une source de lumière primaire et lui aussi une source de lumière secondaire.

La lumière émise par l'objet éclairé ne peut pas traverser les plaques de carton opaque pour arriver à l'œil de l'observateur.

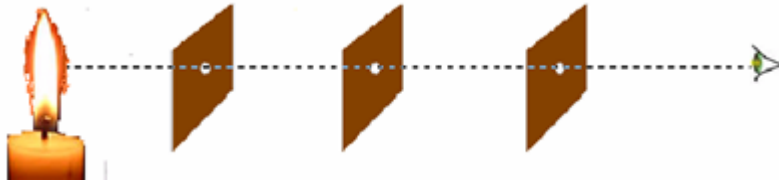
3) Conclusion:

Pour voir un objet, il doit être éclairé et l'œil de l'observateur doit recevoir la lumière diffusée par cet objet.

II-Propagation rectiligne de la lumière:

1)Expérience:

On dispose de trois plaques de carton percées d'un trou et d'une bougie allumée.



Lorsque les trous sont alignés, l'œil observe la lumière de la bougie.

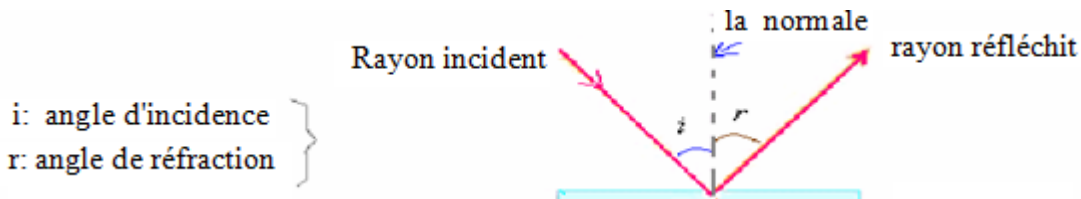
2) Conclusion:

Dans un milieu transparent et homogène la lumière se propage en ligne droite.

III-Réflexion de la lumière:

1) Mise en évidence de la réflexion de la lumière:

Lorsqu'on envoie un faisceau lumineux obliquement sur la surface réfléchissante d'un miroir plan horizontal, il se réfléchit.



i: angle d'incidence

r: angle de réflexion

2) Lois de la réflexion:

1^{ère} loi: Le rayon incident, le rayon réfléchi et la normale au plan réfléchissant se trouvent dans le même plan.

2^{ème} loi: l'angle d'incidence est égale à l'angle de réflexion. ($i=r$).

Vérification expérimentale de la deuxième loi de réflexion:

On place le miroir plan sur le disque gradué comme l'indique la figure suivante:

On envoie un pinceau lumineux plus fin de telle sorte

que le rayon incident arrive au point I et que l'angle

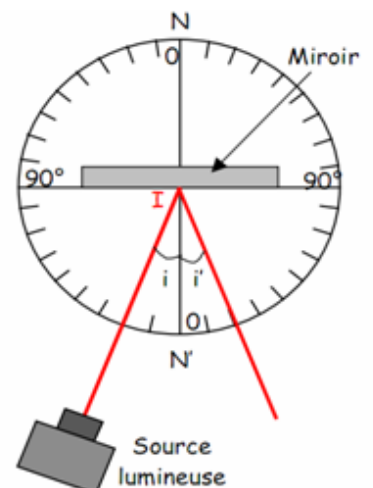
d'incidence soit égal à 10° , puis on mesure l'angle de réflexion

. On recommence l'expérience en faisant varier

l'angle d'incidence de 10° en 10°

i	10	20	30	40	50	60
r	10	20	30	40	50	60

Conclusion : $i=r$



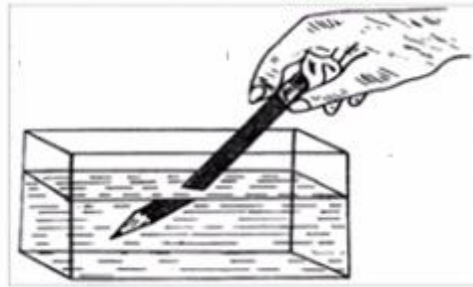
IV-Réfraction de la lumière:

1)Expérience du bâton brisé:

On immerge partiellement un crayon dans un cristalliseur plein d'eau .

Le crayon semble être brisé au niveau de la surface libre de l'eau.

Cette expérience illustre le phénomène de réfraction de la lumière.



2)Définition:

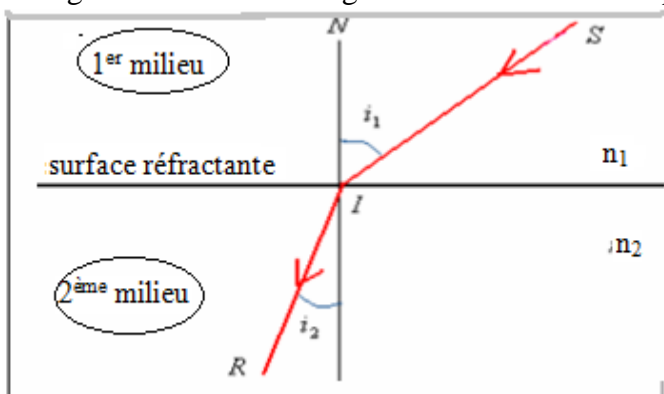
On appelle **réfraction de la lumière**, le changement de direction qu'elle subit lorsqu'elle traverse la surface de séparation entre deux milieux transparents.

3)Lois de Descartes de la réfraction:

1^{ère} loi : Le rayon incident le rayon réfracté se trouvent dans le même plan.

2^{ème} loi: L'angle d'incidence et l'angle de réfraction sont lié par la relation suivante:

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$



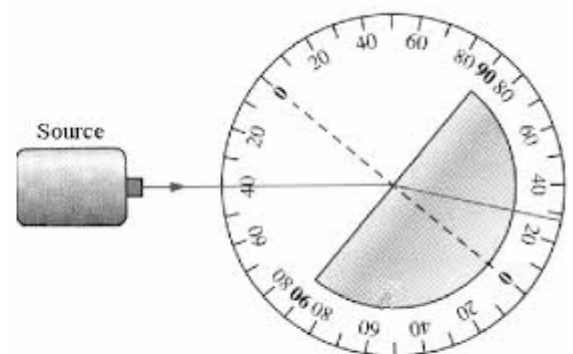
SI: rayon incident
 IR: rayon réfracté
 I: point d'incidence.
 IN: la normale au point d'incidence
 n_1 : indice de réfraction du 1^{er} milieu .
 n_2 : indice de réfraction du 2^{ème} milieu .
 i_1 : angle d'incidence angle de réfraction
 i_2 : angle de réfraction .

3)Vérification expérimentale de la 2^{ème} loi la réfraction:

On utilise dans cette étude un demi disque en verre que l'on place sur le disque gradué et on envoie à l'aide d'une source laser un pinceau lumineux comme l'indique la figure.

Tableau des résultats :

i_1	10	20	30	40	50	60	70	80
i_2								
$\sin i_1$								
$\sin i_2$								
$\frac{\sin i_1}{\sin i_2}$								



est constant, on le note $n_{2/1}$: c'est l'indice de réfraction du milieu 2 par rapport au milieu 1. $\frac{\sin i_1}{\sin i_2}$ On constate que le rapport :

L'indice de réfraction absolu d'un milieu est son indice de réfraction relatif par rapport au vide , on le note n .

Exemple : l'indice de réfraction absolu de l'air est $n_{air}=1$, on l'appelle aussi indice de réfraction de l'air.

:l'indice de réfraction absolu du verre est $n_{verre}=1,5$, on l'appelle aussi indice de réfraction du verre.

(n_1 : indice de réfraction du 1^{er} milieu n_2 indice de réfraction du 2^{ème} milieu). $n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1}$ Donc ;

Dans le cas de l'expérience précédente on a: $n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,5}{1} = 1,5$

Donc : $\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1}$ d'où : $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$ 2^{ème} loi de réfraction

Image formée par un miroir plan

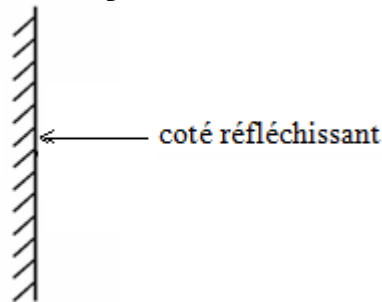
I-Image d'un objet donnée par un miroir plan:

1) Définition d'un miroir plan:

On appelle miroir plan toute surface plane polie et réfléchissante.

Exemples de miroirs plans: plaque de métal plane et polie, surface argentée, plaque en verre plane, surface libre de l'eau..... etc.

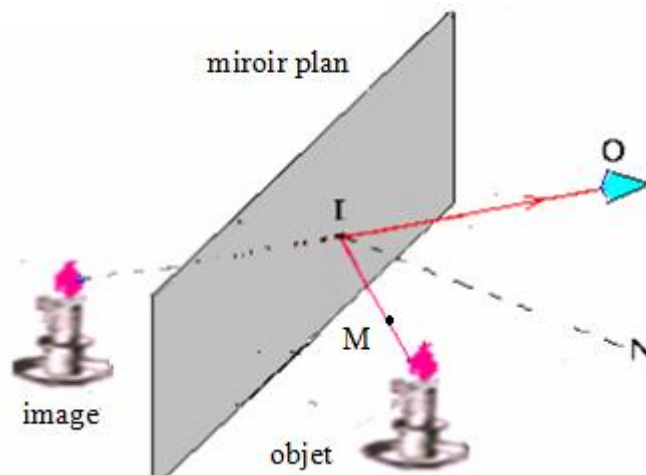
On représente le miroir plan par un trait montrant le plan du miroir dont on hachure le côté non réfléchissant.



2) Expérience des deux bougies:

Dans cette expérience on utilise une plaque de verre jouant le rôle d'un miroir plan et deux bougies identiques.

On fixe la plaque de verre verticalement et on allume l'une des deux bougies que l'on place devant le miroir plan et observe son image à travers le miroir.



On trace la ligne liant les positions de l'objet et celle de l'image puis on mesure la distance (objet –miroir) puis celle (image –miroir). Pour s'assurer que l'image et l'objet ont même taille, on place la deuxième bougie non allumée derrière le miroir et on déplace le miroir jusqu'à ce qu'elle coïncide avec l'image et elle apparaît comme si elle est allumée.

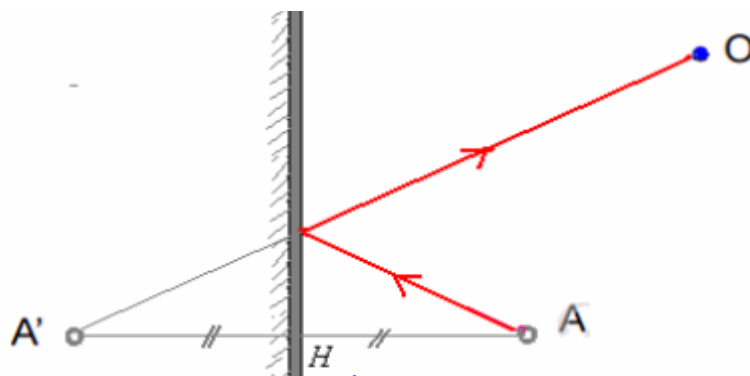
Pour s'assurer que c'est la lumière émise par la bougie objet se trouvant devant le miroir qui se réfléchit sur le miroir et elle semble venir de l'image, on place plaque de papier opaque entre la bougie et le miroir au point M, on n'observe pas l'image ce que explique que la lumière ne vient pas de l'image.

3) L'image donnée par un miroir plan:

Le miroir plan donne d'un objet placé devant lui une image virtuelle identique à l'objet.

Pour déterminer la position de l'image A' virtuelle d'un objet A par rapport à un miroir plan on trace la ligne perpendiculaire au miroir plan et passant par A, soit H le point de rencontre cette ligne avec le miroir. La position de l'image A' est telle que : $HA=HA'$.

Pour déterminer le trajet du rayon lumineux réfléchi sur le miroir vers l'œil de l'observateur, on trace tout d'abord le rayon liant l'œil et l'image, puis on représente le rayon lumineux venant de l'objet et se réfléchissant sur le miroir pour se diriger vers l'œil de l'observateur.



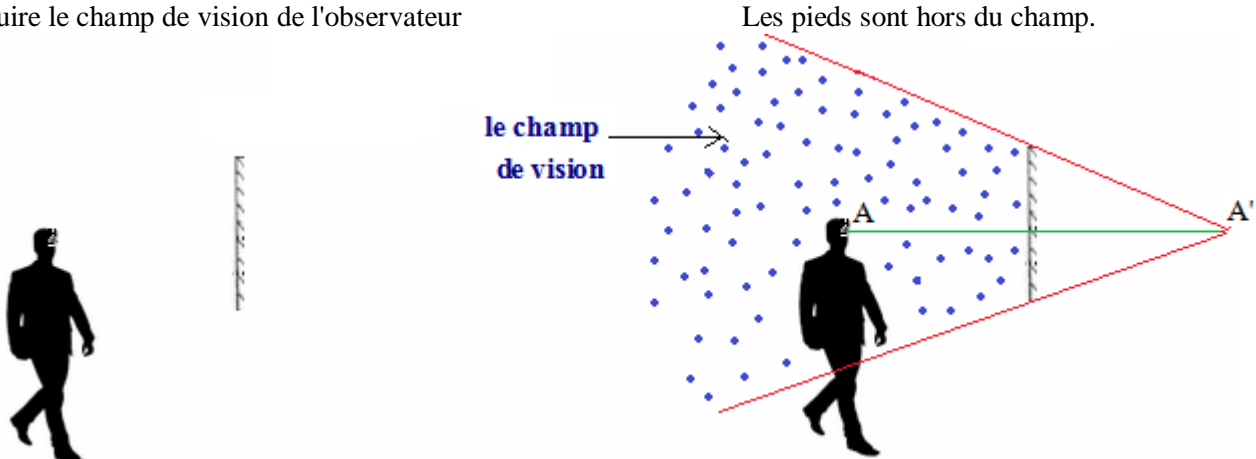
II-Champ de vision d'un miroir plan.

1) Définition du champ de vision d'un miroir:

Le champ de vision d'un miroir est la portion de l'espace observable dans ce miroir. (c'est à dire l'espace que l'observateur peut percevoir en se regardant dans ce miroir).

2) Mise en évidence:

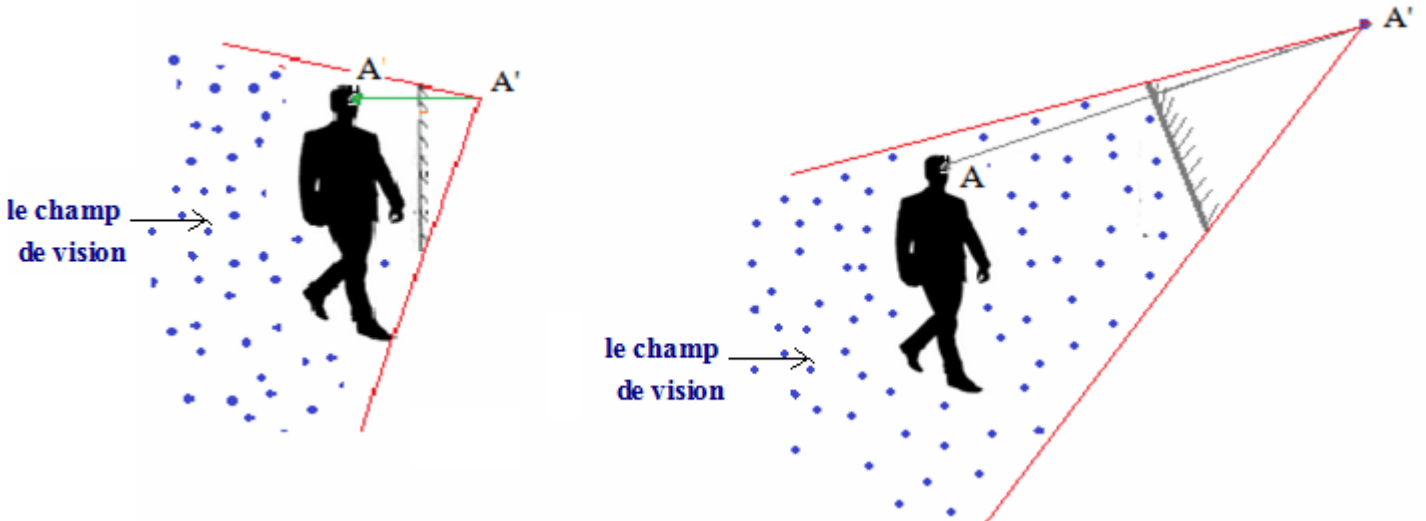
Construire le champ de vision de l'observateur



A; œil de l'observateur

A' : image de l'œil de l'observateur par rapport au miroir plan.

