

# Physique Chimie

## 1BAC

Cours et exercices d'applications

Programme Marocain de l'Enseignement  
Secondaire Qualifiant

Toutes les filières



## **AVANT – PROPOS**

Ce cours de physique chimie est conforme au programme marocain de l'enseignement secondaire qualifiant. Il est consacré spécialement aux élèves scientifiques de la première année Baccalauréat, toutes les filières. En plus, il représente une référence et un outil pédagogique important pour les enseignants. Il vise à permettre aux élèves d'acquérir et assimiler aisément les prérequis indispensables à leur réussite dans les examens de la matière physique chimie, que ce soit en 1<sup>er</sup> année ou en 2<sup>ème</sup> année Baccalauréat.

Toutefois, il est important de signaler aux élèves que la simple lecture du cours et des exercices s'avère insuffisante pour la maîtrise d'un tel programme ! C'est pourquoi, afin d'atteindre les objectifs fixés par ce livre, l'élève doit travailler régulièrement, bien lire son cours avant de commencer la correction des exercices, souligner les définitions, les relations, utiliser un stylo ou un crayon et de papier brouillon pour réécrire les relations mathématique ainsi que leurs démonstrations. Et au cours de la correction des exercices, l'élève doit toujours commencer par des exercices simples, ceci afin de maîtriser les relations et s'entraîner à résoudre ses exercices de façon progressive et autonome. Et, si vous coincez sur une question quelconque, passez à autre chose. Et surtout, surtout ne perdez pas beaucoup de temps à tout écrire au brouillon.

En fin, apporter votre stylo, votre calculatrice scientifique, de papier brouillon et allons y au travail !

Albert Einstein disait : « *Ne t'inquiète pas si tu as des difficultés en maths, je peux t'assurer que les miennes sont bien plus importantes !* »

***L'auteur : EL AAMRANI Abdelaziz***

# **SOMMAIRE**

## ***Physique***

---

- 1\_ Rotation d'un corps solide indéformable autour d'un axe fixe
- 2\_ Travail et puissance d'une force
- 3\_ Travail et énergie cinétique
- 4\_ Travail et Energie potentielle de pesanteur - Energie mécanique
- 5\_ Travail et énergie interne
- 6\_ Energie thermique – Transfert thermique
- 7\_ Le champ électrostatique
- 8\_ Energie potentielle électrostatique
- 9\_ Transfert d'énergie dans un circuit électrique
- 10\_ Comportement global d'un circuit électrique
- 11\_ Le champ magnétique
- 12\_ Le champ magnétique crée par un courant électrique
- 13\_ La force électromagnétique - Loi de Laplace

## ***Chimie***

---

- 1\_ Les grandeurs physiques liées aux quantités de matière
- 2\_ La concentration et les solutions électrolytiques
- 3\_ Suivi d'une transformation chimique
- 4\_ Conductance et conductivité
- 5\_ Les réactions acido-basiques
- 6\_ Les réactions d'oxydoréduction
- 7\_ Le dosage direct
- 8\_ La chimie organique
- 9\_ Le squelette carboné
- 10\_ Groupes caractéristiques en chimie organique

---

# *Physique*

---



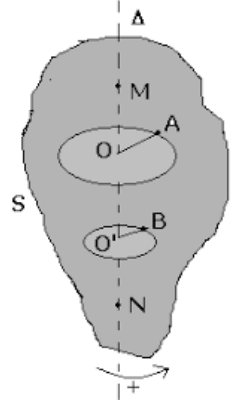
## Rotation d'un corps solide indéformable autour d'un axe fixe

### I- Définition du mouvement de rotation autour d'un axe fixe

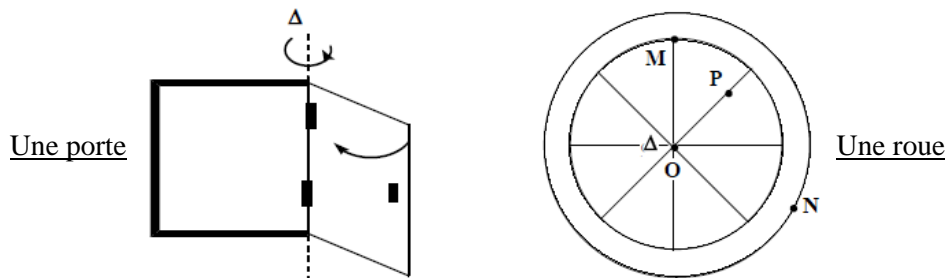
Un solide tourne autour d'un axe fixe ( $\Delta$ ) si : Tous les points du solide décrivent des trajectoires circulaires centrées sur l'axe de rotation, sauf les points qui appartiennent à cet axe.

#### Remarque :

- La trajectoire de chaque point de solide appartient au plan perpendiculaire à l'axe de rotation ( $\Delta$ ).
- Pour un seul point, on parle d'un mouvement circulaire, alors que pour le corps solide (S) on parle d'un mouvement de rotation autour de l'axe ( $\Delta$ )



#### Exemple :

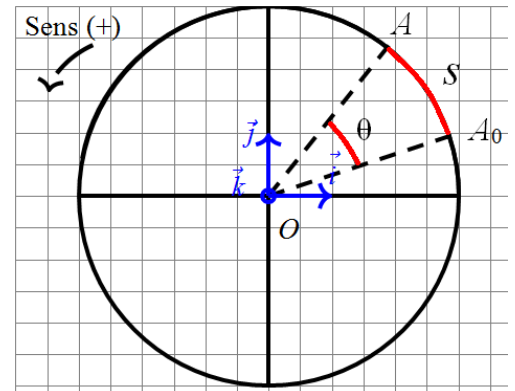


### II- Repérage d'un point M d'un solide en rotation autour d'un axe fixe ( $\Delta$ )

#### 1- Abscisse curviligne

Soit A un point quelconque d'un solide en rotation autour d'un axe fixe ( $\Delta$ ). On oriente la trajectoire selon le sens (+) du mouvement. On y choisit un point de référence  $A_0$ . La position du point mobile A est repérée par son abscisse curviligne noté « s », tel que :

$$s(t) = \widehat{A_0 A_t} \quad ; \quad S \text{ en mètre (m)}$$



#### 2- Abscisse angulaire

On peut aussi repérer la position du point mobile A par l'abscisse angulaire noté «  $\theta$  » qui mesure l'angle de la rotation depuis l'origine  $A_0$  sur le cercle. Donc :

$$\theta(t) = (\widehat{OA_0 ; OA})$$

**Remarque :** Pour convertir le degré en radian :  $\pi = 180^\circ \rightarrow 1^\circ = 0,0174533 \text{ rad}$

#### Exemple :

- Conversion de  $27^\circ$  en radians :  $27^\circ = 27^\circ \times \pi/180^\circ = 0,4712389 \text{ rad}$
- Conversion de  $0,35 \text{ rad}$  en degrés :  $0,35 \text{ rad} = 0,35 \times 180^\circ/\pi = 20,053523^\circ$

### 3- Relation entre S et $\theta$ :

Par définition, le nombre  $\pi$  est le rapport entre la circonférence d'un cercle P et son diamètre D, on a donc :  $P = \pi \cdot D = 2 \pi R$ .

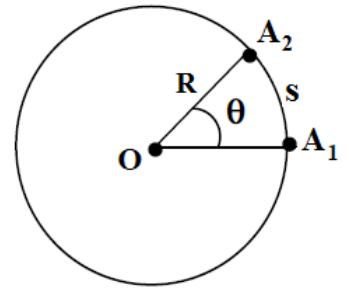
Pour un arc (un segment s du cercle) cette relation peut être écrite :

$$s = \theta \cdot R \text{ (Pour un cercle } \theta = 2\pi) \text{ ou : } \Delta s = \Delta \theta \cdot R$$

Si maintenant on considère un point A d'un solide en rotation autour d'un axe fixe, la valeur de l'abscisse angulaire  $\theta$  et celle de l'abscisse curviligne s varient en fonction de temps, on écrit donc :

$$s(t) = R \cdot \theta(t)$$

Avec R est le rayon de la trajectoire du cercle décrite par le point A dans le plan  $(O, \vec{i}, \vec{j})$ .



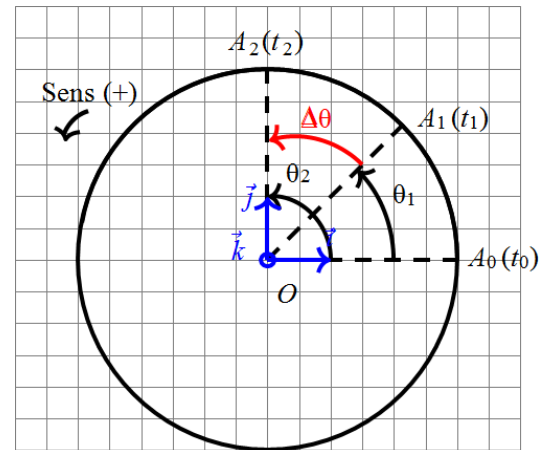
## III - Vitesse d'un solide en rotation autour d'un axe fixe

Pour décrire le mouvement de rotation d'un solide indéformable, il suffit d'étudier le mouvement de l'un de ses points n'appartenant pas à l'axe de rotation.

Soit  $A_1$  la position d'un point A du solide à l'instant  $t_1$  et  $A_2$  la position du même point à l'instant  $t_2$ .

Au cours de la durée  $\Delta t = t_2 - t_1$  :

- Le point A parcourt l'arc  $(\widehat{A_1 A_2})$
- Le solide (S) tourne d'un angle  $\Delta \theta = \theta_2 - \theta_1$ .



### 1- Vitesse angulaire

#### 1-1. Vitesse angulaire moyenne

On appelle vitesse angulaire moyenne  $\omega_m$ , le rapport entre l'angle  $\Delta \theta$  et l'intervalle de temps  $\Delta t = t_2 - t_1$  mis pour effectuer cette rotation. Elle s'exprime en (rad/s).

La vitesse angulaire moyenne du point A est donnée par la relation :

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

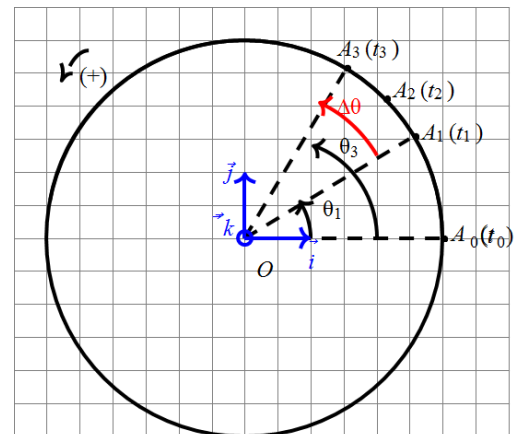
#### 1-2. Vitesse angulaire instantanée

A un instant donné t, la vitesse angulaire instantanée  $\omega_i$  d'un solide se définit comme : la vitesse angulaire moyenne du solide pendant une très courte durée encadrant l'instant t.

En considérant  $t_1$  et  $t_3$  deux instants très proches et qui encadrent l'instant  $t_2$ , la vitesse angulaire instantanée  $\omega_i$  de solide notée dans ce cas  $\omega_2$  est donnée par la relation :

$$\omega_2 = \frac{\theta_3 - \theta_1}{t_3 - t_1} = \frac{\delta \theta}{\delta t}$$

$\delta$  : indique une variation élémentaire (infinitésimale) pendant une durée  $\delta t$  très courte.



### 1-3. Vitesse linéaire

La vitesse (vitesse linéaire ou vitesse tangentielle) du point A à un instant t se définit comme : la vitesse tangentielle à la trajectoire en ce point à cet instant t. Elle s'exprime en (m/s).

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

**Exemple :** La vitesse linéaire du point A s'exprime comme suit :

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1} = \frac{\widehat{A_1 A_2}}{t_2 - t_1}$$

### 2- Relation entre $\omega$ et $v$ :

D'après le paragraphe II-3 nous avons montré que  $\Delta s = R \cdot \Delta \theta$ ,

Comme :

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{R \cdot \Delta \theta}{\Delta t}$$

d'où :

$$v = R \cdot \omega$$

### Remarque :

La vitesse angulaire  $\omega$  est la même pour tous les points du solide, tandis que la vitesse linéaire  $v$  est la même seulement pour les points ayant la même distance (même rayon  $r$ ) avec l'axe de rotation ( $\Delta$ ).

## IV - Mouvement de rotation uniforme

### 1- Définition

Un solide indéformable est en mouvement de rotation uniforme si sa vitesse angulaire  $\omega$  reste constante au cours du temps :  $\omega = \text{Cte}$ .

### 2- Caractéristiques du mouvement de rotation uniforme

- **La période  $T$  :** c'est la durée d'un seul tour (la plus petite durée au bout de laquelle un point du solide reprenne sa position initiale), son unité est le seconde (s).

Pour un tour :  $\Delta \theta = 2\pi \text{ rad}$  et  $\Delta t = T$ , donc :  $\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T}$  D'où :  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  (avec  $T$  en seconde (s))

- **La fréquence  $f$  :** 'est le nombre de périodes par seconde (nombre de tours effectués pendant une seconde).

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \text{ avec } f \text{ en hertz (Hz).}$$

### Remarque :

Si la vitesse de rotation est exprimée en trs/s ou en tr/min, dans ce cas elle représente à la fois la vitesse angulaire et la fréquence de rotation.

### 3- Equation horaire d'un mouvement de rotation uniforme

✚ L'équation horaire de l'abscisse angulaire  $\theta(t)$  du mouvement de rotation uniforme est :

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

Avec :  $\omega$  est la vitesse angulaire ;

$\theta_0$  est l'abscisse angulaire à l'origine des dates ( $t=0$ ).



✚ L'équation horaire de l'abscisse curviligne  $s(t)$  du mouvement de rotation uniforme est :

$$s(t) = v.t + s_0$$

Avec :  $v$  est la vitesse linéaire.

$s_0$  : est l'abscisse curviligne à l'origine des dates ( $t=0$ ).

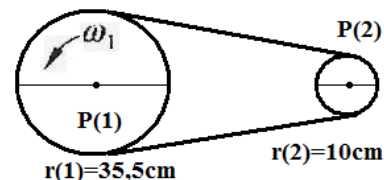
**Remarque** : chacune des deux équations horaires précédentes peut être déduite de l'autre en utilisant les deux relations suivantes :  $S = R.\theta$  et  $V = R.\omega$ .

## Exercices d'applications – Chapitre 1

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

## ❖ Exercice 1 :

Une poulie ( $P_1$ ) de rayon  $r_1 = 35,5$  cm entraîne par l'intermédiaire d'une courroie inextensible, une poulie ( $P_2$ ) de rayon  $r_2 = 10$  cm. La poulie ( $P_1$ ) tourne à 120 tours/minute.



1. Calculez la vitesse linéaire en  $\text{m.s}^{-1}$  d'un point de la périphérie de ( $P_1$ ).
2. Quelle est la valeur de la vitesse linéaire d'un point de la courroie ?
3. Calculez la vitesse angulaire de ( $P_2$ ) en  $\text{rad.s}^{-1}$ .

## ❖ Exercice 2 :

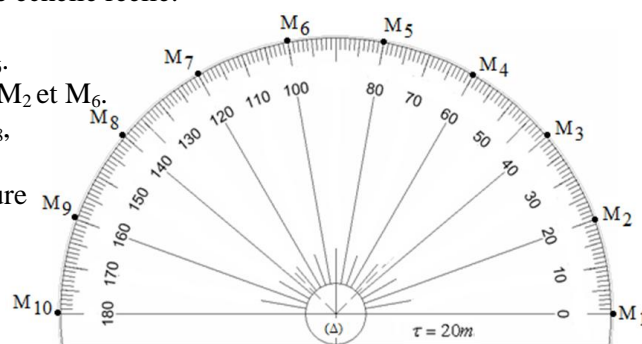
Un disque de rayon  $R=10\text{cm}$  tourne à 30 trs/min, autour d'un axe passant par son centre d'inertie.

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 du disque.
3. Calculer la vitesse d'un point N situé sur une circonférence de rayon  $r = 5\text{cm}$ . Conclure.

## ❖ Exercice 3 :

On attache, grâce à un fil inextensible, un mobile autoporteur à un point fixe O. On lance ce mobile sur une table à coussin d'air horizontale pour avoir un mouvement de rotation du mobile autour du point O et on enregistre la position du point M confondue avec le centre d'inertie de l'autoporteur à des intervalles de temps successifs et égaux  $\tau=20\text{ms}$ . On obtient l'enregistrement suivant avec une échelle réelle:

1. Quelle est la nature de la trajectoire du mobile M ?
2. Déterminer la vitesse instantanée du point M en  $M_2$ , et  $M_6$ .
3. Représenter le vecteur vitesse  $\vec{v}_2$  et  $\vec{v}_6$  du mobile au point  $M_2$  et  $M_6$ .
4. Calculer la vitesse angulaire du mobile aux points  $M_5$ ,  $M_8$ , Préciser l'unité.
5. Quelle est la nature de mouvement de M ? Déduire la nature de mouvement de corps solide.
6. Calculer la valeur du rayon R de la trajectoire du point M.
7. Calculer la fréquence de ce mobile autoporteur.
8. Compléter le tableau suivant tel que :



$M_1$  est l'origine des angles ( $\theta_0=0$ ) et  $M_2$  est l'origine des dates ( $t=0$ ).

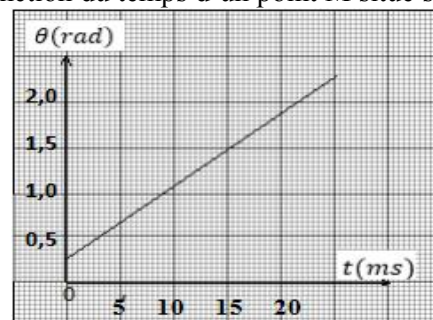
Position de M	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$
$t_i(\text{s})$						
$\theta_i(\text{rad})$						

9. En utilisant une échelle convenable, tracer la courbe  $\theta=f(t)$ .
10. En déduire les équations horaires du mouvement de point M.
11. Pendant 2 min de rotation, calculer le nombre de tours effectués par le mobile autoporteur. En déduire la distance parcourue par le mobile pendant cette durée.

## ❖ Exercice 4 :

Le document ci-contre représente la variation de l'abscisse angulaire  $\theta$  en fonction du temps d'un point M situé sur la circonférence d'un disque en rotation autour de son axe fixe ( $\Delta$ ).

1. Quelle est la nature du mouvement ?
2. Déterminer la valeur de la vitesse angulaire du point M.
3. Ecrire l'équation horaire du mouvement du point M.
4. Calculer la période et la fréquence du point M.
5. Sachant que le diamètre de la trajectoire circulaire du point M est  $d=30\text{cm}$ , déterminer l'expression de l'abscisse curviligne en fonction du temps  $s(t)$ .
6. Déterminer l'abscisse curviligne du point M à l'instant  $t=15\text{s}$



## Travail et puissance d'une force

### I- Travail d'une force constante en translation rectiligne :

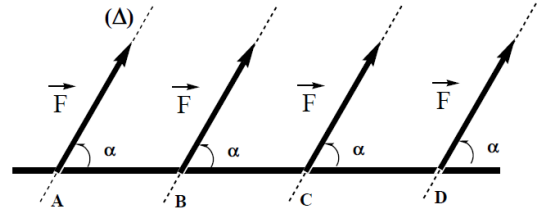
#### 1- Définition d'une force constante :

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

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

#### Exemple :

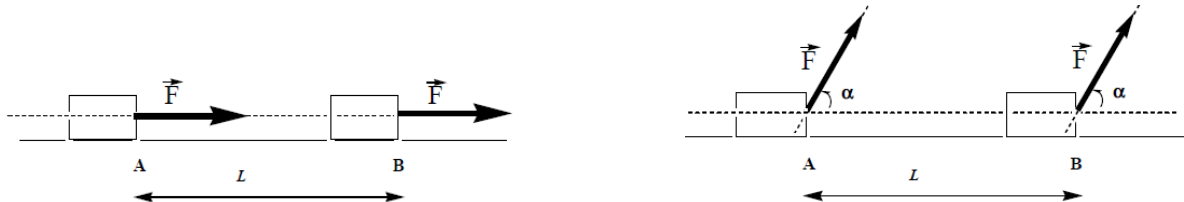
Le poids d'un corps solide, la réaction du sol sur un corps (s)...



#### 2- Travail d'une force constante :

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.



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

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

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

Avec :  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$  en (J : Joule), F en (N : Newton) et AB en (m : mètre).

#### 3- Travail moteur, travail résistant

Le travail d'une force est une grandeur algébrique.

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

$\alpha = 0^\circ$	$\alpha < 90^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 180^\circ$
$W_{AB}(\vec{F})$ positif : Travail moteur		$W_{AB}(\vec{F}) = 0$	$W_{AB}(\vec{F})$ négatif : Travail résistant	

### II- Travail d'une force constante en translation curviligne :

On découpe la trajectoire en petit segment  $\delta l$  infiniment petit. On note par  $\delta W_i(\vec{F})$  le travail élémentaire correspondant au déplacement  $\delta l_i$  :  $\delta W_i(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \delta \vec{l}_i$



Le travail total réalisé par la force de A à B est égal à la somme des travaux élémentaires :

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

Donc :

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

### Conclusion :

Le travail d'une force constante  $\vec{F}$ , lors d'un déplacement quelconque de son point d'application entre deux points A et B, est indépendant du chemin suivi entre A et B.

### III- Applications : travail du poids d'un solide

On a : 
$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB}$$

Avec :

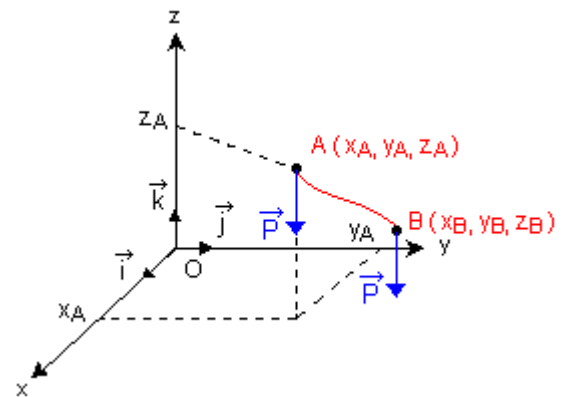
- $\vec{P} = -m \cdot g \cdot \vec{k}$
- $\overrightarrow{AB} = (x_2 - x_1) \cdot \vec{i} + (y_2 - y_1) \cdot \vec{j} + (z_2 - z_1) \cdot \vec{k}$

d'où :

$$\vec{P} \cdot \overrightarrow{AB} = -m \cdot g \cdot (z_2 - z_1)$$

Donc :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot (z_1 - z_2)$$



### Conclusion :

- Le travail du poids d'un solide est indépendant du chemin suivi par G entre G<sub>1</sub> et G<sub>2</sub>.
- A la descente le travail du poids est moteur et il est résistant à la montée.

### IV- Travail d'un ensemble de forces constantes :

Le travail d'un ensemble de forces  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3 \dots \vec{F}_n$  appliquées à un même solide en translation, est égal au produit scalaire de l'ensemble de vecteurs forces par le même vecteur déplacement :

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

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

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

D'où :

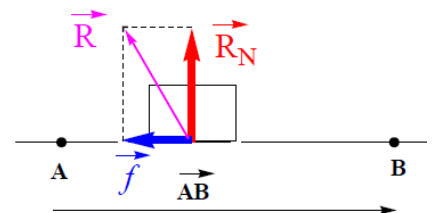
$$W_{A \rightarrow B} = \sum W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_{i, \text{ext}})$$

### Exemple :

La réaction du plan Ab est donnée par :  $\vec{R} = \vec{f} + \vec{R}_N$

d'où : 
$$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = \vec{R} \cdot \overrightarrow{AB} = (\vec{f} + \vec{R}_N) \cdot \overrightarrow{AB}$$

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



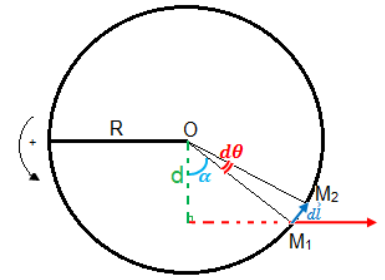
## V- Travail d'une force de moment constant :

### 1- Définition :

On appelle moment d'une force  $\vec{F}$  par rapport à un axe de rotation  $\Delta$ , le produit de la norme  $F$  de la force et de la distance  $d$  séparant sa droite d'action de l'axe  $\Delta$ . Son symbole est  $M_{\Delta}(\vec{F})$  :

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

Le moment  $M_{\Delta}(\vec{F})$  s'exprime en (N.m).



### 2- Travail d'une force de moment constant :

Quand un corps solide tourne d'un petit angle  $\delta\theta$ , le point d'application de la force  $\vec{F}$  traverse un petit arc  $\widehat{M_1M_2}$  qui peut être considéré comme droite et exprimé par le vecteur  $\vec{\delta l}$ , pendant ce petit déplacement, on peut considérer la force  $\vec{F}$  presque constante.

L'expression du travail partiel  $\delta W$  est :

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

Avec :  $\delta l = R \cdot \delta\theta$  ;  $d = R \cdot \cos\alpha$  ;  $M_{\Delta}(\vec{F}) = \pm F.d$

Donc :  $\delta W = F.R.\delta\theta.\cos\alpha = F.d.\delta\theta = M_{\Delta}(\vec{F}).\delta\theta$

Le Travail totale de la force  $\vec{F}$  est la somme des travaux partiels :

$$W_T = \sum \delta W_i(\vec{F}) = \sum M_{\Delta}(\vec{F}).\delta\theta$$

Puisque  $M_{\Delta}(\vec{F}) = \text{cste}$ , donc :

$$W_T = M_{\Delta}(\vec{F}).\sum \delta\theta = M_{\Delta}(\vec{F}).\Delta\theta$$

### Conclusion :

Le travail d'une force  $\vec{F}$  de moment constant par rapport à un axe de rotation  $\Delta$ , est égal au produit de moment  $M_{\Delta}(\vec{F})$  et de l'angle de rotation  $\Delta\theta$  :

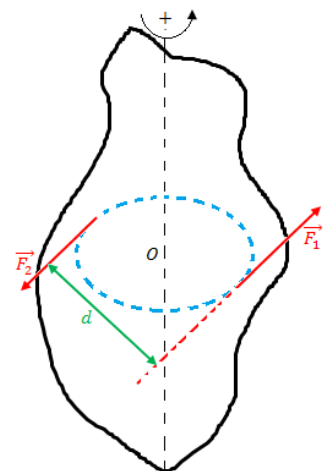
$$W(\vec{F}) = M_{\Delta}(\vec{F}).\Delta\theta$$

### 3- Travail d'un couple de moment constant :

En suivant les mêmes étapes du paragraphe précédent, on montre que :

$$W(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = M_c.\Delta\theta$$

Avec :  $M_c$  est le moment du couple  $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$  par rapport à  $\Delta$ .



## VI- Puissance d'une force :

### 1- Puissance moyenne :

La puissance moyenne d'une force est le quotient du travail de cette force par la durée  $\Delta t$  pour réaliser ce travail :

$$P_m = \frac{W(\vec{F})}{\Delta t}$$

La puissance s'exprime en watt (W).

**2- Puissance instantanée**▪ **Cas d'une translation**

$$P_i = \frac{\delta W_i(\vec{F})}{\Delta t} = \vec{F} \cdot \frac{\delta \vec{l}}{\delta t} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$
$$P_i = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

▪ **Cas d'une rotation**

$$P_i = \frac{\delta W_i(\vec{F})}{\Delta t} = M_{\Delta}(\vec{F}) \cdot \frac{\delta \theta}{\delta t} = M_{\Delta}(\vec{F}) \cdot \omega$$
$$P_i = M_{\Delta}(\vec{F}) \cdot \omega$$

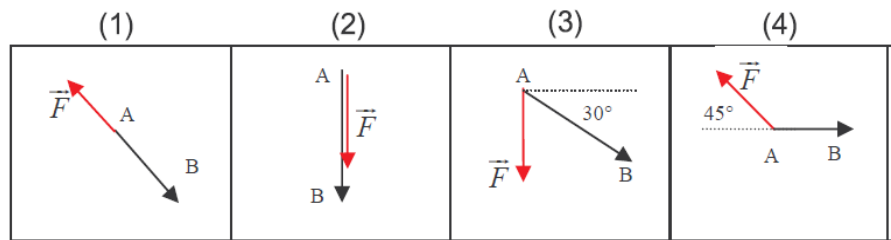


## Exercices d'applications – Chapitre 2

## Travail et puissance d'une force

## ❖ Exercice 1 :

Calculer le travail de la force  $\vec{F}$  dans les cas suivants en précisant sa nature, travail moteur, travail résistant ou travail nul. On donne  $F=10\text{N}$  et  $AB = 30\text{ cm}$ .



## ❖ Exercice 2 :

Un skieur est tiré à vitesse constante, par un remonte-pente, sur une piste verglacée rectiligne de longueur  $L = 300\text{ m}$ , faisant un angle  $\alpha = 20^\circ$  avec l'horizontale. La tige du remonte-pente fait un angle  $\beta = 30^\circ$  avec la direction de la piste. La masse du skieur équipé est  $m = 58\text{ kg}$ .

1. Faire un bilan des forces s'exerçant sur le skieur et les représenter sur un schéma.

La force exercée par la tige est parallèle à sa direction et les frottements sont négligeables.

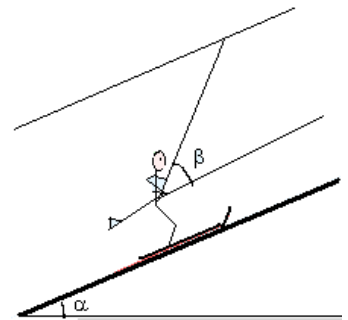
2. Quelle relation existe-t-il entre les forces appliquées au skieur ?

3. Quel est le travail de la résultante des forces ?

4. Exprimer le travail de chaque force.

5. En déduire la valeur de la force de traction exercée par la tige.

Donnée :  $g = 9,8\text{ N / kg}$



## ❖ Exercice 3 :

Un disque de masse  $m = 100\text{ g}$ , de rayon  $r = 20\text{ cm}$  tourne autour de l'axe perpendiculaire au disque en son centre.

1. Il est animé d'un mouvement de rotation uniforme, entretenu grâce à un moteur qui fournit une puissance de  $36\text{ mW}$ . Un point A, situé à la périphérie du disque est animé d'une vitesse de  $2,4\text{ m/s}$ .

a. Calculer la vitesse angulaire du disque.

b. Calculer la vitesse du point B situé à  $2\text{ cm}$  du centre du disque.

c. Calculer le moment du couple moteur.

d. Calculer le travail effectué par le couple moteur quand le disque tourne de 10 tours.

2. On coupe l'alimentation du moteur : le disque s'arrête au bout de  $8\text{ s}$  après avoir tourné de  $7,6$  tours. Les frottements peuvent être représentés par une force constante, d'intensité  $1,5 \cdot 10^{-2}\text{ N}$ , tangente au disque.

a. Calculer le travail de cette force pendant cette phase du mouvement.

b. Calculer la puissance moyenne de la force de frottement durant cette phase.

c. Calculer la puissance (instantanée) de la force de frottement au commencement de cette phase.

## ❖ Exercice 4 :

Un treuil de rayon  $r$  est actionnée à l'aide d'une manivelle de longueur  $L$ . On exerce une force  $\vec{F}$  perpendiculaire à la manivelle à fin de faire monter une charge de masse  $m$ . Le poids du treuil, de la manivelle et de la corde sont négligeables ainsi que les forces de frottements.

1. Calculer la valeur de  $F$  pour que la charge effectue un mouvement rectiligne uniforme.

2. Quel est le travail effectué par  $\vec{F}$  quand la manivelle effectue  $n = 10$  tours ?

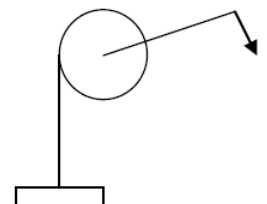
3. De quel hauteur  $h$  la charge est-elle alors montée ?

4. La manivelle est remplacée par un moteur qui exerce sur le treuil un couple de moment constant.

a. Le treuil tourne de  $n = 10$  tours. Le couple moteur fournit un travail égal à celui effectué par la force  $\vec{F}$  lors de la relation précédente. Calculer le moment  $M$  du couple moteur.

b. La vitesse angulaire de rotation du treuil est constante et égale à  $\omega = 1\text{ tour/s}$ . Quelle est la puissance du couple moteur ?

Donnée :  $r = 10\text{ cm}$  ;  $L = 50\text{ cm}$  ;  $m = 50\text{ kg}$  ;  $g = 9,81\text{ N/Kg}$ .