On peut faire augmenter le champ de vision du miroir précédent pour que l'observateur puisse observer ses pieds, soit en approchant l'observateur du miroir ou bien en orientant le miroir (en changeant sa direction).



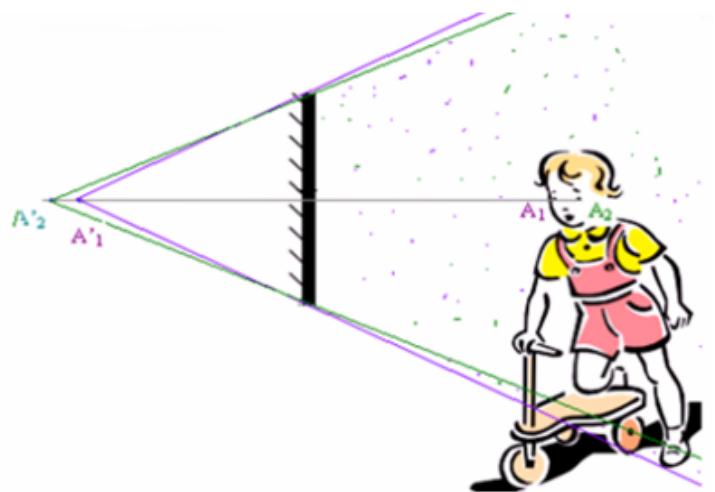
3) Application:

Un enfant avec sa trottinette se regarde dans un miroir.



- 1) Déterminer le champ de vision de l'enfant dans le miroir
- 2) Est-ce que l'enfant peut percevoir la roue d'avant de sa trottinette dans le miroir?

1) Dans ce cas on doit considérer les deux yeux de l'enfant et représenter le champ de vision de chacun d'eux.



2) La roue d'avant se trouve hors du champ de vision des deux yeux de l'enfant ; il ne peut pas la percevoir dans ce miroir.

QUELQUES INSTRUMENTS D'OPTIQUE

Ce chapitre aborde quelques applications courantes de l'optique géométrique.

Prérequis :

- [cours sur les miroirs](#)
- [cours sur les lentilles](#)

L'ŒIL HUMAIN

L'ŒIL NORMAL

L'œil est l'organe de la vision. Il est constitué par une cavité sphérique contenant un corps transparent, l'*humeur vitrée*. La lumière pénètre dans l'œil par un orifice circulaire situé au centre de l'*iris*, la *pupille*. Le *cristallin* constitue avec la cornée et l'humeur aqueuse une lentille qui projette sur la *rétine* une image renversée des objets situés devant l'œil. La rétine est le capteur des informations visuelles qu'elle convertit en message nerveux destiné au cerveau.

Le cristallin est plus qu'une simple lentille. En effet il se déforme pour faire varier sa vergence et ainsi faire la mise au point sur l'objet observé : on dit que l'œil accommode.

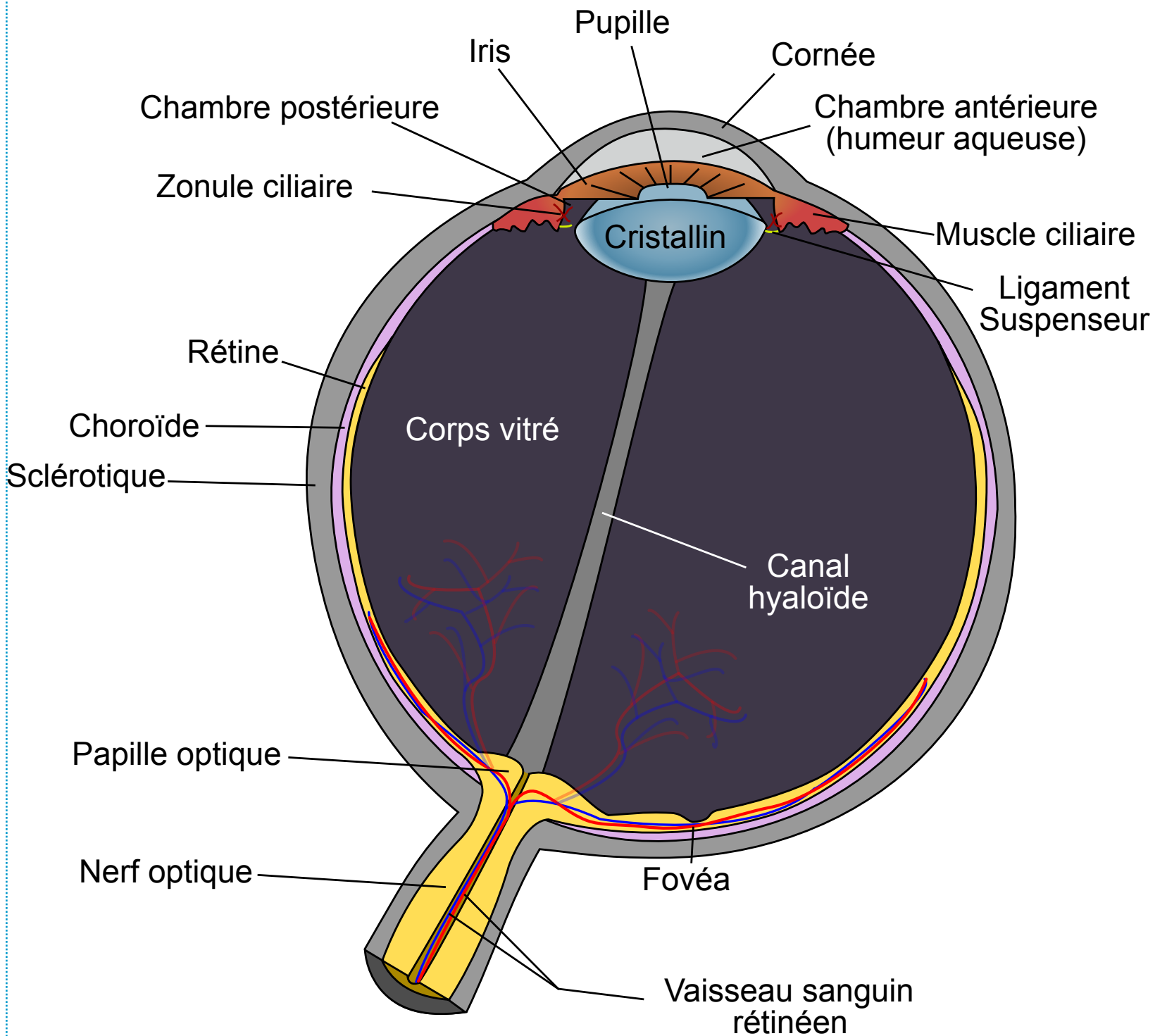
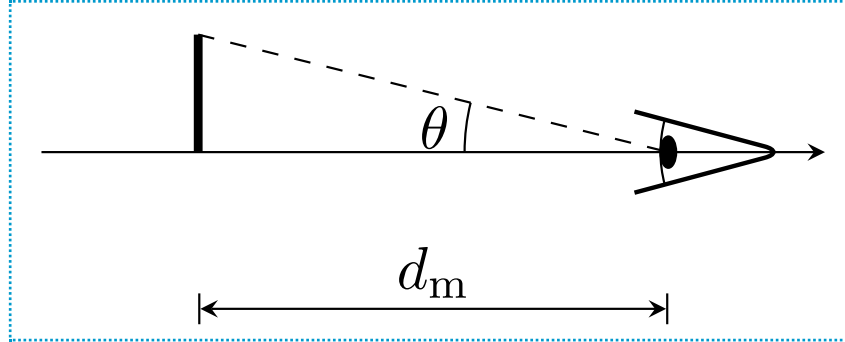


Schéma de l'œil humain. (© [Wikimedia Commons](#) )

Punctum remotum

Un œil normal (dit *emmétrope*) au repos (pas d'accommodation) perçoit une image nette d'un point éloigné à l'infini. Ce point, le plus éloigné pour une vision nette, est appelé *punctum remotum*.

Punctum proximum



Vision au *punctum proximum*.

Le point le plus proche qui puisse être vu nettement est le *punctum proximum*. Pour un jeune adulte, le *punctum proximum* est situé à une distance $d_m \approx 20 \text{ cm}$.

Ainsi un maximum de détail est perçu si l'objet est placé au *punctum proximum*. Un détail de dimension h est vu sous un angle maximum (on considère un petit objet de telle sorte que θ est petit)

$$\theta \simeq \frac{h}{d_m}$$

Pouvoir de résolution

La rétine est pavée de nombreuses **cellules** qui jouent le même rôle que les pixels d'un capteur d'appareil photo. La différence réside dans le fait que la répartition n'est pas homogène : la densité de cellules est plus importante au centre d'où un maximum d'acuité visuelle au **centre**. Lorsque deux points lumineux donnent lieu à deux images ponctuelles reçues par la même cellule, ces deux images ne sont pas distinguées mais au contraire perçues comme un point unique. On retiendra qu'un œil normal arrive à distinguer deux points lumineux séparés de 1mm à la distance de 3m ce qui correspond à un **pouvoir de séparation angulaire**

$$\theta_{\min} = 1' \text{ d'arc} = 1/60^\circ$$

En France, on dit que l'œil normal a une acuité visuelle de 10 dixième.

QUELQUES DÉFAUTS DE L'ŒIL

Le fonctionnement de l'œil peut présenter quelques anomalies par rapport à l'œil emmétrope. Citons en quelques une :

- **Myopie** : anomalie de l'œil dans laquelle l'image d'un objet éloigné se forme en avant de la rétine. L'œil est trop convergent. On peut corriger la myopie en plaçant devant l'œil une lentille divergente.
- **Hypermétropie** : anomalie de l'œil dans laquelle l'image d'un objet éloigné se forme en arrière de la rétine. L'œil n'est pas assez convergent. En plaçant une lentille convergente adaptée on corrige l'hypermétropie.
- **Astigmatisme** : anomalie de l'œil dans laquelle un même point d'un objet donne un tache image. La cornée de l'œil a une forme irrégulière, la vision des objets est déformée.

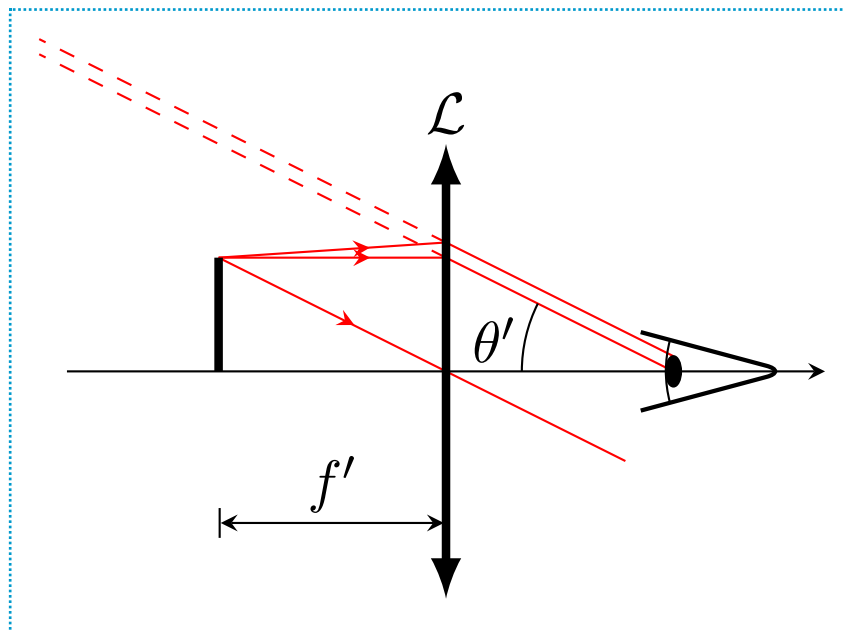
L'astigmatisme rend notamment la lecture difficile.

- **Presbytie** : La presbytie n'est pas à proprement parler une anomalie de l'œil, il s'agit d'un vieillissement normal du cristallin qui l'empêche d'accommoder de manière satisfaisante. Le punctum proximum s'éloigne avec l'âge.

LA LOUPE

L'invention de la loupe se perd dans la nuit des temps et il est difficile d'attribuer un inventeur de la loupe. Par exemple Sénèque (4 av. JC, 65 ap. J.C) notait déjà que : "une écriture mince et embrouillée paraît plus grosse et plus distincte à travers une boule remplie d'eau".

PRINCIPE D'UNE LOUPE



La loupe est un instrument d'optique simple puisqu'elle se compose d'une seule lentille convergente. Son intérêt est double :

1. Elle permet de ne pas faire travailler l'œil ;
2. Chaque détail est vu sous un angle plus grand ; on dit qu'il y a *grossissement* (à ne pas confondre avec le grandissement).

La loupe se place de telle sorte que l'objet soit dans le plan focal objet de la lentille, ainsi la loupe en donne une image virtuelle à $-\infty$. Cette image virtuelle est donc vue par un œil normal sans accommoder.

GROSSISSEMENT D'UNE LOUPE

DÉFINITION

Le grossissement G d'un appareil est défini par

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

où θ' est l'angle sous lequel on voit un détail dans l'image alors que θ est

l'angle maximum sous lequel l'œil nu peut le voir.

Ici l'image est virtuelle et vu à l'infini sous l'angle

$$\theta' = \frac{h}{f'}$$

alors qu'un œil nu verrait ce détail sous l'angle

$$\theta = \frac{h}{d_m}$$

Ainsi, une loupe présente un grossissement

$$G = \frac{d_m}{f'}$$

On aura donc intérêt à choisir une lentille de petite focale si l'on veut un fort grossissement. Dans le commerce, on indique les grossissements en prenant $d_m = 25 \text{ cm}$. Par exemple une loupe de grossissement commercial $G_c = 5$ présentera une focale $f' = 5 \text{ cm}$.

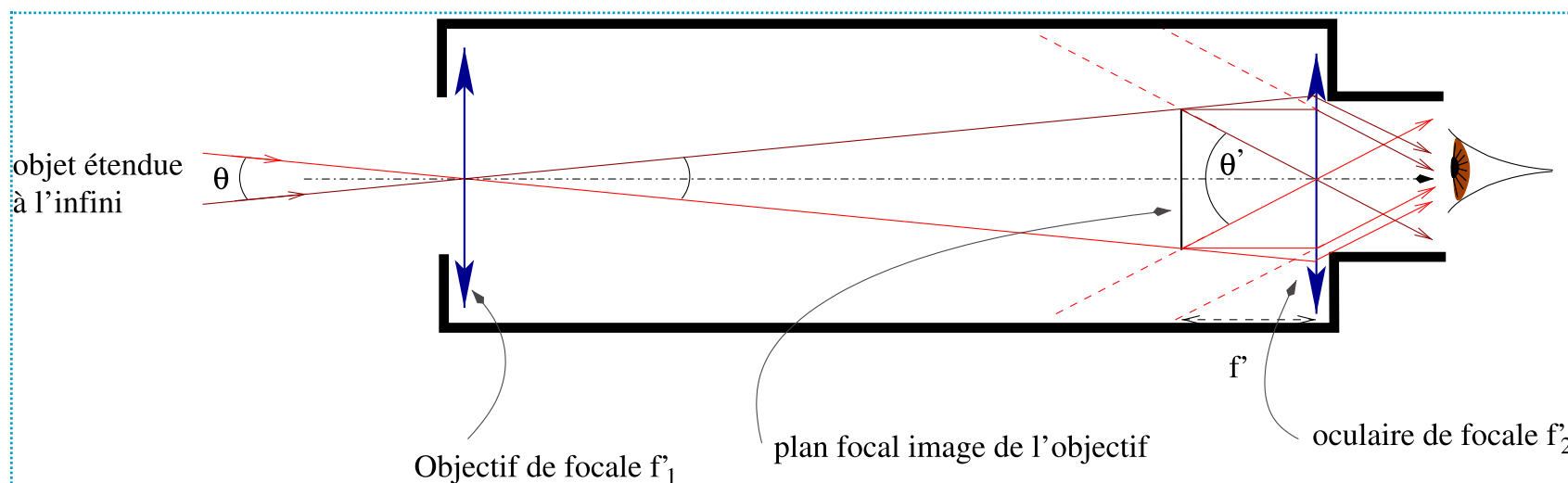
LA LUNETTE ASTRONOMIQUE

La lunette astronomique permet d'observer les détails d'objets lointains (considérés à l'infini) ; son invention est probablement due à un artisan opticien hollandais, Hans Lippershey (1570-1619) à la fin du XVI siècle.

PRINCIPE DE LA LUNETTE ASTRONOMIQUE

Dans son principe, la lunette est constituée de deux parties :

1. Un objectif dont le rôle est de ramener l'image d'un astre sur Terre. L'objectif est une lentille convergente de grande focale f_1' qui projette l'astre dans son plan focal.
2. Un oculaire qui joue le rôle d'une loupe. L'oculaire permet de grossir l'image que donne l'objectif.



La lunette donne donc d'un objet considéré à l'infini, une image virtuelle à l'infini. Le système ne présente donc pas de foyer (ses foyers sont à l'infini) : on dit que la lunette est *afocale*. Pour qu'il en soit ainsi, il suffit de placer le foyer image de l'objectif dans le plan focal objet de l'oculaire. L'encombrement d'une lunette vaut donc $\ell = f_1' + f_2'$.

Le disque oculaire

Une construction des rayons entrant dans la lunette montre que le faisceau sortant se présente sous la forme d'un tube dont le diamètre rétrécit puis augmente. La zone où le diamètre est minimum est appelé *disque oculaire*. L'étude des rayons permet de montrer que **le disque oculaire est l'image de la pupille d'entrée (entrée de l'objectif) par l'oculaire**. On aura intérêt à placer son œil dans le cercle oculaire pour recevoir le maximum de lumière.

Quelques inconvénients

La lunette présente quelques défauts. Pour une observation précise, il faut une optique irréprochable (les aberrations géométriques et chromatiques doivent être corrigées). De plus, pour avoir un fort grossissement il faut un objectif de grande focale, d'où un encombrement important. Le télescope (instrument d'observation des astres construit à partir de miroirs) présente l'avantage de produire des grossissements supérieurs avec moins d'aberrations et moins d'encombrement.

GROSSISSEMENT

Si l'on note θ le diamètre apparent de l'astre, c'est-à-dire l'angle sous lequel est vu l'astre depuis la Terre, on a

$$\theta \simeq \frac{h}{f_1'}$$

avec h la taille de l'image intermédiaire. L'image est virtuelle vue sous l'angle

$$\theta' = \frac{h}{f_2'}$$

Le grossissement de la lunette vaut alors

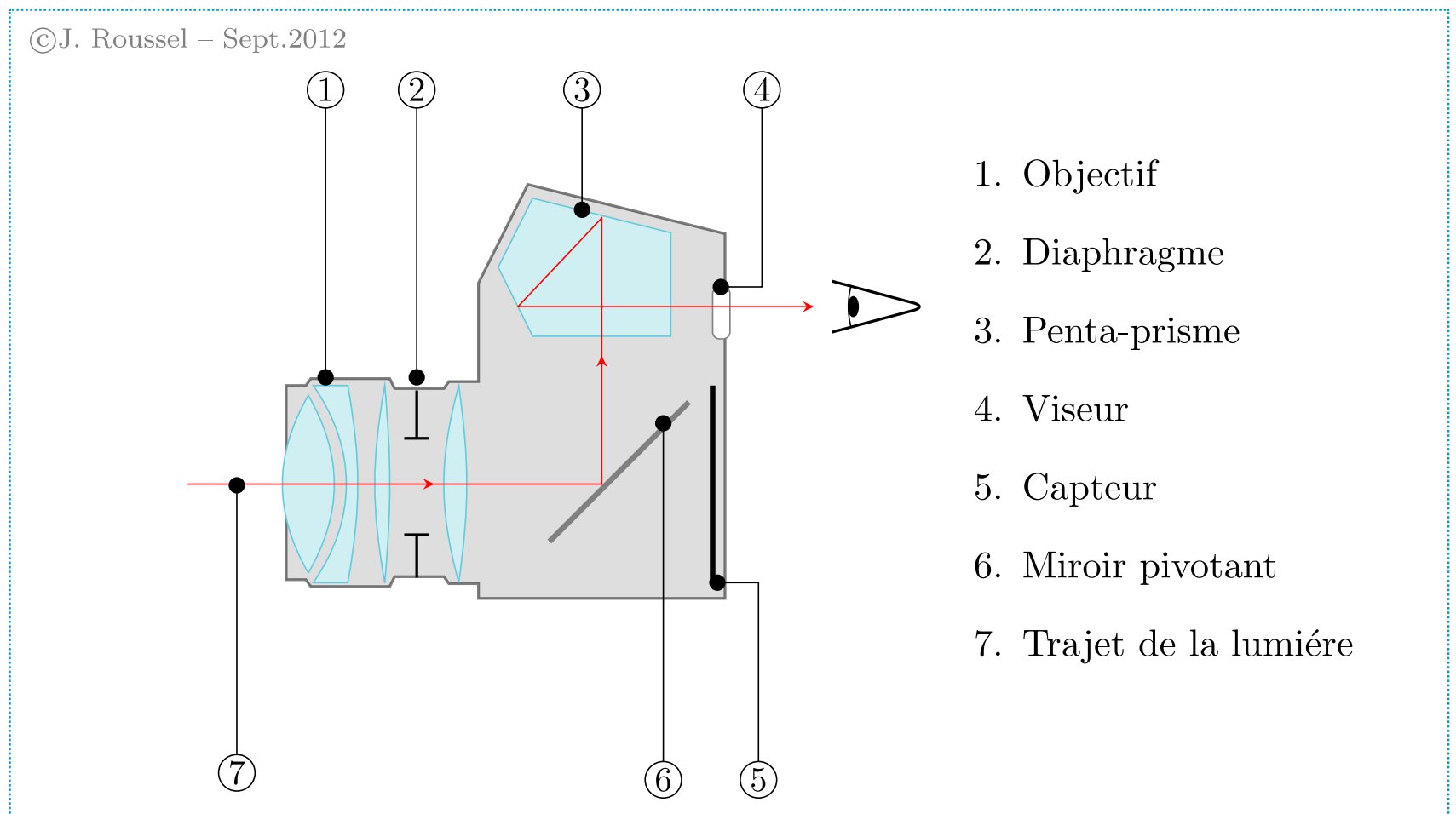
$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{f_1'}{f_2'}$$

On aura donc un fort grossissement si $f_1' \gg f_2'$, ce qui explique qu'une lunette puissante

est forcément encombrante. Par exemple pour la lunette *Lunar 70 800* on a $f_1' = 800 \text{ mm}$ et $f_2' = 4 \text{ mm}$ d'où un grossissement $G = 200$.

L'APPAREIL PHOTOGRAPHIQUE RÉFLEX

PRINCIPE DU RÉFLEX



Description.

L'appareil photo Réflex est constitué de trois éléments :

1. **L'objectif.** C'est par là que rentre la lumière. La quantité de lumière est contrôlée par un diaphragme de rayon variable R . L'objectif est un système centré convergent contenant plusieurs lentilles. Dans un souci de simplification, on réduira ce système à une lentille mince convergente de focale f' .
2. **Le miroir et le pentaprisme.** La lumière venant de l'objectif est réfléchiée (reflex) par un miroir puis par un penta-prisme permettant de redresser l'image que voit le photographe à travers le viseur.
3. **Le capteur.** Lors du déclenchement, le miroir pivote pour laisser passer la lumière qui arrive alors sur un film photosensible s'il s'agit d'un appareil argentique, ou d'un capteur CCD s'il s'agit d'un Réflex numérique.

La mise au point consiste à déplacer l'objectif par rapport au capteur de façon à conjuguer un certain plan objet avec le capteur. En fonction de la quantité de lumière rentrante, le temps de capture est calculé. Un long temps de capture (en général au dessus de $1/30 \text{ s}$) nécessitera l'utilisation d'un pied si l'on veut éviter le "flou de bougé" ; pour fixer une image d'un objet en mouvement il est crucial d'avoir un court temps de capture.

Appelons d_o la distance objet-lentille et d_i la distance lentille-capteur. Pour faire l'image d'un

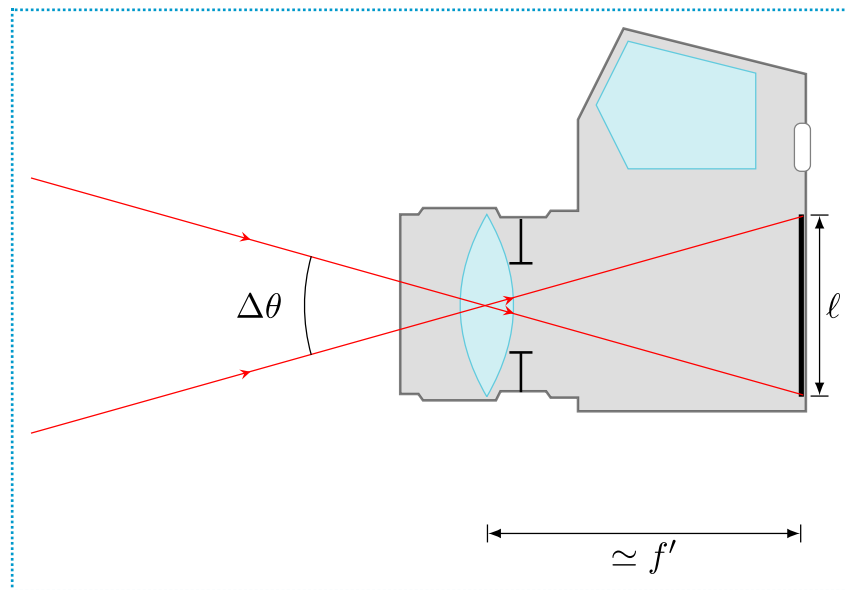
objet à photographier sur le capteur il faut vérifier

$$\frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o} = \frac{1}{f'}$$

En général, la focale est de l'ordre de quelques cm alors que d_o est de l'ordre du mètre de sorte que dans la plupart des situations courantes, on a

$$d_o \gg f' \Rightarrow d_i \simeq f'$$

CHAMP ANGULAIRE D'UN APPAREIL PHOTO



Champ angulaire d'un appareil photo.

Le champ angulaire $\Delta\theta$ correspond au champ de vision de l'objectif. On définit un champ angulaire horizontal et vertical.

Supposons l'appareil réglé à l'infini de sorte que le capteur est placé dans le plan focal image de l'objectif. Appelons ℓ la dimension du capteur (en largeur ou en hauteur). C'est cette quantité qui limite l'angle de vue de l'appareil photo. En effet, on a

$$\tan \frac{\Delta\theta}{2} = \frac{\ell}{2f'}$$

On voit donc qu'adopter un objectif de grande focale diminue le champ de vision (et agrandit l'image). On note aussi qu'adopter un petit capteur impose des objectifs de petite focale à champ angulaire constant : c'est la stratégie des compacts numériques.

EXEMPLES

Champ angulaire de différents appareils.

- Appareil argentique avec un film 24×36 mm et un objectif de 35 mm de focale : on trouve

$$\Delta\theta_h = 54^\circ \quad \text{et} \quad \Delta\theta_v = 38^\circ$$

- Compact numérique équipé d'un capteur de $7,18 \times 5,32$ mm et doté d'une focale 7,4 mm (caractéristiques du Canon G7) : on trouve

$$\Delta\theta_h = 52^\circ \quad \text{et} \quad \Delta\theta_v = 33^\circ$$

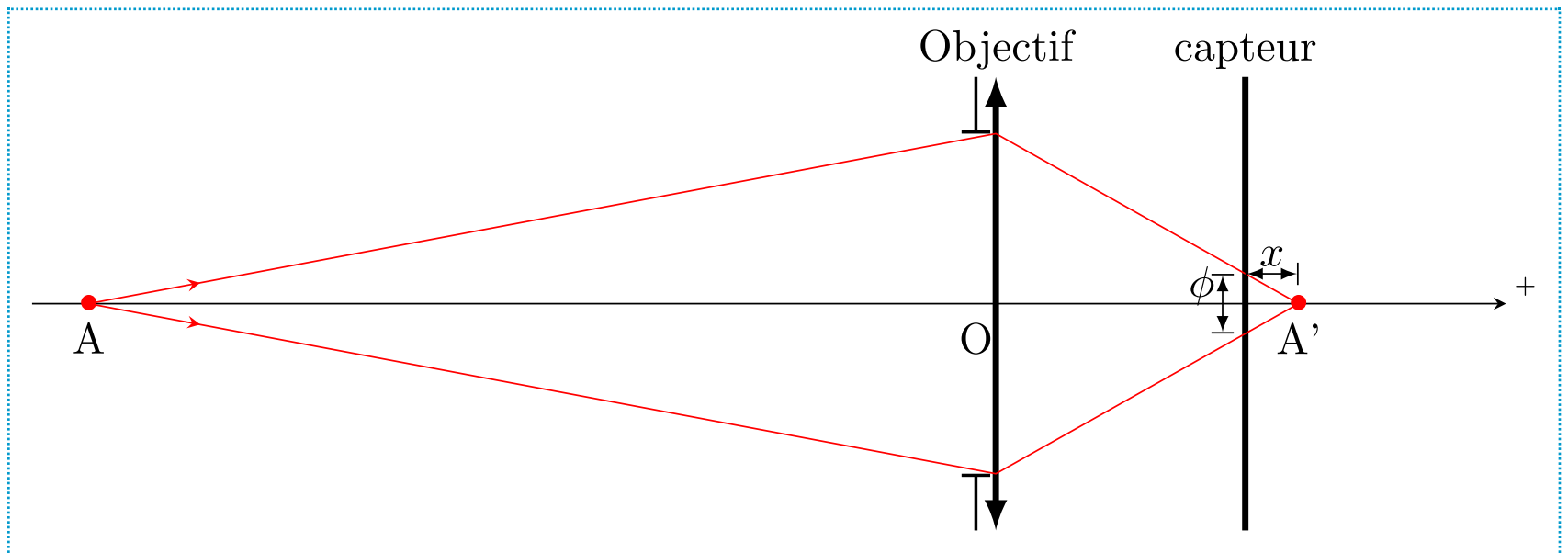
Autrement dit, ce compact possède un champ de vision similaire à un objectif 35 mm sur un Réflex.

- Téléobjectif de 135 mm de focale en 24×36 : on trouve

$$\Delta\theta_h = 15^\circ \quad \text{et} \quad \Delta\theta_v = 10^\circ$$

PROFONDEUR DE CHAMP

Cette notion joue un rôle importante dans la prise de vue photographique. Il s'agit de la longueur de l'intervalle dans lequel tout objet donne une image que l'on peut considérer net. On considère généralement qu'une tache sera perçue comme un point si son diamètre ϕ est inférieur à $\phi_0 = 100 \mu\text{m}$.



Supposons qu'un point A ait pour image A' situé à la distance algébrique x du capteur. Se formera alors sur le capteur, une tache de diamètre ϕ donné par le théorème de Thalès :

$$\frac{\phi}{2R} = \pm \frac{x}{OA'}$$

Si l'on fait l'approximation $OA' \simeq f'$, on en déduit que l'intervalle de netteté dans le plan image vaut

$$\Delta' = 2|x| \simeq \frac{f' \phi_0}{R}$$

Cet intervalle est associé à un intervalle de netteté Δ dans le plan objet dont la dimension s'obtient à l'aide du grandissement longitudinal :

$$\frac{\Delta'}{\Delta} = \gamma_\ell$$

Rappelons que pour une lentille, le grandissement longitudinal est relié au grandissement transversal

$$\gamma_\ell = \gamma_t^2 = \left(\frac{OA'}{OA} \right)^2 \simeq \frac{f'^2}{OA^2}$$

In fine, l'intervalle de netteté objet, dite *profondeur de champ*, vaut

$$\Delta \simeq \phi_0 \frac{OA^2}{Rf'}$$

Que nous dit ce résultat ?

1. La profondeur de champ augmente quand la focale diminue. Ainsi, les appareils numériques compacts donnent des photos avec une grande profondeur de champ ce qui est intéressant pour «*faire du paysage*» mais l'est moins pour du portrait.
2. La profondeur de champ augmente lorsque la distance de mise au point augmente.
3. On peut jouer sur la profondeur de champ en agissant sur l'ouverture. Réduire l'ouverture augmente la profondeur de champ. En effet, lorsque l'on réduit le diamètre du diaphragme d'ouverture, on réduit du même coup le diamètre ϕ de la tache sur le capteur.

EXEMPLES

Calcul de la profondeur de champ pour un objet situé à 10 m.