## Travail et énergie cinétique

### I- Energie cinétique :

#### 1. Energie cinétique d'un corps solide en translation :

##### ❖ Mouvement de translation :

On dit qu'un corps est en mouvement de translation si, pour deux points A et B de ce solide, le vecteur  $\overrightarrow{AB}$  garde les mêmes caractéristiques au cours de mouvement.

##### ❖ Énergie cinétique d'un solide en mouvement de translation

- 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.

L'énergie cinétique  $E_C$  d'un solide, en mouvement de translation, de masse  $m$  et de vitesse  $v$  par rapport à un référentiel, est donnée par la relation :

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Avec :

- $E_C$  : énergie cinétique du solide en Joules (J)
- $m$  : masse du solide en kg
- $v$  : vitesse du solide en  $m \cdot s^{-1}$

#### 2. Energie cinétique d'un corps solide en rotation autour d'un axe fixe :

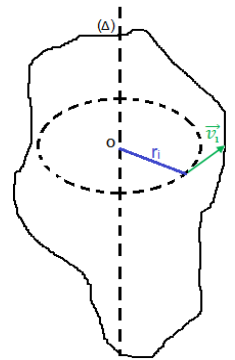
Soit (S) un solide indéformable de masse  $M$  en mouvement de rotation autour d'un axe fixe ( $\Delta$ ) de vitesse angulaire  $\omega$ . Chaque point  $A_i$  de masse  $m_i$  de ce solide est animé d'un mouvement de translation par rapport à l'axe ( $\Delta$ ) d'une vitesse linéaire  $v_i$ . Donc il possède une énergie cinétique  $E_{Ci}$  :

$$E_{Ci} = \frac{1}{2} \cdot m_i \cdot v_i^2 \quad ; \quad \text{Avec : } v_i = r_i \cdot \omega$$

D'où : 
$$E_{Ci} = \frac{1}{2} \cdot m_i \cdot (r_i \cdot \omega)^2$$

Donc l'énergie cinétique totale du solide est :  $E_C = \sum_i E_{Ci}$

$$\Rightarrow E_C = \frac{1}{2} \cdot \omega^2 \cdot \sum_i m_i \cdot r_i^2$$

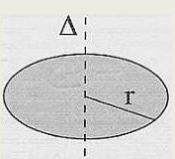
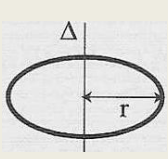
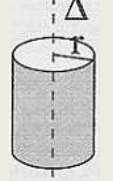
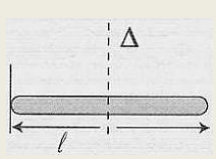
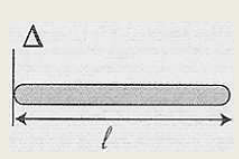
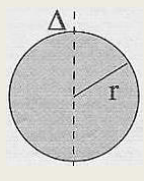


La grandeur  $\sum_i m_i r_i^2$  caractérise le solide (S). Il dépend de sa masse et de sa répartition autour de l'axe de rotation. Cette grandeur est appelée moment d'inertie du solide par rapport à l'axe ( $\Delta$ ), son unité dans le système international (SI) est  $kg \cdot m^2$  et on la note  $J_\Delta$ .

L'expression de l'énergie cinétique d'un corps solide en rotation autour d'un axe fixe s'écrit alors :

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot J_\Delta \cdot \omega^2$$

## ❖ Moments d'inertie de quelques solides homogènes

Corps	Disque	Anneau	Cylindre	Barre	Barre	Sphère
Forme						
$J_{\Delta}$ (Kg.m <sup>2</sup> )	$J_{\Delta} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$	$J_{\Delta} = m \cdot r^2$	$J_{\Delta} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$	$J_{\Delta} = \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2$	$J_{\Delta} = \frac{1}{3} \cdot m \cdot l^2$	$J_{\Delta} = \frac{2}{5} \cdot m \cdot r^2$

## II- Théorème de l'énergie cinétique

## Enoncé :

Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un système entre deux instants  $t_i$  et  $t_f$  est égale à la somme algébrique des travaux de toutes les forces et couples qui sont appliqués à ce système entre les instants  $t_i$  et  $t_f$  :

$$\Delta E_c = \sum W_{i \rightarrow f}(\vec{F})$$

- Cas d'une translation :  $\Delta E_c = E_{c_f} - E_{c_i} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_f^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_i^2 = \sum W_{i \rightarrow f}(\vec{F})$
- Cas d'une rotation :  $\Delta E_c = E_{c_f} - E_{c_i} = \frac{1}{2} \cdot J_{\Delta} \cdot \omega_f^2 - \frac{1}{2} \cdot J_{\Delta} \cdot \omega_i^2 = \sum W_{i \rightarrow f}(\vec{F})$



## Exercices d'applications – Chapitre 3

## Travail et énergie cinétique

## ❖ Exercice 1 :

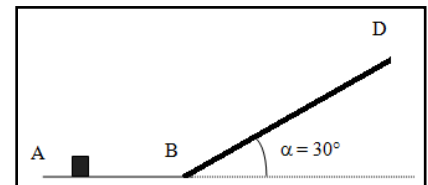
- Calculer l'énergie cinétique :
  - d'une voiture de masse 1,0 tonnes roulant à 90km/h
  - d'un camion de masse 30 tonnes roulant à 90km/h
- Calculer la vitesse d'une voiture de masse 1 tonnes ayant la même énergie cinétique que le camion roulant à 90km/h
- Quels commentaires, concernant la sécurité routière, inspirent ces résultats ?

## ❖ Exercice 2 :

- I- Une balle de base-ball, de masse  $m = 150\text{g}$ , est lancée avec une vitesse de  $30\text{ m.s}^{-1}$ .
- Calculer son énergie cinétique.
  - La vitesse de la balle diminue progressivement jusqu'à  $20\text{ m.s}^{-1}$ . Calculer la variation de son énergie cinétique.
- II- Un disque homogène de masse  $m = 50\text{g}$  de rayon  $R = 20\text{cm}$  tourne autour d'un axe fixe ( $\Delta$ ) passant par son centre. L'axe ( $\Delta$ ) est perpendiculaire au plan du disque.
- Calculer le moment d'inertie du disque par rapport à l'axe ( $\Delta$ ).
  - Calculer l'énergie cinétique du disque lorsqu'il tourne à la vitesse de 5 trs/s

## ❖ Exercice 3 :

Un autoporteur de masse  $m = 600\text{g}$  est lancé depuis un point A avec une vitesse initiale  $V_A = 6\text{ m.s}^{-1}$  sur un plan AB horizontal de longueur  $AB = 3\text{ m}$  sur lequel il glisse sans frottement, puis aborde un plan incliné BD, de longueur  $BD = 4\text{m}$ , sur lequel les frottements seront supposés négligeables. L'autoporteur pourra être considéré comme un solide ponctuel.



- Exprimer, puis calculer l'énergie cinétique de l'autoporteur en A.
- Faire l'inventaire des forces extérieures agissant sur l'autoporteur au cours de la phase AB.
- En déduire la vitesse du centre d'inertie du mobile en B ?
- Soit  $C_1$  un point du plan incliné tel que  $BC_1 = 1\text{ m}$ . Calculer le travail du poids de l'autoporteur et le travail de l'action  $\vec{R}$  du plan sur l'autoporteur au cours du déplacement  $BC_1$ .
- En appliquant le théorème de l'énergie cinétique au solide entre les instants  $t_B$  et  $t_{C_1}$  en déduire  $V_{C_1}$
- Soit  $C_2$  le point de rebroussement sur le plan incliné. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique au solide entre les instants  $t_B$  et  $t_{C_2}$ , en déduire  $BC_2$  la distance parcourue par le mobile avant de rebrousser chemin en  $C_2$

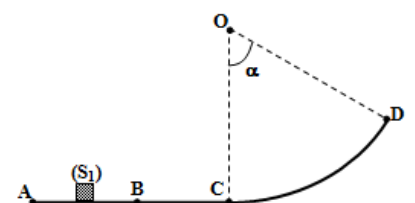
Donnée :  $g = 10\text{ N/Kg}$

## ❖ Exercice 4 :

La piste de lancement d'un projectile constitué d'un solide ponctuel ( $S_1$ ), comprend une partie rectiligne horizontale (ABC) et une portion circulaire (CD) centrée en un point O, de rayon  $r = 1\text{m}$ , d'angle au centre  $= 60^\circ$  et telle que OC est perpendiculaire à AC.

Le projectile ( $S_1$ ) de masse  $m_1 = 0,5\text{kg}$  est lancé suivant AB de longueur  $AB = 1\text{m}$ , avec une force horizontale  $\vec{F}$  d'intensité  $150\text{N}$ , ne s'exerçant qu'entre A et B. ( $S_1$ ) part du point A sans vitesse initiale.

- Déterminer la valeur de la vitesse  $V_D$  du projectile au point D. On néglige les frottements.
- Déterminer l'intensité minimale qu'il faut donner à  $\vec{F}$  pour que le projectile atteigne D.
- En réalité la piste ABCD présente une force de frottement  $\vec{f}$  d'intensité  $1\text{N}$ . Déterminer la valeur de la vitesse  $V_D$  avec laquelle le projectile quitte la piste en D sachant que  $BC = 0,5\text{m}$ .



Donnée :  $g = 10\text{ N/ kg}$ .

## Travail et Energie potentielle de pesanteur – Energie mécanique

### I- Energie potentielle de pesanteur

#### 1- Notion de l'énergie potentielle de pesanteur

L'énergie potentielle c'est l'énergie que possède un solide du fait de sa position par rapport à la Terre. Elle dépend de l'altitude de son centre d'inertie G.

##### Exemple :

L'eau d'un barrage, immobile et stockée en altitude, possède de l'énergie en réserve du fait de sa position par rapport à la Terre : elle possède de l'énergie potentielle. Si l'eau est libérée, cette énergie potentielle va se transformer en énergie cinétique au cours de la chute et l'eau pourra par exemple faire tourner la turbine d'un alternateur dans une centrale hydraulique.

#### 2- Expression littérale 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 :

$$E_{pp} = m \cdot g \cdot (z - z_0) \quad ; \quad \text{avec l'axe Oz vertical et orienté vers le haut,}$$

Avec :

- $E_{pp}$  : l'énergie potentielle de pesanteur du centre de gravité du système en (J) ;
- $m$  : la masse du système en (kg) ;
- $g$  : l'intensité du champ de pesanteur en (N/kg) ;
- $z$  : altitude du centre de gravité en (m).
- $z_0$  : altitude du niveau de référence pour l'énergie potentielle (C'est-à-dire la position à laquelle  $E_{pp} = 0$ )

##### Remarque :

- Par convention,  $E_{pp} = 0$  pour  $z = 0$  (normalement au sol), donc  $z_0 = 0$  :  $E_{pp} = m \cdot g \cdot z$
- Il est possible de choisir le niveau de référence pour l'énergie potentielle ( $E_{pp}=0$ ) à une altitude quelconque ( $z_0 \neq 0$ ).
- 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.
- Si l'axe Oz est orienté vers le bas (à éviter), l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur devient :

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

#### 3- Variation de l'énergie potentielle de pesanteur

L'expression de la variation de l'énergie potentielle de pesanteur du centre de gravité d'un solide entre deux points A et B, est donnée par la relation :

$$\Delta E_{pp} = E_{pp}(\text{final}) - E_{pp}(\text{initial}) = E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = mg (z_B - z_A)$$

Avec :

- $E_{pp}(A)$  et  $E_{pp}(B)$  : énergies potentielles de pesanteur du centre de gravité du système en A et B ;
- $z_A$  et  $z_B$  : altitudes du centre de gravité aux points A et B.

Puisque le travail de poids s'exprime par :  $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot (z_A - z_B)$

Donc :

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

## II- Energie mécanique

### 1- Définition de l'énergie mécanique

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

$$E_M = E_c + E_{pp} ; \text{ Elle s'exprime en joule (J).}$$

L'énergie mécanique, comme l'énergie potentielle, dépend de l'origine des altitudes.

### 2- Expression dans le cas d'un solide en translation

L'énergie mécanique d'un solide de masse  $m$ , animé d'un mouvement de translation à la vitesse  $v$  s'exprime sous la forme :

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

Avec l'axe vertical Oz, orienté vers le haut.

### 3- Conservation de l'énergie mécanique d'un solide

#### ❖ Solide en chute libre

L'énergie mécanique  $E_M$  d'un solide en chute libre (mouvement sans frottements, avec ou sans vitesse initiale) est constante. On dit qu'elle se conserve.

Au cours du mouvement, il y a transformation réciproque d'énergie cinétique en énergie potentielle de telle sorte que :  $\Delta E_c = - \Delta E_{pp}$

Quand le solide gagne de l'altitude, son énergie potentielle s'accroît au détriment de son énergie cinétique qui diminue.

#### ❖ Solide en mouvement sur un plan sans frottements

Quand le poids d'un solide est la seule force qui travaille (comme dans un mouvement d'une chute libre), on peut écrire, en appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre deux instants  $t_1$  et  $t_2$  quelconques :

$$\Delta E_c = \sum W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$$

On a donc :

$$\Delta E_M = \Delta E_c + \Delta E_{pp} = W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) - W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = 0$$

L'énergie mécanique du solide reste donc constante :  $E_M = \text{Constante}$ .

#### ❖ Non conservation de l'énergie mécanique d'un solide

Quand des forces autres que le poids travaillent, le même raisonnement conduit au résultat suivant :

$$\Delta E_c = \sum W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = W(\vec{P}) + W(\vec{F}_1) + W(\vec{F}_2) + \dots$$

On a donc :

$$\Delta E_c = -\Delta E_{pp} + W(\vec{F}_1) + W(\vec{F}_2) + \dots$$

$$\Delta E_c + \Delta E_{pp} = W(\vec{F}_1) + W(\vec{F}_2) + \dots$$

$$\Delta E_M = W(\vec{F}_1) + W(\vec{F}_2) + \dots$$

La variation de l'énergie mécanique du système est égale au travail des autres forces que le poids. Son énergie mécanique ne se conserve pas :  $\Delta E_m \neq 0$ .

**Cas particulier :**

Si la seule force qui travaille est la force de frottements dont le travail est résistant (négatif), alors, l'énergie mécanique du solide décroît et elle se transforme en chaleur à l'interface de contact entre le solide et le plan du glissement :  $\Delta E_m = W(\vec{f}) = -Q$

Avec : Q représente l'énergie thermique transférée.

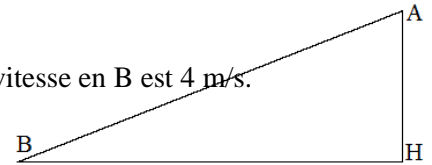
## Exercices d'applications – Chapitre 4

## Travail et énergie potentielle de pesanteur – Énergie mécanique

## ❖ Exercice 1 :

Un corps S de masse 2 kg est abandonné, sans vitesse initiale, du sommet A d'une planche inclinée AB = 4 m. On prend le plan horizontal passant par B comme niveau de référence de l'énergie  $E_m$ . On prend:  $g = 10 \text{ N/Kg}$  et  $AH = 1,2 \text{ m}$ .

- Le corps S est dans sa position initiale en A. calculer son énergie cinétique  $E_c(A)$ , son énergie  $E_{pp}(A)$  et son énergie mécanique  $E_m(A)$ .
- Les forces de frottement sont négligeables :
  - L'énergie mécanique du corps S est conservée. Pourquoi ?
  - Calculer  $E_{pp}(B)$ ,  $E_c(B)$  du corps S et déduire sa vitesse en B.
- En réalité les forces de frottement ne sont pas négligeable et valent 2 N et la vitesse en B est 4 m/s.
  - Quelle sera l' $E_m$  du corps S en B.
  - Calculer le travail des forces de frottement le long de AB.
  - Montrer que la variation de l'énergie mécanique  $\Delta E_m$  est égale au travail des forces de frottement le long de AB.



## ❖ Exercice 2 :

On étudie la chute libre (on néglige les forces de frottements et la poussée d'Archimède) d'un parachutiste de masse  $m=80\text{Kg}$  (équipement compris). Celui-ci, saute d'une montgolfière sans vitesse initiale, à une altitude de 1,00 km de la surface de la terre. Il ouvre son parachute dès qu'il arrive à une altitude de 700 m.

- Calculer l'énergie potentielle du parachutiste lorsqu'il saute de la montgolfière.
- Calculer l'énergie mécanique du parachutiste à ce moment.
- Faire le bilan des forces s'exerçant sur le parachutiste. Que peut-on déduire pour l'énergie mécanique ?
- Calculer la vitesse du parachutiste au moment de l'ouverture de son parachute.

Donnée :  $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$ .

## ❖ Exercice 3 :

Une balle de masse  $m = 200 \text{ g}$  est lancée verticalement vers le haut avec une vitesse de valeur  $5,0 \text{ m.s}^{-1}$  à partir d'un point situé à 1,20 m du sol. On donne :  $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$ .

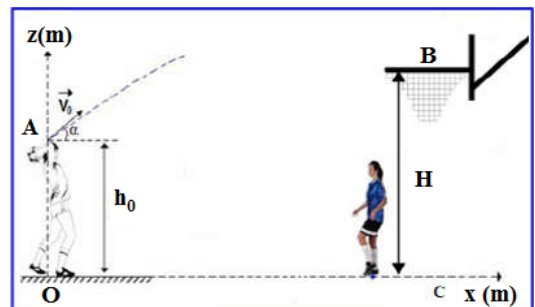
- Calculer les énergies potentielle, cinétique et mécanique de la balle à l'état initial.
- Calculer l'altitude maximale atteinte par la balle lors de ce lancer.
- Calculer la vitesse de la balle au moment où elle retombe sur le sol.

## ❖ Exercice 4 :

Lors d'un match de basket-ball au lycée Anoual, un élève de 1<sup>er</sup> Bac-BIOF lance une balle de masse  $m=200\text{g}$ , avec une vitesse initiale  $V_A = 3 \text{ m/s}$  à partir d'un point A situé à une hauteur  $h_0=1.8\text{m}$  du sol. La balle arrive à un autre point B situé à une hauteur H du sol avec une vitesse  $V_B = 2 \text{ m/s}$ . (on néglige les frottements avec l'air et on considère le sol tel que  $z = 0$  comme état de référence de l'énergie potentielle de pesanteur  $E_{pp} = 0$ ).

- Montrer que l'énergie mécanique de la balle se conserve entre A et B.
- Déterminer l'énergie potentielle de pesanteur  $E_{pp}(A)$  et l'énergie cinétique  $E_c(A)$  au point A.
- Déduire l'énergie mécanique  $E_m(B)$  au point B.
- Démontrer que l'énergie potentielle  $E_{pp}(B)$  vaut 4.1 J.
- Déduire la hauteur H.

Donnée :  $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$ .

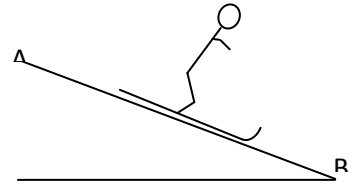


**❖ Exercice 5 :**

Un skieur à l'épreuve du kilomètre lancé (KL), en recherche de vitesse sur une piste plane, bien damée et inclinée d'un angle  $\alpha = 26,0^\circ$  par rapport à l'horizontale, part du point A et atteint une vitesse de  $50,5 \text{ m.s}^{-1}$  au bout d'un km de piste, au point B.

La masse du skieur et de son équipement est de 115 kg.

1. Donner l'expression littérale de l'énergie potentielle du skieur en A.
2. Faire l'application numérique correspondante en prenant comme origine des énergies potentielles le point B.
3. Donner l'expression littérale de l'énergie cinétique du skieur en B.
4. Faire l'application numérique correspondante.
5. Nommer les forces appliquées au système {skieur + équipement} et les représenter sur un schéma.
6. Donner l'expression du travail de chacune de ces forces.
7. Donner la relation liant la variation d'énergie cinétique du système et le travail des différentes forces.
8. Si le skieur glisse sans frottement. Quelle serait alors sa vitesse au point B ?
9. En fait les frottements ne sont pas négligeables lors d'une telle descente ; déterminer la valeur de ces frottements.





## Travail et énergie interne

### Introduction

L'énergie cinétique et l'énergie potentielle ne sont pas les seules formes d'énergie d'un système. Nous allons voir d'autres effets que peut avoir le travail d'une force sur un système et ainsi on va pouvoir définir une autre énergie qu'on appelle énergie interne.

Qu'est-ce que l'énergie interne d'un système ?

#### Quelques définitions :

- **L'état macroscopique :** L'état macroscopique de la matière concerne la matière qui est accessible à l'échelle humaine et en particulier dans la vie quotidienne. Cet état est quantifié par la masse ou la quantité de matière (g ou mol).
- **L'état microscopique :** L'état microscopique de la matière concerne la matière à l'échelle atomique ou moléculaire.

#### Remarque :

Entre l'état macroscopique et microscopique, il existe une constante de liaison : le nombre d'Avogadro  $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$  qui représente le nombre de particules par mole.


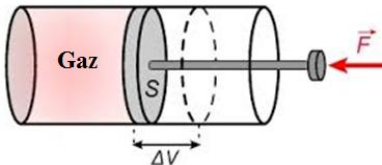

### I- Autres effets du travail d'une force ?

On a vu aux deux chapitres précédents (chap.3 et chap.4) qu'un transfert d'énergie sous forme de travail peut modifier :

- La valeur de la vitesse d'un système et donc son énergie cinétique  $E_C$  ;
- L'altitude de son centre d'inertie d'un système et donc son énergie potentielle de pesanteur  $E_{pp}$ .

Dans ce qui suit, nous allons examiner si ce travail peut-il modifier d'autres caractéristiques de ce système ?

#### ❖ Quelques exemples :

Exemple 1	Exemple 2	Exemple 3
		
Lors du découpage d'une plaque métallique à l'aide d'une meuleuse, la plaque et le disque s'échauffent.	On applique une force pressante sur le gaz enfermé dans une seringue, lorsqu'on relâche le piston, le gaz se détend et tend à revenir à sa position initiale	Lors du mouvement de la luge sur la glace, la glace se fond juste au-dessous de la luge

#### ❖ Interprétation :

**Exemple 1 :** la force qui effectue un travail est la force de frottement entre le disque et la plaque qui provoque un échauffement au niveau des surfaces de contact. Ce travail qui sera reçu par le système ne fait varier ni l'énergie cinétique ni l'énergie potentielle de pesanteur, mais il a pour effet d'élever la température du milieu environnant.

- **Conclusion 1 :** Le travail de la force de frottement peut fournir au système une énergie qui provoque une augmentation de la température. L'augmentation de la température d'un corps correspond, à l'échelle microscopique à une augmentation de l'agitation de ses atomes. Donc, dans, le disque et la plaque, une autre forme d'énergie est stockée sous forme d'énergie cinétique microscopique qui se disperse ensuite dans l'environnement.

**Exemple 2 :** La force qui effectue un travail est la force exercée par l'opérateur et qui provoque la compression du gaz dans le cylindre : la pression augmente et le volume diminue.

Le travail fourni par l'opérateur pour comprimer le gaz permet de transférer une énergie qui sera stockée dans le gaz (responsable sur l'augmentation de pression) et lorsqu'on lâche le piston le gaz libère cette énergie (une détente diminution de pression et augmentation de volume).

- **Conclusion 2 :** Le travail de la force pressante peut fournir au système une énergie qui provoque une augmentation de pression. L'augmentation de la pression d'un gaz correspond à l'échelle microscopique à une augmentation de chocs entre les constituants du gaz et la paroi de cylindre. Donc, le gaz a stocké une autre forme d'énergie.

**Exemple 3 :** La force qui effectue un travail est la force de frottement entre la luge et la glace, ce qui provoque un échauffement au niveau des surfaces de contact. Ce travail qui sera reçu par le système ne fait varier ni l'énergie cinétique ni l'énergie potentielle de pesanteur mais il a pour effet de fondre la glace (la température à dépasser 0°C dans cet exemple. Il se produit alors un changement d'état de l'état solide à l'état liquide et les constituants du système passent d'un état ordonné vers un état désordonné, c'est à dire que l'énergie cinétique microscopique et l'énergie potentielle microscopique des particules constituants les matériaux augmentent.

- **Conclusion 3 :** Le travail de la force de frottement peut fournir au système une énergie qui provoque un changement de son état physique.  
Le changement d'état d'un système correspond, à l'échelle microscopique, à une augmentation de désordre de ses constituants. Donc, dans la glace et la luge, une autre forme d'énergie est stockée sous forme d'énergie cinétique microscopique et énergie potentielle microscopique qui provoque un changement d'état du système.

### ❖ Conclusion générale :

L'énergie transférée par travail à un système peut augmenter son énergie cinétique ou/et son énergie potentielle de pesanteur, elle peut aussi, suivant la nature du système, provoquer :

- une élévation de la température du système ;
- une augmentation de la pression du système (le cas d'un gaz) ;
- un changement d'état du système.

Cette forme d'énergie stockée dans le système (énergie cinétique microscopique et énergie potentielle d'interaction entre les particules qui dues à la modification de leur position relative dans le système) est appelé énergie interne.

## II- Énergie interne d'un système

### 1- Définition

On appelle énergie interne  $U$  d'un système l'ensemble de toutes les énergies qui se manifestent au niveau des particules microcosmiques (énergie cinétique, potentielle, ...)

$$U = \xi_{c \text{ (micro)}} + \xi_{p \text{ (micro)}}$$

L'énergie interne s'exprime en joule (J)

## 2- Énergie totale d'un système

On définit l'énergie totale d'un système par la somme de son énergie mécanique  $E_m$  et de son énergie interne  $U$  :

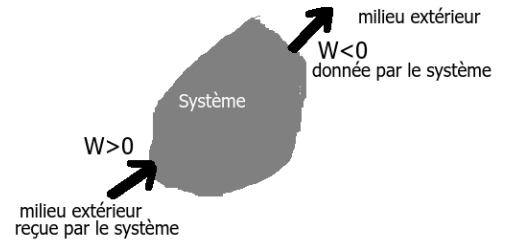
$$E = E_m + U = E_c + E_{pp} + U$$

## 3- La variation de l'énergie interne

- **Par convention** : Pour tout système qui reçoit de l'énergie ( $W$ ) du milieu extérieur on a :  $W > 0$ , alors que lorsque ce système libère de l'énergie vers l'extérieur on écrit :  $W < 0$
- **Variation de l'énergie interne** : On ne peut pas déterminer l'énergie interne d'un système, mais seulement la variation de son énergie interne :

$$\Delta U = U_f - U_i$$

Un système dont l'énergie interne augmente, stocke l'énergie. Inversement un système dont l'énergie interne diminue libère de l'énergie.



## 4- Échange de l'énergie avec le milieu extérieur

La variation de l'énergie interne d'un système se fait soit par l'agitation des particules qui les constituent ou par les interactions qui existent entre ces particules.

## 5- Énergie transférée par travail à un système

Lorsqu'un système est soumis à des forces extérieures qui effectuent un travail  $W$ , ce système échange de l'énergie avec le milieu extérieur, et la variation de l'énergie interne  $\Delta U$  dans ce cas égale à la quantité d'énergie échangé, c'est le travail  $W$ .

$$\Delta U = W$$

## 6- Transfère d'énergie par chaleur : transfère thermique

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

## 7- Transfère d'énergie par rayonnement

La terre se réchauffe sous l'effet des rayons solaires. Cependant, le vide entre la terre et le soleil ne permet pas un transfert thermique ! Quel mode de transfert d'énergie existe-t-il alors entre la terre et le soleil ?

Ce sont les radiations visibles et invisibles émissent par le soleil qui permettent le transfert d'énergie entre la terre et le soleil selon un mode de transfère d'énergie appelé transfert par rayonnement.

## III- Conclusion générale : Premier principe de la thermodynamique

Le travail, la chaleur et le rayonnement constituent des modes de transfert d'énergie.

Si le transfert d'énergie se fait par chaleur, travail et rayonnement, alors la variation de l'énergie interne d'un système est :

$$\Delta U = Q_t + W$$

Avec :  $Q_t$  est l'énergie transférée par chaleur ou rayonnement.

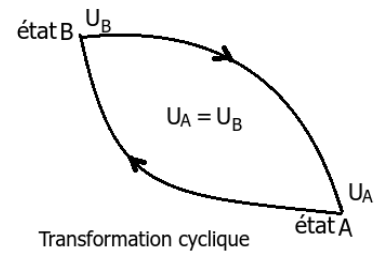
**1- Énoncé du premier principe de la thermodynamique :**

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

**2- Le cas d'une transformation cyclique :**

On dit qu'un système effectue une transformation cyclique ou fermée si l'état final coïncide avec l'état initial et par conséquent :

$\Delta U = 0$  : la variation de l'énergie interne est nulle.

**3- Bilan énergétique :**

L'énergie totale d'un système est égale à la somme de son énergie mécanique et son énergie interne:  $E = E_m + U$

Si le système est isolé (n'échange ni matière ni énergie avec le milieu extérieur) :

$$\Delta E = 0. \text{ Donc : } \Delta E_m + \Delta U = 0$$

Ce résultat exprime la conservation de l'énergie totale d'un système.

## Exercices d'applications – Chapitre 5

## Travail et énergie interne

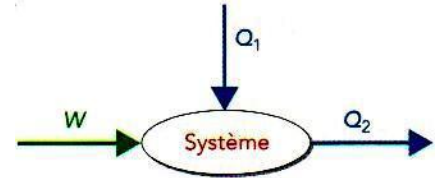
## ❖ Exercice 1 :

On considère un système qui échange de l'énergie avec l'extérieur. On a représenté sur le schéma ci-contre ces transferts. On donne  $|W| = 120 \text{ J}$ ,  $|Q_1| = 100 \text{ J}$  et  $|Q_2| = 200 \text{ J}$ .

1. Quelles sont les causes possibles d'une variation de l'énergie interne d'un système ?

2. Préciser les signes des transferts d'énergie  $W$ ,  $Q_1$  et  $Q_2$ . Justifier la réponse.

3. Quelle est la variation de l'énergie interne du système ?



## ❖ Exercice 2 :

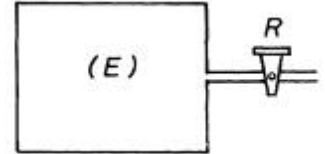
On considère un gaz enfermé dans un cylindre en position horizontale, fermé par un piston P. le gaz n'échange pas de chaleur avec le milieu extérieur. L'opérateur applique une force  $\vec{F}$  constante d'intensité  $F = 80 \text{ N}$  sur le piston en effectuant un déplacement  $\Delta l = 15 \text{ cm}$ .

1. Y-t-il une variation d'énergie interne au cours de cette transformation ? justifier votre réponse.

2. Si la réponse est oui, calculer cette variation.

## ❖ Exercice 3 :

L'enceinte (E), adiabatique et de volume constant  $V$ , est initialement vide. On ouvre le robinet R, et le gaz de l'atmosphère extérieure, de pression constante  $P$ , vient remplir l'enceinte (E) jusqu'à ce que la pression y soit égale à  $P$ . Calculer l'énergie interne  $U$  du gaz de l'enceinte dans l'état final en fonction de son énergie interne  $U_0$  et du volume  $V_0$  qu'il avait initialement dans l'atmosphère.



**Rép :**  $U = U_0 + P V_0$ .

## ❖ Exercice 4 :

On considère un chariot de masse  $m = 5,0 \text{ kg}$  pouvant glisser sur deux rails orientés selon la plus grande pente d'un plan incliné. On lance le chariot d'un point A situé dans le plan horizontal, avec une vitesse initiale  $V_A = 7,0 \text{ m/s}$ , il atteint un point C situé à la hauteur  $h = 1,9 \text{ m}$  du plan horizontal.

1. Calculer la variation de l'énergie mécanique au cours de ce mouvement ?

2. Quelle est la variation de l'énergie interne du système ?

**On prendra :**  $g = 9,8 \text{ N/kg}$  intensité de pesanteur.

## ❖ Exercice 5 :

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  $V = 1,0 \text{ L}$  d'air à la température  $20^\circ\text{C}$ .

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 de cylindre est supposée invariante. Calculer la nouvelle pression de l'air contenu dans le cylindre.

3. Calculer le travail de la force sur l'air comprimé sachant que le piston s'est déplacé de  $1 \text{ mm}$ .

4. L'air contenu dans le cylindre est supposé un gaz parfait dans les conditions de l'expérience, sa température est considérée inchangée. Calculer la variation de l'énergie interne de l'air dans le cylindre.