- Téléobjectif de 135 mm de focale et une ouverture $N = f'/R = 2,8$:

$$\Delta = 10^2 \times \frac{2,8 \times 100.10^{-6}}{0,135^2} = 1,5 \text{ m}$$

- Compact numérique de focale 7,4 mm de même ouverture :

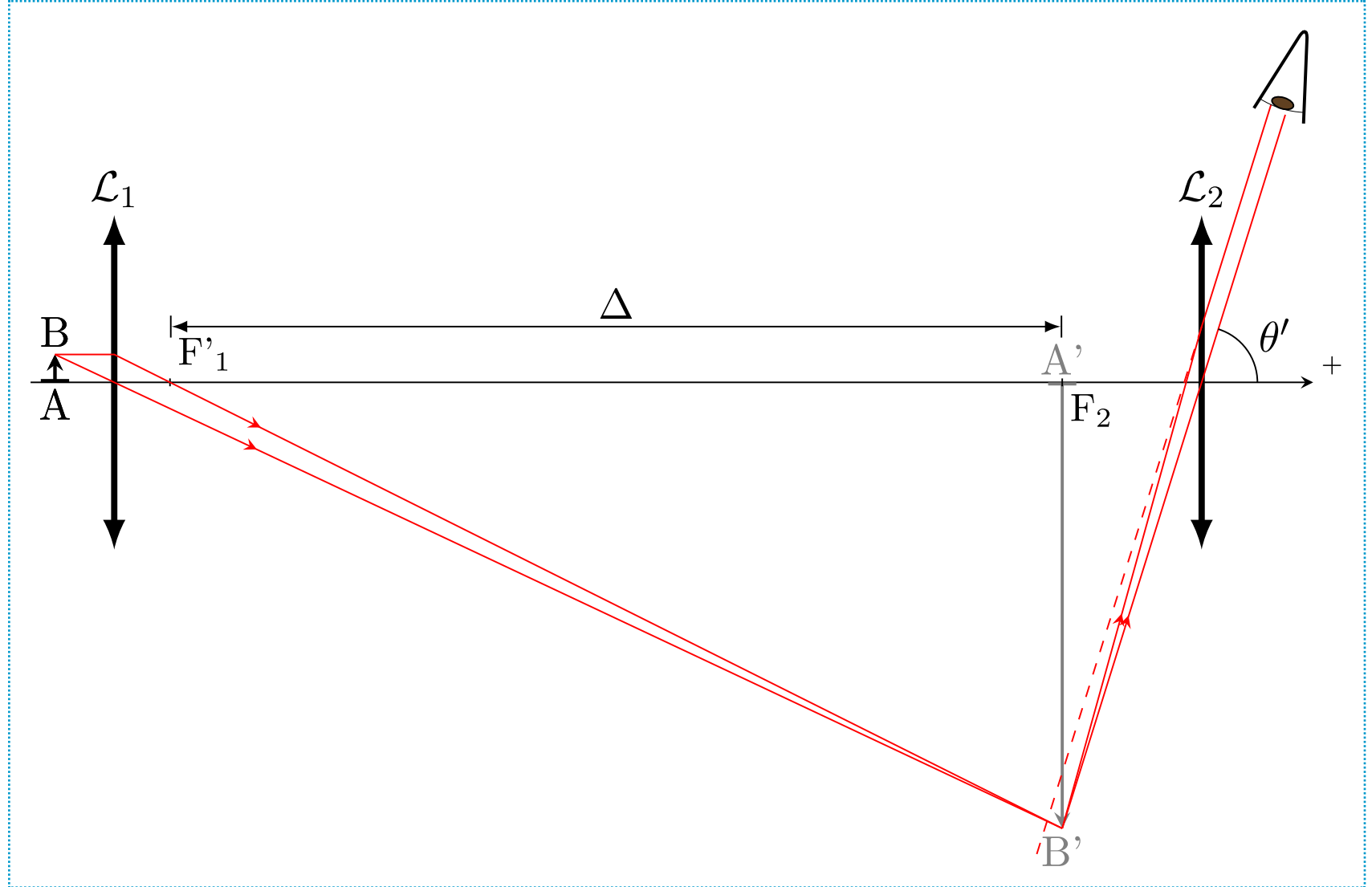
$$\Delta = 10^2 \times \frac{2,8 \times 100.10^{-6}}{0,0074^2} = 510 \text{ m}$$

LE MICROSCOPE

PRINCIPE DU MICROSCOPE

Le microscope, à l'instar de la lunette astronomique, se compose de deux éléments :

- Un objectif convergent dont le rôle est d'agrandir l'objet observé. Pour cela on cherchera à rapprocher l'objet du plan focal objet de l'objectif.
- Un oculaire qui se comporte comme une loupe et qui permet de grossir l'image intermédiaire.



Principe du microscope.

Par construction, l'objectif et l'oculaire sont solidaires dans un tube que l'on peut translater minutieusement à l'aide d'une molette. On note $\Delta = F'_1 F_2$, l'**intervalle optique**.

Le réglage consiste à placer l'objet suffisamment proche du plan focal objet afin que l'image se forme dans le plan focal objet de l'oculaire. Ce dernier en donne alors une image à l'infini évitant à l'œil un effort d'accommodation. La construction des rayons montre que l'image virtuelle est retournée par rapport à l'objet étudié.

Limitations

À cause du phénomène de diffraction, on ne peut pas voir des détails de l'ordre de $\lambda \simeq 0,5 \mu\text{m}$ dans le domaine visible. Pour observer des détails plus petits il faut utiliser des ondes de longueur d'onde plus courtes. C'est le principe du microscope électronique qui utilise des faisceaux électroniques dont la longueur d'onde associée est donnée par la relation de DeBroglie

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (\text{dualité onde-corpuscule})$$

et permet d'obtenir des résolutions allant jusqu'à mille fois celle d'un microscope optique.

GROSSISSEMENT

La propriété essentielle d'un microscope est son grossissement. Calculons son grossissement dit **grossissement commercial** en considérant un punctum proximum

standard de 25 cm.

L'angle maximum sous lequel un œil normal standard peut voir l'objet AB vaut, dans l'approximation des petits angles,

$$\theta = \frac{AB}{d_m}$$

Alors que l'image virtuelle finale, située à l'infini, est vue sous l'angle

$$\theta' = \frac{A'B'}{f_2'}$$

De sorte que le grossissement commercial vaut

$$G_c = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{A'B' d_m}{AB f_2'} = |\gamma_t| \times G_{oc} \quad (1)$$

où l'on reconnaît le grandissement transversale de l'objectif $|\gamma_t| = A'B'/AB$ ainsi que le grossissement de l'oculaire G_{oc} . Le grandissement de l'objectif est lié à l'intervalle optique puisque

$$|\gamma_t| = \frac{\overline{F_1'A'}}{f_1'} = \frac{\Delta}{f_1'} \quad \Rightarrow \quad G_c = \frac{\Delta d_m}{f_1' f_2'}$$

💡 Remarque

La valeur de $|\gamma_t|$ est gravée sur l'objectif, celle de G_{oc} sur l'oculaire, d'où l'utilité de la relation (1). Par exemple, un microscope muni d'un objectif x16 et d'un oculaire x10 possède un grossissement commercial

$$G_c = 10 \times 16 = 160$$

Expansion de la chimie organique

DELAHI MOHAMED (SM)

1) Qu'est ce que la chimie organique ?

1-1/ Définition :

La chimie organique est la branche de la chimie qui étudie les molécules à base de carbone, appelées composés organiques d'origine naturelle ou produits par synthèse.

Elle s'oppose à la chimie minérale, qui étudie les composés issus du monde minéral (roches, océans et atmosphère).

1-2/ Histoire de la chimie organique:

Au 18^{ième} siècle, le chimiste français Lavoisier montre que les molécules organiques sont formées à partir d'un nombre restreint d'éléments chimiques : le carbone C, l'hydrogène H, parfois l'oxygène O, l'azote N, et aussi le soufre S, le chlore Cl...

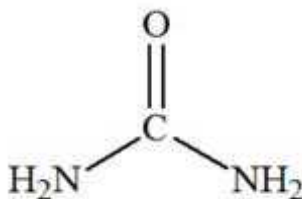
Depuis l'Antiquité, on utilise l'écorce de saule pour ses vertus curatives. Au XVIII^{ème} siècle, Edward Stone trouve un protocole expérimental permettant d'extraire du saule blanc le composé efficace contre la fièvre, qu'il baptise salicyline.

Cependant, ce composé provoque des brûlures d'estomac. On retrouve ce composé dans la reine-des-prés, appelée également Spireaulmaria, d'où le nom d'aspirine.

A l'aide d'une réaction chimique, on transforme l'acide salicylique du saule en acide acétylsalicylique grâce à une estérification du groupe alcool par de l'anhydride acétique en milieu acide. L'acide acétylsalicylique possède les vertus antalgiques, antipyrétiques et anti-inflammatoires de l'acide salicylique, sans les brûlures d'estomac.



L'urée naturelle, découverte en 1773 par Hilaire Rouelle, est formée dans le foie lors du cycle de l'urée à partir de l'ammoniac provenant de la dégradation des acides aminés. Il est éliminé par l'urine. Sa synthèse en 1828 par Friedrich Wöhler a provoqué une révolution en démontrant qu'il est possible de synthétiser un composé organique, en dehors d'un organisme vivant. Cette expérience marque le début de la chimie organique et la fin de la théorie de la force vitale.



LA FORMULE DE L'UREE

Donc le but de la chimie organique est de comprendre les réactions chimiques, et de pouvoir créer de nouvelles molécules, dont on maîtrise les effets (pour les médicaments par exemple).

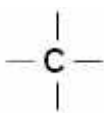
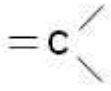


2) Comment l'atome de carbone établit-il des liaisons avec d'autres atomes ?

2-1/ Tétravalence de l'atome du carbone:

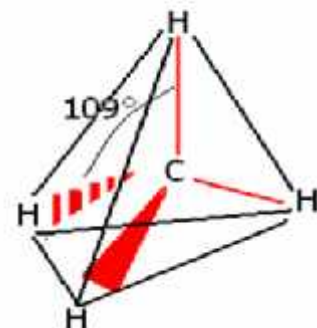
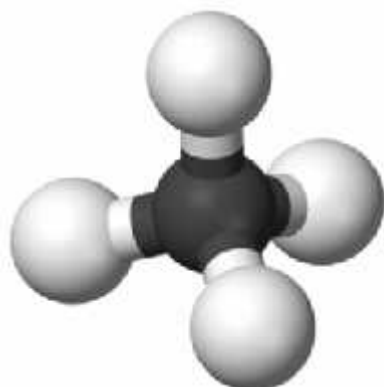
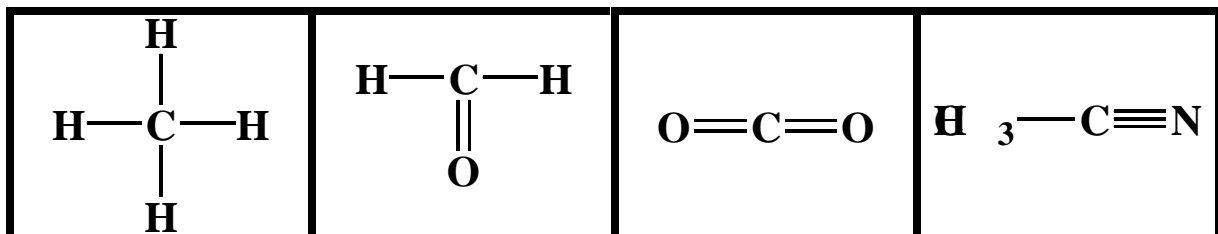
Le carbone élément de base de la chimie organique ; la configuration électronique des atomes qui constituent principalement la chimie organique est donné par le tableau ci-dessous :

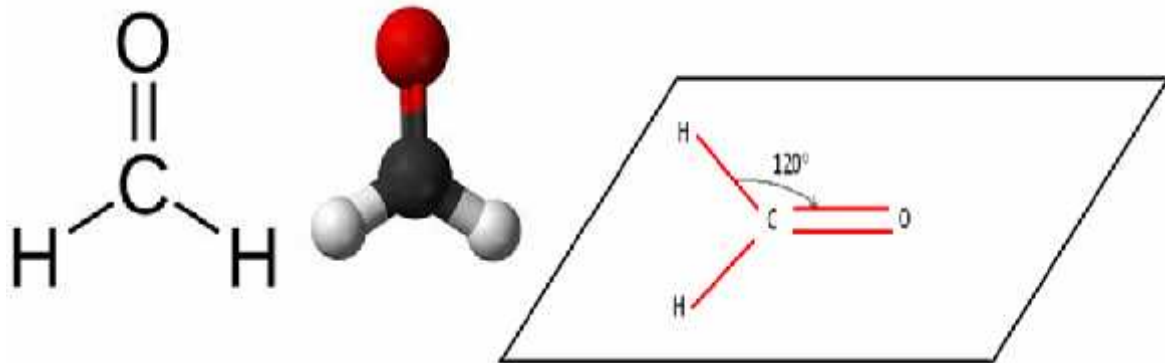
atome	Nom	Z	Formule électronique	Nb de doublets liants
${}^{12}_6\text{C}$	Carbone	6	$(\text{K})^2(\text{L})^4$	4 dl
${}^1_1\text{H}$	hydrogène	1	$(\text{K})^1$	1 dl
${}^{16}_8\text{O}$	Oxygène	8	$(\text{K})^2(\text{L})^6$	2 dl
${}^{14}_7\text{N}$	azote	7	$(\text{K})^2(\text{L})^5$	3 dl

2-2/ Comment l'atome de carbone établit-il des liaisons avec les autres atomes :

Liaisons autour de l'atome de carbone				
	- 4 liaisons covalentes simples	- 2 liaisons covalentes simples - 1 liaison covalente double	- 2 liaisons covalentes doubles	- 1 liaison covalente simple - 1 liaison covalente triple

Exemple :





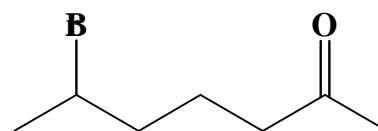
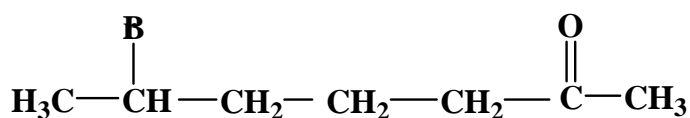
2-3/ Les différentes écritures de formules:

Formule brute	Formule développée	Formule semi-développée	Formule topologique
Indique le nombre et la nature des atomes.	Elle détaille toutes les liaisons et tous les atomes (elle diffère de la représentation de Lewis par l'absence des doublets non liants)	Les liaisons concernant l'atome d'hydrogène ne sont pas représentées.	<ul style="list-style-type: none"> - Un trait représente une liaison C - C. - Chaîne carbonée en zigzag sans représenter ni C, ni H - Les atomes autres que C et H sont représentés par leur symbole ainsi que les H qu'ils portent.
C ₄ H ₁₀ O		CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -OH	

Exemple 1 :

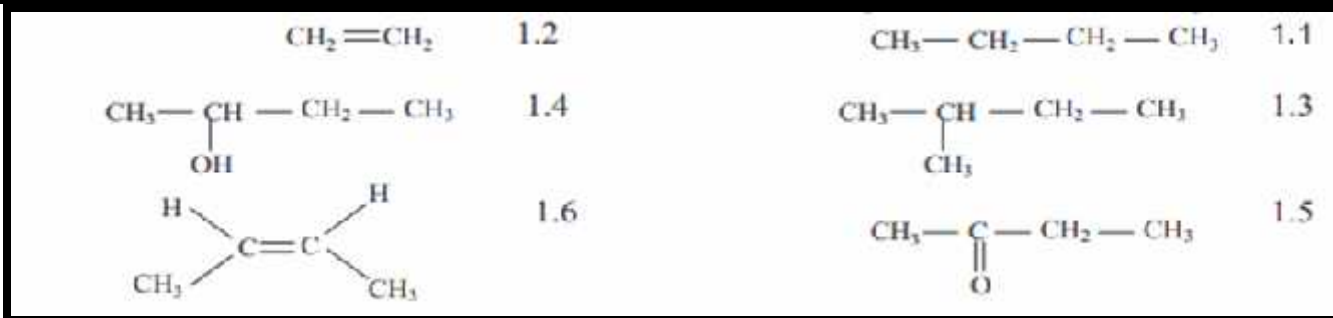
Les différentes écritures de la molécule d'éthanol	
C ₂ H ₆ O	Formule brute
	Formule développée
CH ₃ — CH ₂ — OH	Formule semi-développée
	Formule topologique

Exemple 2 :