**On donne :**  $g = 10 \text{ N/kg}$  intensité de pesanteur.

## ❖ Exercice 6 :

Un cylindre fermé avec un piston mobile contient initialement 10g de vapeur à 100°C. On chauffe le système pour que sa température augmente de 10°C. pendant que la vapeur d'eau se détend de  $30,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$  à une pression constante de 0,400 MPa.

1. Déterminer le travail effectué par la vapeur ;
2. Déterminer la quantité de chaleur reçue par la vapeur ;
3. En déduire la variation de son énergie interne.

## ❖ Exercice 7 :

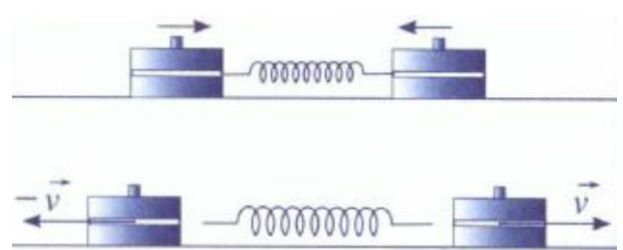
Un gaz est enfermé dans un cylindre, muni d'un piston de masse  $m=500\text{g}$  et de surface  $S=20\text{cm}^2$  et peut effectuer un mouvement vertical sans frottement. A l'état initial, le volume du gaz est  $V_0=1\text{L}$  et sa température est  $T_0=300\text{K}$ . On place sur le piston une masse de 20 kg. Le gaz évolue vers un autre état d'équilibre en gardant sa température initiale  $T_1 = T_0 = 300\text{K}$ .

1. Déterminer la pression  $P_0$  du gaz dans l'état initial.
2. Déterminer les paramètres du nouvel état : la pression  $P_1$  et le volume  $V_1$ .
3. Calculer la variation de l'énergie interne du gaz.

**On donne :** la pression atmosphérique  $P_{\text{atm}}=10^5 \text{ Pa}$ .

## ❖ Exercice 8 :

On dispose de deux palets autoporteurs identiques, de masse  $m=240\text{g}$  chacun, et d'un ressort de constante de raideur  $k=100\text{N.kg}^{-1}$ . Les deux palets sont posés sur un plan horizontal. Il n'y a pas de frottement. Le ressort est comprimé entre les deux palets d'une longueur  $|\Delta l| = 8\text{cm}$ , l'ensemble étant maintenu par un fil tendu.



Le dispositif étant immobile, on coupe le fil, et le ressort se détend.

Lorsque le contact est rompu entre les deux palets et le ressort, les palets sont en translation : leurs vecteurs vitesses sont opposés et ont la même valeur  $v$ . Le système est l'ensemble {ressort + 2 palets}

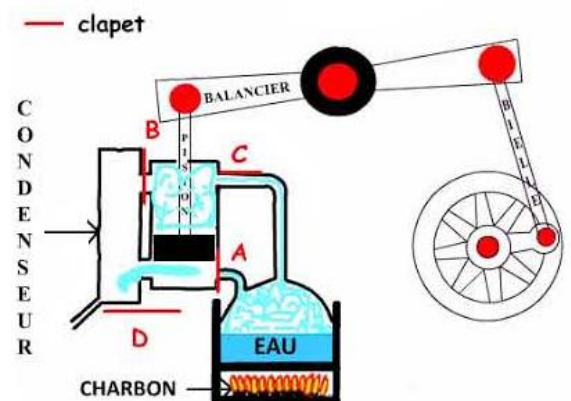
L'énergie interne  $U$  d'un ressort comprimé d'une longueur  $\Delta l$  est égale à :  $U = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \Delta l$

1. Exprimer l'énergie  $E_1$  du système lorsque le ressort est comprimé.
2. Exprimer son énergie  $E_2$  du système lorsque le ressort a repris sa longueur au repos.
3. Déterminer la variation de l'énergie interne du ressort.
4. Calculer  $v$ .

## ❖ Exercice 9 :

La machine à vapeur constitue un exemple de machines thermique dans laquelle le fluide thermique (l'eau) décrit une transformation cyclique en prélevant une certaine quantité de chaleur  $Q_1$  de la source chaude (La chaudière) qui le transforme en vapeur, et en restituant une certaine quantité de chaleur  $Q_2$  à la source froide (le condenseur) où la vapeur est condensée en eau liquide.

1. Quel est le signe de  $Q_1$ , et quel est le signe de  $Q_2$  ?
2. Quelle est la variation de l'énergie interne du fluide à la fin du cycle ?
3. Sachant que  $|Q_1| = 900 \text{ J}$  et  $|Q_2| = 350 \text{ J}$ , calculer le travail  $W$  réalisé par le fluide thermique pendant un cycle.
4. Sachant que cette machine accomplit 2800 cycles par minute, calculer sa puissance  $P$ .
5. On définit le rendement  $\eta = \frac{|W|}{Q_1}$ . Déterminer le rendement de cette machine Conclure





## ❖ Exercice 10 :

Un système formé de  $n = 3,0$  moles de gaz parfait est placé dans un piston vertical de section  $S = 10 \text{ cm}^2$ , et surmonté par un piston de masse nulle.

La pression de l'atmosphère extérieure est  $P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ . On donne  $g = 10 \text{ N/kg}$

Le gaz est à la température initiale  $T_0 = 300 \text{ K}$  et évolue de façon isotherme.

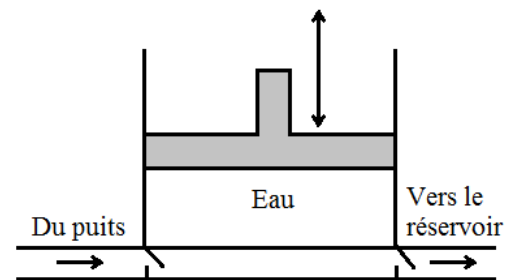
On pose progressivement sur le piston une masse  $m = 5,0 \text{ kg}$ , par exemple en versant doucement du sucre sur le dessus du piston, de telle sorte que celui-ci soit en permanence en état de quasi équilibre.

1. En écrivant l'équilibre final du piston et de la masse, déterminer la pression finale  $P_f$  du gaz.
2. Calculer le volume initial  $V_i$  et le volume final  $V_f$  du gaz
3. Calculer le travail  $W$  reçu par le gaz.

## ❖ Exercice 11 :

Une machine thermique fonctionne entre deux sources de chaleurs. Une source chaude  $S_1$  et une source froide  $S_2$ . Le fluide thermique de cette machine réalise une transformation cyclique en prélevant une quantité de chaleur  $|Q_1| = 750 \text{ J}$  à la source chaude, et en restituant une quantité de chaleur  $|Q_2| = 320 \text{ J}$  à la source froide.

1. Donner les signes des quantités de chaleurs  $Q_1$  et  $Q_2$ .
2. Quel est le travail effectué lors de cette transformation ?
3. Sachant que le fluide réalise 15 cycles par seconde, calculer la puissance  $P$  de cette machine thermique.
4. Ce travail est utilisé pour pomper l'eau d'un puits pour remplir un réservoir de capacité  $30 \text{ m}^3$ , à l'aide du dispositif schématisé ci-dessous, où le volume du cylindre est  $V = 2L$ .
  - a. Pouvez-vous décrire brièvement le mode de fonctionnement de ce dispositif ?
  - b. Quelle est la durée  $\Delta t$  nécessaire au remplissage du réservoir ?
  - c. Calculer la quantité de chaleur fournie par la source chaude durant cette opération.



## Energie thermique – Transfert thermique

### I- Transfère d'énergie par chaleur : transfert thermique

#### 1- Définition

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

#### 2- Sens de transfert thermique :

Un transfert thermique s'effectue spontanément d'un corps de température plus élevée à un corps de température plus basse.

#### Remarque :

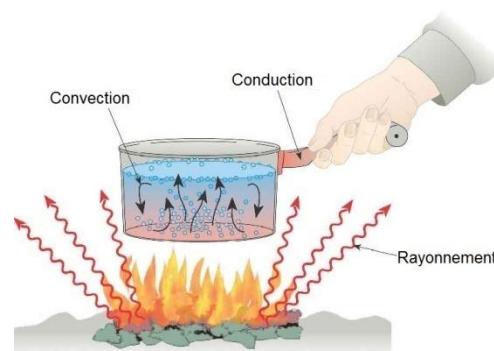
Le termes froid et chaud sont relatifs. (Une quantité d'eau à  $0^{\circ}\text{C}$  et une autre à  $10^{\circ}\text{C}$ , les deux quantités sont froides mais la première quantité est plus chaude que la deuxième).

Si le contact entre les deux corps à lieu en suffisamment de temps, ils auront la même température, on dit que les deux corps sont en équilibre thermique.

#### 3- Modes de transfert thermique

- **Transfert thermique par conduction** : Lorsqu'on chauffe le bout d'une plaque métallique au bout d'un petit moment, en touchant l'autre bout, on constate qu'il devient chaud, ce qui veut dire qu'il y a un transfert thermique de l'extrémité chaude de la barre vers l'extrémité froide. Le transfert thermique par conduction s'effectue sans transport de la matière.
- **Transfert thermique par convection** : Dans les gaz et les liquides, le transfert thermique est plus complexe, car le phénomène de transfert s'accompagne d'un mouvement de la matière. Par exemple, au dessus d'une flamme, l'air se réchauffe et s'élève car la densité de l'air chaud est inférieure à celle de l'air froid.
- **Transfère d'énergie par rayonnement** : La terre se réchauffe sous l'effet des rayons solaires. Cependant, le vide entre la terre et le soleil ne permet pas un transfert thermique ! Quel mode de transfert d'énergie existe-t-il alors entre la terre et le soleil ?

Ce sont les radiations visibles et invisibles émis par le soleil qui permettent le transfert d'énergie entre la terre et le soleil selon un mode de transfère d'énergie appelé : transfert par rayonnement.



**Conclusion** : Un transfert thermique s'effectue par conduction, par convection ou par rayonnement. Les deux premiers modes de transfert nécessitent la présence d'un milieu matériel : ils ne peuvent pas s'effectués dans le vide.

#### 4- Effet du transfert thermique

- Le transfert thermique 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 énergie thermique

### 1- Définition

Un transfert thermique est un transfert d'énergie d'un corps chaud vers un corps froid. Cette énergie s'appelle énergie thermique ou quantité de chaleur, on la note  $Q$ , son unité est le joule (J).

### 2- Expression de l'énergie thermique

On admet dans le cas d'un échauffement régulier, que l'énergie reçue par un corps de masse  $m$  (sans qu'il change d'état) et dont la température s'élève de  $\theta_i$  à  $\theta_f$  est proportionnelle à  $m$  et à la différence  $(\theta_f - \theta_i)$  et ceci se traduit par la relation :

$$Q = m.c.(\theta_f - \theta_i)$$

où «  $c$  » est appelée « capacité thermique massique » du corps. C'est une constante qui caractérise la matière constituant le corps.

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. Son unité dans SI ( $J.kg^{-1}.K^{-1}$ )

**Exemples** des capacités thermiques massiques :

- L'eau :  $4180 J.kg^{-1}.K^{-1}$
- Éthanol :  $2420 J.kg^{-1}.K^{-1}$
- Aluminium :  $904 J.kg^{-1}.K^{-1}$
- Dihydrogène :  $1400 J.kg^{-1}.K^{-1}$

**Remarque 1** : La capacité thermique massique «  $c$  » d'un corps dépend de sa température initiale, cependant, dans la plus part des cas, elle peut être constante dans un domaine limité de températures.

**Remarque 2** : La capacité thermique «  $\mu$  » d'un corps de masse  $m$  est l'énergie thermique nécessaire pour élever sa température de 1°C, elle est exprimée par la relation

$$\mu = m.c$$

où  $c$  est la capacité thermique massique du corps.

L'unité La capacité thermique «  $\mu$  » dans S.I est :  $J/^{\circ}C$  ou  $J/K$ .

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

$$\mu_S = \sum \mu_i = \sum m_i.c_i$$

### 3- Equilibre thermique

Lorsque deux corps de températures différentes sont mis en contact, le corps le plus froid reçoit de l'énergie du corps le plus chaud par transfert thermique. Le transfert cesse lorsque les deux corps sont à la même température : on parle alors d'équilibre thermique :  $\Delta U = Q = 0$

**Exemple :**

Prenons deux objets A et B qui échangent de l'énergie sous forme de transfert thermique : ils sont en contact et ont des températures différentes :

La température du corps le plus chaud A diminue de  $\theta_A$  à  $\theta_{eq}$  : le corps chaud cède l'énergie thermique :  $Q_A < 0$

La température du corps B le plus froid augmente de  $\theta_B$  à  $\theta_{eq}$  : le corps froid reçoit l'énergie thermique :  $Q_B > 0$

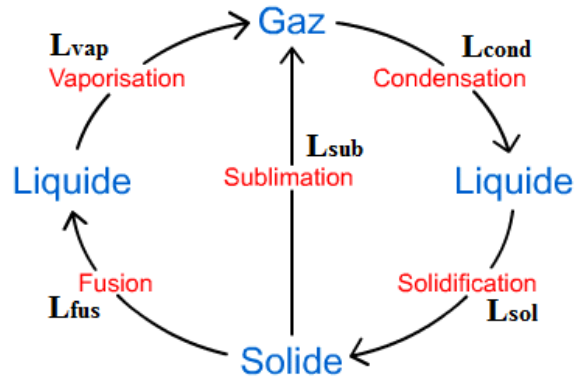
$$Q_A + Q_B = 0$$

$$m_B.C_B.(\theta_{eq} - \theta_B) + m_A.C_A.(\theta_{eq} - \theta_A) = 0$$

#### 4- Transfert d'énergie produisant un changement d'état.

##### a- Les différents changements d'état

Un changement d'état physique correspond au passage d'un état physique à un autre état physique. Il se fait à température constante.



##### b- L'énergie thermique de changement d'état : chaleur latente

**Définition** : L'énergie thermique de changement d'état (ou chaleur latente), notée  $L$ , est l'énergie qu'il faut fournir à 1 kg d'un corps pur (liquide, solide ou gaz), à sa température de changement d'état, pour qu'il change d'état.

##### Exemple :

- Chaleur latente de fusion de l'eau glace :  $L_{\text{fus}} = 334.10^3 \text{ J.kg}^{-1}$
- Chaleur latente de vaporisation de l'eau liquide :  $L_{\text{vap}} = 2,26.10^6 \text{ J.kg}^{-1}$

Lors de son changement d'état, la masse  $m$  d'un corps pur échange avec l'extérieur l'énergie :

$$Q = m.L_{\text{changement}}$$

##### Avec :

- $Q$  : énergie échangée en joule (J)
- $m$  : masse du corps en kilogramme (kg)
- $L$  : chaleur latente de changement d'état en joule par kilogramme ( $\text{J.kg}^{-1}$ )

##### Remarque :

- Pour observer un changement d'état vers une phase moins ordonnée (fusion, vaporisation), le système doit gagner de l'énergie,  **$Q$  est positive**, donc  $L$  aussi. La transformation est dite **endothermique**.
- Pour observer un changement d'état vers une phase plus ordonnée (solidification, condensation), le système doit perdre de l'énergie,  **$Q$  est négative**, donc  $L$  aussi. La transformation est dite **exothermique**.
- $L_{\text{sol}} = -L_{\text{fus}}$  ;  $L_{\text{cond}} = -L_{\text{vap}}$  ;  $L_{\text{liq}} = -L_{\text{vap}}$

## Exercices d'applications – Chapitre 6

### Energie thermique – Echange thermique

#### ❖ Exercice 1 :

On admet que dans un calorimètre, seul le vase intérieur (masse  $m_1 = 300\text{g}$ , capacité thermique massique  $C_1 = 0,38\text{kJ.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) et l'agitateur (masse  $m_2 = 50\text{ g}$ , capacité thermique massique  $C_2 = 0,90\text{ kJ.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) sont susceptibles de participer aux échanges thermiques avec le contenu de l'appareil.

1) Calculer la capacité thermique  $\mu$  du calorimètre.

2) Ce dernier contient 400 g d'éthanol à la température  $t_1 = 17,5^\circ\text{C}$  ; on y verse 200 g d'eau à la température  $t_2 = 24,7^\circ\text{C}$  et on note la température lorsque l'équilibre thermique est réalisé, soit  $t_e = 20,6^\circ\text{C}$ . En déduire la valeur de la capacité thermique massique  $C$  de l'éthanol.

**Donnée :** Capacité thermique massique  $C_e$  de l'eau :  $C_e = 4,19\text{ kJ.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

#### ❖ Exercice 2 :

Un calorimètre de capacité thermique  $\mu = 180\text{ J.K}^{-1}$  contient un mélange en équilibre de 100 g d'eau et de 5 g de glace broyée. Un bloc de plomb de masse  $m = 220\text{ g}$ , préalablement porté à la température  $t = 97,0^\circ\text{C}$ , est introduit rapidement dans le vase calorimétrique. On attend l'équilibre thermique et on note la température :  $t_e = 1,7^\circ\text{C}$ .

1) Calculer la valeur de la capacité thermique massique du plomb.

2) Quelle énergie thermique minimale faut-il fournir pour fondre un lingot de plomb de masse 20 kg pris à la température initiale de  $20^\circ\text{C}$  ?

**Donnée :**

- Capacité thermique massique de l'eau :  $C_e = 4,19\text{ kJ.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$
- Chaleur latente de fusion de la glace à  $0^\circ\text{C}$  :  $L_f = 334\text{ kJ.kg}^{-1}$
- Température de fusion du plomb :  $t_{f,(\text{Pb})} = 327^\circ\text{C}$  ;
- Chaleur latente de fusion du plomb à  $327^\circ\text{C}$  :  $L_{f,(\text{Pb})} = 22,6\text{ kJ.kg}^{-1}$

#### ❖ Exercice 3 :

Un calorimètre renferme 200 g d'eau à la température  $t_1 = 14,5^\circ\text{C}$ . On y introduit un cylindre d'aluminium de masse  $M = 80\text{ g}$  préalablement porté dans une étuve à la température  $t_2 = 86,8^\circ\text{C}$ . La température d'équilibre se fixe à  $t_e = 20,0^\circ\text{C}$ .

On recommence l'expérience en plaçant, cette fois, 150 g d'eau dans le calorimètre à la température  $t'_1 = 15,8^\circ\text{C}$ ; le même cylindre d'aluminium, désormais, porté à la température  $t'_2 = 95,5^\circ\text{C}$  est réintroduit dans le calorimètre; le nouvel équilibre est caractérisé par la température  $t'_3 = 22,1^\circ\text{C}$ . En déduire :

1) La capacité thermique massique  $C$  de l'aluminium;

2) La capacité thermique  $\mu$  du calorimètre.

3) Quelle quantité de chaleur minimale faut-il mettre en œuvre pour fondre une tonne d'aluminium prise à la température initiale de  $15^\circ\text{C}$  ?

**Donnée :**

- Capacité thermique massique de l'eau :  $C_e = 4,19\text{ kJ.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$
- Température de fusion de l'aluminium  $t_{f,(\text{Al})} = 660^\circ\text{C}$ .
- Chaleur latente de fusion de l'aluminium à  $660^\circ\text{C}$  :  $L_{f,(\text{Al})} = 330\text{ kJ.kg}^{-1}$

## Le champ électrostatique

### Introduction :

Ce sont les anciens Grecs qui découvrirent les premiers phénomènes d'électrisation, en constatant qu'en frottant de l'ambre jaune (une résine fossile sécrétée il y a des millions d'années par des conifères ou des plantes à fleurs. Il est utilisé depuis la préhistoire dans la bijouterie et pour ses vertus médicinales), celle-ci produisait une attirance sur d'autres objets, et parfois des étincelles. Ils ont donc appelé «cette force», électricité qui vient du Grec êlektron qui signifiait ambre jaune.



### I- L'électrisation : mise en évidence du phénomène

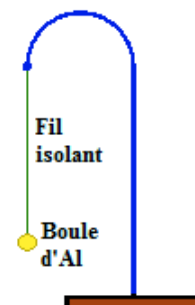
#### 1- Electrification par frottement : Activité 1

**Matériel** : Chiffons de laine, morceaux de tissu, peau de mouton.

**Différents matériaux** : règle en plastique, règle métallique, tige en verre, bâton d'ébonite

**Expérience** : utilisation d'un pendule électrostatique

- Toucher la petite boule d'aluminium avec le doigt.
- Approcher une tige de verre non frottée de la boule d'aluminium.
- Frotter ensuite la tige de verre avec de la laine, puis approchée cette tige frottée de la boule d'aluminium sans la toucher.
- Refaire toutes les étapes de la manipulation, en remplaçant la tige de verre par la tige de plastique frottée avec du nylon, puis par la tige d'ébonite frottée avec une peau de mouton, et enfin avec une tige métallique.



- a. Faire un schéma pour l'une des expériences. Noter vos observations.
- b. Quels matériaux peut-on électriser par frottement ?
- c. Citer et décrire un phénomène observable dans la vie courante et résultant d'une électrisation par frottement.

#### Interprétation :

- a.
  - Avec la tige en verre non frottée, il ne se passe rien.
  - La tige en verre, le bâton d'ébonite et la règle en plastique frottés attirent la boule du pendule.
  - Avec la règle métallique frottée, il ne se passe rien.
- b. On peut donc électriser le plastique, l'ébonite et le verre par frottement. Par contre le métal ne peut pas être électrisé par frottement.
- c. Un phénomène d'électrisation observable dans la vie courante, est le phénomène de la décharge électrique que l'on subit parfois en descendant de la voiture. Les frottements de nos vêtements avec les sièges de la voiture nous électrisent, et lorsque l'on touche une partie métallique de la voiture en descendant on ressent une légère décharge électrique.

**Conclusion** : Un corps frotté, capable d'attirer des corps légers, est dit **corps électrisé**.

#### 2- Electrification par contact : Activité 2

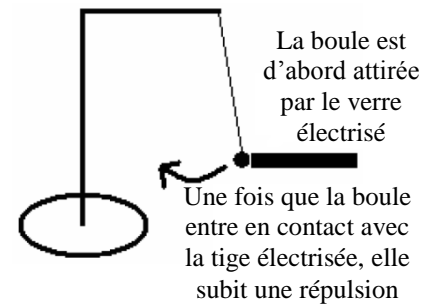
**Expérience** : Reproduire l'expérience précédente avec la tige de verre et celle en PVC, en approchant doucement la tige frottée jusqu'à venir toucher la boule d'aluminium du pendule.



- Faire un schéma de l'expérience et noter vos observations.
- Que se passe-t-il lorsqu'un corps électrisé entre en contact avec un corps non électrisé ?

### Interprétation :

- Schéma et observations (figure ci-contre):
- Lorsqu'un corps électrisé entre en contact avec un corps non électrisé, ce dernier s'électrise à son tour, et les deux corps se repoussent.



### Conclusion :

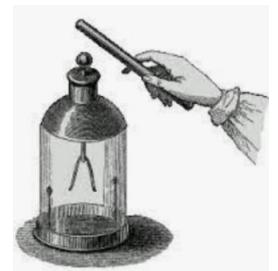
Quand un corps électrisé A touche un corps non électrisé B, le corps B s'électrise. On constate alors que A et B se repoussent. C'est ce que l'on appelle **l'électrisation par contact**.

### 3- Electrification par influence

Un électroscope à feuilles est constitué d'une tige métallique supportant deux feuilles étroites et très fines d'or ou d'aluminium. L'ensemble est placé dans une enceinte transparente et isolante (verre)

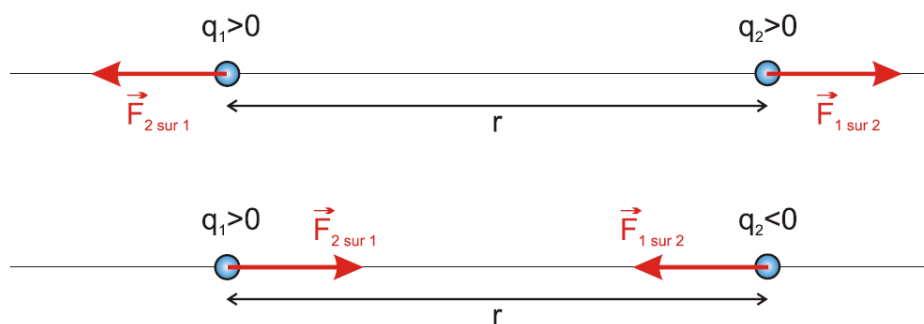
Lorsqu'on approche une baguette électrisée de l'électroscope (sans le toucher), les feuilles de l'électroscope s'écartent. Si on éloigne la baguette, les feuilles retombent.

Les feuilles se repoussent parce qu'elles sont électrisées sous l'influence de la baguette.



## II- Interaction électrostatique : Loi de Coulomb

- Toute charge électrostatique exerce une force (à distance) sur toute autre charge: les charges de même signe se repoussent alors que les charges de signes contraires s'attirent.
- Deux charges électrostatiques au repos  $q$  et  $q'$  s'attirent ou se repoussent mutuellement avec une force  $\vec{F}$  :
  - Proportionnelle à chacune des charges  $q$  et  $q'$  ;
  - Dirigée suivant la droite joignant les deux charges ;
  - Inversement proportionnelle au carré de la distance «  $r$  » qui sépare  $q$  et  $q'$ .



### ▪ Énoncé de la loi de Coulomb :

La force qu'une charge  $q_1$  exerce sur une charge  $q_2$  se trouvant à la distance «  $r$  » de  $q_1$  s'écrit :

$$F_{1/2} = F_{2/1} = F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

Avec :

- $k$  : est la constante de proportionnalité telle que :  $k = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2.\text{C}^{-2}$  ;
- $\epsilon_0$  : et est une autre constante appelée **permittivité du vide** telle que :  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$  ; (F : Farad).

### III- Le champ électrostatique

#### 1- Définition :

Un champ électrostatique est une région de l'espace où une charge électrostatique est soumise à une force électrostatique.

Pour contrôler s'il règne un champ électrique dans une région de l'espace, on y place une petite charge témoin, et on examine si elle est soumise à une force électrique ou non.

À proximité d'un corps chargé règne un champ électrique. Tout corps chargé est donc source d'un champ électrique.

#### 2- Le vecteur champ électrostatique

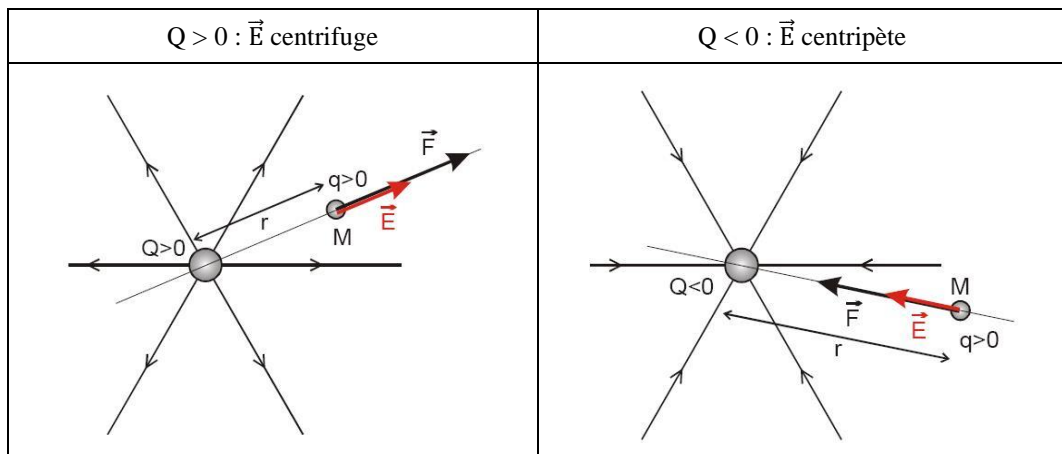
Le champ électrostatique en un point d'une région de l'espace où règne un champ électrique est défini comme la force par unité de charge :

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad ; \text{ avec : } q > 0$$

- Le champ électrostatique est une grandeur vectorielle.
- L'unité dans SI du champ électrostatique est le newton par coulomb (N/C).
- A une distance « r » d'une charge ponctuelle « q », le champ électrostatique est donné par la loi de Coulomb :

$$E = k \cdot \frac{q}{r^2}$$

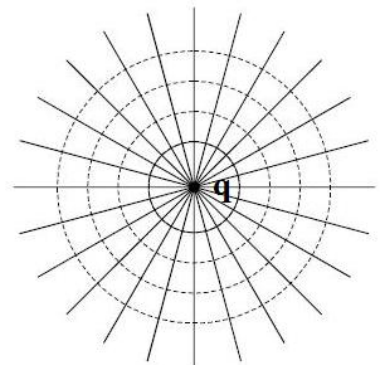
- Le champ électrostatique tout comme la force de Coulomb est radial, il s'éloigne de la charge "q" si celle-ci est positive et se dirige vers celle-ci si elle est négative :



#### 3- Caractéristiques du vecteur champ électrostatique

- Intensité :  $E = \frac{F}{q}$
- Direction : la même que celle de la force électrostatique  $\vec{F}$
- Sens :
  - si  $q > 0$  : celui de la force électrostatique  $\vec{F}$
  - si  $q < 0$  : opposé à celui de la force électrostatique  $\vec{F}$

**Remarque :** Le champ électrique diminue en fonction de r. Tous les points à la surface de la sphère centrée sur la charge ponctuelle ont même valeur du champ.



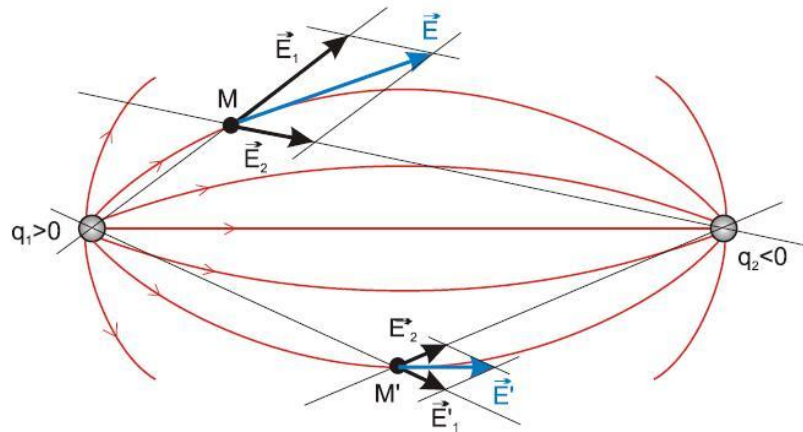
#### 4- Superposition du champ électrostatique

On considère  $n$  particules de charges électriques  $q_i$ , situées en des points  $P_i$ , le champ électrostatique créé par cet ensemble de charges en un point  $M$  est la somme vectorielle des champs électrostatiques élémentaires qui se superposent :

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

**Exemple :** Cas de deux charges ponctuelles  $q_1$  et  $q_2$  placées respectivement en deux points  $M_1$  et  $M_2$  de l'espace distants de  $r_1$  et  $r_2$  d'un point  $M$ .

Au point  $M$  considéré, on représente le champ  $\vec{E}_1$  créé par  $q_1$  et le champ  $\vec{E}_2$  créé par  $q_2$ . Le champ  $\vec{E}$  résultant est donné par la somme vectorielle des champs qui se superposent :  $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

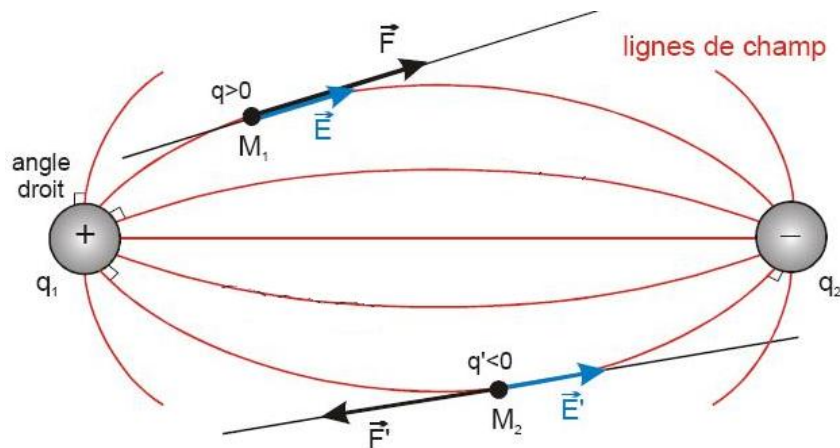


#### IV- Spectre du champ électrostatique

Les lignes de champ électrostatique sont des lignes tangentes, dans une région de l'espace, au vecteur champ électrostatique et dirigées suivant ce vecteur.

Les lignes de champ électrostatiques vérifient les propriétés suivantes :

- Les lignes de champ ne se coupent jamais ;
- Elles vont toujours des charges positives vers les charges négatives : les charges positives «émettent» des lignes de champ et les charges négatives « absorbent » les lignes de champ ;
- La direction du champ  $\vec{E}$  en un point est tangente à la ligne de champ ;
- Le nombre de lignes qui partent d'une charge ou qui se dirigent vers elles, est proportionnel à la valeur de la charge.



## V- Champ électrostatique uniforme

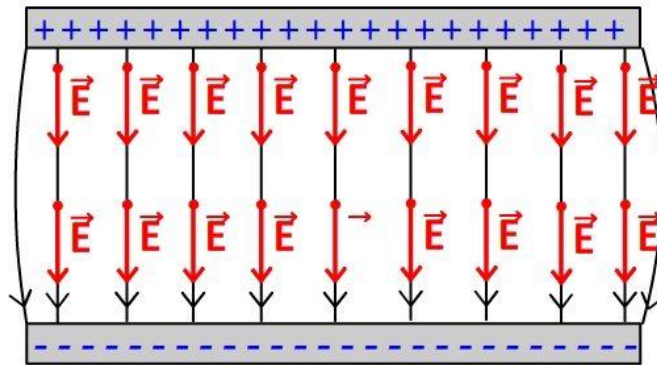
### 1- Définition

Un champ électrique est dit uniforme dans une zone de l'espace où il est constant en direction, en sens et en valeur : les lignes de champs sont alors toutes parallèles.

On retrouve un tel champ, entre deux plaques métalliques planes et parallèles sur lesquelles on a apporté des charges électrostatiques de signes contraires comme démontre la figure ci-dessous.

### 2- Lignes de champ électrostatique uniforme

Le champ électrostatique est toujours dirigé de la plaque positive vers la plaque négative. Et les lignes de champ sont toujours parallèles :



## Exercices d'applications – Chapitre 7

## Le champ électrostatique

## ❖ Exercice 1 :

Soit un carré ABCD et O son centre. La charge  $q=1\mu\text{C}$  placée en A crée en O le champ électrostatique  $E_0=2.10^3$  V/m. déterminer le champ électrostatique créé en O lorsqu'on place en A, B, C, D la même charge  $q=1\mu\text{C}$ .

## ❖ Exercice 2 :

Deux charges ponctuelles  $q_1$  et  $q_2$  sont placées dans le vide respectivement en A et en B tel que  $AB=d=10\text{cm}$ . Trouver un point de la droite (AB) où le vecteur champ E résultant est nul. On envisage deux cas :

- 1° cas :  $q_1$  et  $q_2$  ont même signe.
- 2° cas :  $q_1$  est positif et  $q_2$  est négatif.

Données :  $|q_1| = 6000 \text{ nC}$  ;  $|q_2| = 5000 \text{ nC}$ .

## ❖ Exercice 3 :

Trois charges ponctuelles  $+q$ ,  $-q$  et  $-q$  sont placées aux sommets d'un triangle équilatéral de côté  $a$ . Déterminer les caractéristiques du champ électrostatique  $\vec{E}$  régnant au centre du triangle.

Données :  $q = 0,1 \text{ nC}$  et  $a = 10 \text{ cm}$ .

## ❖ Exercice 4 :

On considère deux pendules électriques identiques de longueur  $l = 20\text{cm}$  noués en deux points A et B d'une barre horizontale tel que  $AB = 2\text{cm}$ .

Chaque fil supporte une petite boule de masse  $m = 1\text{g}$ . Electrisés par le même pôle d'une machine électrostatique, les deux pendules accusent chacun une déviation par rapport à la verticale.

La déviation du pendule fixé en A est  $\alpha = 6^\circ$ .

1. a- Quelle est la déviation  $\beta$  du pendule fixé en B ?  
b- Représenter les deux pendules avant électrisation (en pointillés) et après électrisation (en traits pleins).
2. La charge du pendule fixé en B est  $q_2 = - 2,21.10^{-10} \text{ C}$ , trouver la valeur algébrique de la charge  $q_1$  du pendule fixé en A.
3. Déterminer l'intensité de la tension du fil de chaque pendule.

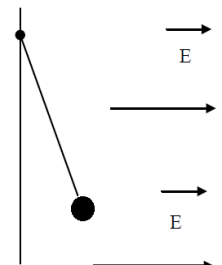
Données :  $g = 10 \text{ (SI)}$  ; on suppose que les deux pendules sont dans le vide.

## ❖ Exercice 5 :

Une petite sphère de centre S est attachée en un point O par un fil isolant de masse négligeable et de longueur  $l=40\text{cm}$  (voir fig.). La sphère, de masse  $m = 5.10^{-2} \text{ g}$ , porte la charge électrique  $q$ . On la soumet à un champ électrostatique uniforme  $E$ , horizontal, orienté comme l'indique la figure. Le fil s'incline alors d'un angle  $\alpha=10^\circ$  par rapport à la verticale.

En déduire la valeur de la charge électrique  $q$ .

Donnée : Intensité du champ électrostatique :  $E = 103\text{V/m}$ .



## Energie potentielle électrostatique

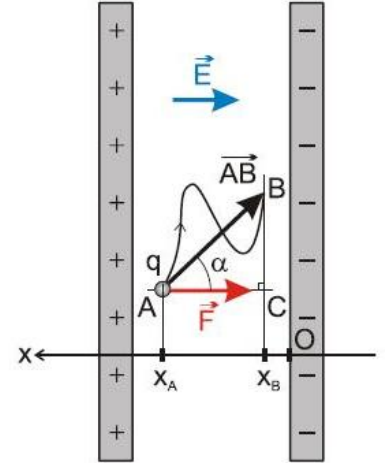
### I- Travail de la force électrostatique – L'expression mathématique

Une charge  $q > 0$  est transportée d'un point A (point initial ou point de départ) vers un point B (point final ou point d'arrivée) dans un champ électrostatique uniforme créée entre deux plaque métalliques parallèles et planes.

Considérons le repère d'axe Ox (parallèle au champ électrique  $\vec{E}$  et orienté dans le sens opposé à  $\vec{E}$ ).

Puisque le champ électrique  $\vec{E}$  est constant entre les deux plaques, donc la force électrique  $\vec{F}$  est constante au cours de ce déplacement, d'où son travail est indépendant du chemin suivi.

$$\begin{aligned} W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) &= \vec{F} \cdot \vec{AB} \\ \Rightarrow W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) &= F \cdot AB \cdot \cos(\alpha) \\ \Rightarrow W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) &= q \cdot E \cdot AB \cdot \cos(\alpha) \\ \Rightarrow W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) &= q \cdot E \cdot AC \\ \Rightarrow W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) &= q \cdot E \cdot (x_A - x_C) = q \cdot E \cdot (x_A - x_B) \\ \Rightarrow W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) &= q \cdot E \cdot (x_i - x_f) \end{aligned}$$



**Remarque** : L'expression mathématique du travail de la force électrostatique dans le cas d'une charge négative  $q < 0$  est la même que pour une charge positive.

**Généralisation** : L'expression mathématique du travail de la force électrostatique  $\vec{F}$  s'exerçant sur une charge  $q$  quelconque d'un champ électrostatique uniforme  $\vec{E}$  s'écrit :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \cdot E \cdot (x_A - x_B) = q \cdot E \cdot (x_i - x_f)$$

### II- Energie potentielle d'une charge q placée dans un champ électrostatique uniforme

#### 1- L'énergie potentielle

L'énergie potentielle électrostatique d'une charge  $q$  quelconque située en un point d'abscisse  $x$  dans un champ électrostatique uniforme  $\vec{E}$ , vaut :

$$E_{p,\text{élect}} = q \cdot E \cdot x + C$$

Avec :  $C$  est une constante qui dépend du niveau de référence choisi, c'est-à-dire le niveau où :  $E_{p,\text{élect}} = 0$ .

**Remarque** : l'énergie potentielle électrostatique peut être exprimée aussi selon la relation suivante (plus simple à utiliser dans les exercices !) :

$$E_{p,\text{élect}} = q \cdot E \cdot (x - x_0)$$

Avec :  $x_0$  est l'abscisse du niveau de référence.

#### 2- La variation de l'énergie potentielle électrostatique

La variation de l'énergie potentielle électrostatique d'une charge  $q$  quelconque dans un champ électrostatique uniforme  $\vec{E}$  vaut :



$$\Delta E_{p,\text{élect}} = E_{p,\text{élect}}(B) - E_{p,\text{élect}}(A) = q \cdot E \cdot x_B - q \cdot E \cdot x_A = q \cdot E \cdot (x_B - x_A) = -W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$$

$$\Delta E_{p,\text{élect}} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$$

Elle est indépendante du niveau de référence choisi.

### III- Potentiel électrique

#### 1- Définition

Le potentiel  $V$  d'un point du champ est égal à l'énergie potentielle  $E_{p,\text{élect}}$  que posséderait une charge témoin de  $+1C$  placée en ce point :

$$V = \frac{E_{p,\text{élect}}}{q} ; \text{ Cette définition est valable pour un champ électrique quelconque.}$$

- Si  $E_{p,\text{élect}} = 1 \text{ J}$  et si  $q = +1C$ , alors  $V = 1 \text{ J/C} = 1 \text{ volt} = 1 \text{ V}$ .
- Le potentiel électrique est une grandeur physique qui caractérise l'état électrique de chaque point de l'espace où règne un champ électrique. Son unité dans (SI) est le volt :  $V$ .

#### 2- Potentiel d'un point d'un champ électrostatique uniforme

Comme  $V = \frac{E_{p,\text{élect}}}{q}$  donc :  $E_{p,\text{élect}} = q \cdot V$  (I)

Et puisque :  $E_{p,\text{élect}} = q \cdot E \cdot (x - x_0)$ , dans le cas où  $x_0 = 0$  on obtient :  $E_{p,\text{élect}} = q \cdot E \cdot x$  (II)

A partir de (I) et (II)  $\Rightarrow V = E \cdot x$

Le potentiel d'un point d'un champ uniforme d'abscisse  $x$  s'écrit :  $V = E \cdot x$ . Il dépend que de la position du point et de la valeur du champ électrique.

**Remarque :** D'après la relation :  $V = E \cdot x$  ; on peut :

- exprimer le champ électrique  $E$  en volt/mètre (V/m)
- exprimer l'énergie potentielle électrique selon la relation :  $E_{p,\text{élect}} = q \cdot V + C$  ou :  $E_{p,\text{élect}} = q \cdot (V - V_0)$
- Nouvelle expression pour le travail de la force électrique :  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \cdot (V_A - V_B) = q \cdot (V_i - V_f)$

**À noter que :** Dans un champ uniforme, l'axe  $Ox$  est dirigé toujours dans le sens des potentiels croissants.

#### 3- Différence de potentiel électrique : tension électrique

Lorsqu'une charge se déplace d'un point initial  $A$  de potentiel  $V_A$  vers un point final  $B$  de potentiel  $V_B$ , alors la différence de potentiel entre le point final et le point initial est :

$$\Delta V = V_B - V_A = V_f - V_i$$

- Une différence de potentiel est encore appelée **tension électrique**.
- La tension entre  $A$  et  $B$  est notée :

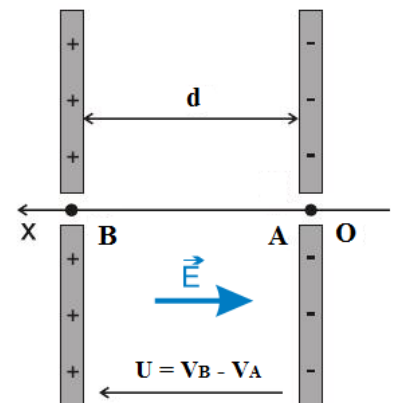
$$U_{AB} = V_A - V_B \Leftrightarrow U_{BA} = V_B - V_A = -U_{AB}$$

#### 4- Relation entre la tension aux bornes d'un condensateur et la distance entre les plaques

D'après la relation de potentiel  $V = E \cdot x$  :

$$V_A = E \cdot x_A \text{ et } V_B = E \cdot x_B ; \text{ Alors: } V_B - V_A = E \cdot x_B - E \cdot x_A = E \cdot (x_B - x_A)$$

$$\text{d'où: } U_{BA} = E \cdot d \Rightarrow E = \frac{U_{AB}}{d}$$



### 5- Conservation de l'énergie totale d'une particule chargée soumise à une force électrostatique

On considère une particule, de charge  $q$  et de masse  $m$ , qui se déplace d'un point A vers un point B dans une région de l'espace où règne un champ électrique uniforme  $\vec{E}$ .

- L'énergie totale de la particule est donnée par la relation :

$$E_T = E_C + E_{p,\text{élect}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + q \cdot V + k \quad ; \quad k \text{ est une constante liée à l'état de référence de } E_{p,\text{élect}}$$

- D'après le théorème de l'énergie cinétique entre A et B :

$$\Delta E_C = \sum W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_{\text{ext}})$$

Avec :

- Le poids de la particule est négligeable devant la force électrostatique.
- Le mouvement de la particule se fait sans frottement

D'où :

$$\Delta E_C = W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) \quad ; \quad \vec{F} \text{ est la force électrostatique}$$

- La variation de l'énergie totale d'une particule chargée soumise à une force électrostatique est :

$$\Delta E_T = \Delta E_C + \Delta E_{p,\text{élect}}$$

Or :

$$\Delta E_{p,\text{élect}} = - W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) \quad ; \quad \vec{F} : \text{ la force électrostatique}$$

Donc :

$$\Delta E_T = W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) - W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = 0$$

L'énergie totale d'une particule de charge électrique  $q$  se déplaçant, sans frottement et sous l'action d'une seule force (force électrostatique), dans une région de l'espace où règne un champ électrostatique uniforme  $\vec{E}$  se conserve.

## Exercices d'applications - Chapitre 8

### Energie potentielle électrostatique

#### ❖ Exercice 1 :

Une charge  $q = 10^{-7} \text{ C}$  se déplace en ligne droite, de A vers B, dans un champ électrostatique uniforme  $E$ , d'intensité  $E = 600 \text{ V/m}$ , tel que  $(\overrightarrow{AB}, \vec{E}) = 30^\circ$ . 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  $U_{AB}$ .

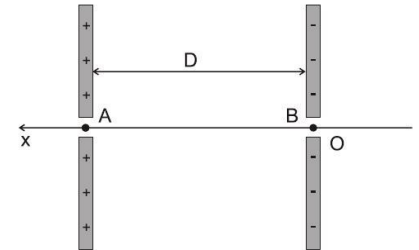
**Donnée :**  $AB = L = 15 \text{ cm}$ .

#### ❖ Exercice 2 :

Une particule  $\alpha$  (noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$ ), produite par une source radioactive, est émise au voisinage du point A d'un champ électrostatique créé entre deux plaques parallèles planes (figure), avec une vitesse initiale négligeable  $v_A = 0$ .

1. Quelle tension  $U_{AB} = U$  faut-il appliquer entre les plaques distantes de  $D = 20 \text{ cm}$ , pour que la vitesse des particules en B soit  $v_B = 10^3 \text{ km/s}$  ?
2. Calculer la vitesse des particules à mi-chemin entre A et B.
3. Donner les caractéristiques du champ électrique  $\vec{E}$  entre les plaques.
4. Quelle est en J, puis en eV (électrons-volts), l'énergie cinétique d'une particule en B ?
5. Calculer le potentiel d'un point situé à 5 cm, à 12 cm, à 18 cm de la plaque A. Calculer l'énergie potentielle d'une particule  $\alpha$  en ces points.
6. Répondre aux mêmes questions précédentes en remplaçant les particules  $\alpha$  par des électrons ayant en A une vitesse initiale de  $v_A = 6,6 \cdot 10^7 \text{ m/s}$  dirigée vers la plaque B.

**Donnée :**  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ;  $m(\alpha) = 6,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  ;  $m_{\text{électron}} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  ;  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$



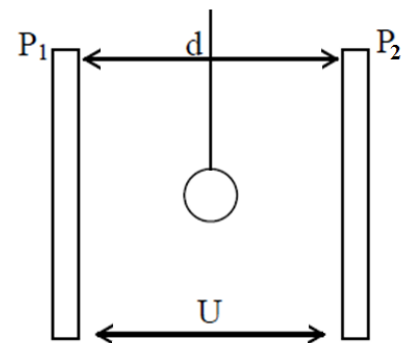
#### ❖ Exercice 3 :

Un pendule électrique, dont la boule B est une petite sphère isolante de masse  $m = 0,2 \text{ g}$ , portant la charge  $q$ , est suspendu entre deux plaques métalliques verticales  $P_1$  et  $P_2$  distantes de  $d = 20 \text{ cm}$ .

1. On établit la tension  $U_{P_1 P_2} = U = 4000 \text{ V}$  entre ces plaques de manière à créer entre celle-ci un champ électrostatique uniforme  $\vec{E}$ .  
Quels sont les caractéristiques du champ  $\vec{E}$  ? (On admet que ce dernier n'est pas perturbé par la présence de la charge  $q$ ).
2. Faire un schéma montrant l'inclinaison subie par le fil et calculer l'angle  $\alpha$  entre le fil et la verticale lorsque l'équilibre est atteint.
3. L'angle  $\alpha$  dépend-il de la position initiale du pendule ? (on admet que la boule B ne touche jamais l'une ou l'autre des plaques).
4. Le pendule est déplacé horizontalement vers la droite, sur une distance  $L = 2 \text{ cm}$  à partir de la position d'équilibre précédente.

Calculer le travail  $W(\vec{F}_e)$  de la force électrostatique  $\vec{F}_e$  qui s'exerce sur la boule pendant ce déplacement.

**Donnée :**  $q = 2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

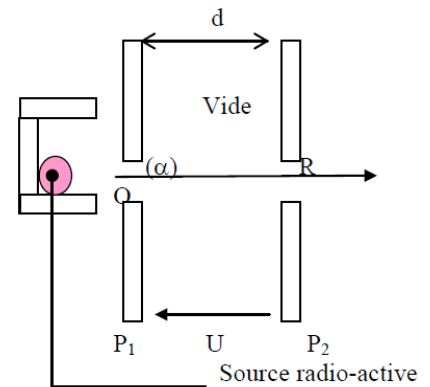


## ❖ Exercice 4 :

Une particule  $\alpha$  (noyau d'hélium) de masse  $m$  et de charge  $q$ , produite par une source radioactive, est mise au voisinage du point O d'un champ électrostatique créé entre deux plaques parallèles planes  $P_1$  et  $P_2$  (figure) avec une vitesse négligeable  $v_0 = 0$ .

1. Quelle tension  $U_{P_1P_2} = U$  faut-il appliquer entre les plaques  $P_1$  et  $P_2$ , distantes de  $d = 20\text{cm}$ , pour que la particule traverse la plaque  $P_2$  en R, à la vitesse  $v = 10^3 \text{ km/s}$ .
2. Donner les caractéristiques du champ électrostatique  $\vec{E}$  (supposé uniforme) entre les plaques.
3. Quelle est, en joules et en eV (électrons-volts), l'énergie cinétique de la particule  $\alpha$  à son passage au point R.

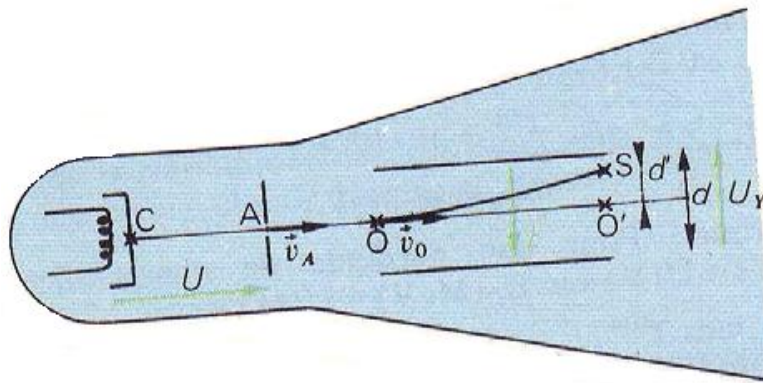
**Données :**  $m(\alpha) = 6,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  ;  $q = +2e = +3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ;  $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$



## ❖ Exercice 4 :

Dans le canon à électrons d'un oscillographe (voir figure), les électrons sortant de la cathode avec une vitesse supposée nulle, sont accélérés par une tension  $U=1600\text{V}$  appliquée entre la cathode C et l'anode A.

1. Calculer en (m/s) la vitesse  $v_A$  des électrons à la sortie du canon.
2. Calculer en joule et en keV (kilo électronvolts), leur énergie cinétique  $E_c(A)$ .



3. Les électrons pénètrent avec une vitesse  $v_0 = v_A$ , entre les plaques de déviation verticale, en un point O situé à égale distance de chacune d'elles. Lorsque la tension appliquée entre ces deux plaques distantes de  $d=2\text{cm}$  est  $U_1=500\text{V}$ , les électrons sortent de l'espace champ en un point S tel que  $O'S = d' = 0,6 \text{ cm}$ .

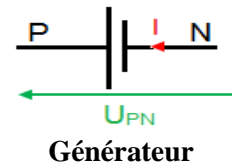
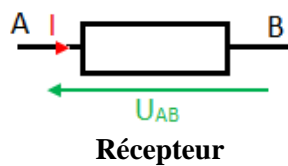
- a. On prenant comme origine des potentiels  $V_0 = 0$  au point O. Calculer  $V_s$  le potentiel électrostatique du point S de l'espace champ.
- b. Déterminer  $E_{p,\text{élect}}(O)$  et  $E_{p,\text{élect}}(S)$ , les énergies potentielles électrostatiques d'un électron en O et en S dans l'espace champ, en joules et en keV.
- c. En déduire  $E_c(S)$  l'énergie cinétique de sortie des électrons en S, en keV.

## Transfert d'énergie dans un circuit électrique

### I- Rappel :

#### 1- Convention générateur ou récepteur :

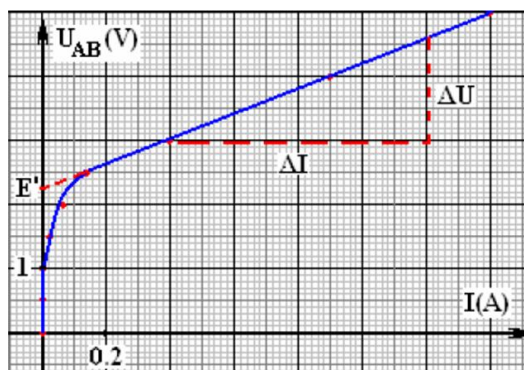
Dans un générateur, la flèche de la tension et celle du courant sont dirigées dans le même sens. Alors que, dans un récepteur, la tension ( $U$ ) et le courant ( $I$ ) ont des sens opposés :



#### 2- Caractéristique tension-courant $U=f(I)$ :

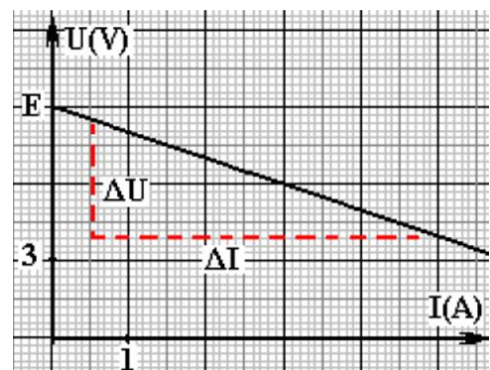
La caractéristique d'un dipôle électrique est la relation existant entre l'intensité  $I$  du courant traversant le dipôle et la tension  $U$  aux bornes de celui-ci :

##### Récepteur : (Moteur ou électrolyseur)



$$U_{AB} = E' + r' \cdot I$$

##### Générateur



$$U_{PN} = E - r \cdot I$$

### II- Energie électrique reçue ou cédée par un dipôle :

#### 1- Energie électrique reçue par un récepteur :

**Définition :** On appelle récepteur tout dispositif capable de transformer de l'énergie électrique en une autre forme d'énergie (mécanique : moteurs, chimique : électrolyseur, lumineuse : lampe..).

**Expression :** L'énergie électrique reçue par un récepteur et qui a pour unité le joule (J), s'écrit :

$$W_e = U_{AB} \cdot I \cdot \Delta t$$

Avec :

- $U$  : est la tension positive aux bornes du récepteur, (en volts : V),
- $I$  : l'intensité du courant circulant à travers le récepteur, (en ampères : A)
- $\Delta t$  : la durée pendant laquelle le courant a circulé, (en seconde : s).

## 2- Puissance électrique reçue par un récepteur :

**Définition :** La puissance électrique que l'on note  $P_e$  et qui a pour unité le watt (W) est le produit de la tension électrique aux bornes du récepteur et de l'intensité du courant électrique qui le traverse.

**Expression :** La puissance reçue par un récepteur est numériquement égale à l'énergie reçue par unité de temps :

$$P_e = \frac{W_e}{\Delta t} = U_{AB} \cdot I$$

## 3- Energie électrique fournie par un générateur :

**Définition :** On appelle générateur électrique tout système (Pile, centrale thermique, centrale nucléaire, plaque solaire...) capable de transformer une énergie quelconque en énergie électrique.

**Expression :** L'énergie électrique fournie par un générateur et qui a pour unité le joule (J), s'écrit :

$$W_e = U_{PN} \cdot I \cdot \Delta t$$

## 4- Puissance électrique fournie par un générateur:

**Expression :** La puissance fournie par un générateur est numériquement égale à l'énergie fournie par unité de temps :

$$P_e = \frac{W_e}{\Delta t} = U_{PN} \cdot I$$

## III- Effet Joule :

### 1- Définition :

On appelle « effet Joule » le dégagement de chaleur qui accompagne le passage d'un courant électrique dans un matériau conducteur lui opposant une résistance.

### 2- Cas d'un conducteur Ohmique : Loi de Joule

L'énergie électrique reçue par un conducteur Ohmique, s'écrit :  $W_e = U_{AB} \cdot I \cdot \Delta t$

Or, la loi d'Ohm établit que :  $U_{AB} = R \cdot I$

D'où :

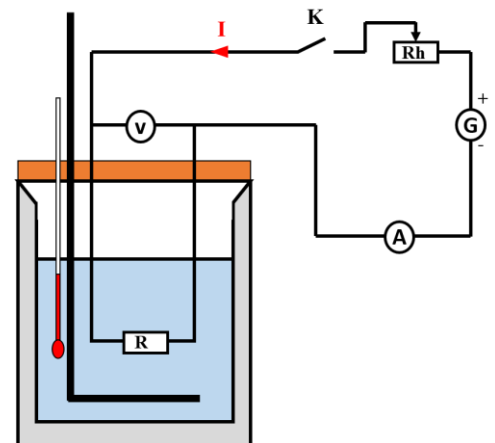
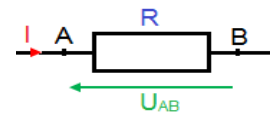
$$W_e = R \cdot I \cdot I \cdot \Delta t = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$$

Dans un conducteur ohmique toute l'énergie électrique reçue par le dipôle est restituée au milieu extérieur sous forme de chaleur et de rayonnement :

Energie reçue par le conducteur ohmique  
=

Energie thermique fournie au milieu extérieur (chaleur)

$$\Rightarrow W_e = Q = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$$



## Comportement global d'un circuit électrique

### I- Distribution de l'énergie au niveau d'un récepteur :

#### 1- Rappel : La loi d'ohm pour un récepteur :

La tension électrique  $U_{AB}$  aux bornes d'un récepteur (moteur ou électrolyseur) parcouru par un courant d'intensité  $I$  est donnée par :

$$U_{AB} = E' + r' \cdot I$$

Avec :

- $E'$  : la force contre électromotrice du récepteur (notée f.é.m), exprimée en (V)
- $r'$  : la résistance interne du récepteur, exprimée en ( $\Omega$ ).
- $I$  : l'intensité du courant électrique en (A)

#### 2- Bilan énergétique d'un récepteur :

Nous avons vu dans le chapitre précédent que l'énergie reçue par un récepteur (électrolyseur ou moteur) soumis à une tension électrique  $U_{AB}$  et parcouru par un courant électrique d'intensité  $I$  pendant une durée  $\Delta t$  est donnée par la relation :

$$W_e = U_{AB} \cdot I \cdot \Delta t$$

Avec :  $U_{AB} = E' + r' \cdot I$

On obtient :

$$W_e = (E' + r' \cdot I) \cdot I \cdot \Delta t$$

Donc :

$$W_e = E' \cdot I \cdot \Delta t + r' \cdot I^2 \cdot \Delta t \quad (I)$$

Le bilan énergétique pour un récepteur s'écrit :

$$W_e = W_u + W'_J$$

Tel que :

- $W_e = U_{AB} \cdot I \cdot \Delta t$  : représente l'énergie électrique reçue par le récepteur ;
- $W_u = E' \cdot I \cdot \Delta t$  : est l'énergie utile du récepteur, cette énergie peut être convertie en partie en énergie mécanique dans le cas d'un moteur ou en énergie chimique dans le cas d'un électrolyseur ;
- $W'_J = r' \cdot I^2 \cdot \Delta t$  : est l'énergie thermique dissipée par effet Joule dans le récepteur (cette énergie est perdue).

#### 3- Bilan de puissance d'un récepteur :

Par définition, la puissance électrique reçue par un récepteur représente l'énergie reçue par ce récepteur  $W_e$  par unité de temps, elle s'exprime en watt (W) :

$$P_e = \frac{W_e}{\Delta t}$$

On divisant les deux membres de la relation (I) par  $\Delta t$ , on en déduit que la puissance électrique reçue par le récepteur vaut :

$$P_e = E' \cdot I + r' \cdot I^2 \quad ; \quad \text{avec : } P_e = U_{AB} \cdot I$$

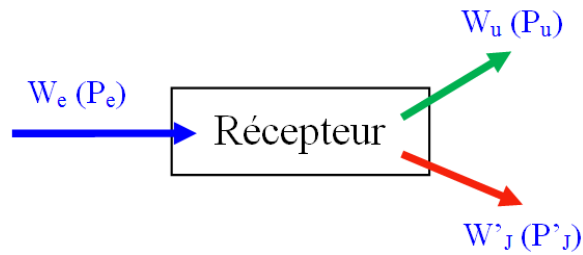
Le bilan de puissance pour un récepteur s'écrit :

$$P_e = P_u + P'_J$$

Tel que :

- $P_e = U_{AB} \cdot I$  : représente la puissance électrique reçue par le récepteur ;
- $P_u = E' \cdot I$  : est la puissance utile du récepteur,
- $P'_J = r' \cdot I^2$  : est la puissance thermique dissipée par effet Joule dans le récepteur.





**Remarque** (cas particuliers) :

- Pour un moteur bloqué  $P_u = E' \cdot I = 0 \Rightarrow E' = 0$
- Pour un électrolyseur à anode soluble (électrode Cu dans une solution de  $(\text{Cu}^{2+}, \text{SO}_4^{2-})$ ). Il n'apparaît pas d'énergie chimique, le processus se résume en un simple déplacement de matière de l'anode vers la cathode.

#### 4- Rendement d'un récepteur

On définit le rendement d'un récepteur par le rapport entre l'énergie (la puissance) utile  $W_u$  qu'il produit (mécanique ou chimique) et l'énergie (la puissance) qu'il reçoit  $W_e$ .

$$\rho = \frac{W_u}{W_e} = \frac{P_u}{P_e} = \frac{E'}{U_{AB}} < 1 \quad ; \quad \text{avec : } U_{AB} = E' + r' \cdot I$$

Le rendement est un nombre sans unité, il s'exprime généralement en pourcentage.

## II- Distribution de l'énergie au niveau d'un générateur

### 1- Rappel : La loi d'ohm pour un générateur :

La tension  $U_{PN}$  aux bornes d'un générateur, débitant un courant d'intensité  $I$  sortant par sa borne P, est donnée par :

$$U_{PN} = E - r \cdot I$$

Avec :

- $E$  : la force électromotrice du générateur (notée f.é.m), exprimée en (V)
- $r$  : la résistance interne du générateur, exprimée en ( $\Omega$ ).
- $I$  : l'intensité du courant débité par le générateur en (A)

### 5- Bilan énergétique d'un générateur :

Nous avons vu dans le chapitre précédent que l'énergie électrique fournie par un générateur au milieu extérieur est pendant une durée  $\Delta t$  est donnée par la relation :

$$W_e = U_{PN} \cdot I \cdot \Delta t$$

Avec :  $U_{PN} = E - r \cdot I$

On obtient :

$$W_e = (E - r \cdot I) \cdot I \cdot \Delta t$$

Donc :

$$W_e = E \cdot I \cdot \Delta t - r \cdot I^2 \cdot \Delta t \quad (\text{II})$$

D'où :

$$E \cdot I \cdot \Delta t = W_e + r \cdot I^2 \cdot \Delta t$$

Le bilan énergétique pour un générateur s'écrit :

$$W_T = W_e + W_J$$

Tel que :

- $W_T = E.I.\Delta t$  : représente l'énergie totale  $W_T$  du générateur ('énergie transformée par le générateur) ;
- $W_e = U_{PN}.I.\Delta t$  : est l'énergie électrique disponible aux bornes du générateur pouvant être utilisée par les autres dipôles du circuit ;
- $W_J = r.I^2.\Delta t$  : est l'énergie thermique dissipée par effet Joule dans le générateur (cette énergie est perdue).