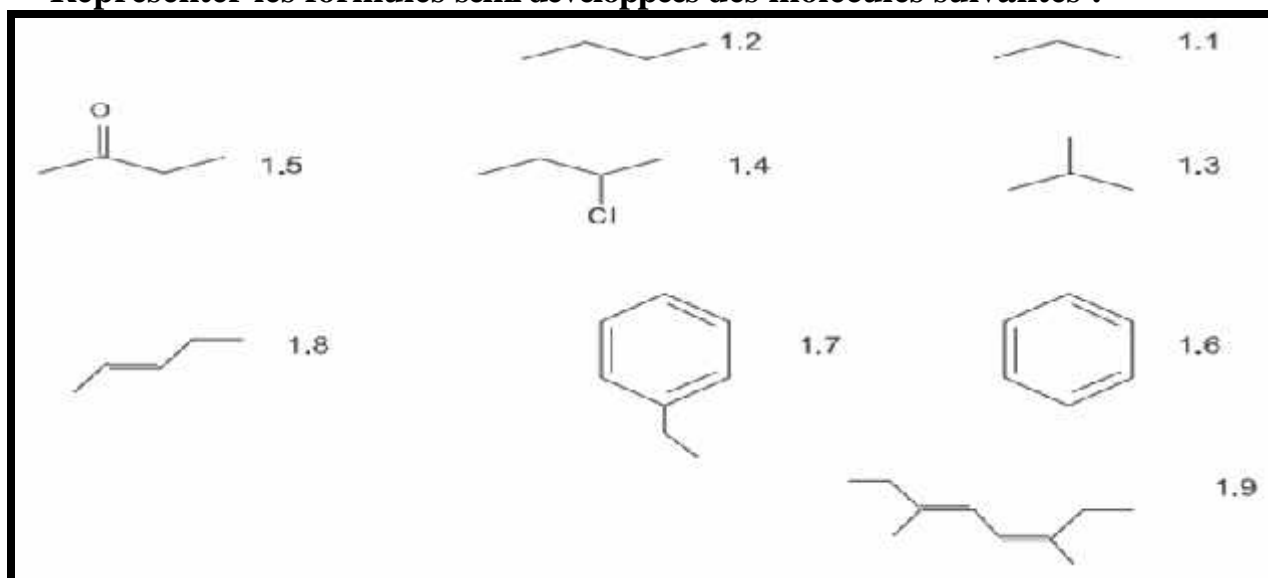
Exercice d'application 1

Représenter les formules topologiques des molécules suivantes :



Exercice d'application 2

Représenter les formules semi développées des molécules suivantes :



3) Les isomères

3-1/ Définition:

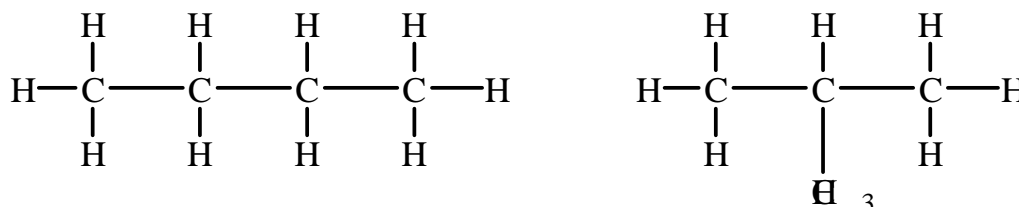
En chimie organique, on parle d'isomérisie lorsque deux molécules possèdent la même formule brute mais ont des formules développées différentes.

Ces molécules, appelées isomères, peuvent avoir des propriétés physiques, chimiques et biologiques différentes.

3-2/ Types d'isomères:

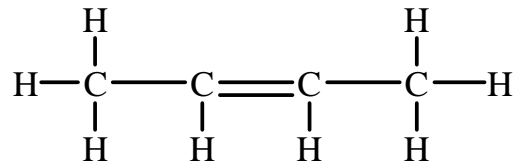
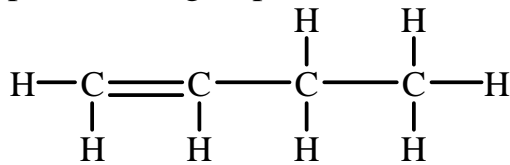
➤ Les isomères de chaîne :

les chaînes carbonées sont différentes :



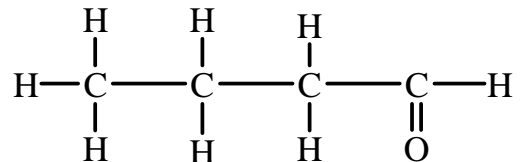
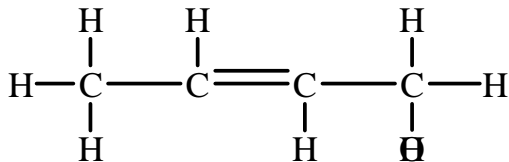
➤ **Les isomères de position :**

la position du groupe fonctionnel ou de la double liaison sont différentes.



➤ **Les isomères de fonction :**

les groupes fonctionnels sont différents.



Introduction à la chimie organique

I- Introduction à la chimie organique :

1- Définition :

Historiquement, la chimie organique est la chimie des composés de carbone issues des êtres vivants animal ou végétal, par opposition à la chimie minérale qui s'intéressait aux molécules issues du monde minéral (terre, eau, atmosphère).

Aujourd'hui, la chimie organique est la chimie des composés du carbone d'origine naturelle ou produits par synthèse.

Exemple :

Méthane CH_4 et le saccharose $C_{12}H_{22}O_{11}$ sont des composés organiques

L'eau H_2O et l'ammoniac NH_3 sont des composés minéraux.

2- Ressources naturelles des composés organiques :

2-1- La photosynthèse :

Grace à la chlorophylle, les végétaux sont capables, en utilisant l'énergie solaire, de transformer le carbone minéral (venant de dioxyde de carbone CO_2 atmosphérique) en carbone organique (dans les glucoses) suivant le bilan :



2-2- Synthèse biochimie :

Les cellules des êtres vivants fabriquent leurs propres substances organiques à partir des aliments : c'est la synthèse biochimique.

2-3- les hydrocarbures fossiles :

Le pétrole et le gaz naturel, sont formés aux fonds des mers, proviennent de la décomposition, d'organismes vivants (végétaux et animaux), lente qui a durée des millions d'années loin de l'aire et sous l'action des bactéries.

II- Les liaisons covalentes autour de l'atome carbone :

1- Le carbone tétravalent :

Le symbole du noyau de l'atome de carbone est ${}^{12}_6C$

Sa structure électronique est $(K)^2(L)^4$

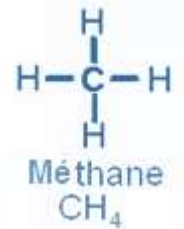
La règle de l'octet permet de prévoir que l'atome de carbone établit $(8-4=4)$ liaisons covalentes avec les atomes voisins. Donc l'atome de carbone est tétravalent.

2- Les liaisons possibles de l'atome de carbone :

Les quatre liaisons de l'atome de carbone peuvent être distribuées de quatre façons différentes dans l'espace.

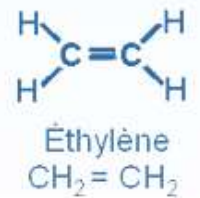
2-1- Quatre liaisons covalentes simples :

Dans la molécule de méthane CH_4 , l'atome de carbone forme 4 liaisons covalentes simples avec 4 atomes d'hydrogène, la molécule à la forme d'un tétraèdre régulier.



2-2- Une liaison double et deux liaisons simples :

Dans la molécule de l'éthylène C_2H_2 l'atome de carbone forme une liaison covalente double avec l'autre atome de carbone et deux liaisons covalentes simples avec 2 atomes d'hydrogènes, la molécule forme un trigonale plane.



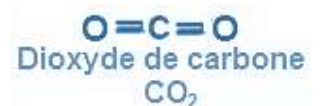
2-3- Une liaison triple et une liaison simple :

Dans la molécule de l'acétylène C_2H_2 chaque atome de carbone a une liaison triple avec l'autre atome de carbone et une liaison simple avec un atome d'hydrogène. La molécule est linière.



2-4- Deux liaisons covalentes doubles :

Dans la molécule de dioxyde de carbone CO_2 chaque atome de carbone forme une liaison covalente double avec un atome d'oxygène et une liaison covalente double avec l'autre atome de carbone. La molécule est linière.



III- L'importance de la chimie organique :

La chimie organique est considérée comme la base de l'économie mondiale, car c'est elle qui fournit la matière première à tous les autres domaines industriels.

La chimie peut se diviser en trois secteurs industriels :

1- La chimie lourde :

La chimie qui produit des carburants et de la matière plastique.

2- La chimie fine :

La chimie qui produit les parfums et les médicaments utiles à la santé de l'être humain.

3- La chimie de spécialités :

Ses produits sont nombreux et divers on cite les produits cosmétiques, peintres, vernis, encre etc.....

Squelette carboné des molécules organiques

I- Les molécules organiques :

1- Chaîne carbonée et groupe caractéristique :

On appelle **chaîne carbonée** ou squelette carbonée d'une molécule organique, l'enchaînement d'atomes de carbone constituant une molécule organique.

On appelle **groupes caractéristiques** un groupement d'atomes porté par le squelette carboné et comportant des atomes d'autres éléments que l'hydrogène.

Un groupe caractéristique est un groupe d'atome qui donne des propriétés spécifiques aux molécules qui le possèdent. Les molécules qui possèdent le même groupe caractéristique présentent des **propriétés semblables**.

2- Types de chaînes carbonées :

2-1- Les chaînes carbonées saturées et insaturées :

Lorsque les atomes de carbone ne forment que des liaisons simples entre eux, la chaîne est dite **saturée**. Elle est dite **insaturée** lorsqu'au moins deux atomes de carbone voisins sont liés par une double ou triple liaison.

Exemple :

$\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$
La chaîne du pent-2-ène est insaturée	La chaîne du butane est saturée

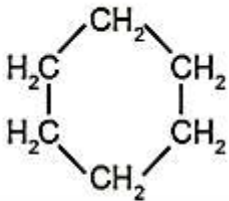
2-2- Chaînes carbonées linéaires, ramifiées, cycliques :

La chaîne carbonée est dite **linière** lorsque chaque atome de carbone n'est lié qu'à deux autres atomes de carbone au plus.

Elle est dite **ramifiée** lorsqu'un ou des atomes de carbone sont liés à plus de deux autres atomes de carbone.

La chaîne est dite **cyclique** lorsque tous ses atomes de carbone sont liés à deux autres atomes de carbone au moins.

Exemple :

$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH—CH}_3$ CH_3	
La chaîne de n-pentane est linéaire	La chaîne de 2-méthylepentane est ramifiée	Le cyclohexane est une chaîne cyclique

2-3- Représentation des molécules organiques :

- La formule brute :

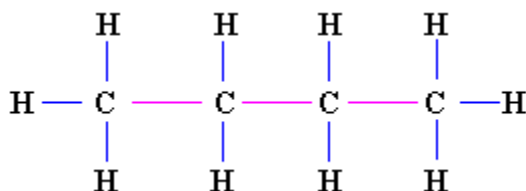
Elle permet de nous renseigner sur la nature et le nombre des différents atomes constituant la molécule organique.

Exemple : la formule brute du butane est C_4H_{10}

- La formule développée plane :

Elle montre l'enchaînement des atomes dans la molécule et la nature des liaisons qui les unissent.

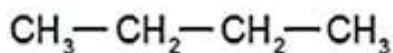
Exemple : la formule développée du butane :



- La formule semi- développée :

Elle dérive de la formule développée en supprimant la liaison $C - H$.

Exemple : la formule semi-développée du butane :



- L'écriture topologique :

La chaîne carbonée est représentée sous forme d'une ligne brisée, portant éventuellement des ramifications.

Les atomes de carbone et les atomes d'hydrogène qui leurs sont liés ne sont pas indiqués dans cette représentation.

Les liaisons multiples sont représentées par des ségments.

Exemple : la représentation topologique du butane :



2-4- Isomérisation de constitution:

Deux composés sont isomères s'ils ont la même formule brute mais des formules développées différentes. Ils ont des propriétés physiques différentes et des propriétés chimiques très voisines.

On distingue trois isomères :

a- Les isomères de chaîne : l'enchaînement des atomes de carbone différents.

Exemple : le butane a deux isomères : une chaîne droite et une ramifiée

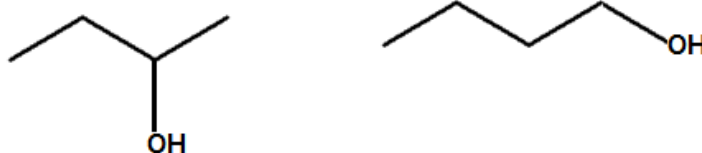


b- Les isomères de position : la position du groupe caractéristique ou d'une liaison multiple sont différents.

Exemple 1 : C_4H_8

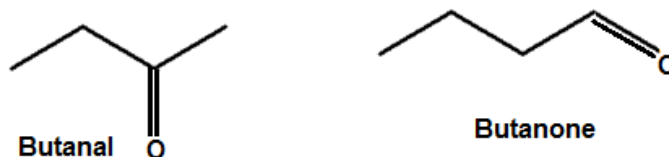


Exemple 2 : C_4H_9OH



c- Les isomères de fonction : la nature du groupe caractéristique est différente.

Exemple : C_4H_8O



II- Les alcanes :

1- Définition : Les alcanes sont des hydrocarbures saturés de formule brute C_nH_{2n+2} , n est le nombre d'atomes de carbone du squelette carboné.

2- Nomenclature :

2-1- Cas des alcanes linéaires :

Le nom d'un alcane à chaîne linéaire est constitué d'un :

-préfixe qui indique le nombre d'atome carbone de la chaîne (**méth, éth, prop....**)

-suffixe (terminaison) **ane** caractérise les alcanes.

Nombre de carbone de l'alcane	Formule brute	Nom de l'alcane
1	CH_4	méthane
2	C_2H_6	éthane
3	C_3H_8	propane
4	C_4H_{10}	butane
5	C_5H_{12}	pentane
6	C_6H_{14}	hexane

2-2- Cas des alcanes ramifiés :

Le nom d'un alcane ramifié est déterminé en appliquant la règle suivant :

On cherche la chaîne carbonée la plus longue.

Ce qui est attaché à cette chaîne s'appelle des groupes alkyles

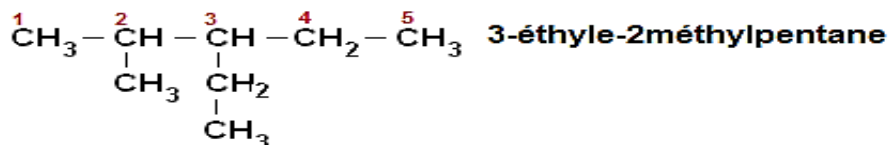
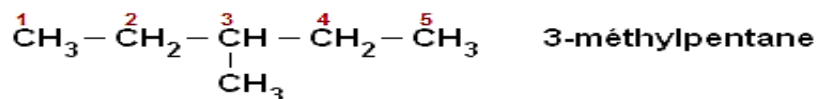
Exemple : $-CH_3$: méthyle

$-C_2H_5$: éthyle

On indique leur place par un indice de position. Celui-ci est obtenu par numérotation des C de la chaîne principale, en partant du bout qui donne le plus petit numéro.

Si plusieurs groupes d'alkyles sont identiques on utilise des préfixes di, tri

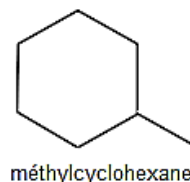
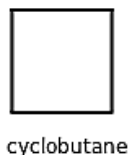
Exemples :



2-3- Cas des cyclo alcanes :

Le nom d'un cyclo alcane est obtenu à partir du nom de l'alcane correspondant précédé du préfixe cyclo.

Exemples :



III- Alcènes et dérivés éthyléniques :

1- Définition :

Un alcène est un hydrocarbure présentant une double liaison $C = C$ dans son squelette carboné, c'est un hydrocarbure insaturé. Sa formule brute est C_nH_{2n} , où n est un nombre entier supérieur ou égal à 2.

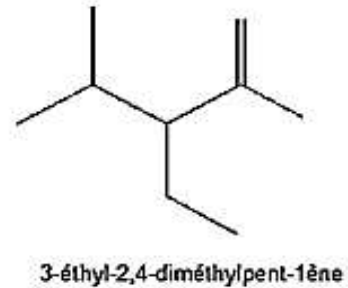
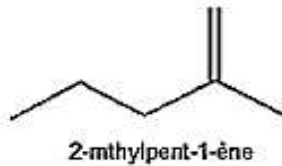
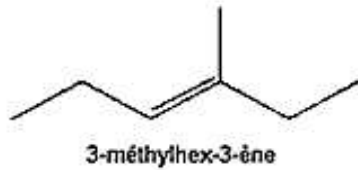
On appelle dérivé éthylénique tout composé organique dont la molécule présente au moins une liaison double.

2- Nomenclature des alcènes :

Le nom de l'alcène est établi comme celui de l'alcane correspondant en remplaçant le suffixe « ane » par « ène ».

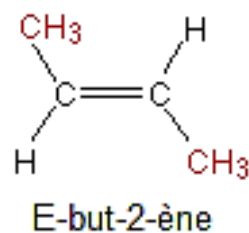
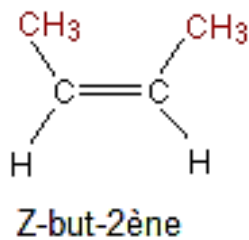
On numérote la chaîne de façon que le premier atome de carbone de la liaison $C = C$ ait le plus petit numéro possible.