### 6- Bilan de puissance d'un générateur :

On divisant les deux membres de la relation (II) par  $\Delta t$ , on en déduit que la puissance électrique fournie par le générateur vaut :

$$P_e = E.I - r.I^2 \quad ; \quad \text{avec : } P_e = U_{PN}.I$$

D'où :

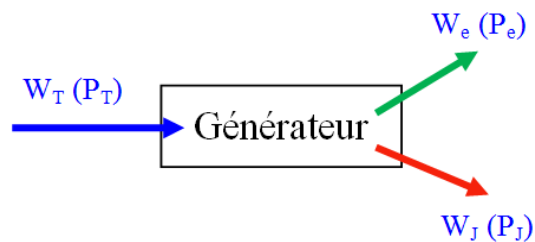
$$E.I = P_e + r.I^2$$

Le bilan énergétique pour un générateur s'écrit :

$$P_T = P_e + P_J$$

Tel que :

- $P_T = E.I$  : représente la puissance totale  $W_T$  du générateur (la puissance transformée par le générateur);
- $P_e = U_{PN}.I$  : est la puissance électrique disponible aux bornes du générateur pouvant être utilisée par les autres dipôles du circuit ;
- $P_J = r.I^2$  : est la puissance thermique dissipée par effet Joule dans le générateur.



### 7- Rendement d'un générateur

On définit le rendement d'un générateur par le rapport entre l'énergie (la puissance) électrique fournie au circuit  $W_e$  et l'énergie (la puissance) transformée par le générateur  $W_T$  :

$$\rho = \frac{W_e}{W_T} = \frac{P_e}{P_T} = \frac{U_{PN}}{E} < 1 \quad ; \quad \text{avec : } U_{PN} = E - r.I$$

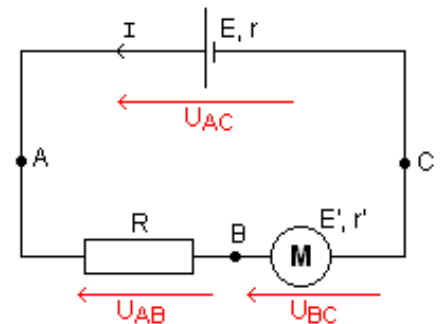
## III- Bilan énergétique dans un circuit simple

### 1- Loi de Pouillet

On considère un circuit électrique simple composé de trois dipôles montés en série : un générateur, un moteur et un conducteur ohmique.

D'après la loi d'additivité des tensions et la loi d'ohm, on a :

- $U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$
- $U_{AC} = E - r.I$
- $U_{BC} = E' + r'.I$
- $U_{AB} = R.I$



En remplaçant les tensions  $U_{AC}$ ,  $U_{AB}$  et  $U_{BC}$  par leurs expressions dans la première relation, on obtient :

$$I = \frac{E - E'}{r + r' + R} \quad (\text{III})$$

### Généralisation :

Considérons un circuit série comportant  $n$  générateurs  $(E_1, r_1)$  ;  $(E_2, r_2)$  ...  $(E_n, r_n)$ ,  $n$  conducteurs ohmiques  $R_1$  ;  $R_2$  ...  $R_n$  et  $n$  récepteurs  $(E'_1, r'_1)$  ;  $(E'_2, r'_2)$  ...  $(E'_n, r'_n)$ .

En appliquant la loi d'additivité des tensions dans le circuit et la loi d'Ohm pour les différents dipôles, on obtient une relation généraliste de la loi de Pouillet :

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

**Remarque** : un générateur placé en opposition par rapport à un autre générateur de f.é.m. plus grande, fonctionne en récepteur de f.c.é.m. égale à sa f.é.m. et de résistance interne identique.

## 2- Bilan énergétique de circuit :

D'après la relation (III), nous avons :

$$E - E' = (r + r' + R).I$$

On multipliant les deux membres de cette égalité par «  $I$  », on obtient :

$$E.I. - E'.I = (r + r' + R).I^2 \Rightarrow E.I. = E'.I + (r + r' + R).I^2$$

d'où :

$$P_T = P_u + P_{th} \quad \text{ou encore : } W_T = W_u + W_{th}$$

Avec :

- $W_T = W_g = E.I.\Delta t$  : l'énergie totale transformée par le générateur;
- $W_u = E'.I.\Delta t$  : l'énergie utile (mécanique pour le moteur) ;
- $W_{th} = (r + r' + R).I^2.\Delta t$  : l'énergie thermique dissipée par effet joule dans le circuit.

## 3- Rendement globale d'un circuit simple

Le rendement global d'un circuit simple est défini comme le rapport entre l'énergie utile du circuit et l'énergie totale du générateur (l'énergie totale transformée par le générateur), selon la relation suivante :

$$\rho = \frac{W_u}{W_T} = \frac{P_u}{P_T} = \frac{E'}{E} < 1$$

## IV- Facteurs influençant sur l'énergie fournie par un générateur au reste d'un circuit résistif :

### 1- Influence de la force électromotrice $E$ du générateur :

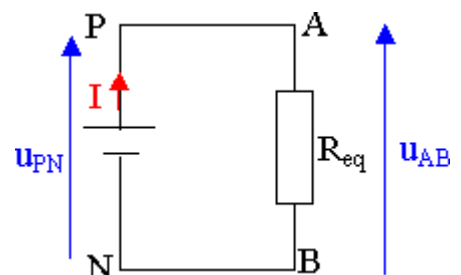
On considère le circuit électrique ci-contre :

Nous avons :

$$U_{PN} = E - r.I$$

$$U_{AB} = R_{eq}.I$$

Avec  $R_{eq}$ , représente la résistance équivalente de dipôle AB



D'après la loi de Pouillet on a :

$$I = \frac{E}{r + R_{eq}}$$

L'énergie électrique fournie par le générateur pendant la durée  $\Delta t$  est :

$$W_e = U_{PN} \cdot I \cdot \Delta t$$

$$\Rightarrow W_e = R_{eq} \cdot I \cdot I \cdot \Delta t = R_{eq} \cdot I^2 \cdot \Delta t$$

$$W_e = R_{eq} \cdot \left( \frac{E}{r + R_{eq}} \right)^2 \cdot \Delta t$$

$$\Rightarrow W_e = \frac{R_{eq}}{(r + R_{eq})^2} \cdot E^2 \cdot \Delta t$$

L'énergie électrique fournie par un générateur est proportionnelle au carré de sa force électromotrice.

## 2- Influence de la résistance $R_{eq}$

On considère le même circuit précédent. L'énergie électrique fournie par le générateur pendant la durée  $\Delta t$  est :

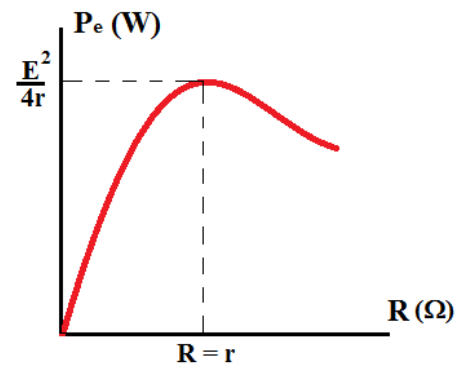
$$W_e = \frac{R_{eq}}{(r + R_{eq})^2} \cdot E^2 \cdot \Delta t \quad \Leftrightarrow \quad P_e = \frac{R_{eq}}{(r + R_{eq})^2} \cdot E^2$$

Mathématiquement, pour une valeur donnée de la force électromotrice  $E$ , la puissance  $P_e$  est maximale quand :  $R_{eq} = r$ .

Dans ce cas, l'expression de la puissance électrique fournie par le générateur est :

$$P_e = \frac{R_{eq}}{(2 \cdot R_{eq})^2} \cdot E^2$$

$$\Rightarrow P_e = \frac{E^2}{4 \cdot R_{eq}} \quad \Leftrightarrow \quad W_e = \frac{E^2}{4 \cdot R_{eq}} \cdot \Delta t$$



L'énergie électrique fournie par un générateur est inversement proportionnelle à la résistance équivalente  $R_{eq}$  du dipôle AB.

### Remarque :

Le mode d'association des résistances dans le circuit influe aussi sur l'énergie électrique fournie par le générateur :

Si la résistance équivalente  $R_{eq}$  dans le circuit précédent est obtenue à partir de deux résistances  $R_1$  et  $R_2$  :

- Si  $R_1$  et  $R_2$  sont montées en série, on obtient :  $P_e = \frac{E^2}{R_1 + R_2}$
- Si  $R_1$  et  $R_2$  sont montées en parallèle, on obtient :  $P'_e = (R_1 + R_2) \cdot \frac{E^2}{R_1 \cdot R_2}$

D'où :  $P'_e > P_e$

La puissance électrique fournie par un générateur à des conducteurs ohmiques montés en parallèle est supérieur à la puissance électrique fournie par ce générateur à ces conducteurs ohmiques s'ils sont montés en série.

## Exercices d'applications - Chapitres 9 & 10

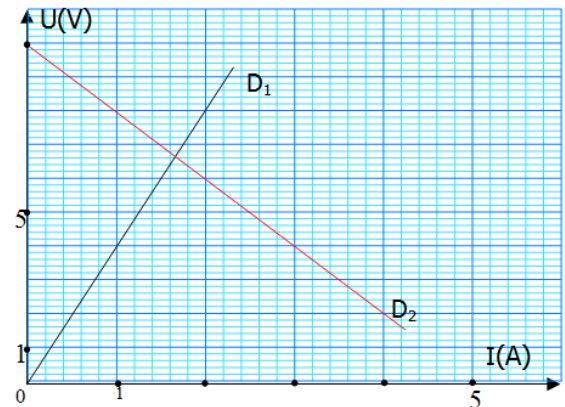
### Transfert d'énergie dans un circuit électrique Comportement global d'un circuit électrique

#### ❖ Exercice 1 :

Sur le graphe ci-contre nous avons tracé avec la même échelle les caractéristiques Intensité-tension de deux dipôles  $D_1$  et  $D_2$ .

1. Indiquer la courbe qui correspond au dipôle résistor et celle au dipôle générateur.

- 2.
- Rappeler pour chaque dipôle la loi d'Ohm correspondante. (On notera la tension aux bornes du générateur  $U_{PN}$  et  $U_{AB}$  celle aux bornes du résistor)
  - Donner le schéma du circuit permettant de tracer la caractéristique Intensité - tension du générateur.
  - Déterminer, à partir du graphe, et en justifiant la réponse, les valeurs de la f.é.m.  $E$  et de la résistance interne  $r$  du générateur et la résistance  $R$  du résistor.

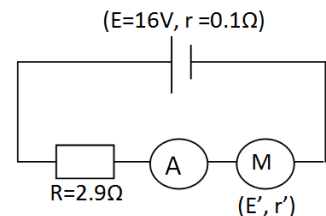


3. Calculer l'intensité du courant de court-circuit  $I_{cc}$  du générateur.
4. On réalise un circuit en branchant ce générateur aux bornes de ce résistor de résistance  $R$ .
- Représenter le schéma du circuit.
  - Montrer que l'intensité du courant dans le circuit est donnée par :  $I = \frac{E}{r + R}$
  - Montrer que  $I = 1.66A$

#### ❖ Exercice 2 :

On réalise le circuit dont le schéma est représenté ci contre :

- L'ampèremètre indique une intensité  $I = 4A$  quand le moteur est calé, déterminer la résistance interne  $r'$  du moteur.
- Quand le moteur tourne l'ampèremètre indique une intensité  $I = 2A$ , déterminer la f.c.é.m.  $E'$  du moteur.



#### ❖ Exercice 3 :

Un moteur est utilisé sous la tension  $U = 220V$ . Il est alors parcouru par un courant d'intensité constante  $I = 30A$ .

- calculer la puissance reçue par le moteur.
- Le moteur a un rendement de 80%. Calculer la puissance utile du moteur et en déduire la puissance cédée par le moteur par effet Joule.
- Trouver la f.e.m  $E'$  du moteur et la valeur de la résistance interne du moteur  $r'$ . Le moteur fonctionne pendant une durée  $t = 3,0$  heures.

#### ❖ Exercice 4 :

Un moteur électrique de résistance interne négligeable transforme 95% de l'énergie électrique qu'il reçoit en énergie mécanique disponible. Le moment du couple développé par le moteur vaut  $M = 12 \text{ N.m}$  pour un régime de rotation de  $1200 \text{ tr.min}^{-1}$ .

- Calculer, dans ces conditions, la puissance électrique reçue par le moteur.
- Déterminer la valeur de sa f.c.é.m. sachant qu'il est parcouru par un courant d'intensité  $I = 30A$ .

## ❖ Exercice 5 :

On associe en série:

- une batterie d'accumulateurs de f.e.m.  $E = 24\text{V}$  et de résistance interne  $r = 1,2\ \Omega$ ;
- un conducteur ohmique de résistance  $R = 4,8\ \Omega$ ;
- un moteur de f.e.m.  $E'$  et de résistance interne  $r'$ ;
- un ampèremètre de résistance négligeable.

La f.e.m.  $E'$  du moteur est proportionnelle à sa vitesse de rotation; sa résistance interne  $r'$  est constante.

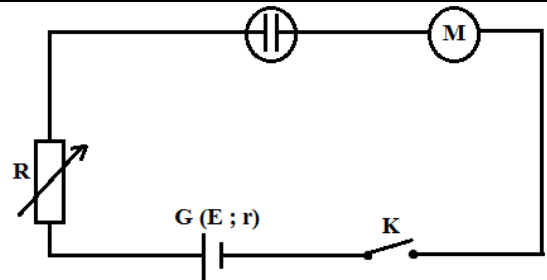
1. On empêche le moteur de tourner (sa f.e.m.  $E'$  est nulle), le moteur est alors équivalent à une résistance  $r'$ . Le courant dans le circuit a une intensité  $I_1 = 2,1\text{ A}$ .
  - a. Ecrire la relation entre  $E$ ,  $r$ ,  $R$ ,  $r'$  et  $I_1$ .
  - b. Exprimer  $r'$  en fonction de  $E$ ,  $r$ ,  $R$  et  $I_1$ .
  - c. Calculer  $r'$ .
2. Le moteur tourne à la vitesse de  $250\text{ trs.min}^{-1}$  en fournissant une puissance utile  $P_u = 8,6\text{ W}$ . L'intensité du courant est alors  $I_2 = 1,2\text{ A}$ .
  - a. Exprimer  $E'$  en fonction de  $E$ ,  $r$ ,  $R$ ,  $r'$  et  $I_2$ .
  - b. Calculer  $E'$ .
3.
  - a. Calculer la puissance consommée par chaque récepteur lorsque le moteur tourne.
  - b. Faire un bilan énergétique de ce circuit.
  - c. Calculer le rendement global de ce circuit.

## ❖ Exercice 6 : (SM)

On réalise le montage ci-dessous comprenant en série:

- un générateur ( $E = 30\text{V}$ ,  $r$  négligeable);
- une résistance ajustable  $R$ ;
- un électrolyseur ( $E_1 = 1,6\text{V}$ ,  $r_1 = 20\ \Omega$ );
- un moteur ( $E_2 = 20\text{V}$ ,  $r_2 = 0,50\ \Omega$ );
- un interrupteur  $K$ .

On choisit  $R = 10\ \Omega$  et on ferme l'interrupteur.



1. Calculer l'intensité  $I$  du courant.
2. Calculer la puissance utile  $P_u$  disponible sur le moteur;
3. L'électrolyte présent dans l'électrolyseur a pour masse  $m = 100\text{g}$ ; sa capacité thermique massique  $C$  est égale à  $4,2\text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  et on néglige la capacité thermique de la cuve. Pendant combien de temps le courant doit-il circuler pour que la température de l'électrolyte s'élève de  $2^\circ\text{C}$  ?

## Le champ magnétique

### I- Les aimants

#### 1- Définition

Un aimant est un corps capable d'attirer le fer, le nickel, le cobalt et certains alliages contenant le fer (comme l'acier); ces corps sont appelés corps ferromagnétiques.

#### 2- Les pôles d'un aimant

On distingue les aimants en U et les barreaux aimantés :



Chaque aimant possède un pôle nord (N) et un pôle sud (S), même quant on brise cet aimant en un nombre quelconques de parties, chaque fragment devient un aimant complet possédant deux pôles nord et sud. On en déduit que le secret de l'aimantation réside dans le fait qu'un atome unique se comporte comme un aimant.

Un aimant exerce une action à distance sur un autre aimant, l'expérience montre que les pôles de l'aimant de même nom se repoussent ( $S \leftarrow \rightarrow S$ ) et ( $N \leftarrow \rightarrow N$ ), alors que les pôles de noms différents ( $S \rightarrow \leftarrow N$ ) s'attirent.

### II- Le champ magnétique

#### 1- Détection d'un champ magnétique

Un aimant agit à distance sur un autre aimant, il modifie les propriétés locales de l'espace qui l'environne. On dit que l'espace environnant un aimant est le siège d'un champ magnétique.

A partir de cette caractéristique, pour détecter un champ magnétique dans une région de l'espace, on utilise un aimant témoin, à titre d'exemple l'aiguille aimantée d'une boussole.

**Convention :** Le pôle de l'aiguille aimantée orienté vers le pôle nord de la terre est appelé le pôle nord, tandis que l'autre pôle est appelé le pôle sud.



#### 2- Le 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.

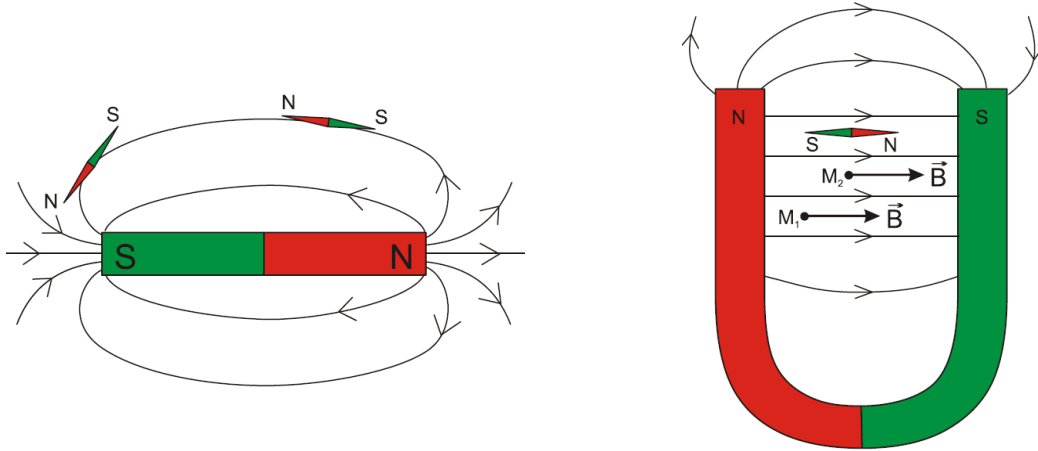
Le vecteur champ magnétique  $\vec{B}$  en un point M de l'espace, a les propriétés mathématiques d'un vecteur :

- Origine : le point M ;
- Direction : celle prise par l'aiguille aimantée placée en M ;
- Sens : celui indiqué par le pôle nord de l'aiguille aimantée (de pôle sud vers le pôle nord de l'aiguille) ;
- Intensité (valeur) : l'intensité B est mesurée par un tesla-mètre et elle s'exprime en Tesla (T) du nom de physicien américain Nikola Tesla (1856-1943).



### 3- Spectre magnétique et lignes de champ magnétique

- Les lignes de champ magnétique sont des courbes tangentes au vecteur champ magnétique  $\vec{B}$  en chaque point du champ, et elles sont orientées dans le même sens que le vecteur  $\vec{B}$ .
- Le spectre magnétique est l'ensemble des lignes de champ.



Chaque ligne de champ est orientée de telle façon qu'elles sortent du pôle nord (N) et qu'elles rentrent par le pôle sud (S).

#### Remarque :

- Plus les lignes sont denses, plus B est important.
- Expérimentalement on visualise les lignes de champ à l'aide de grains de limaille de fer : dans le champ chaque grain s'aimante et subit un couple de forces qui l'oriente parallèlement au champ, tout comme une aiguille magnétique.
- 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 entres eux. C'est le cas dans l'entrefer d'un aimant en U (figure ci-dessus).

### 4- Superposition de champs magnétiques

Lorsqu'on est en présence de plusieurs sources de champs magnétiques distinctes, les champs magnétiques se superposent en somme vectorielle.

En un point de l'espace où règnent plusieurs champs magnétiques, le champ magnétique résultant est égal à la somme vectorielle des différents champs :

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$

#### Exemple :

Considérons deux aimants droits  $A_1$  et  $A_2$  orientés comme l'indique figure ci-contre. Les intensités  $B_1$  et  $B_2$  des champs magnétiques créés par les deux aimants en un point M sont :  $B_1=20\text{mT}$  et  $B_2=10\text{mT}$  successivement.

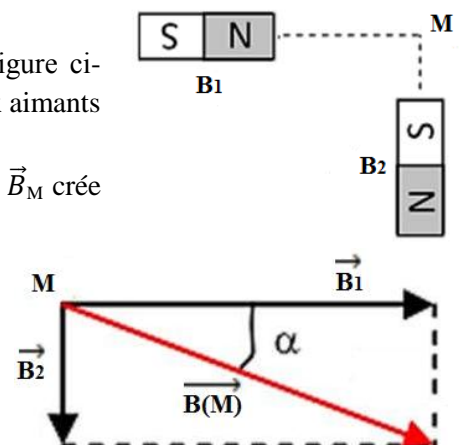
En négligeant le champ magnétique terrestre, le champ magnétique total  $\vec{B}_M$  créé par les deux aimants en M est :

$$\vec{B}_M = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$$

D'après le théorème de Pythagore :

$$B_M^2 = B_1^2 + B_2^2 \Rightarrow B_M \approx 22,36 \text{ mT}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{B_2}{B_1} = 0,5 \Rightarrow \alpha \approx 26,6^\circ$$





### III- Le champ magnétique terrestre

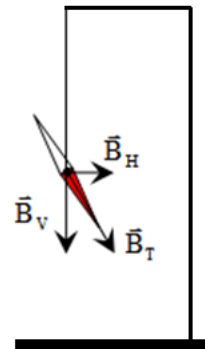
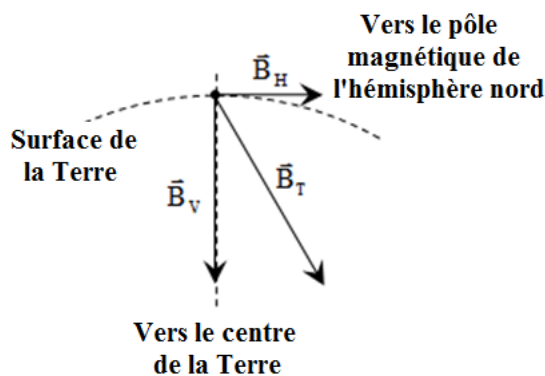
Plaçons plusieurs boussoles (ou aiguilles aimantées) dans une région de l'espace loin de toute source apparente de champ magnétique. Nous constatons qu'elles s'orientent toutes suivant la même direction. Cette orientation particulière est due à la présence dans l'espace d'un champ magnétique, c'est le 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.

Le champ magnétique terrestre en un point M est la résultante de deux composantes:

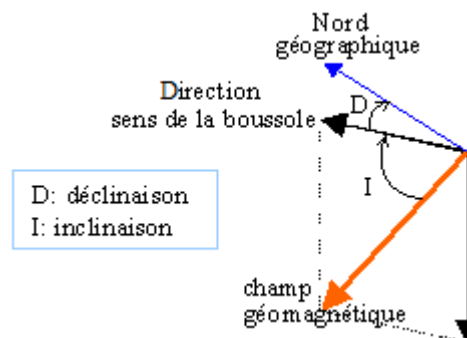
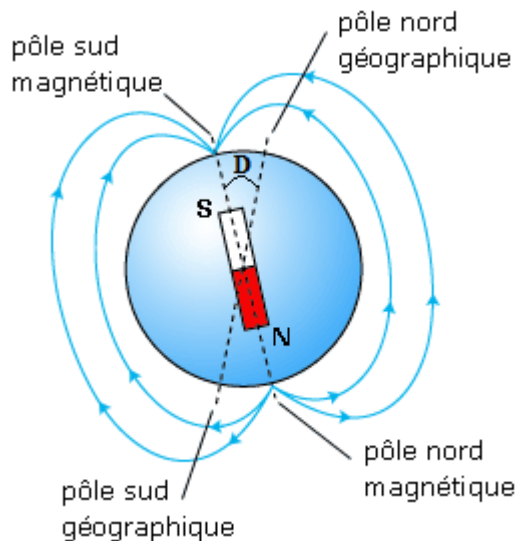
- $\vec{B}_H$  : Composante horizontale du champ magnétique terrestre au point M.
- $\vec{B}_V$  : Composante verticale du champ magnétique terrestre au point M.

$$\vec{B}_T = \vec{B}_H + \vec{B}_V \quad ; \quad B_H = B_T \cdot \cos(\hat{I})$$



L'axe géomagnétique passant par les deux pôles magnétiques, fait un angle appelé « déclinaison magnétique D » par rapport à l'axe de rotation de la Terre.

L'angle formé par  $\vec{B}_T$  et  $\vec{B}_H$  est appelé « inclinaison I ». Il augmente lorsque l'on se rapproche des pôles en tendant vers  $90^\circ$ .



**Remarque :** Les deux angles « I » et « D » varient au cours du temps et dépendent du lieu.

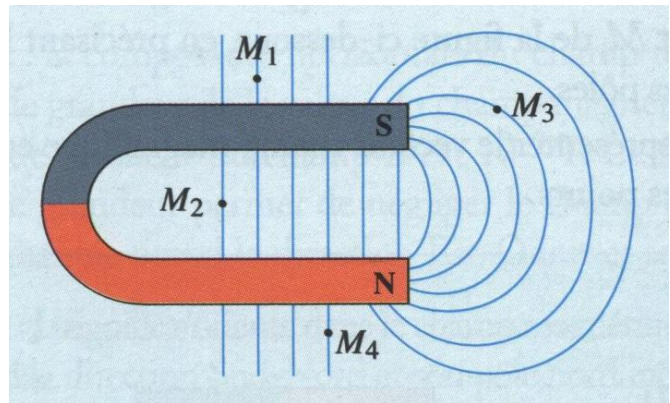
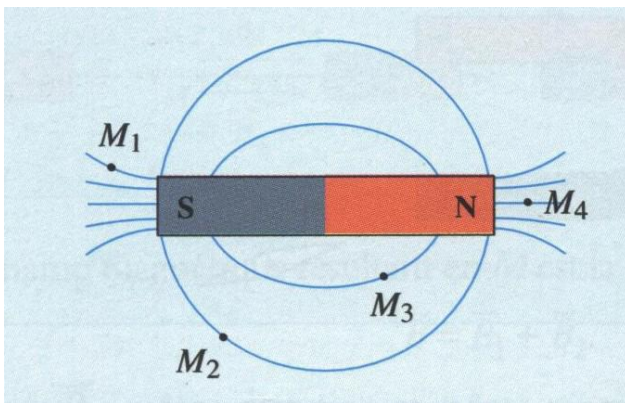
## Exercices d'applications - Chapitre 11

### Le champ magnétique

#### ❖ Exercice 1 :

Sur les deux figures ci-dessous :

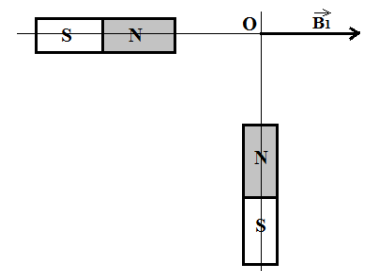
1. Orienter les lignes de champ représentées.
2. Tracer le vecteur champ magnétique aux points  $M_i$ .
3. Indiquer, si elle existe, une région de l'espace dans laquelle le champ magnétique est uniforme. Justifier



#### ❖ Exercice 2 :

Une aiguille dont le centre O est placé sur l'axe de l'aimant (1) s'aligne sur cet axe suivant le vecteur  $\vec{B}_1$  de valeur 5,0 mT. On place l'aimant (2) comme c'est montré sur la figure : l'aiguille tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre d'un angle  $\alpha = 24^\circ$

Déterminer les caractéristiques du champ magnétique  $\vec{B}_2$  créé en O par l'aimant 2 ainsi que les caractéristiques du champ magnétique résultant  $\vec{B}_T$ .



#### ❖ Exercice 3 :

Deux aimants droits sont placés perpendiculairement l'un à l'autre à la même distance du point M, comme l'indique la figure ci-contre.

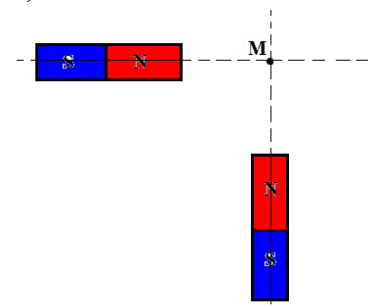
1. Sachant que  $B_1 = 4.10^{-3}$  T et  $B_2 = 3.10^{-3}$  T, représenter à l'échelle :  $2.10^{-3}$  T  $\rightarrow$  1 cm,

- a.  $\vec{B}_1$  Le vecteur champ magnétique créé par l'aimant A1 au point M.
- b.  $\vec{B}_2$  Le vecteur champ magnétique créé par l'aimant A2 au point M.

2.

- a. Exprimer le vecteur champ magnétique résultant  $\vec{B}$  en fonction de  $\vec{B}_1$  et  $\vec{B}_2$ , représenter  $\vec{B}$
- b. Schématiser l'aiguille aimantée placée au point M.
- c. Déterminer graphiquement et par calcul la valeur du champ magnétique B résultant
- d. Déterminer la valeur de l'angle  $\alpha = (\vec{B}_1, \vec{B}_2)$

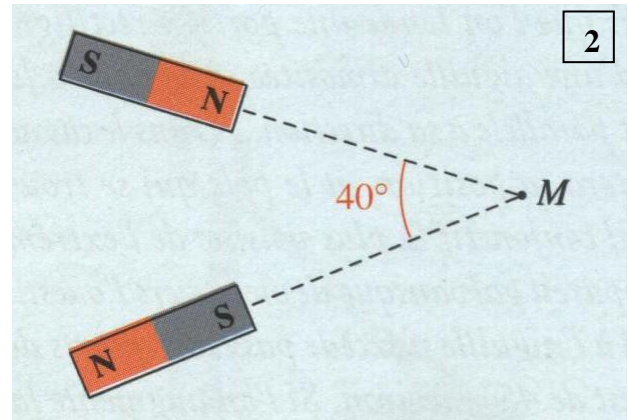
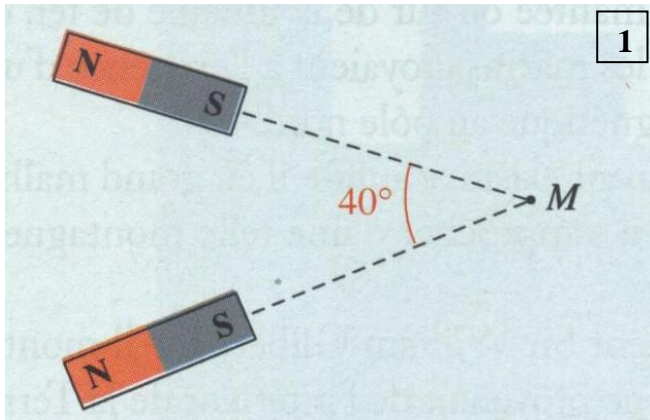
3. On enlève l'aimant A2. Est-ce que l'angle  $\alpha$  augmente, diminue ou reste constant ? Justifier.



## ❖ Exercice 4 :

Deux aimants droits sont placés comme le montre la figure 1 ci-dessous. Chaque aimant crée au point M un champ magnétique de valeur  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ .

1. Tracer, en précisant l'échelle, les champs  $\vec{B}_1$ ,  $\vec{B}_2$  et  $\vec{B}$  tel que  $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$ .
2. Dédire de la construction vectorielle la valeur du champ magnétique résultant en M.
3. Retrouver le résultat précédent en utilisant une fonction trigonométrique.
4. Comparer la précision des deux résultats. Laquelle des deux méthodes est la plus précise.
5. En inverse l'orientation de l'un des deux aimants comme le montre la figure 2. Répondre aux mêmes questions 1, 2, 3 et 4 dans ce cas (figure 2).