Exemples :



3- Isomérisation Z et E :

La position des atomes dans l'espace est différente, cela est dû à ce que la libre rotation est impossible autour de la liaison double $C = C$ cette isomérisation se présente pour le but-2-ène :



Les groupes $-CH_3$ sont du même côté (Z-but-2-ène) ou un de chaque côté de la chaîne principale (E-but-2-ène).

4- Test d'identification d'un alcène :

On peut mettre en évidence la présence d'un alcène par l'eau de brome, qui perd sa coloration orangée en présence d'un alcène. Ce qui traduit une réaction entre l'alcène et l'eau de brome dont l'équation est :



IV- Influence de la chaîne carbonée sur les propriétés physiques d'un hydrocarbure :

1- Température d'ébullition et de fusion :

Les composés organiques d'une famille n'ont pas la même température d'ébullition ; cette température augmente lorsque la longueur de la chaîne carbonée augmente.

Exemples :

Formule brute	Nom de l'alcane	Température d'ébullition à pression atmosphérique
CH_4	méthane	$-162\text{ }^{\circ}C$
C_2H_8	éthane	$-89\text{ }^{\circ}C$
C_5H_{12}	pentane	$36\text{ }^{\circ}C$
C_6H_{14}	hexane	$69\text{ }^{\circ}C$

2- Densité des alcanes :

La densité des alcanes liquides à chaîne carbonée linéaire augmente avec la longueur de leur chaîne carbonée.

Exemples :

Formule brute	Nom de l'alcane	Densité par rapport à l'eau
C_5H_{12}	pentane	0,626
C_6H_{14}	hexane	0,665
C_7H_{16}	heptane	0,684

3- Solubilité :

Les hydrocarbures sont des composés insolubles dans l'eau, mais soluble dans des solvants organiques.

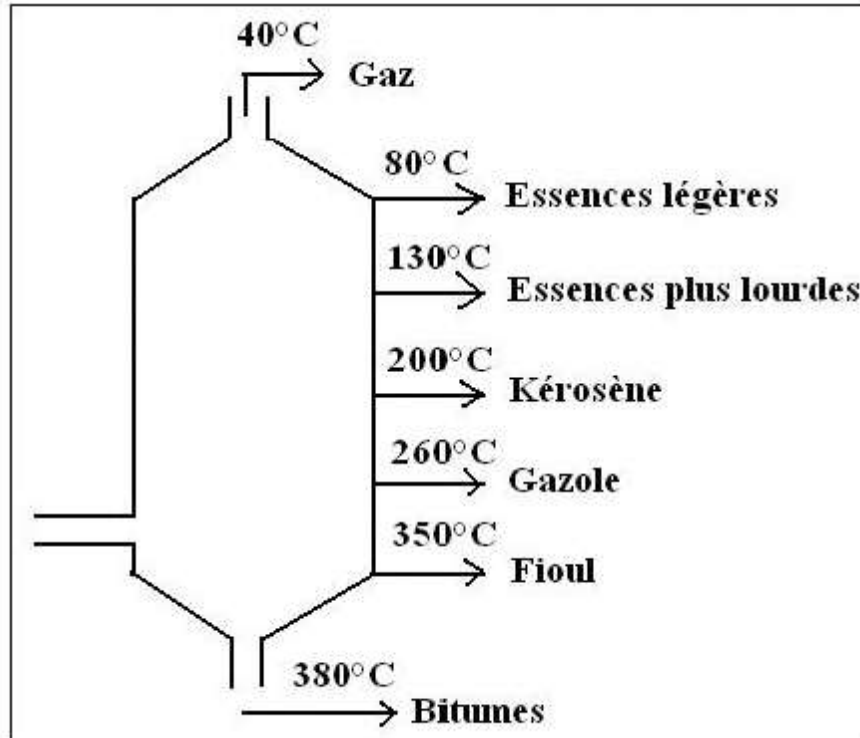
La solubilité des alcools, à chaînes carbonées linéaires, dans l'eau diminue avec la longueur de leur chaîne carbonée.

Alcool	La solubilité dans l'eau
C_3H_7OH	Se dissout totalement
C_4H_9OH	75 g/L
$C_5H_{11}OH$	25 g/L

4- Application : distillation fractionnée :

Lorsqu'on fait bouillir un mélange de liquide, le liquide qui a la température d'ébullition le plus bas c'est le premier qui entre en ébullition.

La distillation fractionnée permet de séparer les constituants d'un mélange d'espèces chimiques ayant des températures d'ébullition différentes. Exemple : La distillation fractionnée du pétrole.



Les molécules organiques et les squelettes carbonés

DELAHI MOHAMED (SM)

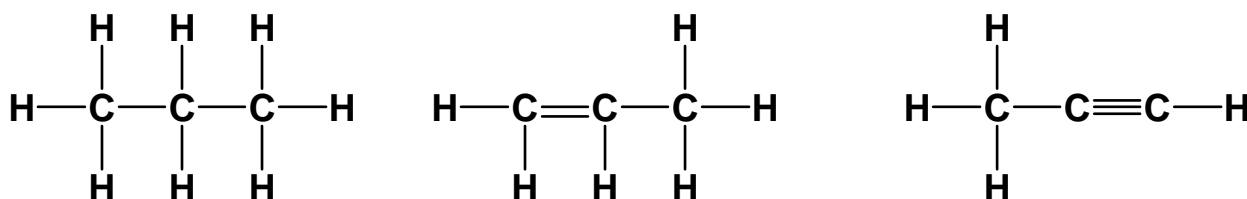
I) La chaîne carbonée ou le squelette carboné

✧ Définition :

- Toutes les molécules présentent un enchaînement d'atomes de carbone liés par des liaisons simples, doubles ou triple : c'est le squelette carboné.
- Certaines de ces molécules ont en plus des groupes d'atomes comportant O, Cl, N ... : ce sont des groupes caractéristiques qui définissent des familles organiques identifiables par des tests

∅ Une molécule organique comporte un squelette carboné ou chaîne carboné et éventuellement des groupes caractéristiques.

Exemple :

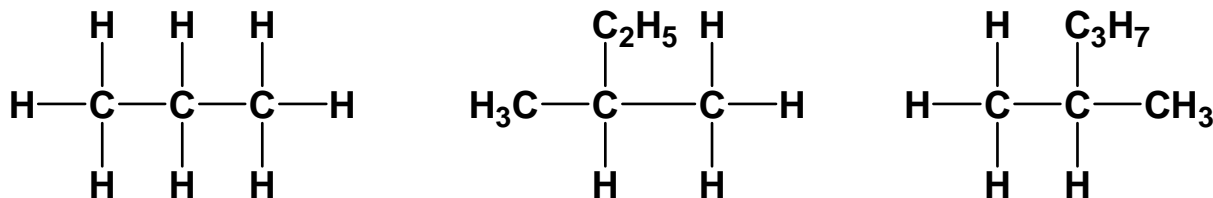


2- / La chaîne carbonée saturées ou insaturées :

□ Chaînes carbonées saturées :

Lorsque les atomes de carbone ne forment entre eux que des liaisons simples.

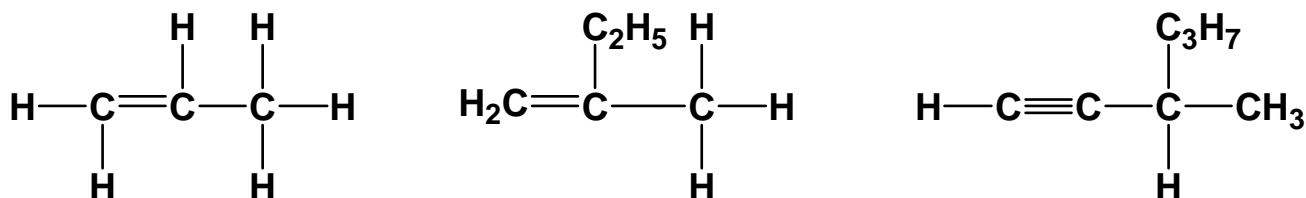
Exemple :



□ Chaînes carbonées insaturées :

lorsqu'au moins deux atomes de carbone voisins sont liés par une double ou une triple liaison.

Exemple :

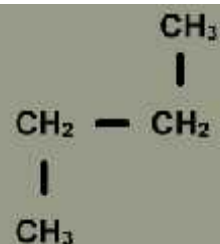
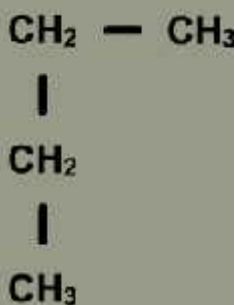
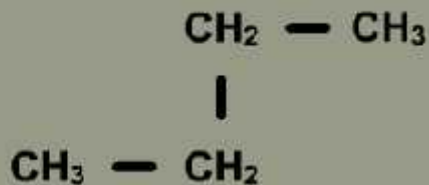
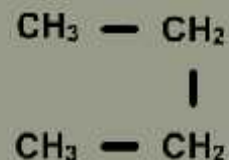


3- / La chaîne carbonée linéaires , ramifiées ou cycliques:

□ .Chaînes carbonées linéaires

lorsqu'un carbone est lié à deux autres carbones au plus

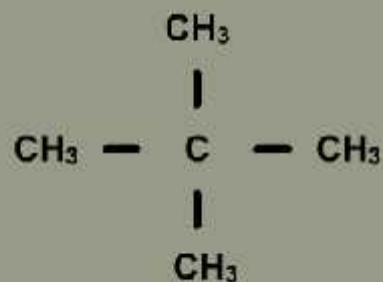
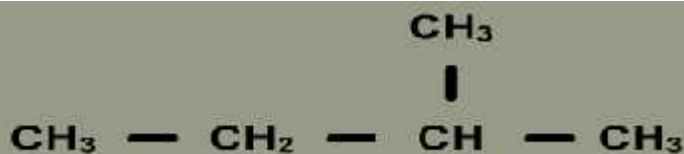
Exemple la molécule du Butane



□ Chaînes carbonées ramifiées

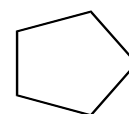
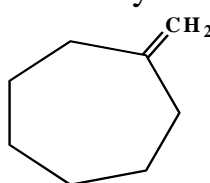
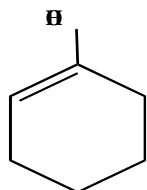
lorsqu'un carbone est lié à au moins 3 carbones.

Exemple :



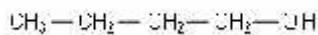
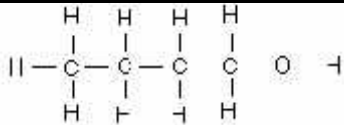
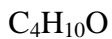
□ :Chaînes carbonées cycliques

La chaîne se referme sur elle-même et forme un cycle



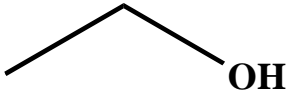
4- Les différentes écritures de formules:

Formule brute	Formule développée	Formule semi-développée	Formule topologique
Indique le nombre et la nature des atomes.	Elle détaille toutes les liaisons et tous les atomes (elle diffère de la représentation de Lewis par l'absence des doublets non liants)	Les liaisons concernant l'atome d'hydrogène ne sont pas représentées.	<ul style="list-style-type: none"> - Un trait représente une liaison C Ø C. - Chaîne carbonée en zigzag sans représenter ni C, ni H - Les atomes autres que C et H sont représentés par leur symbole ainsi que les H qu'ils portent.

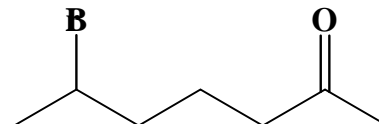
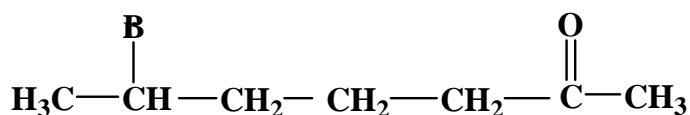


Exemple 1 :

Les différentes écritures de la molécule d'éthanol

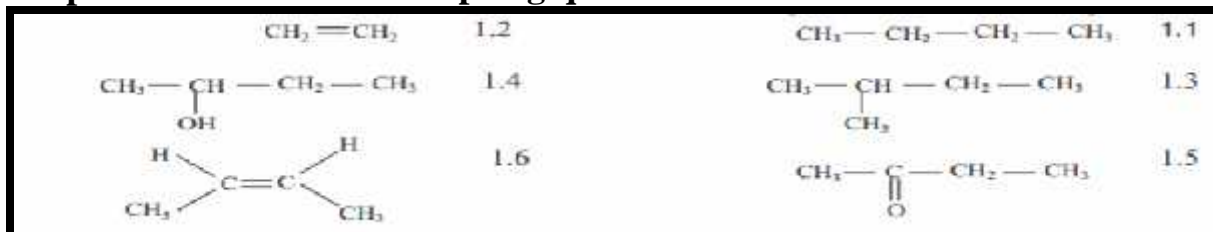
C_2H_6O	Formule brute
$\begin{array}{ccc} & H & H \\ & & \\ H & -C & -C & -OH \\ & & \\ & H & H \end{array}$	Formule développée
CH_3-CH_2-OH	Formule semi-développée
	Formule topologique

Exemple 2 :



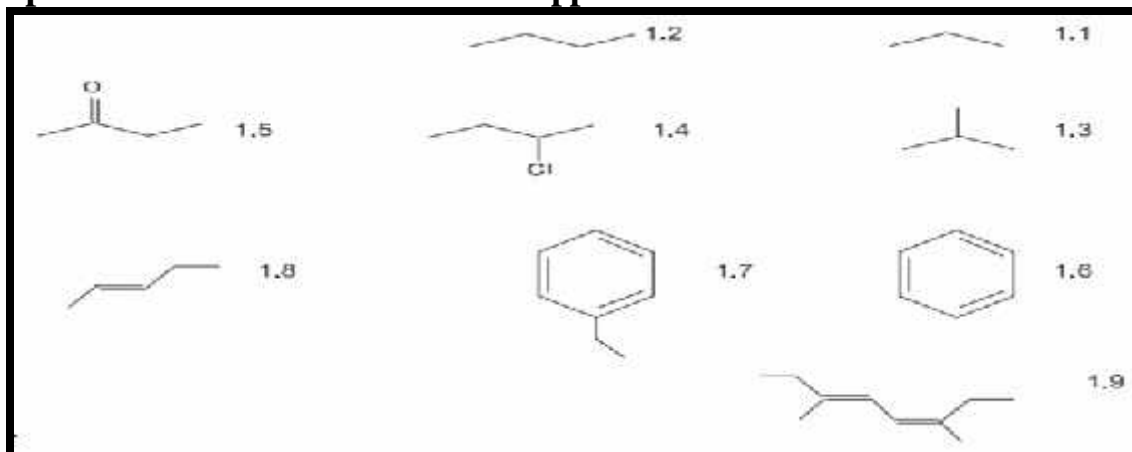
Exercice d'application 1

Représenter les formules topologiques des molécules suivantes :



Exercice d'application 2

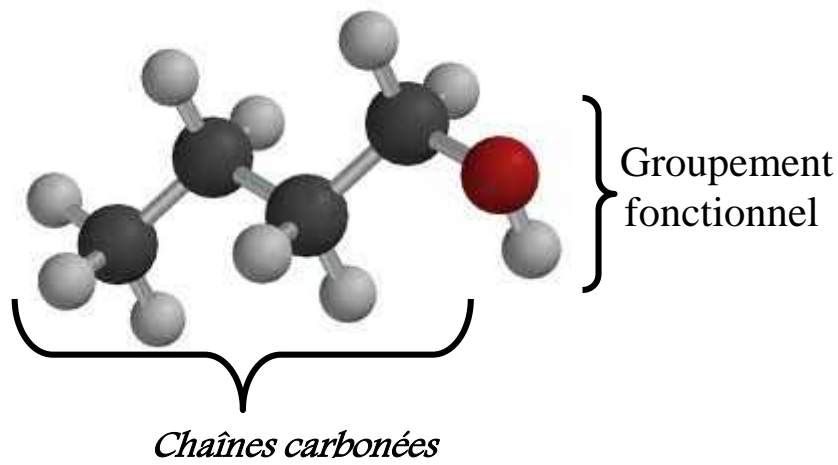
Représenter les formules semi développées des molécules suivantes :



II) Les groupements fonctionnels

Certaines molécules organiques comportent un squelette carboné et un groupe d'atomes (ou atome) appelé **groupe caractéristique** qui leur confère des propriétés spécifiques.

Le carbone porteur du groupe caractéristique est **le carbone fonctionnel**. Des composés comportant le même groupe caractéristique forment une **famille chimique**. Ils ont des propriétés chimiques analogues.

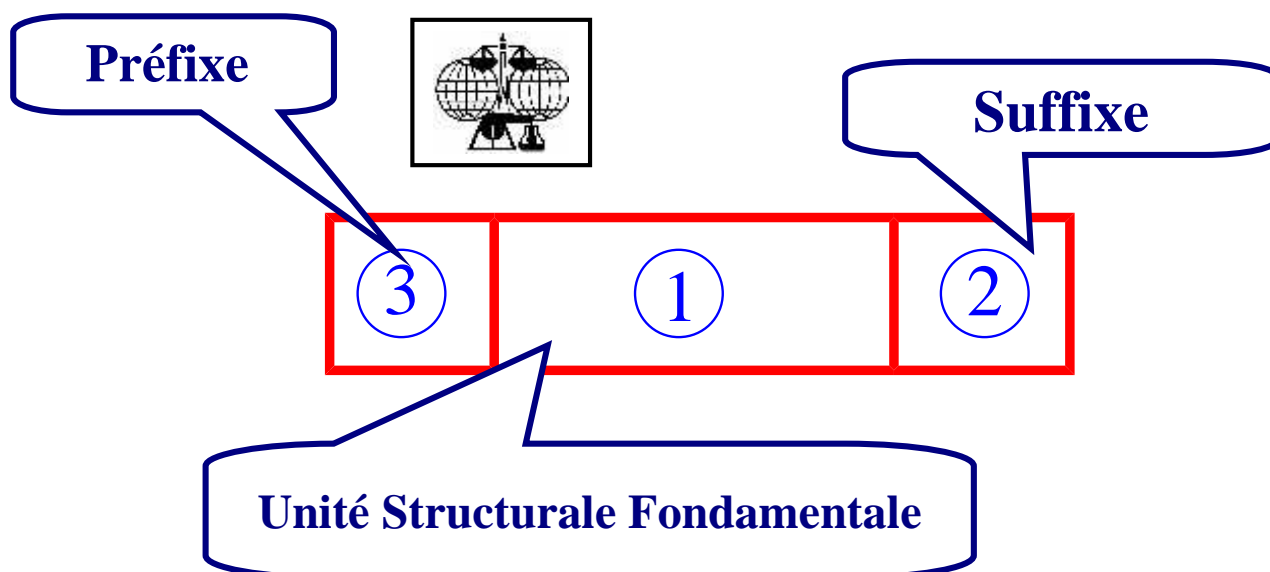


Formule générale	Groupe caractéristique	Nom du groupement	Exemple
$R-OH$	$-OH$	Les Alcools	C_2H_5-OH
$R-NH_2$	$-NH_2$	Les Amines	CH_3-NH_2
$R-X$	$-X$ (F;Cl;Br;I)	Les Halogènes	CH_3-B
$R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-R'$	$C-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-C$	Les Cétones	$CH_3-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-CH_3$
$R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-H$	$C-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-H$	Les Aldéhydes	$H-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-C_2H_5$
$R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-OH$	$-C-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-OH$	Les Acides carboxyliques	$H-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-C_6H_5$
$R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-R'$	$-C-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-C$	Les asters	$-C-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-C_2H_5$

III) La Nomenclature des composés organiques selon UICPA :

Union International de Chimie Pure et Appliquée

Le nom d'un composé organique est formé de 3 partie :



Unité Structurale Fondamentale

L'unité principale fondamentale représente la partie la plus importante dans le nom d'un composé organique en effet elle représente le nom grecque de la chaîne la plus longue contenant le groupement fonctionnel.

Nombre de carbone de la chaîne principale	Nom de l'U.S.F
1	Méth
2	Eth
3	Prop
4	But
5	Pent
6	Hex
7	Hept
8	Oct
9	Non
10	Déc

Suffixe

Le suffixe est lié au groupement fonctionnel selon le tableau ci-dessous :

Nom du groupement	Groupe caractéristique	Suffixe	exemple
Alcanes	Simple liaison	ane	butane
Alcènes	Double liaison	ene	propène
Alcyne	Triple liaison	yne	butyne

	« hors programme »		
Les Alcools	— OH	ol	ethanol
Les Cétones	$\begin{array}{c} \text{C} - \text{C} - \text{C} \\ \\ \text{O} \end{array}$	one	propanone
Les Aldéhydes	$\begin{array}{c} \text{C} - \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{O} \end{array}$	al	butanal
Les Acides carboxyliques	$\begin{array}{c} \text{— C — OH} \\ \\ \text{O} \end{array}$	oïque	Acide ethanoïque

Préfixe :

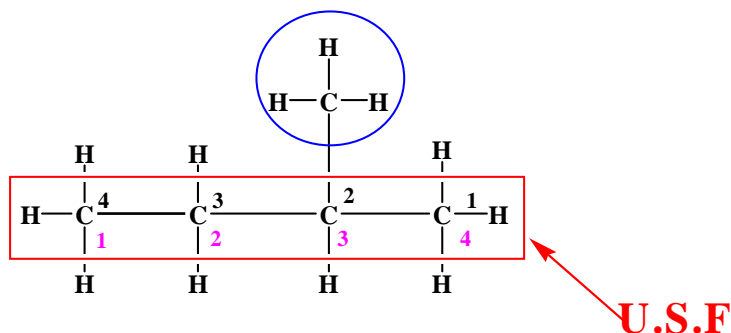
Une fois, la chaîne carbonée linéaire la plus longue est trouvée : les autres branches constitue les ramifications : les radicaux dont le nom constitue le préfixe qui se termine par « yl » et qui dépend du nombre de carbone du radical.

Exemple N°1 :

1) **USF : But**
(6 carbones dans la chaîne linéaire la plus longue)

2) **Suffixe : ane**
(Simple liaison)

3) **Préfixe : méthyle**
(1 seul radical avec 1 seul carbone)



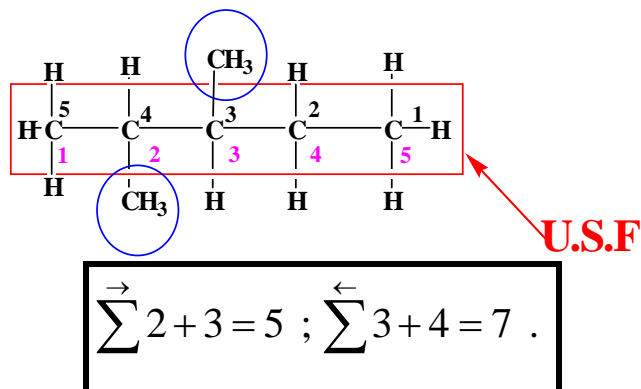
2-méthyle butane

Exemple N°2 :

4) **USF : pent**
(5 carbones dans la chaîne linéaire la plus longue)

5) **Suffixe : ane**
(Simple liaison)

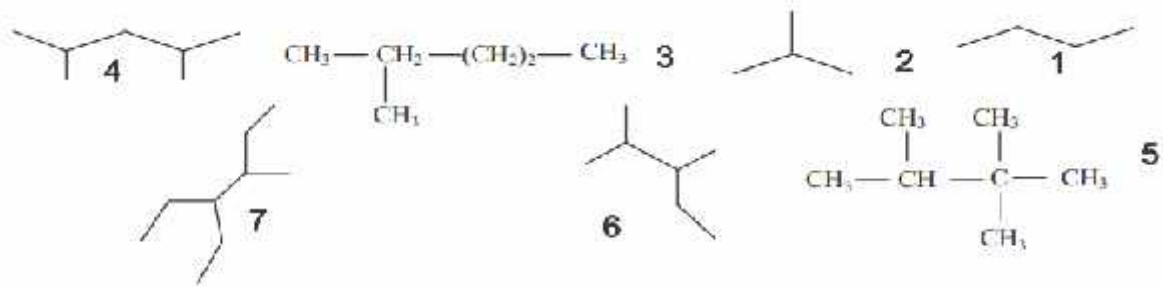
6) **Préfixe : méthyle**
(2 radicaux chacun avec 1 seul carbone)



2,3-diméthyle pentane

Exercice d'application 3

Donner le nom international des molécules suivantes selon UICPA



IV) Les alcanes et les cyclo-alcanes:

➤ Définition :

Les alcanes et les cyclo-alcanes sont des hydrocarbures ne comportant que des liaisons simples carbone-carbone (C – C).

➤ Formule brute

formule brute générale : **ALCANE LINEAIRE** C_nH_{2n+2} .
 ALCANE CYCLIQUE C_nH_{2n}

➤ Exemples :

<p>CH₄ méthane</p>	<p>C₄H₁₀ butane</p>	<p>C₆H₁₂ cyclohexane</p>
<p>C₆H₁₂ méthylcyclopentane</p>	<p>C₄H₁₀ méthylpropane</p>	<p>C₈H₁₂ 1,2,4-triméthylCyclopentane</p>

Exercice d'application 4

Représenter les formules topologiques et semi développés des molécules suivantes :

<u>1</u>	2,3-diméthylepentane	<u>2</u>	3-ethyl-2,3-diméthylehexane
<u>3</u>	1-ethyl-2-méthylcyclohexane	<u>4</u>	2,5-diméthylehexane
<u>5</u>	méthylebutane	<u>6</u>	éthanol

V) Les alcènes et ses dérivées:

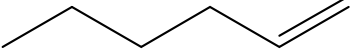
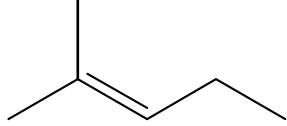
➤ Définition :

Les alcènes Les alcènes sont des hydrocarbures comportant au moins une liaison double carbone-carbone (C = C).

➤ Formule brute

formule brute générale : C_nH_{2n}

➤ Exemples :

C_2H_4 éthylène ou éthène	C_6H_{12} hexène	C_5H_{10} 2-méthylhex-2-ène
$\begin{array}{c} H-C=C-H \\ \quad \\ H \quad H \end{array}$		

➤ La stéréoisomérisation Z-E

Des stéréoisomères sont des composés ayant même formule brute et la même formule semi développée mais des formules spatiales différentes (**Z** vient de **Z**uzammen : ensemble « même côté » et **E** vient de **E**ntgegen : contre « côté opposé »)

Conditions :

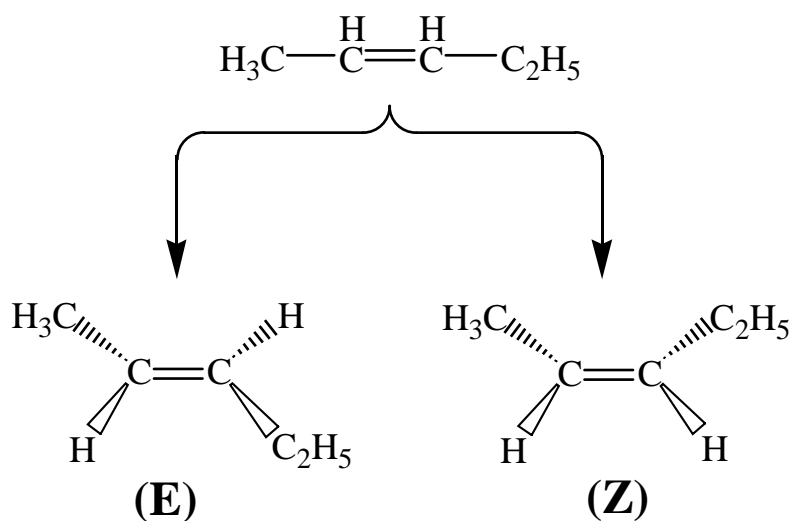


La stéréoisomérisation Z, E nécessite une double liaison entre 2 carbones.



Remarque:

Le passage d'un stéréoisomère Z à un stéréoisomère E nécessite la rupture de la liaison : il n'y a pas de rotation autour d'une liaison double.

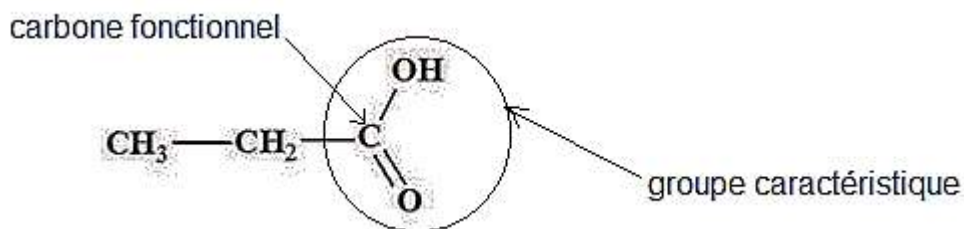


Groupes caractéristiques en chimie organique

I- Groupe caractéristique et carbone fonctionnel :

Un groupe caractéristique est un groupe d'atome qui donne des propriétés spécifiques aux molécules qui le possèdent. On dit que ces molécules possèdent une famille chimique.

Le carbone qui porte le groupe caractéristique s'appelle carbone fonctionnel.



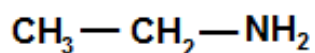
II- Familles des composés organiques :

1- Famille des amines :

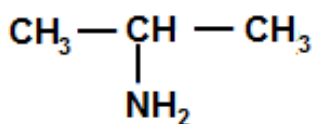
Les amines possèdent le groupe caractéristique amino $-\text{NH}_2$. On pourra les noter d'une façon générale $R - \text{NH}_2$.

Le nom de l'amine dérive de l'alcane correspondant on remplace le $-e$ terminal par $-$ amine précédé de l'indice de position du carbone fonctionnel dans la chaîne carbonée.

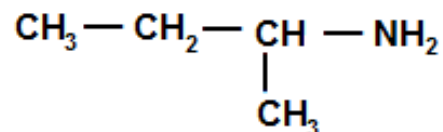
Exemples :



éthanamine



propan-2-amine



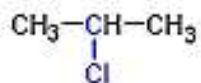
butan-2-amine

2- - Famille des composés halogénés :

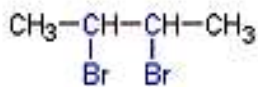
Les composés halogénés portent un groupe caractéristique halogéno $-\text{X}$: ou X un atome de la famille des halogènes (F ; Cl ; Br ; I).

Le nom d'un composé halogéné dérive de l'alcane correspondant. Il est précédé du nom de l'atome d'halogène présent, terminé par le suffixe -O et de l'indice de position du carbone fonctionnel.

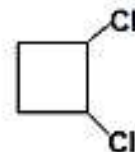
Exemples :



2-chloropropane



2,3-dibromobutane



1,2-dichlorocyclobutane

3- Famille des alcools :

Les molécules des alcools comportent le groupe **hydroxyle-OH** lié à la chaîne carbonée. La formule générale d'un alcool est **R - OH**.

Le carbone lié au groupe caractéristique est nommé carbone fonctionnel.

3-1- Classe des alcools :

La classe des alcools est définie par le nombre d'atomes de carbone lié au carbone fonctionnel, il y a trois classes d'alcools :

Alcool primaire : Si le carbone fonctionnel est lié à un atome de carbone ou non lié à aucun atome de carbone.

Alcool secondaire : Si le carbone fonctionnel est lié à deux atomes de carbone.

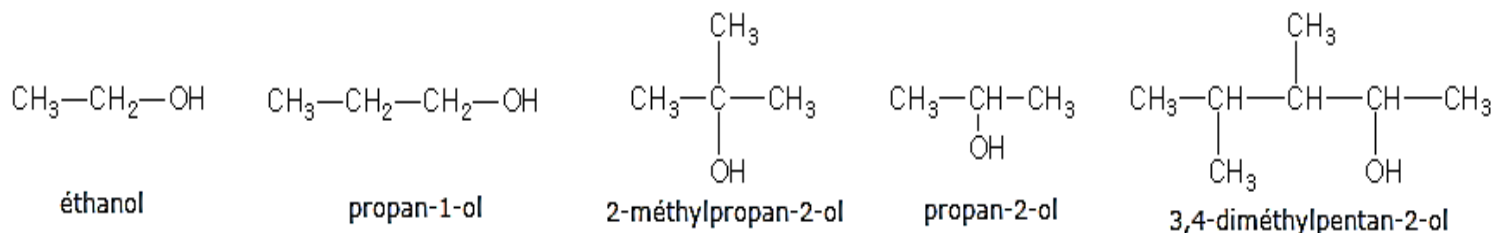
Alcool tertiaire : Si le carbone fonctionnel est lié à trois atomes de carbone.

Classe de l'alcool	Alcool primaire	Alcool secondaire	Alcool tertiaire
Formule générale	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{R}' \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R}'' \\ \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{R}' \end{array}$

3-2- Nomenclature des alcools :

Le nom de l'alcool dérive de l'alcane correspondant. Le -e terminal est remplacé par -ol précédé du numéro de position du carbone fonctionnel de la chaîne carbonée et qui porte le numéro le plus petit possible.