## Le champ magnétique crée par un courant électrique

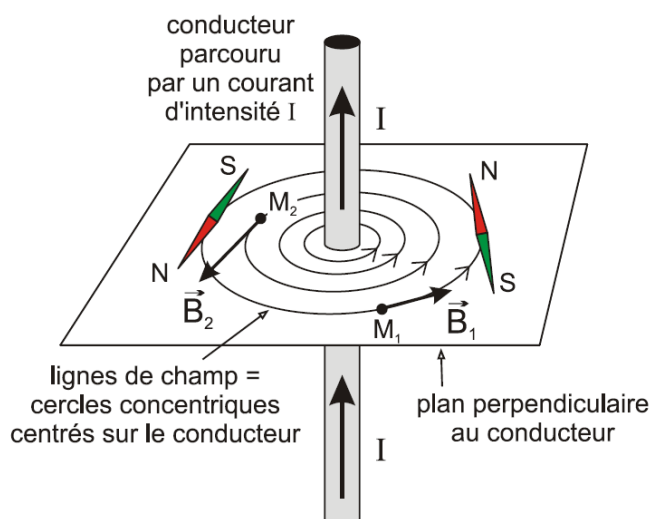
### I- Cas d'un courant passant dans un fil rectiligne

#### 1- Expérience d'Oersted

En 1819, Oersted (Copenhague) était occupé à montrer à ses élèves les effets thermiques du courant électrique dans un conducteur, lorsque son attention fut attirée par un phénomène inattendu. Il remarqua qu'une aiguille aimantée, qui se trouvait par hasard dans le voisinage du conducteur, déviait chaque fois que celui-ci était traversé par un courant électrique. Il put alors constater que l'aiguille aimantée tentait chaque fois de prendre la direction normale au conducteur et que lorsqu'on inversait le courant, l'aiguille inversait la direction de son pôle nord.

De par son expérience, Oersted mettait en évidence un lien entre le courant électrique et l'existence d'un champ magnétique.

Lorsqu'on examine le spectre magnétique obtenu, on s'aperçoit que les lignes de champ sont des circonférences concentriques se trouvant dans un plan perpendiculaire au courant électrique.



Le sens des lignes du champ est conforme à la règle du tire-bouchon ou règle de la main droite ou règle du petit bonhomme d'ampère :

Règle du tire-bouchon	Règle de la main droite	Règle du bonhomme d'ampère
Lorsque le tire-bouchon progresse dans le sens du courant, il tourne dans le sens du champ	On place la main droite le long du fil, paume tournée vers le point M de sorte que le courant sorte par les doigts. Alors le pouce indique le sens de $\vec{B}$ .	On place le bonhomme le long du fil regardant le point M, de sorte que le courant lui entre par les pieds et lui sorte par la tête. Alors son bras gauche indique le sens de $\vec{B}$ .

## 2- Intensité du champ magnétique

Un fil rectiligne de longueur infinie parcouru par un courant électrique d'intensité  $I$ , crée en son voisinage un champ magnétique  $\vec{B}$  de caractéristiques suivantes en un point  $M$  de l'espace :

- Origine : Le point  $M$  ;
- Direction : orthogonale au plan contenant le point  $M$  et le fil rectiligne ;
- Sens : donné par les règles d'orientation (tableau de la page précédente) ;
- Intensité :

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

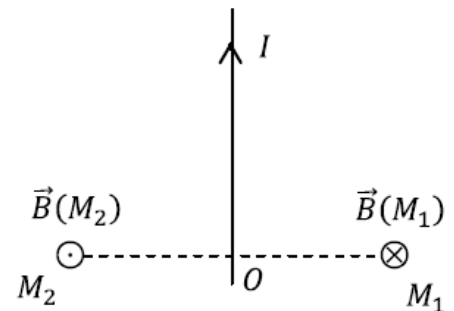
Tel que :

- $\mu_0$  : Perméabilité magnétique du vide (ou de l'air),  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m.A}^{-1}$  ;
- $I$  : Intensité du courant ;
- $r = OM$  : Distance du point  $M$  au fil.

L'intensité  $B$  du champ, augmente avec l'intensité  $I$  de courant et diminue avec la distance  $r = OM$  au conducteur.

### Représentation de $\vec{B}$ dans un espace à deux dimensions :

- ⊙ : Le vecteur est orthogonal au plan de la feuille et sort de la feuille
- ⊗ : Le vecteur est orthogonal au plan de la feuille et rentre dans la feuille



## II- Cas d'un courant passant dans un conducteur circulaire (bobine plate)

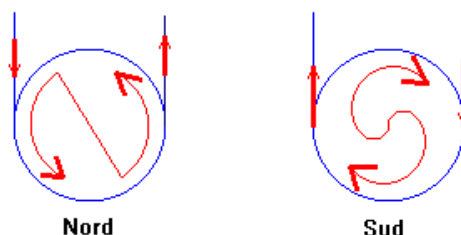
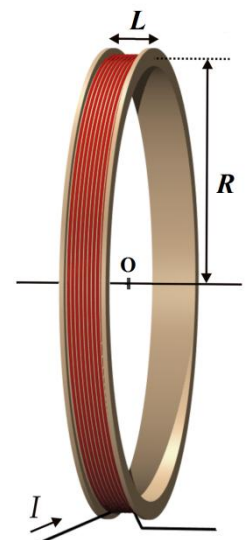
### 1- Définition

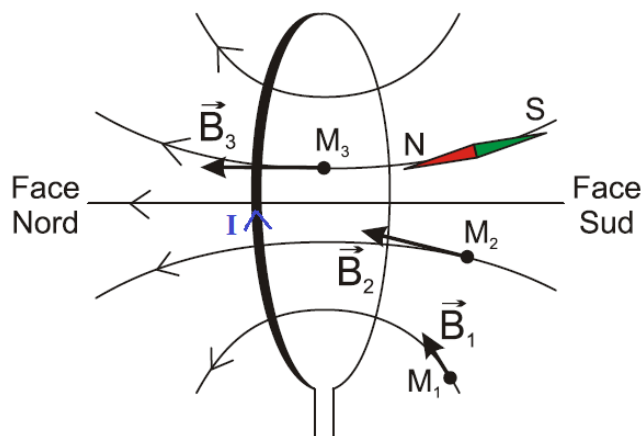
Une bobine plate est constituée d'un enroulement de fil conducteur sur un cylindre isolant dont le rayon  $R$  est supérieur à sa longueur  $L$ .

### 2- Spectre magnétique et lignes du champ magnétique

Les lignes du champ magnétique sont des cercles au voisinage des conducteurs situés dans un plan perpendiculaire à la bobine. Elles se déforment pour tendre à devenir rectilignes à mesure qu'elles se rapprochent de l'axe de la spire. Les lignes de champs magnétiques sortent par une face, appelée face nord et rentrent par l'autre face appelée face sud.

**Remarque :** Le pôle sud d'une bobine étant la face devant laquelle il faut se placer pour « voir » le courant tourner dans le sens des aiguilles d'une montre. Dans le cas contraire, on se trouve devant le pôle nord.





Le sens des lignes du champ est conforme à la règle du tire-bouchon ou règle de la main droite ou règle du petit bonhomme d'ampère :

Règle du tire-bouchon	Règle de la main droite	Règle du bonhomme d'ampère
Le tire-bouchon, tournant dans le même sens que le courant I dans la bobine, progresse dans le sens du champ $\vec{B}$ .	La main droite qui prend la bobine dans sa paume, en ayant les doigts pointés dans le sens du courant, indique avec son pouce le sens du champ $\vec{B}$ .	Le bonhomme d'ampère regarde le centre de la bobine, le courant entre par ses pieds et sort par sa tête, son bras gauche tendu sur le côté indique alors le sens de $\vec{B}$ .

### Remarque :

Comme c'est le cas d'une aiguille aimantée, le sens du vecteur champ magnétique  $\vec{B}$  au centre d'une bobine est orienté de pôle sud (face sud) vers le pôle nord (face Nord) de la bobine. Ainsi, les lignes du champ magnétique sont orientées dans le même sens que  $\vec{B}$ .

### 3- Intensité du champ magnétique

La valeur du vecteur champ magnétique au centre d'une bobine de rayon R (en mètre) et d'un nombre N de spires est donnée par la relation suivante :

$$B = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{N \cdot I}{R}$$

## III-Cas d'un courant passant dans un conducteur circulaire (solénoïde)

### 1- Définition

Un solénoïde s'obtient en enroulant régulièrement en hélice un fil conducteur sur un cylindre isolant de grande longueur par rapport à son rayon.

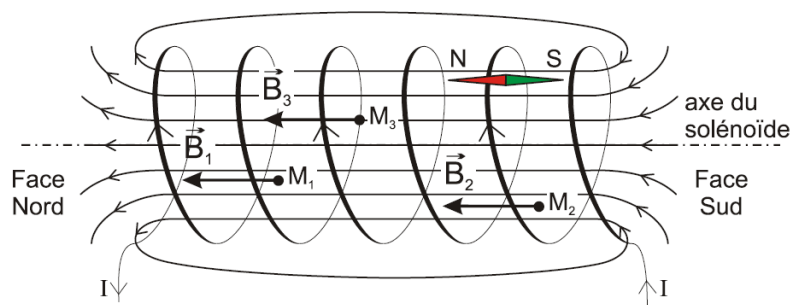
- Si L et R sont du même ordre de grandeur, on a un solénoïde.
- Si  $L > 10 R$ , on obtient un solénoïde infini.





## 2- Spectre magnétique et lignes du champ magnétique

Dans la partie centrale d'un solénoïde, le spectre intérieur est celui d'un champ magnétique uniforme. Alors que le spectre extérieur est semblable à celui d'un barreau aimanté (aimant droit, voir chapitre précédent).



Le sens des lignes du champ est conforme aux mêmes règles utilisées dans le cas d'une bobine plate: règle du tire-bouchon ou règle de la main droite ou règle du petit bonhomme d'ampère ou encore en se basant sur les pôles sud et nord du solénoïde (la face sud et la face nord qu'on peut déterminer de la même façon que pour une bobine plate).

Règle du tire-bouchon	Règle de la main droite	Règle du bonhomme d'ampère
Le tire-bouchon, tournant dans le même sens que le courant I dans le solénoïde, progresse dans le sens du champ $\vec{B}$ .	La main droite qui prend le solénoïde dans sa paume, en ayant les doigts pointés dans le sens du courant, indique avec son pouce le sens du champ $\vec{B}$ .	Le bonhomme d'ampère regarde le centre du solénoïde, le courant entre par ses pieds et sort par sa tête, son bras gauche tendu sur le côté indique alors le sens de $\vec{B}$ .

## 3- Intensité du champ magnétique

A l'intérieur d'un solénoïde de longueur L, ayant N spires et parcouru par un courant d'intensité I, le champ magnétique  $\vec{B}$  est uniforme et a pour valeur :

$$B = \mu_0 \cdot n \cdot I = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I$$

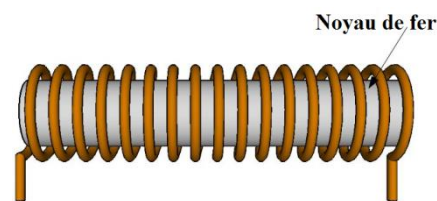
Avec :

$n = \frac{N}{L}$  : Représente la densité des spires

**Remarque** : Introduction d'un noyau de fer dans un solénoïde (ou bobine)

Le fer est un matériau magnétique. Des particules magnétiques sont présentes à l'intérieur du fer. Dans le fer doux, ces particules s'alignent sur un champ magnétique externe. De cette façon, le noyau de fer doux agit comme un aimant à part entière. Une fois que le champ externe aura été éliminé, le noyau retrouvera son état normal.

Imaginons maintenant que nous insérions une pièce en fer doux au centre d'une bobine de fils de cuivre. Lors de la mise sous tension, la bobine devient un électroaimant. En outre, le noyau de fer doux se transforme lui aussi en aimant. Sa puissance viendra dès lors s'ajouter à celle de l'électroaimant. L'effet du noyau de fer doux est nettement supérieur au doublement de l'intensité du courant ou du nombre de spires.



## Exercices d'applications - Chapitre 12

### Le champ magnétique crée par un courant électrique

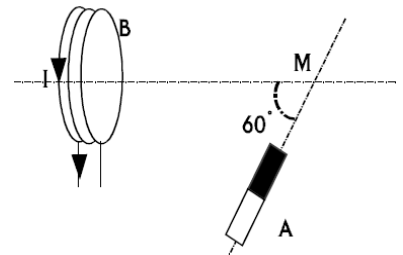
#### ❖ Exercice 1 :

Calculer l'intensité du courant qu'il faut faire circuler dans un fil de cuivre pour que le champ magnétique à 1 cm du fil ait une intensité égale à 1 mT.

#### ❖ Exercice 2 :

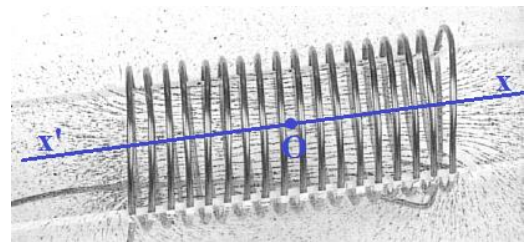
Une bobine parcourue par un courant d'intensité  $I$ , crée en M un champ magnétique de norme  $B_1 = 2 \text{ mT}$ . Un aimant A crée au même point un champ magnétique de norme  $B_2 = 4 \text{ mT}$ .

1. Représenter les vecteurs champ magnétique créés en M par chacune des deux sources.
2. Représenter le vecteur champ magnétique résultant.
3. Déterminer sa norme



#### ❖ Exercice 3 :

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  $2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$
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  $\alpha$  quand  $I' = 2I$  ?

#### ❖ Exercice 4 :

On étudie le champ magnétique dans une bobine longue avec un dispositif donné. Le tableau suivant donne les valeurs de  $B_0$  mesurées en fonction de l'intensité  $I$  du courant :

$I(\text{A})$	0	0.15	0.25	0.4	0.5	0.6	0.75	1	1.2
$B_0 (\text{mT})$	0	0.26	0.39	0.63	0.77	0.95	1.18	1.58	1.9

1. Tracer la courbe  $B_0 = f(I)$
2. Déterminer graphiquement son coefficient directeur ; En déduire le nombre de spires de la bobine sachant que sa longueur est égale à 25 cm.
3. Si l'on souhaite doubler le nombre de spires et garder la même intensité et le même champ  $B_0(I)$ , quelle doit être la longueur de la spire ?

#### ❖ Exercice 5 :

Un aimant droit crée en un point P à l'intérieur d'un solénoïde de 140 spires et de longueur 16 cm un champ magnétique de valeur 2,5 mT.

Déterminer le sens et l'intensité du courant électrique qui va annuler le champ magnétique en P.





## La force électromagnétique – Loi de Laplace

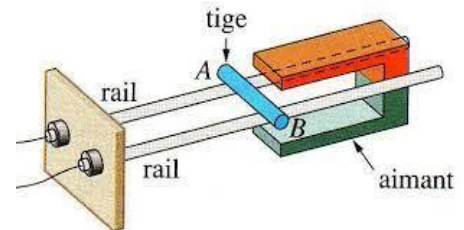
### I- Force électromagnétique

#### 1- Mise en évidence la force de Laplace

On place une tige cylindrique et conductrice sur deux rails, entre les pôles d'un aimant en U.

##### Observations :

- Si on fait passer un courant dans la tige, on remarque que la tige se déplace.
- Si on inverse le sens du courant, la tige se déplace en sens inverse.
- Si on permute les pôles de l'aimant, la tige se déplace en sens inverse.



##### Interprétation :

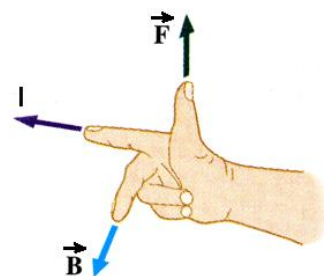
Une portion de circuit électrique parcourue par un courant électrique, placée au voisinage d'un aimant convenablement orienté, est soumise à une force électromagnétique dont le sens dépend du sens du courant.

#### 2- Lois de Laplace

Un conducteur rectiligne de longueur  $L$ , parcouru par un courant d'intensité  $I$ , placé dans un champ magnétique est soumis à une force :

La force exercée sur un conducteur rectiligne de longueur  $L$ , parcouru par un courant d'intensité  $I$  et soumis à l'action d'un champ magnétique  $\vec{B}$  faisant un angle  $\alpha$  avec le conducteur est appelée « la force électromagnétique » ou « force de Laplace » dont les caractéristiques sont :

- Point d'application : au milieu de la portion de conducteur placée dans le champ magnétique ;
- Direction : Elle est dirigée perpendiculairement au plan défini par les directions du champ  $\vec{B}$  et du conducteur
- Sens : Elle a un sens qui suit la règle des trois doigts de la main droite :
  - Le pouce indique la direction et le sens de la force électromagnétique  $\vec{F}$ .
  - L'index indique la direction et le sens du courant  $I$ .
  - Le majeur, tendu perpendiculairement aux deux autres doigts, indique la direction et le sens du vecteur champ magnétique  $\vec{B}$ .
- Intensité :



$$\vec{F} = I \cdot \vec{L} \wedge \vec{B}$$

$$\Rightarrow F = I \cdot L \cdot B \cdot \sin(\alpha)$$

##### Cas particuliers :

- La force de Laplace est nulle quand le conducteur et  $\vec{B}$  ont même direction ( $\alpha = 0$  ou  $\alpha = 180$ ) :  $F = 0$
- La force de Laplace est maximale quand le conducteur et  $\vec{B}$  sont perpendiculaires ( $\alpha = 90^\circ$ ) :  $F = I \cdot L \cdot B$

##### Convention d'écriture :

- Vecteur ou courant dirigé vers l'avant :  $\odot$
- Vecteur ou courant dirigé vers l'arrière :  $\otimes$

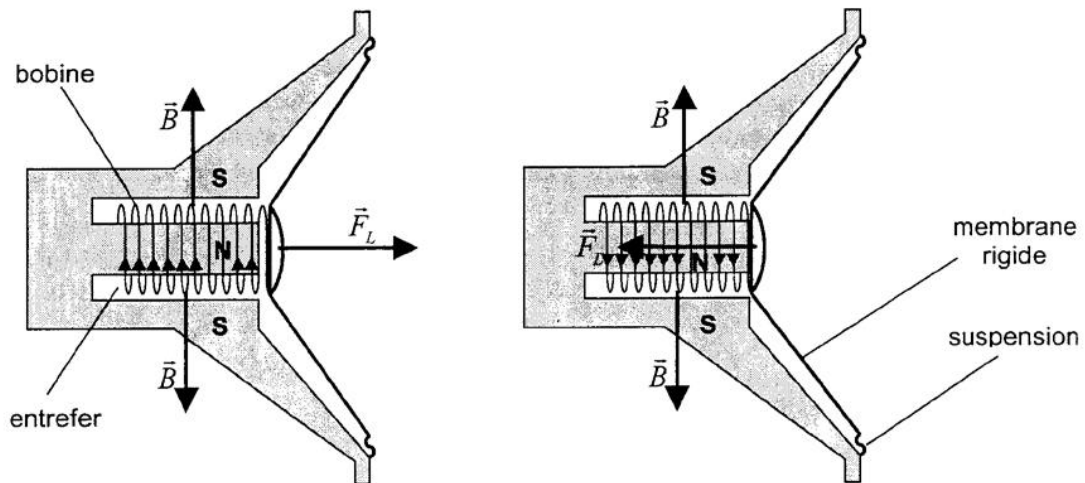
## II- Application

### 1- Le haut parleur électrodynamique

Un haut-parleur électrodynamique est un convertisseur d'énergie électrique en énergie mécanique. Il est constitué de trois parties essentielles :

- Une bobine,
- Un aimant
- Une membrane solidaire de la bobine.

**Principe de fonctionnement :** Un aimant permanent génère un champ permanent et uniforme dans son entrefer. Dans cet entrefer est placée une bobine suspendue, solidaire de la membrane. Lorsqu'un courant parcourt la bobine, chaque spire subit une force de Laplace, et la bobine toute entière subit une force axiale, dont le sens dépend du sens du courant. Pour un courant alternatif de fréquence  $f$ , la bobine va être animée d'un mouvement vibratoire axial de même fréquence, et la membrane va transmettre ce mouvement vibratoire à l'air ambiant, ce qui produit un son de fréquence  $f$ .

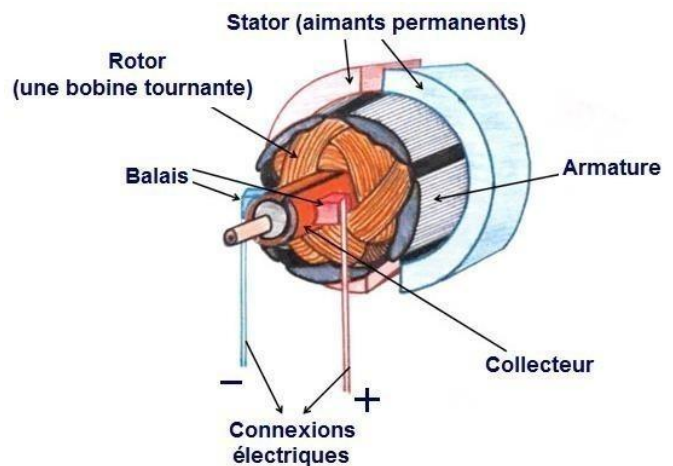


### 2- Le moteur électrique à courant continu

Un moteur électrique à courant continu transforme de l'énergie électrique en énergie mécanique (rotation). Il se compose de deux pièces disjointes :

- Le rotor : cylindre mobile autour de son axe.
- Le stator : cylindre creux et statique, qui génère grâce à deux bobines plates un champ magnétique uniforme

**Principe de fonctionnement :** Le stator est couplé à des spires conductrices : lorsqu'elle tourne, chaque spire est en contact électrique avec le générateur grâce à deux lames soudées aux extrémités de la spire, et à deux balais fixes reliés au générateur. Les deux portions de conducteur parallèles à l'axe de rotation sont chacune soumises à des forces de Laplace, qui tendent à faire tourner la spire. Tous les demi-tours, le courant dans la spire change de sens, ce qui assure une rotation toujours dans le même sens.

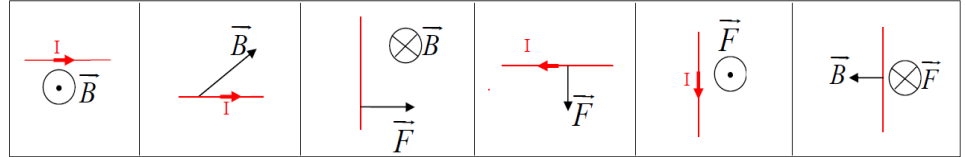


## Exercices d'applications - Chapitre 13

### La force électromagnétique - Loi de Laplace

#### ❖ Exercice 1 :

Représenter, dans chacun des cas suivants, le sens et la direction du courant électrique, du champ magnétique ou de la force de Laplace.



#### ❖ Exercice 2 :

Une tige en cuivre de 20 cm de longueur et 250 g de masse repose sur deux rails conducteurs distants de 15 cm et disposés dans un plan horizontal. Le dispositif est placé dans un champ magnétique uniforme d'intensité  $B = 0,3 \text{ T}$ .

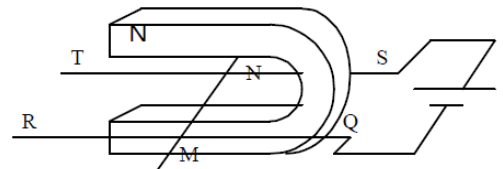
- Comment peut-on créer un champ magnétique uniforme? Citer deux exemples.
- On branche un générateur de courant continu à ce dispositif: le pôle positif en N, le pôle négatif en M. Représenter sur une figure la force magnétique exercée sur la tige et calculer sa valeur si l'intensité du courant vaut 10 A.
- Quel doit être l'angle d'inclinaison du rail par rapport au plan horizontal pour que la tige soit en équilibre ? Faire une figure.



#### ❖ Exercice 3 :

Deux tiges de cuivre QR et ST constituent deux rails conducteurs horizontaux sur lesquels peut se déplacer une barre cylindrique MN qui ferme le circuit. Un aimant en U crée un champ magnétique  $\vec{B}$ .

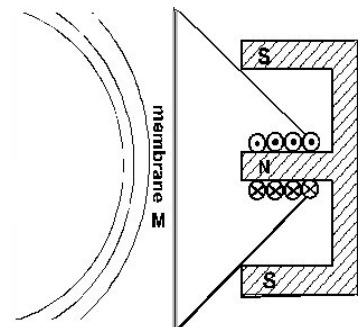
- Le générateur a une f.e.m. de 6 V et la résistance totale du circuit est  $2 \Omega$ . Quelle est la valeur de l'intensité  $I$  du courant qui traverse le circuit ?
- Quelle est la particularité du champ magnétique entre les deux branches de l'aimant ? Donner la direction et les sens du vecteur champ magnétique entre les branches de l'aimant.
- La valeur du champ magnétique est  $B = 0,05 \text{ T}$ . La longueur MN est de 10 cm. On suppose que la barre est soumise sur toute sa longueur au champ magnétique. Donner les caractéristiques de la force (Force de Laplace) agissant sur la barre MN.
- On inverse les pôles de l'aimant. Que se passe-t-il ?



#### ❖ Exercice 4 :

Un haut-parleur électromagnétique est constitué d'un aimant permanent de forme particulière, et d'une bobine parcourue par un courant et pouvant coulisser sur l'un des pôles de l'aimant. La bobine est solidaire d'une membrane M. (schéma ci-contre)

- On suppose que le courant dans la bobine est continu.
  - Représenter par un vecteur le champ magnétique existant au niveau des conducteurs.
  - En déduire la direction et le sens des forces électromagnétiques exercées sur chaque spire de la bobine
  - Quel est l'effet de ces forces sur la membrane M ?
- En réalité, le courant appliqué à la bobine est variable.
  - Quel est l'effet de ce courant sur la membrane ?
  - Pourquoi obtient-on un son ?



---

# *Chimie*

---

## Les grandeurs physiques liées aux quantités de matière

### I- Intérêt de la mesure en chimie

Depuis que Lavoisier a analysé l'air en 1779, le domaine de la mesure en chimie a connu des avancées énormes.

On peut limiter les intérêts de la mesure en chimie dans les points suivants :

- A- Mesurer pour informer
- B- Mesurer pour protéger et surveiller
- C- Mesurer pour agir

#### 1. Pourquoi mesurer en chimie ?

##### a- Mesurer pour informer

- Pour informer le consommateur, le fabricant indique sur l'emballage la composition du produit alimentaire : la nature et la masse des espèces qu'il contient. La composition est obtenue par une analyse quantitative.
- La composition est exprimé en mg/L (ou  $\text{mg.L}^{-1}$ ). Cette grandeur est appelé concentration massique ou teneur massique noté "t".

##### b- Mesurer pour protéger et surveiller

Pour surveiller et protéger notre environnement, le contrôle de la qualité du produit agro-alimentaire, de l'air, etc. nécessitent des mesures nombreuses et variées (ex: concentration massique, pH, densité, etc.).

Exemple : la qualité du lait, la potabilité d'une eau.

##### c- Mesurer pour agir :

Les mesures effectuées lors d'analyses permettent de mettre en œuvre des traitements pour corriger les valeurs situés en dehors des normes.

Exemple : contrôler l'état de santé, les eaux de piscine, la pollution, ...

#### 2. Comment mesurer en Chimie ?

##### a- Mesures approximatives ou précises

- Une mesure ne nécessitant pas une grande précision peut être réalisé avec un matériel simple (alcootest, papier pH)
- Une mesure précise nécessite un matériel plus élaboré (ex : alcootest, pH-mètre).

##### b- Mesures en continu ou par prélèvements :

- Une mesure en continu permet de suivre en temps réel l'évolution d'une grandeur, elle nécessite l'utilisation d'un capteur adapté.

Exemple : le système télémétrique permet de contrôler la pollution de l'air.

- Pour avoir un résultat ponctuel, il faut effectuer un prélèvement dont le contenu sera analysé ultérieurement en laboratoire.

L'étiquette d'une bouteille d'eau minérale					
Analyse moyenne en mg / L					
Calcium	Ca <sup>2+</sup>	36	Hydrogénocarbonate	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	263
Magnésium	Mg <sup>2+</sup>	22	Chlorure	Cl <sup>-</sup>	4
Sodium	Na <sup>+</sup>	22	Sulfate	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4
Potassium	K <sup>+</sup>	1,5	Nitrate	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	< 1
Résidu sec à 180°C					260 mg / L
					pH= 7,7

## II- Détermination de la quantité de matière d'un solide ou d'un liquide

Dans le but de donner une expression simple aux nombres des entités élémentaires (atomes, molécules, ions, électrons) constituant l'échantillon d'une matière, les chimistes ont défini une unité de mesure appelée « La mole » dont le symbole est : « mol »

### 1. Définition :

La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 12,00 g de carbone 12.

Le nombre d'Avogadro définit le nombre d'entité dans une mole :  $N_A = 6.023.10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Pour un échantillon d'une matière contenant un nombre N d'entités élémentaires, la quantité de matière « n » de cet échantillon est donnée par la relation :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

« n » : représente la quantité de matière, elle s'exprime en mol.

### 2. La quantité de matière et la masse :

La quantité de matière d'un échantillon de masse m constitué d'une espèce chimique X de masse molaire M(X) est donnée par la relation :

$$n(X) = \frac{m}{M(X)}$$

Avec :

- m : la masse de l'échantillon en (g)
- M(X) : la masse molaire de l'espèce X en (g/mol)

Si l'espèce chimique en question est constituée d'atomes, M est la masse molaire atomique (obtenue à partir du tableau périodique des éléments). Alors que, s'elle est constituée de molécules, M représente la masse molaire moléculaire (à déterminer) :

**Exemple** : La masse molaire moléculaire de la molécule d'eau H<sub>2</sub>O

**Application** : D'après le tableau périodique, on a : M(H) = 1 g/mol et M(O) = 16 g/mol

$$\text{Donc : } M(\text{H}_2\text{O}) = 2.M(\text{H}) + M(\text{O}) = 2 \times 1 + 16 = 18 \text{ g/mol}$$

### 3. Quantité de matière et le volume

#### a. La masse volumique et la densité

- La masse volumique  $\rho$  d'une espèce chimique, est le quotient de la masse m d'un échantillon de cette espèce chimique par le volume V qu'occupe l'échantillon :

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

Avec :

- m : la masse de l'échantillon en (g)
- V : le volume occupé par l'échantillon en (cm<sup>3</sup>)

- La densité  $d$  d'un liquide ou d'un solide est égale au quotient de la masse  $m$  d'un volume  $V$  de ce liquide ou de ce solide par la masse  $m_e$  d'un même volume d'eau

$$d = \frac{\rho_{\text{solide ou liquide}}}{\rho_{\text{eau}}} \quad ; \quad \text{La densité s'exprime sans unité}$$

**Remarque** : La densité d'un liquide est numériquement égale à sa masse volumique exprimée en  $\text{g.cm}^{-1}$  (car la masse volumique de l'eau est de  $1 \text{ g.cm}^{-1}$ )

### b. Quantité de matière et le volume :

La quantité de matière d'un échantillon de volume  $V$  d'une espèce chimique  $X$  de masse molaire  $M(X)$ , de masse volumique  $\rho$  et de densité  $d$  est donnée par la relation :

$$n(X) = \frac{m}{M(X)} = \frac{\rho \cdot V}{M(X)}$$

## III- Détermination de la quantité de matière d'un gaz

### 1. Les variables d'état d'un gaz :

L'état d'un gaz dépend de quatre grandeurs macroscopiques : la pression  $P$ ; la température  $T$ , le volume  $V$  et la quantité de matière  $n$  du gaz.

Ces variables sont interdépendantes. Si l'on fait varier l'une d'elles, une autre au moins varie aussi, ainsi :

- À Pression = Cste : le volume d'un gaz augmente avec la température.
- À Volume = Cste : la pression augmente avec la température.
- À Température = Cste : la pression augmente quand le volume du gaz diminue.

### 2. La loi de Boyle Mariotte :

À température constante, pour une quantité donnée de gaz, le produit de la pression  $p$  par le volume  $V$  occupé par le gaz est constant :  $P.V = k$ .