Exemples :

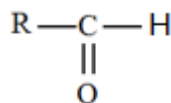


4- - Famille des composés carbonyles :

Les aldéhydes et les cétones constituent les composés carbonylés. Ils possèdent le groupe carbonyle $\text{C} = \text{O}$.

4-1- Les aldéhydes :

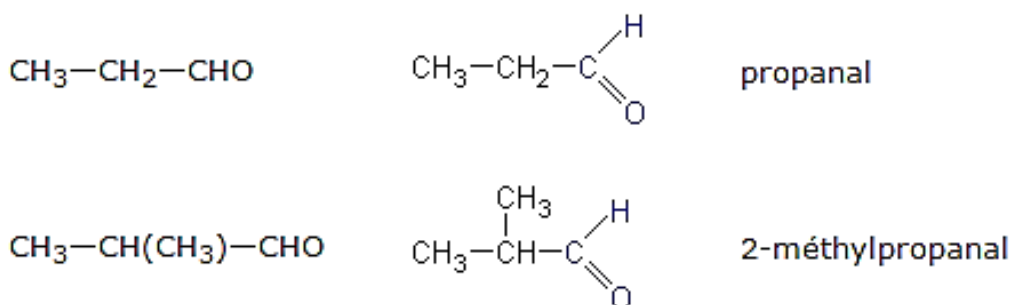
L'aldéhyde est un composé carbonylé dont le groupe caractéristique se trouve au bout de la chaîne. Leur formule brute est :



Nomenclature des aldéhydes :

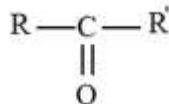
Le nom d'un aldéhyde dérive de l'alcane correspondant. Le -e terminal est remplacé par -al.

Exemples :



4-2- Les cétones :

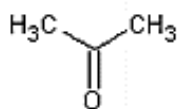
Une cétone est un composé carbonyle dont le groupe caractéristique se trouve entre deux atomes de carbone. Sa formule générale est :



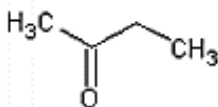
Nomenclature des cétones :

Le nom de la cétone dérive du nom de l'alcane correspondant. Le *-e* terminal est remplacé par *-one*, précéder du numéro de position du carbone fonctionnel dans la chaîne carbonée.

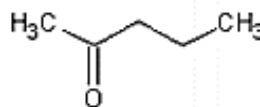
Exemples :



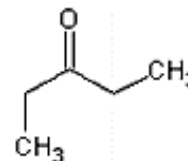
acetone ou propanone



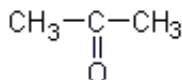
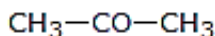
butan-2-one



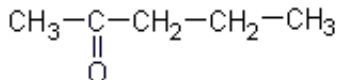
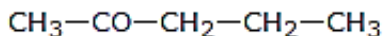
pentan-2-one



pentan-3-one



propanone



pentan-2-one

4-3- Caractérisation des composés carbonyles :

-Test commun aux aldéhydes et aux cétones :

Les composés carbonyles (aldéhydes et cétones) se caractérisent à l'aide de la 2,4 - *dinitophénylhydrazine* (DNPH) avec laquelle ils donnent un précipité jaune-orangé.

-Tests spécifiques des aldéhydes :

* Liqueur de Fehling : Le chauffage modéré d'un mélange contenant de la liqueur de Fehling et un aldéhyde conduit à un précipité rouge brique.

* Réactif de Tollens (solution de nitrate d'argent ammoniacal) : Le chauffage modéré d'un réactif de Tollens et d'aldéhyde dans une verrerie conduit à la formation d'un miroir d'argent sur les parois de la verrerie.

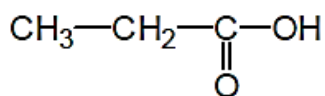
5- Famille des acides carboxyliques :

Tous les acides carboxyliques contiennent le groupe caractéristique **carboxyle** $-COOH$ au bout de la chaîne. Leur formule générale est $R - COOH$ où R est un radical alkylique.

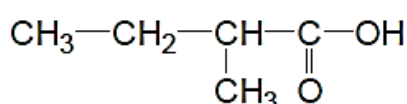
5-1- Nomenclature des acides carboxyliques :

On nomme les acides carboxyliques en ajoutant au nom de l'alcane correspondant le suffixe « oïque », précéder du terme acide.

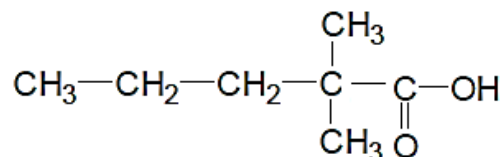
Exemples :



acide propanoïque



acide 2-méthylbutanoïque



2,2-diméthylpentanoïque

5-2- Caractérisation des acides carboxyliques :

En présence de l'indicateur coloré (le bleu de bromothymol (BBT)) l'acide carboxylique prend une teinte Jaune.

Les solutions aqueuses des acides carboxyliques sont acides ($\text{pH} < 7$).

Réactivité des alcools

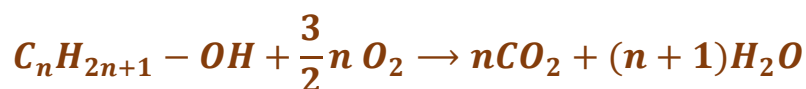
I- Oxydation des alcools :

1- L'oxydation complète et l'oxydation ménagée :

1-1- Oxydation complète à l'aide du dioxygène (ou combustion) :

Au cours d'une oxydation complète, la structure carbonée est détruite. Il se forme du dioxyde de carbone (CO_2) et de l'eau (H_2O).

L'équation générale de la combustion s'écrit :



Exemple : l'équation de la combustion de l'éthanol :



1-2- Oxydation ménagée au milieu aqueux :

Au cours d'une oxydation ménagée, la structure carbonée est conservée ; seul le carbone qui porte la fonction est attaqué et se transforme.

L'oxydation ménagée peut se faire l'ion permanganate MnO_4^- (aq) en solution aqueuse.

2-Oxydation des alcools :

Les produits formés au cours de l'oxydation d'un alcool dépendent de la classe de cet alcool. Etudiant l'oxydation pour chaque classe d'alcool.

2-1- Oxydation des alcools primaires :

L'oxydation ménagée d'un alcool primaire diffère selon la quantité de l'oxydant utilisée.

1ère cas : l'oxydant est en défaut :

Les alcools primaire sont transformés en **aldéhydes** par action d'un **oxydant en défaut**.

Ecrire l'équation d'oxydation de l'éthanol par l'ion permanganate :

Les deux couples redox sont : MnO_4^- / Mn^{2+} et C_2H_4O / C_2H_6O

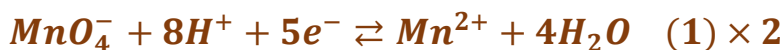


L'équation bilan de la réaction :



2ème cas : L'oxydant est en excès

Si l'oxydant est en excès, l'oxydation de l'éthanol conduit à la formation de l'**acide éthanoïque** selon l'équation :

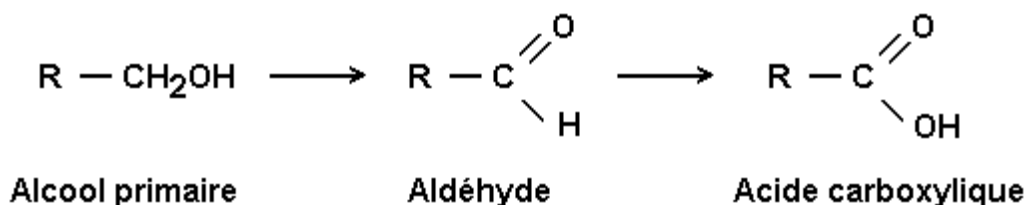


L'équation bilan de la réaction :



Remarque :

L'alcool primaire est d'abord transformé en aldéhyde, puis l'aldéhyde en acide carboxylique :

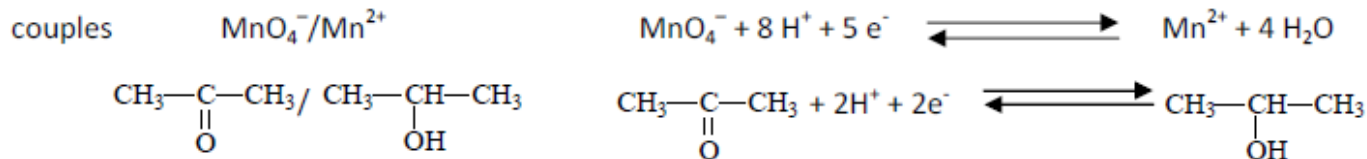


2-2- Oxydation des alcools secondaires :

Les alcools **secondaires** sont oxydés en **cétones** par l'ion permanganate.

Ecrire l'équation d'oxydation de propane-2-ol par l'ion permanganate :

Les deux couples redox sont : MnO_4^- / Mn^{2+} et $CH_3-C(=O)-CH_3 / CH_3-CH(OH)-CH_3$

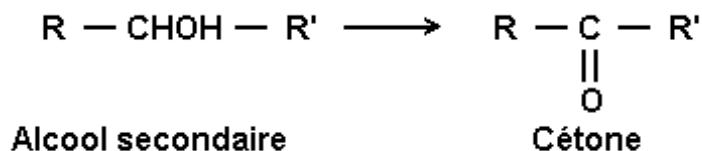


L'équation bilan de la réaction :



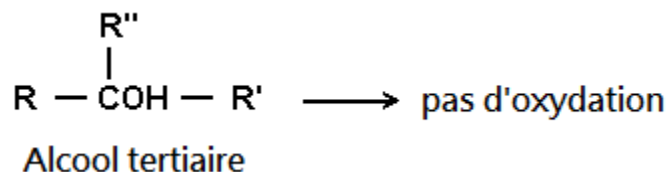
Conclusion :

L'oxydation d'un alcool secondaire conduit à la formation d'une cétone.



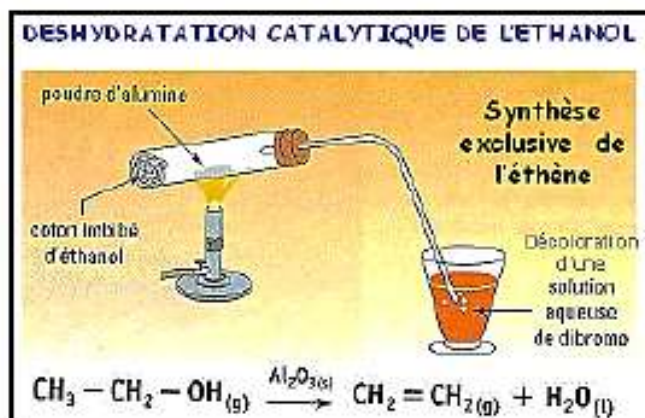
2-3- Oxydation des alcools tertiaires :

Les alcools tertiaires ne sont pas oxydés dans les conditions de l'oxydation ménagée

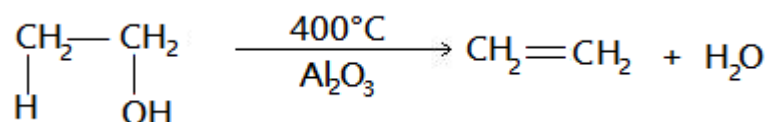


2-4- Déshydratation des alcools :

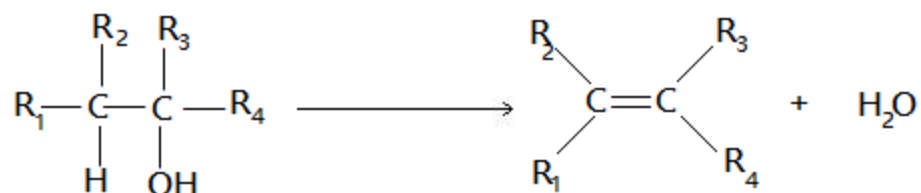
La déshydratation d'un alcool est la réaction d'élimination d'une molécule d'eau de la chaîne carbonée de l'alcool.



Les alcools tertiaires se déshydratent plus facilement que les alcools *I* et *II*.

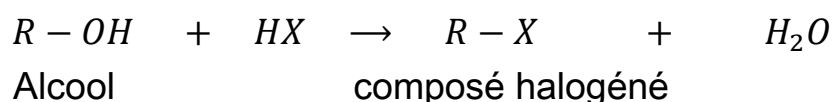


D'une façon générale la déshydratation d'un alcool a pour équation :



2-5- Réaction de substitution :

Au cours d'une **réaction de substitution** le groupe hydroxyle est remplacé par un atome d'halogène *X* ($X = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}, \text{F}$).



Exemple :

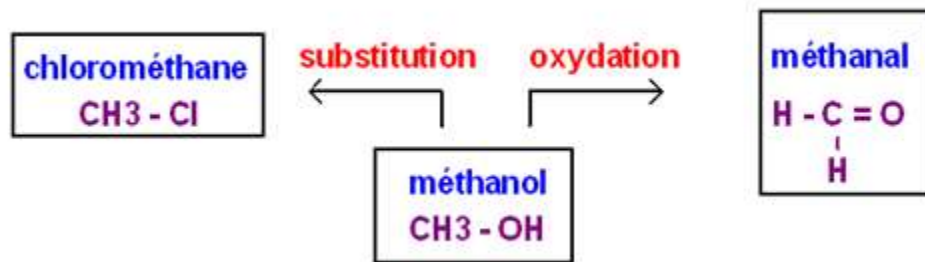


III- Passage d'un groupe caractéristique à un autre :

Le passage d'un groupe caractéristique à un autre permet de créer de nouvelles molécules organiques.

L'oxydation, la déshydratation des alcools et le passage d'un alcool à un halogène sont des exemples de passage d'un groupe caractéristique à un autre.

Exemple : le méthanol et ses dérivés



La chimie organique est une chimie créatrice de nouvelles molécules.

VI- Rendement d'une synthèse :

Lors de la synthèse d'un produit, la quantité de matière du produit obtenu expérimentalement est inférieure à celle attendu théoriquement.

On appelle **rendement de la synthèse** d'un produit le quotient de la quantité de matière expérimentalement du produit sur sa quantité de matière théorique :

$$r = \frac{n_{th}}{n_0}$$

Le rendement r est **sans unité**, sa valeur est comprise entre 0 et 1 il peut être exprimé en pourcentage(%).

Remarque :

Le rendement peut aussi s'exprimer en fonction des masses :

$$\rho = \frac{m_{exp}}{m_{th}}$$

V- L'essentiel

Familles des composés organiques et tests de caractérisation :

Tests de caractérisation

Famille	Réactif	Résultat	Commentaire
Alcools R - OH	permanganate de potassium	décoloration de la solution	oxydation de l'alcool test négatif pour les alcools tertiaires
aldéhydes R - CH = O	liqueur de Fehling	précipité rouge-brique, à chaud	oxydation de l'aldéhyde
	réactif de Tollens	précipité (miroir) d'argent, à chaud	tests spécifiques aux aldéhydes
	2,4-DNPH	précipité orangé	test commun aux aldéhydes et aux cétones
Cétones R ₁ - CO - R ₂	2,4-DNPH	précipité orangé	oxydation de la cétone test commun aux aldéhydes et aux cétones
Composés halogénés R - X	nitrate d'argent (solution alcoolique)	précipité blanc qui noircit à la lumière	
Acides carboxyliques R - COOH	Bleu de bromothymol (B.B.T)	le B.B.T vire au jaune	mise en évidence du caractère acide
Amines primaires R - NH ₂	Bleu de bromothymol (B.B.T)	le B.B.T vire au bleu	mise en évidence du caractère basique

II. METHODE POUR DETERMINER LA CLASSE DE L'ALCOOL

Connaissant le résultat de l'oxydation, on peut en déduire la classe de l'alcool. On prendra comme oxydant l'ion MnO_4^- de coloration violette.

- Si après réaction la solution est décolorée alors l'alcool de départ était primaire ou secondaire car les alcools tertiaires ne s'oxydent pas.

- Si le test à la 2,4-DNPH est positif (apparition d'un précipité jaune), le produit présente un groupe carbonyle. Il s'agit donc d'une cétone ou d'un aldéhyde. On doit effectuer un test supplémentaire pour conclure.

- Si le test au réactif de Fehling est positif (apparition d'un précipité rouge brique), on a affaire à un aldéhyde donc l'alcool oxydé est primaire. Dans le cas contraire, l'alcool de départ était secondaire

- Si l'oxydation conduit à un composé acide, l'alcool de départ était primaire. L'acidité du produit peut être testé à l'aide de papier pH.

Exercice :

Un alcool a pour formule brute $C_4H_{10}O$

1- Représenter, en formule semi développées, les 4 isomères possibles et les nommer.

2- Donner la classe de chaque isomère

3- En supposant que lors de la réaction d'oxydation, on a obtenu du butanal, quel est l'alcool de départ ?