### 3. La température absolue

La température absolue étant liée à l'agitation des molécules d'un gaz, on ne peut pas refroidir indéfiniment un gaz. Lorsque la température diminue, l'agitation thermique diminue aussi. Lorsque les molécules sont immobiles, il n'y a plus d'agitation thermique et on ne peut plus refroidir, c'est : le zéro absolu.

En l'absence de toute agitation thermique, la température  $T = 0 \text{ K}$ , c'est le zéro absolu où toutes les particules sont immobiles.

**Conversion de l'unité** : l'échelle de température **Celsius** (notée  $\theta$  dont l'unité est  $^{\circ}\text{C}$ ) se déduit de la température absolue (notée  $T$  dont l'unité est le **Kelvin** de symbole **K**) par la relation :

$$T (\text{K}) = t (^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

### 4. Equation 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, dont l'expression est :  $P.V = n.R.T$

R est la constante du gaz parfait :  $R = 8.31 \text{ Pa.m}^3.\text{K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$  ou bien  $R = 0,082 \text{ atm.l.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

**Remarque :**

- Un gaz est considéré parfait lorsque ses molécules n'interagissent pas entre elles.
- Le gaz parfait est un modèle. Pour un gaz réel, il est considéré comme un gaz parfait si sa pression est faible et si sa température n'est pas trop basse.
- Dans les conditions habituelles de température et de pression, l'air (mélange de gaz) se comporte comme un gaz parfait.

**5. Quantité de matière d'un gaz :**

Dans le cas d'un gaz parfait, on a :

$$n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$$

Pour le volume molaire  $V_m$ , la quantité de matière :  $n=1$ , d'où, on peut écrire :

$$V_m = \frac{R \cdot T}{P}$$

D'où :

$$n = \frac{V}{V_m}$$



## Exercices d'applications – Chapitre 1

### Grandeurs physiques liées aux quantités de matière

#### ❖ Exercice 1 :

Le composant essentiel du savon a pour formule  $C_{18}H_{35}O_2Na$ .

1. Quelle est la masse molaire du savon ?
2. Quelle est la quantité de matière en savon dans une savonnette de 125 g ?

**Donnés :**  $M(O) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$   $M(C) = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$   $M(H) = 1,00 \text{ g.mol}^{-1}$

#### ❖ Exercice 2 :

A  $20^\circ\text{C}$ , l'hexane de formule chimique  $C_6H_{14}$  est un liquide de masse volumique égale à  $\mu = 0,66 \text{ g.cm}^{-3}$ . On a besoin d'un échantillon de  $n = 0,19 \text{ mol}$  d'hexane à  $20^\circ\text{C}$ .

1. Calculer la masse molaire  $M$  de l'hexane.
2. Exprimer puis calculer la masse  $m$  de l'échantillon d'hexane.
3. Exprimer puis calculer le volume d'hexane à prélever pour obtenir la quantité voulue.

**Donnés :**  $M(C) = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$   $M(H) = 1,00 \text{ g.mol}^{-1}$

#### ❖ Exercice 3 :

Le volume molaire gazeux vaut  $24,0 \text{ L.mol}^{-1}$ .

1. Calculer la quantité de matière de dioxyde de carbone contenue dans 10,0 mL de ce gaz
2. Evaluer le nombre de molécules de dioxyde de carbone.
3. Quelle est la masse molaire du dioxyde de carbone ?
4. Calculer la masse de 10,0 mL de ce gaz.
5. En déduire la masse volumique de dioxyde de carbone gazeux.

**Donnés :**  $M(O) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$   $M(C) = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$

#### ❖ Exercice 4 :

Deux récipients sont reliés par un tube de volume négligeable muni d'un robinet. Les 2 récipients contiennent un gaz parfait. La température de  $27^\circ$  ne varie pas pendant l'expérience.

La pression  $P_1$  et le volume  $V_1$  (récipient 1) sont respectivement :  $2,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  et  $2,0 \text{ L}$ .

La pression  $P_2$  et le volume  $V_2$  (récipient 2) sont respectivement :  $1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  et  $5,0 \text{ L}$ .

**Données :**  $R = 8,31 \text{ (SI)}$

1. Calculer les quantités de matière  $n_1$  et  $n_2$  de gaz dans chaque récipient.
2. On ouvre le robinet. En déduire le volume total  $V_t$  occupé par le gaz.
3. Déterminer  $P_t$ , la pression du gaz lorsque le robinet est ouvert.

#### ❖ Exercice 5 :

Un pneu de voiture est gonflé à la température de  $20,0^\circ\text{C}$  sous la pression de 2,10 bar. Son volume intérieur, supposé constant, est de 30 L.

1. Quel quantité d'air contient-il ?
2. Après avoir roulé un certain temps, une vérification de la pression est effectuée: la pression est alors de 2,3 bar. Quelle est alors la température de l'air enfermé dans le pneu ? Exprimer le résultat dans l'échelle de température usuelle.

**Données :** constante du gaz parfait,  $R = 8,314 \text{ (SI)}$

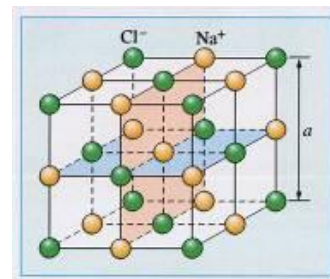
## La concentration et les solutions électrolytiques

### I- Le solide ionique

Nous avons parlé dans le programme de TC de solutions qui étaient capables de conduire le courant électrique, nous allons les étudier ici : on les appelle les solutions électrolytiques ou électrolytes.

**Activité** : Cristal de chlorure de sodium : assemblage de  $\text{Na}^+$  et de  $\text{Cl}^-$

- a. Quelle forme géométrique possède ce cristal ?
- b. Quelle est l'alternance des signes des ions sur une rangée ?
- c. Nous ne pouvons pas nous rendre compte sur ce cristal, mais par un assemblage de cubes, on remarque qu'il y a autant d'ions positifs que d'ions négatifs. Conclusion ?
- d. Compter le nombre de plus proche voisin pour chacun des ions ?
- e. Quelle est la formule statistique de ce cristal ?
- f. D'après ce qui a été vu en physique, quelles forces se manifestent à l'intérieur de ce cristal ?



Un solide ionique est un assemblage régulier d'anions (ion-) et de cations (ion+), et c'est l'ensemble des interactions électriques qui permettent de maintenir la forme du cristal et qui assure sa cohésion.

**Remarque** : Une solution ionique ou électrolyte, bien qu'elle soit électriquement neutre, celle-ci conduit le courant électrique.

### II- Caractère dipolaire d'une molécule :

#### 1. Électronégativité d'un élément :

##### a. Définition :

L'électronégativité d'un élément est la tendance d'un atome de cet élément à attirer le doublet d'une liaison covalente qu'il forme avec un autre atome.

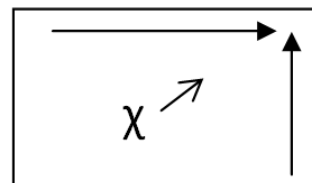
##### b. Pour mieux comprendre :

- Considérons une molécule composée de deux atomes identiques,  $\text{H}_2$  par exemple:  $\text{H}-\text{H}$   
Le doublet liant (constitué de deux électrons) se situe en moyenne à égale distance des deux noyaux des atomes puisque les deux atomes ont la même électronégativité.
- Si on considère maintenant une molécule constituée de deux atomes différents,  $\text{HCl}$  par exemple:  $\text{H}-\text{Cl}$   
Le doublet liant sera attiré d'avantage vers un des deux noyaux (vers l'atome Cl). L'atome qui attire le plus le doublet liant est dit le plus électronégatif (Cl est plus électronégatif que H).

##### c. Comment savoir si un élément est électronégatif :

Il faut considérer sa place dans la classification périodique des éléments : Plus l'élément est à droite et en haut de la classification, plus celui-ci est électronégatif.

**Exemple** : La molécule d' $\text{HCl}$  : L'élément le plus électronégatif est le chlore.



## 2. Conséquences de cette électronégativité sur les molécules :

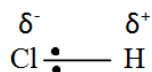
### a. Exemple de la molécule d'HCl :

Vu que le chlore est beaucoup plus électronégatif que l'hydrogène, dans cette molécule, le doublet liant est beaucoup plus proche de l'atome de chlore que de celui d'hydrogène.

On modélise cela en disant que l'atome de chlore possède un excédent de charges négatives (noté  $\delta^-$ ) alors que l'atome d'hydrogène possède un défaut de charges négatives (noté  $\delta^+$ ).

La liaison H-Cl est dite polarisée.

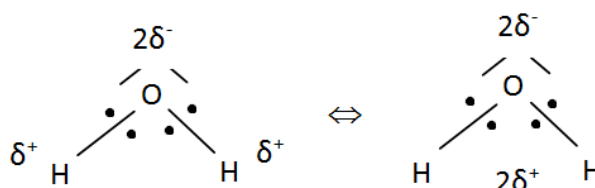
La molécule HCl a un caractère dipolaire.



### b. Exemple de la molécule d'eau :

Question élèves : appliquer le principe vu précédemment à la molécule d'eau.

Le barycentre des charges négatives est différent du barycentre des charges positives : La molécule d'eau a un caractère dipolaire.



#### Remarque :

Les molécules dipolaires ont des propriétés spécifiques, en particulier elles sont solubles dans l'eau.

## III- Phénomène de solvation des ions :

### 1. Phénomène général :

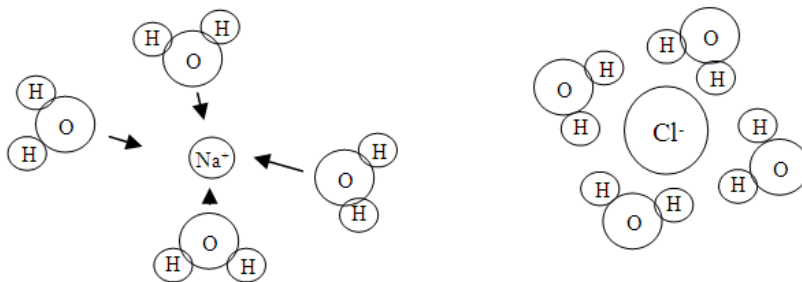
Dans une solution aqueuse, on rencontre des anions, des cations et des molécules d'eau. Comme les molécules d'eau ont un caractère dipolaire, et que les anions et cations sont chargés, on observe des interactions :

#### Exemple :

La mise en solution de NaCl dans l'eau provoque la dispersion des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  qui ne s'attirent pas à cause d'un enrobage de molécule d'eau :

Cet enrobage par les ions du solvant s'appelle la solvation des ions.

Si le solvant est l'eau, on parle d'hydratation des ions.



Equation de la dissolution :  $\text{NaCl}_{(s)} \rightarrow \text{Na}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$

#### Remarque :

On ne connaît pas le nombre de molécules qui entourent l'ion, c'est pourquoi, on rajoute l'indice (aq) à tout ion présent dans une solution aqueuse.

### 2. La concentration d'une solution électrolytique

#### Définition :

- ❖ La concentration molaire d'une solution est la quantité de matière du soluté dissoute dans un litre de la solution. Elle s'exprime comme suivant :

$$C = \frac{n}{V}$$

Avec :

- C : concentration molaire (mol.L<sup>-1</sup>)
- n : quantité de matière du soluté (mol)
- V : volume de la solution (L)

❖ La concentration molaire d'une espèce dissoute X est :

$$[X] = \frac{n(X)}{V}$$

Avec :

- [X] : concentration molaire (mol.L<sup>-1</sup>)
- n(X) : quantité de matière du soluté (mol)

**Exemple :** Soit une solution de Chlorure de cuivre (II) de concentration molaire C

L'équation de dissolution du solide CuCl<sub>2</sub> est :  $\text{CuCl}_2(\text{s}) \rightarrow 1 \text{ Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + 2 \text{ Cl}^{-}_{(\text{aq})}$

On a pour une mole de solide dissocié, une mole de Cu<sup>2+</sup><sub>(aq)</sub> qui apparaît et deux moles de Cl<sup>-</sup><sub>(aq)</sub> qui apparaît.

Vu que, pour le calcul des concentrations, le volume V est identique, donc :

$$[\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}] = 1c \quad [\text{Cl}^{-}_{(\text{aq})}] = 2c$$

### 3. La formule chimique d'un composé ionique

La formule chimique d'un composé ionique est une formule dite "**statistique**" car elle ne désigne pas la composition d'entités chimiques indépendantes (comme le sont par exemple les molécules), elle reflète plutôt les proportions des différents ions constituant ce composé ionique.

#### ⇒ Règle d'écriture de la formule chimique d'un composé ionique

- La formule du cation est notée en premier sans mentionner la charge portée.
- La formule de l'anion est ensuite notée en deuxième (accollée à celle du cation) sans mentionner non plus sa charge
- Les formules de l'anion et du cation sont, se c'est nécessaire, suivie d'un indice indiquant les proportions de chacun d'entre eux dans le composé (ces proportions sont établies à la règle de neutralité électrique globale).
- Si l'anion est polyatomique et possède un indice alors sa formule est notée entre parenthèses.

#### ⇒ Application :

Donner la formule statistique des solides ioniques suivants, écrire leur équation de dissolution dans l'eau et exprimer la concentration des ions en solution en fonction de la concentration molaire C de cette solution : Sulfure de Zinc, Hydroxyde de calcium, Sulfate d'aluminium.

#### Exemple :

Chlorure d'aluminium AlCl<sub>3</sub> :  $\text{AlCl}_{3(\text{s})} \rightarrow \text{Al}^{3+}_{(\text{aq})} + 3 \text{ Cl}^{-}_{(\text{aq})} \Rightarrow [\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})}] = C \quad [\text{Cl}^{-}_{(\text{aq})}] = 3.C$

## Exercices d'applications – Chapitre 2

### La concentration et les solutions électrolytiques

#### ❖ Exercice 1 :

On prépare un volume  $V_1=500$  mL d'une solution aqueuse  $S_1$  de chlorure de cuivre (II)  $\text{CuCl}_2$  en dissolvant totalement 26,9g de soluté.

1. Etablir la relation qui permet de calculer la concentration molaire  $C$  de la solution de chlorure de cuivre (II) à partir de la masse de soluté dissous.
2. Calculer la valeur de  $C_1$ .
3. Ecrire l'équation de la réaction de dissociation ionique du chlorure du cuivre (II).
4. Exprimer puis calculer la concentration de chaque ion présent dans la solution en fonction de  $C$ .
5. On mélange ensuite le même volume  $V_1$  de la solution  $S_1$  aqueuse de chlorure de cuivre (II) avec un volume  $V_2=200$  mL d'une solution  $S_2$  de chlorure de potassium de concentration  $C_2 = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ .
- 5-1. Faire l'inventaire des ions présents dans ce mélange.
- 5-2. Exprimer puis calculer les concentrations molaires effectives de tous les ions présents dans le mélange.

**Données :** Les masses molaires atomiques sont :  $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g.mol}^{-1}$  et  $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g.mol}^{-1}$ .

#### ❖ Exercice 2 :

1. On fait dissoudre  $m = 51,3$  g de sulfate d'aluminium  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (composé ionique) dans 500 mL d'eau.
  - 1-1. Préciser les 3 étapes de cette dissolution.
  - 1-2. Ecrire l'équation de dissolution.
  - 1-3. Calculer la concentration de soluté apporté.
  - 1-4. Calculer la concentration molaire effective de chaque ion dans la solution.
2. A partir de la solution précédente, on veut préparer  $V' = 100$  mL de sulfate d'aluminium de concentration  $C' = 0,15 \text{ mol/L}$ . Préciser la façon d'opérer (quelques calculs et certains appareils sont nécessaires).

**Données :** Masses molaires atomiques :  $M(\text{Al}) = 27 \text{ g/mol}$     $M(\text{S}) = 32 \text{ g/mol}$     $M(\text{O}) = 16 \text{ g/mol}$

#### ❖ Exercice 3 :

Le chlorure de calcium  $\text{CaCl}_2$ , et le sulfate de potassium  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , sont des solides ioniques.

1. Préciser le nom et la formule des ions constituant ces cristaux.
2. Les solutions obtenues en dissolvant chacun de ces solides dans l'eau sont-elles électrolytiques ?
3. Ecrire les équations de réaction associées aux dissolutions correspondantes.
4. Quelles sont les espèces chimiques présentes dans chacune des solutions supposées non saturées ?
5. Pourquoi dit-on que les ions présents dans la solution sont solvatés ?

#### ❖ Exercice 4 :

1. Quel volume de chlorure d'hydrogène gazeux doit on dissoudre dans l'eau pour obtenir une solution d'acide chlorhydrique de concentration  $C = 0,020 \text{ mol/L}$  et de volume  $V=250$  mL ? ( $V_m = 24 \text{ L/mol}$  dans les conditions de l'expérience)
2. A  $20^\circ$  et sous une pression de 1.00 bar, la concentration  $C_{\text{max}}$  d'une solution saturée d'acide chlorhydrique vaut 13.5 mol/L.
  - 2-1. Quel volume de chlorure d'hydrogène gazeux doit-on dissoudre pour obtenir 200.0mL de solution saturée.
  - 2-2. Ecrire l'équation de dissolution de l'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dans l'eau.
    - 3-a. Quelle est la concentration  $C$  d'une solution d'acide sulfurique contenant  $v=10.0$  mL d'acide pur pour  $V=200$  mL de solution ? (masse volumique de  $\text{H}_2\text{SO}_4 = 1.92 \text{ kg/L}$ )
    - 3-b. Quelles sont les concentrations effectives des ions en solution.

## Suivi d'une transformation chimique

### I- La transformation chimique – la réaction chimique

#### 1- La transformation chimique

On parle de la transformation d'un système chimique quand il ya disparition d'espèces chimiques (les réactifs) et apparition de nouvelles espèces chimiques (les produits).

❖ Un système chimique est décrit en précisant :

- La nature et la quantité de matière des espèces chimiques présentes
- L'état physique : solide (s), liquide (l), gazeux (g), en solution aqueuse (aq)
- La température T et la pression P du système

❖ On appelle état initial du système chimique, l'état de ce système avant la transformation.

❖ On appelle état final du système chimique, l'état de ce système après la transformation.

#### 2- La réaction chimique

La réaction chimique est une modélisation simplifiée d'une transformation chimique. Elle s'exprime par une équation chimique.

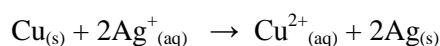
##### Exemple :

On plonge une lame de cuivre Cu dans une solution de nitrate d'argent ( $\text{Ag}^+ + \text{NO}_3^-$ ). Le métal cuivre  $\text{Cu}_{(s)}$  réagit avec les ions argent  $\text{Ag}^+_{(aq)}$  pour donner des ions cuivre  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$  et de l'argent métallique  $\text{Ag}_{(s)}$ .

ÉTAT INITIAL	Transformation chimique $\longrightarrow$	ÉTAT FINAL
$\theta = 20^\circ\text{C} ; P=1\text{bar}$ $\text{Cu}_{(s)} ; \text{Ag}^+_{(aq)} ; \text{NO}_3^-_{(aq)}$		$\theta = 20^\circ\text{C} ; P=1\text{bar}$ $\text{Cu}^{2+}_{(aq)} ; \text{Ag}_{(s)} ; \text{NO}_3^-_{(aq)}$

**Remarque :** Les ions  $\text{NO}_3^-$  ne participent pas à la réaction. Ce sont des ions spectateurs ou des espèces chimiques spectatrices.

A cette transformation chimique est associée une réaction chimique équilibrée (équilibre de l'espèce chimie, de la quantité de matière et de la charge) de la forme :



### II- Avancement de la quantité de matière des espèces chimiques au cours d'une transformation chimique

#### 1- Avancement de la réaction chimique – Tableau d'avancement

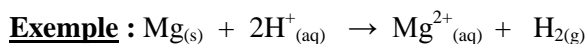
##### a- Avancement de la réaction chimique

Afin de décrire l'évolution d'un système chimique subissant une transformation chimique, on utilise une grandeur noté « x » est appelé avancement de la réaction. Il s'exprime en « mole ».

L'avancement x varie au cours de l'évolution du système chimique : il vaut  $x = 0$  mol à l'état initial et atteint sa valeur maximale  $x_{\text{max}}$  à l'état final.

**b- Tableau d'avancement**

Afin de décrire l'évolution d'un système chimique, on réalise un tableau d'avancement :



Equation chimique		$\textcolor{red}{1}\text{Mg}_{(s)} + \textcolor{red}{2}\text{H}^+_{(aq)} \rightarrow \textcolor{red}{1}\text{Mg}^{2+}_{(aq)} + \textcolor{red}{1}\text{H}_{2(g)}$			
Etat du système	Avancement	Quantités de matière (en mol)			
Etat initial (mol)	$x = 0$ (mol)	$\textcolor{blue}{2}$	$\textcolor{blue}{2}$	0	0
En cours de la transformation (mol)	$x$	$\textcolor{blue}{2}-\textcolor{red}{1}x$	$\textcolor{blue}{2}-\textcolor{red}{2}x$	$\textcolor{red}{1}x$	$\textcolor{red}{1}x$
Etat final (mol)	$x_{\max}$	$\textcolor{blue}{2}-\textcolor{red}{1}x_{\max}$	$\textcolor{blue}{2}-\textcolor{red}{2}x_{\max}$	$\textcolor{red}{1}x_{\max}$	$\textcolor{red}{1}x_{\max}$

**2- Avancement maximal et réactif limitant**

Dans l'état final, au moins un des réactifs a disparu : sa quantité de matière est nulle. Ce réactif est appelé réactif limitant (ou réactif en défaut) car sa disparition arrête la réaction. Les autres réactifs, dont la quantité de matière n'est pas nulle, sont dits en excès.

**Pour déterminer  $x_{\max}$  et le réactif limitant :**

- Si  $\text{Mg}_{(s)}$  est le réactif limitant, alors  $n_f(\text{Mg}) = 0 \Rightarrow 2 - x_{\max} = 0$ , d'où :  $x_{\max} = 2 \text{ mol}$
- Si  $\text{H}^+_{(aq)}$  est le réactif limitant, alors  $n_f(\text{H}^+) = 0 \Rightarrow 2 - 2x_{\max} = 0$ , d'où :  $x_{\max} = 1 \text{ mol}$

$x_{\max}$  est la plus petite valeur trouvée.

Dans notre cas (données du tableau d'avancement) :  $x_{\max} = 1 \text{ mol}$  et  $\text{H}^+$  est le réactif limitant (disparaît avant  $\text{Mg}$ ).

La composition finale du mélange (dite: Bilan de la réaction) est donnée par la dernière ligne du tableau d'avancement en remplaçant  $x_{\max}$  par sa valeur :

Equation chimique	$\text{Mg}_{(s)} + 2\text{H}^+_{(aq)} \rightarrow \text{Mg}^{2+}_{(aq)} + \text{H}_{2(g)}$			
Bilan de la réaction en (mol)	1	0	1	1

## Exercices d'applications – Chapitre 3

### Suivi d'une transformation Chimique

#### ❖ Exercice 1 :

On mélange 5,4g d'aluminium en poudre et 12,8 g de soufre. On chauffe le mélange, il y a formation de sulfure d'aluminium  $\text{Al}_2\text{S}_3$

1. Écrire l'équation bilan de la réaction
2. Déterminer le réactif utilisé en excès
3. Calculer la masse de sulfure d'aluminium formée
4. Calculer la masse restante du réactif utilisé en excès

**Données :** Masses molaires atomiques:  $M(\text{Al}) = 27 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M(\text{S}) = 32 \text{ g.mol}^{-1}$

#### ❖ Exercice 2 :

La combustion complète dans le dioxygène de l'air de l'éthanol de formule  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$  produit du dioxyde de carbone et de l'eau.

1. Écrire l'équation bilan de la réaction de combustion
2. On fait brûler une masse de 6,8 g d'éthanol dans le dioxygène de l'air
  - a. Établir le tableau d'avancement (le dioxygène est un réactif en excès)
  - b. Calculer les masses d'eau et de dioxyde de carbone obtenues
  - c. Calculer dans les CNTP le volume de dioxygène nécessaire à la combustion

**Données :** Masses molaires atomiques:  $M(\text{C}) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M(\text{H}) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$

#### ❖ Exercice 3 :

Le sodium réagit avec l'eau. Il se forme des ions  $\text{Na}^+$ , des ions  $\text{OH}^-$  ainsi que du dihydrogène.

1. Écrire l'équation de la réaction chimique correspondant à cette réaction.
2. Cette réaction dangereuse est effectuée avec 0,23 g de sodium seulement que l'on introduit dans 1,0 L d'eau. Quelles sont les quantités de matière des réactifs en présence ?
3. Quel est le réactif limitant ?
4. Quelle est la quantité de matière ainsi que la masse du corps restant à l'état final ?
5. Déterminer le volume de dihydrogène dégagé à la température de  $20^\circ\text{C}$ . La constante d'état des gaz parfaits est  $R=8,314 \text{ (SI)}$  et la pression atmosphérique est  $P_{\text{atm}}=1,013.10^5 \text{ Pa}$ .

**Données :** Masse volumique de l'eau :  $\rho_{\text{eau}}=1000 \text{ g.L}^{-1}$

Masses molaires atomiques:  $M(\text{H})=1 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M(\text{Na})=23 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M(\text{O})=16 \text{ g.mol}^{-1}$

#### ❖ Exercice 4 :

On mélange 100 mL de solution de chlorure de calcium  $\text{Ca}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{Cl}^{-}_{(\text{aq})}$  et 50 mL de solution de nitrate d'argent  $\text{Ag}^{+}_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^{-}_{(\text{aq})}$ . Les deux solutions ont même concentration molaire en soluté apporté  $C=C_{\text{CaCl}_2}=C_{\text{AgNO}_3} = 1,0.10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ . Les ions  $\text{Ag}^{+}_{(\text{aq})}$  et  $\text{Cl}^{-}_{(\text{aq})}$  précipitent pour donner du chlorure d'argent.

1. Écrire l'équation de précipitation.
2. Calculer les concentrations des ions mis en présence  $\text{Ag}^{+}_{(\text{aq})}$  et  $\text{Cl}^{-}_{(\text{aq})}$  à l'état initial.
3. Calculer les quantités de matière des réactifs  $\text{Ag}^{+}_{(\text{aq})}$  et  $\text{Cl}^{-}_{(\text{aq})}$  à l'état initial.
4. Établir le tableau d'avancement de la réaction de précipitation.
5. Quelle est la masse de précipité obtenue dans l'état final du système ?
6. Quelles sont les concentrations effectives des ions en solution dans l'état final du système ?



## Conductance et conductivité

### Introduction :

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, il est possible de déterminer la quantité de matière par mesure de volume ou de pression lors d'une réaction chimique produisant un gaz. Ce chapitre va nous permettre de déterminer, par une méthode physique, une quantité de matière en passant par la concentration des ions d'une solution électrolytique. L'intérêt de cette méthode est qu'elle est non destructrice (pas de réactions chimiques en jeu). Nous verrons aussi l'utilisation d'une courbe d'étalonnage (TP).

### I- Rappel :

On rappelle qu'un courant électrique ne peut circuler dans une solution que s'elle contient des ions. On appelle ces solutions des solutions électrolytiques ou électrolyte.

**Exemple** : solution de NaCl

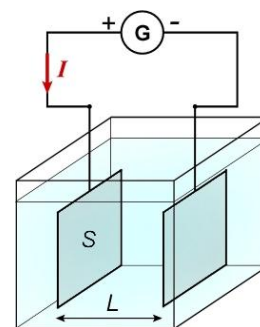
Le passage du courant électrique dans une solution, résulte d'une double migration des anions et des cations se déplaçant en sens inverse.

### II- Conductance d'une solution ionique

#### 1. « L'appareil » de mesure : La cellule conductimétrique :

C'est un ensemble de deux plaques (en cuivre ou en platine) qui trempe dans une solution ionique.

- S : est leur surface immergée dans la solution,
- L : est la distance entre les deux plaques.



#### 2. Résistance et conductance :

On considère la colonne de liquide entre les deux plaques de la cellule. Il est possible de mesurer la résistance électrique de cette portion de liquide à l'aide du montage ci-contre : On mesure l'intensité du courant passant entre les deux plaques et la tension entre les deux plaques et on accède à :

$$R = \frac{U}{I} \quad , \quad \text{mesurée en Ohm } (\Omega)$$

La conductance G de la portion de liquide entre les deux plaques est définie comme l'inverse de cette résistance R, on écrit donc :

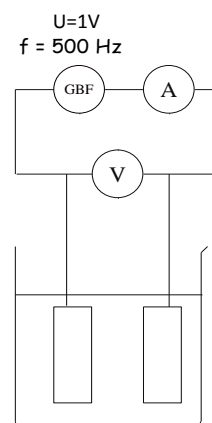
$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U}$$

Avec :

- G : La conductance mesurée en  $\text{Ohm}^{-1}$  ( $\Omega^{-1}$ ) ou en siemens (S).
- I : Intensité du courant en Ampère (A).
- U : Tension aux bornes des deux plaques en volt (V).

#### Remarque :

- On utilisera généralement des sous multiples du siemens (mS ou  $\mu\text{S}$ ).
- Pour la mesure de la conductance, on utilisera du courant alternatif (500Hz) afin d'éviter l'influence des réactions chimiques au niveau des électrodes (des plaques) sur cette mesure.



### 3. Facteurs qui peuvent influencer sur la conductance d'une solution

#### a. Influence des caractéristiques de la cellule

- La surface immergée des plaques :  $G$  est directement proportionnelle à la surface des plaques,
- La distance entre les plaques :  $G$  est inversement proportionnelle à la distance entre les plaques.

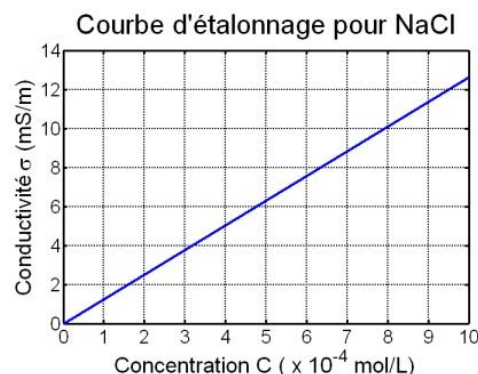
#### b. Influence de l'électrolyte

- Sa nature : La conductance d'une solution dépend de la nature des ions qui la composent.
- Sa température : Plus la température de la solution est élevée, plus la conductance est grande.
- Sa concentration : Plus la solution est concentrée, plus la conductance est grande.

#### Remarque :

Le rapport  $G/c$  est pratiquement constant, ce qui prouve que la conductance d'une solution est proportionnelle à sa concentration. Donc si on trace la fonction  $G = f(c)$  qui représente les variations de la conductance  $G$  de la solution en fonction de sa concentration, on obtient une droite, cela permet donc de mesurer la concentration d'une solution grâce à une courbe d'étalonnage.

L'utilisation de cette courbe est valable tant que la concentration de la solution est inférieure ou égale à  $10^{-2}$  mol/L ? Au-delà de cette concentration la fonction  $G = f(C)$  ne garde pas sa linéarité.



## III- La conductivité d'une solution ionique

### 1. Définition

Nous avons vu précédemment la proportionnalité entre la conductance  $G$  d'une solution électrolytique et les dimensions de la cellule conductimétrique  $S$  et  $L$ , on peut donc écrire :

$$G = \sigma \cdot \frac{S}{L}$$

Avec :

- $G$  : La conductance en siemens (S)
- $\sigma$  : La constante de proportionnalité, elle est appelée conductivité et elle s'exprime en  $(S \cdot m^{-1})$
- $S$  : Surface des plaques en  $(m^2)$
- $L$  : Distance entre les plaques en (m)

### 2. Conductivité molaire ionique

On peut décomposer la conductivité selon la contribution de tous les ions présents en solution :

$$\sigma = \sum \lambda_i \cdot [X_i]$$

$\lambda_i$  : désigne la conductivité molaire ionique de l'ion  $i$ .

**Attention !** : L'unité légale de la concentration en (SI) est  $(mol \cdot m^{-3})$  parce que celle du volume est  $(m^3)$

**Exemple** : La conductivité d'une solution de chlorure de sodium ( $Na^+_{(aq)}$  ;  $Cl^-_{(aq)}$ )

$$\sigma = \lambda_{Na^+} \cdot [Na^+] + \lambda_{Cl^-} \cdot [Cl^-] \quad ; \quad \text{avec : } [Na^+] = [Cl^-] = C \quad \Rightarrow \quad \text{donc : } \sigma = (\lambda_{Na^+} + \lambda_{Cl^-}) \cdot C$$

⇒ Conductivités molaire ioniques de quelques ions à 25°C :

<u>Cas des cations :</u>		
Cation	Nom	$\lambda$ en (mS.m <sup>2</sup> .mol <sup>-1</sup> )
Na <sup>+</sup>	Ion sodium	5,01
K <sup>+</sup>	Ion potassium	7,35
Ag <sup>+</sup>	Ion argent (I)	6,19
Ca <sup>2+</sup>	Ion calcium	11,89
Mn <sup>2+</sup>	Ion manganèse	10,7
Mg <sup>2+</sup>	Ion magnésium	10,6
Cu <sup>2+</sup>	Ion cuivre (II)	10,72
Fe <sup>2+</sup>	Ion fer (II)	10,8
Zn <sup>2+</sup>	Ion zinc (II)	10,56
Al <sup>3+</sup>	Ion aluminium	18,3
Fe <sup>3+</sup>	Ion fer (III)	20,4
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	Ion oxonium	34,97
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ion ammonium	7,35
<u>Cas des anions :</u>		
Anion	Nom	$\lambda$ en (mS.m <sup>2</sup> .mol <sup>-1</sup> )
Cl <sup>-</sup>	Ion chlorure	7,63
Br <sup>-</sup>	Ion bromure	7,81
I <sup>-</sup>	Ion iodure	7,68
HO <sup>-</sup>	Ion hydroxyde	19,8
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ion nitrate	7,14
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	Ion éthanoate	4,09
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ion permanganate	6,13
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ion sulfate	16,0
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Ion carbonate	13,86
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Ion phosphate	20,7

## Exercices d'applications – Chapitre 4

## Conductance et conductivité

## ❖ Exercice 1 :

On mesure la valeur de la tension électrique alternative  $U$  aux bornes de deux électrodes plongées dans une solution ionique de chlorure de potassium et la valeur de l'intensité du courant électrique qui la traverse. On obtient :  $U=13,7V$  et  $I=89,3mA$ .

1. Faire le schéma du montage électrique,
2. Pour quelle raison utilise-t-on une tension électrique alternative pour mesurer la conductance ?
3. Calculer la résistance de la portion de solution entre les deux électrodes
4. Calculer la conductance  $G$  de cette portion de solution.
3. La conductivité de cette solution est de  $0,512 \text{ mS/cm}$  à  $20^\circ C$ . Calculer la valeur de la constante  $k$  de cellule.

## ❖ Exercice 2 :

La conductivité d'une solution de bromure de potassium ( $K^+_{(aq)} + Br^-_{(aq)}$ ) est égale à  $\sigma = 3,0 \cdot 10^{-2} \text{ S/m}$ .

1. Écrire l'équation de la dissolution du bromure de potassium dans l'eau.
2. Calculer la concentration molaire de la solution en  $\text{mol/l}$ .
3. On dilue 10 fois cette solution. Quelle sera alors la valeur de la conductivité  $\sigma'$  de la solution diluée ?

**Données :**  $\lambda_{K^+} = 7,35 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2/\text{mol}$  ;  $\lambda_{Br^-} = 7,81 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2/\text{mol}$

## ❖ Exercice 3 :

Le sérum physiologique est une solution de chlorure de sodium. Afin de déterminer sa concentration, on dispose d'une solution mère de chlorure de sodium de concentration molaire  $1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ , d'un échantillon de ce sérum et du matériel de laboratoire approprié. On souhaite préparer des solutions diluées de concentrations décroissantes :  $9,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  ;  $8,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  ; ...  $1,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ . Les mesures ont donné les résultats figurant dans le tableau.

1. Complète le tableau et donner la relation qui permet de calculer  $G$ .

C (mmol/L)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U (V)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
I (mA)	0,22	0,43	0,65	0,86	1,08	1,28	1,49	1,7	1,91	2,1
G (mS)										

2. Construire la courbe  $G=f(c)$ . Echelle :  $1 \text{ cm} \rightarrow 1 \text{ mmol.L}^{-1}$  et  $1 \text{ cm} \rightarrow 0,1 \text{ mS}$
3. La solution de sérum a été diluée 20 fois.
  - a. La solution diluée a une conductance de  $1,68 \text{ mS}$ . Déduire de la courbe la valeur de la concentration molaire de la solution diluée.
  - b. Quelle est la concentration de la solution mère du sérum physiologique ?

## ❖ Exercice 4 :

A  $25^\circ C$ , on mélange un volume  $V_1 = 100 \text{ ml}$  d'une solution aqueuse  $S_1$  de bromure de potassium, de concentration molaire  $C_1 = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$ , avec un volume  $V_2 = 200 \text{ ml}$  d'une solution aqueuse  $S_2$  d'iodure de sodium, de concentration molaire  $C_2 = 9,51 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$ . On note  $V$  le volume du mélange.

1. Donner l'expression littérale puis calculer la quantité de matière de chaque ion du mélange.
2. Donner l'expression littérale puis calculer la concentration molaire de chaque ion du mélange en  $\text{mol.m}^{-3}$ .
3. En déduire la conductivité  $\sigma$  du mélange.
4. Déterminer les conductivités  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$  des deux solutions avant mélange.
5. Quelle est la relation entre la conductivité  $\sigma$  du mélange,  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$ ,  $V_1$  et  $V_2$ .
6. Calculer la conductivité  $\sigma$  du mélange réalisé à partir de  $V_1 = 50 \text{ ml}$  de  $S_1$  et  $V_2 = 300 \text{ ml}$  de  $S_2$ .

**Données :**  $\lambda_{K^+} = 7,35 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2/\text{mol}$  ;  $\lambda_{Br^-} = 7,81 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2/\text{mol}$  ;  $\lambda_{I^-} = 7,63 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2/\text{mol}$  ;  $\lambda_{Na^+} = 5,01 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2/\text{mol}$

## Les réactions acido-basiques

### Introduction

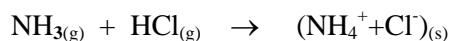
Vous connaissez la grandeur pH : elle permet de savoir dans quelle mesure une solution est acide ( $\text{pH} < 7$ ) ou basique ( $\text{pH} > 7$ ).

Ces solutions généralement possèdent ces propriétés car elles contiennent des espèces acides, ou des espèces basiques. On va dans ce chapitre rencontrer quelques unes de ces espèces, voir qu'elles se trouvent souvent par deux et voir également qu'elles sont capable de réagir les unes avec les autres en suivant des règles précises.

### I- Exemples de réactions chimiques :

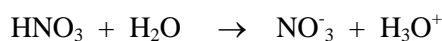
#### 1- Réaction de l'ammoniac et de chlorure d'hydrogène

La réaction de l'ammoniac  $\text{NH}_{3(g)}$  avec le gaz de chlorure d'hydrogène  $\text{HCl}_{(g)}$  conduit à la formation d'un solide ionique de chlorure d'ammonium  $\text{NH}_4\text{Cl}_{(s)}$  selon l'équation chimique suivante :



#### 2- Réaction de l'acide nitrique liquide et de l'eau

La réaction de l'acide nitrique  $\text{HNO}_{3(l)}$  avec l'eau produit des ions nitrate  $\text{NO}_3^-_{(aq)}$  et des ions oxonium  $\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$  selon l'équation chimique suivante :



#### 3- Conclusion

On remarque dans les deux équations chimiques, qu'une espèce chimique ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ) a fourni un proton  $\text{H}^+$ , alors que l'autre espèce ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) a capté un proton  $\text{H}^+$ . On dit qu'il y a un transfert de proton  $\text{H}^+$  entre les deux réactifs.

#### 4- Définition

On appelle réaction acido-basique une transformation chimique au cours de laquelle, il y a un transfert de proton  $\text{H}^+$  entre les réactifs

### II- Théorie de Brönsted des acides et des bases

#### 1- Définitions et exemples

- Un acide selon Brönsted :

Un acide (noté AH) est une espèce chimique susceptible de céder un proton  $\text{H}^+$ . On peut symboliser cette transformation par une demi-équation acido-basique :  $\text{AH} \rightleftharpoons \text{A}^- + \text{H}^+$

**Exemples :** acide chlorhydrique  $\text{HCl}$ , acide éthanoïque  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , ions ammonium  $\text{NH}_4^+$ , acide citrique  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ , vitamine C ou acide ascorbique  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ .

▪ Une base selon Bronsted :

Une base (noté  $A^-$ ) est une espèce chimique susceptible de capter un proton  $H^+$ . On peut symboliser cette transformation par une demi-équation acido-basique :  $A^- + H^+ \rightleftharpoons AH$

**Exemples :** Ammoniac  $NH_3$ , ion éthanoate  $CH_3COO^-$ , ion hydroxyde  $HO^-$ , ion hydrogénocarbonate  $HCO_3^-$  et la potasse  $KOH$ .

**Remarque :** Au cours d'une transformation chimique, selon les conditions expérimentales, un acide  $AH$  peut céder un proton  $H^+$  comme une base  $A^-$  peut capter un proton  $H^+$ . Et pour mettre en évidence les deux possibilités on utilise une demi-équation Acide-Base :  $AH \rightleftharpoons A^- + H^+$  ou  $A^- + H^+ \rightleftharpoons AH$ .

## 2- Le couple acide/base

Dans les 2 demies-équations vu précédemment apparaît un « couple » :  $AH/A^-$ , dans lequel on passe d'un membre du couple à l'autre par un échange d'un proton  $H^+$ . Ce couple sera appelé couple acide/base et sera toujours noté :  $AH/A^-$ .

- On dira que  $AH$  est l'acide conjugué de la base  $A^-$ ,
- On dira que  $A^-$  est la base conjuguée de l'acide  $AH$ .

**Exemples :**

$H_3O^+/H_2O_{(l)}$  ;  $NH_4^+_{(aq)}/NH_{3(aq)}$  ;  $CO_{2(g)}/H_2O/HCO_3^-_{(aq)}$  ;  $H_2O_{(l)}/HO^-_{(aq)}$  ;  $CH_3COOH_{(aq)}/CH_3COO^-_{(aq)}$

## 3- Les couples de l'eau :

L'eau participe à deux couples acido-basiques.

- $H_3O^+ / H_2O_{(l)}$  : dans ce couple l'eau est une base :  $H_3O^+ \rightleftharpoons H_2O_{(l)} + H^+$
- $H_2O / HO^-_{(aq)}$  : dans ce couple l'eau est un acide :  $H_2O \rightleftharpoons HO^-_{(aq)} + H^+$

L'eau peut être un acide ou une base. On dit que l'eau est un ampholyte ou une espèce amphotère.

## III- Les réactions acido-basiques :

Une espèce chimique (Acide) ne peut céder un proton  $H^+$  que s'il y a une autre espèce chimique (Base) qui peut capter ce proton. De cette caractéristique, toute réaction acido-basique met en jeu deux couples acide/base. L'acide du premier couple réagit avec la base du deuxième couple.

**Exemple :** Dans la réaction acido-basique d'équation :  $HO^-_{(aq)} + NH_4^+_{(aq)} \rightarrow NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$

Les produits obtenus sont  $H_2O$  acide conjugué de  $HO^-$  et  $NH_3$  base conjuguée de  $NH_4^+$ .

**Définition :**

Toute réaction acido-basique résulte du transfert de protons  $H^+$  entre l'acide d'un couple acide/base et la base d'un autre couple acide/base.

## Exercices d'applications – Chapitre 5

### Les réactions acido-basiques

#### ❖ Exercice 1 :

1. Ecrire pour chaque couple du tableau ci dessous, la demi-équation acido-basique correspondante.

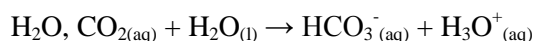
$\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})} / \text{CH}_3\text{COO}^-_{(\text{aq})}$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+_{(\text{aq})} / \text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_{2(\text{aq})}$
$\text{HCl}_{(\text{aq})} / \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$	$\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} / \text{H}_2\text{O}$
$\text{HNO}_{3(\text{aq})} / \text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$	$\text{H}_2\text{O} / \text{HO}^-_{(\text{aq})}$

2. Ecrire le couple acido-basique correspondant à chaque demi-équation du tableau ci-dessous :

$\text{HO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{H}_2\text{O}$	$\text{HCN}_{(\text{aq})} \leftrightarrow \text{CN}^-_{(\text{aq})} + \text{H}^+$
$\text{HCO}_3^-_{(\text{aq})} \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-}_{(\text{aq})} + \text{H}^+$	$\text{NH}_{3(\text{aq})} + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{NH}_4^+_{(\text{aq})}$

#### ❖ Exercice 2 :

L'eau de pluie est, comme l'eau distillée, légèrement acide. En effet, au contact de l'air, du dioxyde de carbone  $\text{CO}_{2(\text{g})}$  s'y dissout, et il se forme de l'acide carbonique de formule  $\text{CO}_2 ; \text{H}_2\text{O}$ . Cet acide réagit avec l'eau selon la réaction d'équation :



1. Montrer qu'il s'agit d'une réaction acido-basique
2. Identifier les couples acide/base impliqués dans cette réaction.
3. Ecrire les demi-équations correspondantes.

#### ❖ Exercice 3 :

On mélange un volume  $V_1 = 12,0 \text{ mL}$  d'une solution d'acide lactique  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})}$ , noté AH, de concentration  $C_1 = 0,16 \text{ mol/L}$  avec un volume  $V_2 = 23,0 \text{ mL}$  d'une solution basique de méthylamine  $\text{CH}_3\text{NH}_{2(\text{aq})}$  de concentration  $C_2 = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$ .

1. Identifier les deux couples acide-base mis en jeu et préciser quelle est l'espèce acide et quelle est l'espèce basique.
2. Écrire les deux demi-équations acido-basiques. En déduire l'équation de la réaction qui peut se produire.
3. Après avoir tracer un tableau d'avancement, Établir la composition finale du système en quantité de matière, puis en concentrations.

#### ❖ Exercice 4 :

On introduit une masse  $m = 0,50 \text{ g}$  d'hydrogénocarbonate de sodium, de formule  $\text{NaHCO}_3$ , dans un erlenmeyer et on ajoute progressivement de l'acide chlorhydrique (solution aqueuse de chlorure d'hydrogène ( $\text{H}^+ + \text{Cl}^-$ )).

1. Quels sont les couples acide/base mis en jeu ?
2. Donner la demi-équation acido-basique relative à chaque couple.
3. Ecrire l'équation de la réaction qui se produit dans l'erlenmeyer. Donner le nom du gaz qui se dégage au cours de la transformation.
4. Quel volume  $V$  d'acide chlorhydrique de concentration  $C = 0,10 \text{ mol/L}$  faut-il verser pour que le dégagement de gaz cesse ?
5. Quel est alors le volume de gaz dégagé si le volume molaire dans les conditions de l'expérience est  $V_m = 24 \text{ L/mol}$



## Les réactions d'oxydoréduction

### Introduction

Le terme oxydation est forgé par analogie avec les réactions au cours desquelles l'oxygène se combine à d'autres éléments ou d'autres corps composés. Les réactions d'oxydoréduction sont responsables de nombreuses réactions chimiques qui nous environnent. Par exemple, les plantes produisent, au cours du processus de photosynthèse, leur nourriture par réduction du dioxyde de carbone prélevé dans l'air. Les métaux sont extraits des minerais par réduction, mais détruits par oxydation au cours des phénomènes de corrosion...

Nous allons voir dans ce chapitre une grande analogie avec les réactions acides bases étudiées précédemment.

### I- Exemples de réactions d'oxydoréduction

#### 1- Réaction entre les ions cuivre II et le fer métal (plaque ou laine de fer)

##### ❖ Expérience

On plonge du fer (laine de fer) dans une solution de sulfate de cuivre II (couleur bleue).

##### ❖ Observations

- La solution bleue se décolore,
- Un dépôt rougeâtre sur la laine de fer,
- Prélevons un peu de la solution et versons-y quelques gouttes de soude ( $\text{Na}^+$  ;  $\text{OH}^-$ ), on observe un précipité Jaune-verdâtre caractéristique de l'hydroxyde de fer II,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ .

##### ❖ Interprétation

- La disparition de la couleur bleu caractérisant les ions  $\text{Cu}^{2+}$  ainsi que l'apparition de dépôt rougeâtre caractérisant le Cuivre métal peut être modélisé par l'écriture :  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ .
- La formation d'un précipité d'hydroxyde de fer II  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  signifie que la solution contient des ions  $\text{Fe}^{2+}$  alors qu'au début de l'expérience ne n'avons que de Fer métal, cette transformation peut être modélisé par l'écriture :  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$

##### ❖ Conclusion

On remarque dans les deux écritures précédentes (deux demi-équations électroniques), qu'une espèce (Fe) a fourni des électrons  $\text{e}^-$ , alors que l'autre espèce ( $\text{Cu}^{2+}$ ) a accepté des électrons  $\text{e}^-$ .

On dit alors qu'il y a un transfert d'électrons entre les deux réactifs.

#### 2- Définition

On appelle réaction d'oxydoréduction une transformation chimique au cours de laquelle, il y a un transfert d'électrons entre les réactifs.

### II- Analogie avec les acides et les bases

#### 1- L'oxydant et le réducteur

##### ❖ Le réducteur (analogie à l'acide)

Un réducteur est une espèce chimique susceptible de céder un ou plusieurs électrons.

## ⇒ Exemple :

- Le métal zinc :  $\text{Zn}_{(s)} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+}_{(aq)} + 2 e^-$
- Le métal cuivre :  $\text{Cu}_{(s)} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2 e^-$

## ❖ L'oxydant (analogie à la base)

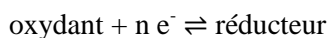
Un oxydant est une espèce chimique susceptible de capter un ou plusieurs électrons.

## ⇒ Exemple :

- Les ions cuivre (II) :  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Cu}_{(s)}$
- Les ions argent :  $\text{Ag}^+_{(aq)} + 1 e^- \rightleftharpoons \text{Ag}_{(s)}$

## 2- Couple oxydant/réducteur

Un couple oxydant/réducteur est l'ensemble d'un oxydant et d'un réducteur qui se correspondent dans une demi équation électronique :

⇒ Exemple :  $\text{Cu}_{(s)} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2 e^-$ 

Le cuivre est un réducteur et l'ion cuivre (II) capable de capter deux électrons est un oxydant. On dit que l'ion cuivre (II) est l'oxydant conjugué du cuivre ou que le cuivre est le réducteur conjugué de l'ion cuivre (II).

## 3- Réaction d'oxydation et réaction de réduction

On appelle réaction d'oxydation, la réaction au cours de laquelle il se forme un oxydant (un réducteur subit une oxydation, on dit qu'il est oxydé).

On appelle réaction de réduction, la réaction au cours de laquelle il se forme un réducteur (un oxydant subit une réduction, on dit qu'il est réduit).

⇒ Exemple :  $\text{Fe}_{(s)} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}_{(aq)} + 2 e^-$ 

- La réaction dont le sens est à droite (sens direct) est une oxydation, on dit que le fer Fe est oxydé en ions  $\text{Fe}^{2+}$
- La réaction dont le sens est à gauche (sens inverse) est une réduction, on dit que les ions  $\text{Fe}^{2+}$  sont réduits en fer métal Fe.

## III- Les oxydants et les réducteurs

## 1- Les couples à connaître et leur demi-équation :

Couple	Oxydant	Réducteur	Demi-Équation
$\text{M}^{n+}_{(aq)}/\text{M}_{(s)}$	Cation métallique	métal	$\text{M}^{n+}_{(aq)} + n e^- \rightleftharpoons \text{M}_{(s)}$
$\text{Fe}^{2+}_{(aq)}/\text{Fe}_{(s)}$	Ion fer (II)	Fer métal	$\text{Fe}^{2+}_{(aq)} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Fe}$
$\text{Fe}^{3+}_{(aq)}/\text{Fe}^{2+}_{(aq)}$	Ion fer (III)	Ion fer (II)	$\text{Fe}^{3+}_{(aq)} + 1 e^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}_{(aq)}$
$\text{Ag}^+_{(aq)}/\text{Ag}_{(s)}$	Ion argent	Argent métal	$\text{Ag}^+_{(aq)} + 1 e^- \rightleftharpoons \text{Ag}$
$\text{I}_{2(aq)}/\text{I}^-_{(aq)}$	diiode	Ion iodure	$\text{I}_{2(aq)} + 2 e^- \rightleftharpoons 2 \text{I}^-_{(aq)}$
$\text{S}_4\text{O}_6^{2-}_{(aq)}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}_{(aq)}$	Ion tétrathionate	Ion thiosulfate	$\text{S}_4\text{O}_6^{2-}_{(aq)} + 2 e^- \rightleftharpoons 2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-}_{(aq)}$

**2- D'autres couples oxydant/réducteur**

Couple	Oxydant	Réducteur	Demi-Équation
$\text{H}^+_{(\text{aq})}/\text{H}_{2(\text{g})}$	Ion $\text{H}^+$ (aqueux)	Dihydrogène	$2\text{H}^+_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_{2(\text{g})}$
$\text{MnO}_4^-_{(\text{aq})}/\text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})}$	Ion permanganate	Ion manganèse (II)	$\text{MnO}_4^-_{(\text{aq})} + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})} + 4\text{H}_2\text{O}$

**Remarque :** Dans le cas des couples dont l'oxydant et le réducteur sont différents au niveau de l'élément chimique, le cas de  $\text{MnO}_4^-_{(\text{aq})}/\text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})}$  par exemple, il faut suivre les quatre étapes suivantes :

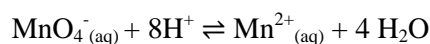
⇒ **Etape 1 :** équilibre de l'élément oxygène par ajout de l'eau  $\text{H}_2\text{O}$  :



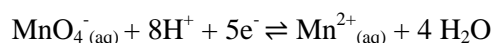
⇒ **Etape 2 :** équilibre de l'élément hydrogène par ajout de  $\text{H}^+$  dans un milieu acide et  $\text{OH}^-$  dans un milieu basique :

Dans le cas d'un milieu acide :  $\text{MnO}_4^-_{(\text{aq})} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}$

⇒ **Etape 3 :** équilibre de la quantité de matière :



⇒ **Etape 4 :** équilibre de la charge électrique par ajout d'électrons de côté de l'oxydant :

**3- Oxydants et réducteurs de la vie courante (un exemple):**

L'eau de javel est un mélange équimolaire de chlorure de sodium ( $\text{Na}^+_{(\text{aq})}$ ,  $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ ) et d'hypochlorite de sodium ( $\text{Na}^+_{(\text{aq})}$ ,  $\text{ClO}^-_{(\text{aq})}$ ). Ses propriétés désinfectantes et blanchissantes sont dues aux propriétés oxydantes de l'ion hypochlorite ( $\text{ClO}^-_{(\text{aq})}$ ).

**IV- La réaction d'oxydoréduction**

Une espèce chimique (réducteur) ne peut libérer un électron  $\text{e}^-$  que s'il y a une autre espèce chimique (oxydant) qui peut capter cet électron. De cette caractéristique, toute réaction d'oxydoréduction met en jeu deux couples oxydant/réducteur. L'oxydant du premier couple réagit avec le réducteur du deuxième couple.

**Exemple :**

Dans la réaction d'oxydoréduction d'équation :  $\text{Cu}_{(\text{s})} + 2\text{Ag}^+_{(\text{aq})} \rightarrow \text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{Ag}_{(\text{s})}$

Le cuivre  $\text{Cu}$  est un réducteur ( $\text{Cu}^{2+}/\underline{\text{Cu}}$ ) alors que l'ion  $\text{Ag}^+$  est un oxydant ( $\text{Ag}^+$ /  $\text{Ag}$ )

## Exercices d'applications – Chapitre 6

### Les réactions d'oxydoréduction

#### ❖ Exercice 1 :

- Répondre par vrai ou faux :
  - Une réduction est un gain d'électrons
  - Une espèce chimique capable de céder des électrons est un réducteur.
  - Les ions cuivre (II) ( $\text{Cu}^{2+}$ ) et le métal fer (Fe) constitue un couple oxydant/réducteur.
  - Dans une réaction d'oxydoréduction, l'espèce chimique oxydante est réduite.
- Compléter :
  - Une .....est une réaction lors de laquelle au moins un électron est perdu.
  - Une .....est une réaction lors de laquelle au moins un électron est gagné.
  - Lors d'une réaction d'oxydoréduction, l'espèce chimique qui perd au moins un électron s'appelle le ..... et celle qui gagne au moins un électron s'appelle .....

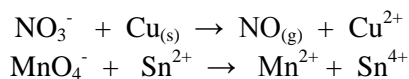
#### ❖ Exercice 2 :

Ecrire les demi-équations d'oxydoréduction relatives aux couples suivants:



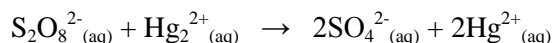
#### ❖ Exercice 3 :

Equilibrer les équations suivantes en milieu acide :



#### ❖ Exercice 4 :

On donne l'équation suivante:

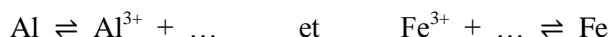


- Identifier les deux couples rédox mis en jeu dans cette réaction d'oxydoréduction.
- Ecrire les demi-équations d'oxydoréduction correspondant à ces couples.
- Déterminer quels sont, respectivement, l'oxydant et le réducteur dans la transformation étudiée.

#### ❖ Exercice 5 :

Pour le soudage des rails sur les voies ferrées, les employés de la SNCF utilisent une réaction d'aluminothermie. Les réactifs sont l'aluminium et l'oxyde de fer III contenant des ions  $\text{Fe}^{3+}$ .

- Compléter les équations des demi-réactions suivantes :



Quel est le corps oxydé ? Le corps réduit ?

- Ecrire l'équation-bilan globale de la réaction d'aluminothermie.
- Quelle masse d'aluminium faut-il faire réagir pour produire 0,28 kg de fer ?

**Donnée :** les masses molaires atomiques :  $M(\text{Fe}) = 56 \text{ g/mol}$  ;  $M(\text{Al}) = 27 \text{ g/mol}$

## Le dosage direct

### Introduction :

Nous allons utiliser dans ce chapitre les notions vues précédemment : conductimétrie, réactions acido-basiques et d'oxydoréductions. En combinant ces notions, nous allons pouvoir déterminer la quantité de matière d'une espèce chimique.

### I- Principe d'un dosage

#### 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.

Afin de réaliser un dosage, on utilise une réaction chimique. Le réactif titré, est l'espèce dont on veut déterminer la concentration  $C$ , il est contenu dans la solution à doser. Alors que la solution titrante contient 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 (afin d'homogénéiser le mélange réaction après chaque ajout)
- Un bécher (contenant la solution à titrer)
- Une burette graduée (contenant la solution titrante)

#### 2- 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.

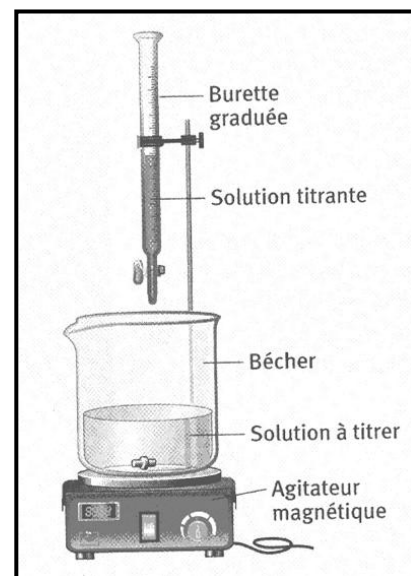
❖ **Attention !** Pour qu'une réaction chimique soit utilisée comme réaction de dosage, il faut qu'elle soit :

- 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.

❖ **Mais, 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.

- Avant l'équivalence, le réactif titrant est le réactif limitant ;
- A l'équivalence, les deux 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 et l'avancement prend la valeur  $x_{\text{eq}}$ . (eq : équivalence)

❖ **Repérage de l'équivalence**

C'est le but de chaque dosage, repérer l'équivalence et noter le volume de la solution titrante  $V_E$  que nous avons introduit. On peut effectuer ce repérage soit par :

- Cas d'un dosage colorimétrique :
  - Un changement de couleur du milieu réactionnel (fréquent en oxydoréduction).
  - Un changement de couleur d'un indicateur coloré qui a été introduit préalablement au dosage dans la solution à titrer.
- Cas d'un dosage conductimétrique :
  - Le tracé d'une courbe :  $G = f(V_{\text{S, titrante}})$
- Cas d'un dosage ph-métrique : (Programme de 2BAC)
  - Le tracé d'une courbe :  $\text{pH} = f(V_{\text{S, titrante}})$

**Remarque :**

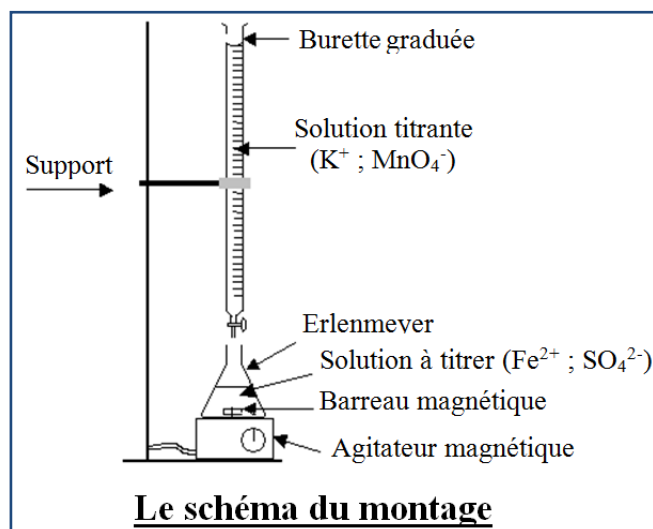
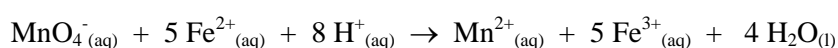
Généralement on réalise deux titrages, un rapide pour repérer approximativement le volume équivalent, l'autre très précis que l'on réalise goutte à goutte quand on se situe aux alentours du point équivalent.

**II- Dosage colorimétrique**

Dans cette partie nous allons considérer comme exemple, le dosage d'oxydoréduction des ions fer II par les ions permanganate  $\text{MnO}_4^-$  (aq).

**1- Réalisation du dosage (Manipulation)**

- Après avoir rincé la burette à l'eau distillée, puis avec la solution, on remplit celle-ci avec la solution aqueuse de permanganate de potassium de concentration  $C_{\text{ox}} = 2.10^{-2} \text{ mol.l}^{-1}$ .
- On place un volume  $V_{\text{red}} = 20 \text{ mL}$  de la solution aqueuse de sulfate de fer II prélevé à l'aide de la pipette jaugée munie d'un pipeteur dans le bécher de 50 mL.
- A l'aide de l'éprouvette graduée, on ajoute avec précaution 2 mL de la solution d'acide sulfurique.
- On place le bécher sur l'agitateur magnétique.
- On verse 1,0 mL de la solution aqueuse de permanganate de potassium. Celle-ci se décolore en tombant dans le bécher. On renouvelle l'opération jusqu'à l'équivalence qui est atteinte pour un volume versé  $V_{\text{ox}} = 18 \text{ mL}$ .

**2- Etude quantitative du dosage**❖ **Equation de la réaction de dosage**

La solution de permanganate se décolore au fur et à mesure de son ajout car les ions  $\text{MnO}_4^-$  violets disparaissent pour laisser place aux ions  $\text{Mn}^{2+}$  transparents.

A l'équivalence, les ions  $\text{Fe}^{2+}$  ont été intégralement consommés, il n'y a donc plus de réactions et les ions  $\text{MnO}_4^-$  sont en excès, d'où la persistance de la couleur violette à ce moment.

#### ❖ Aspect de la solution titrée



#### ❖ Tableau d'avancement pour la réaction de dosage

Equation		$\text{MnO}_4^- (\text{aq}) + 5 \text{Fe}^{2+} (\text{aq}) + 8 \text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Mn}^{2+} (\text{aq}) + 5 \text{Fe}^{3+} (\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O} (\text{l})$					
Etat du système	Avancement (x en mol)	$n_{\text{MnO}_4^-}$	$n_{\text{Fe}^{2+}}$	$n_{\text{H}^+}$	$n_{\text{Mn}^{2+}}$	$n_{\text{Fe}^{3+}}$	-
Initial	$x = 0$	$C_{\text{ox}} \cdot V_{\text{ox}}$	$C_{\text{red}} \cdot V_{\text{red}}$	en excès	0	0	-
Au cours du dosage	x	$C_{\text{ox}} \cdot V_{\text{ox}} - x$	$C_{\text{red}} \cdot V_{\text{red}} - 5x$	en excès	x	5x	-
A l'équivalence	$x_{\text{eq}} = 3.6 \cdot 10^{-4}$	0	0	en excès	$3.6 \cdot 10^{-4}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$	-

On a résolu le système suivant :

$$\begin{cases} C_{\text{ox}} \cdot V_{\text{ox}} - X_{\text{eq}} = 0 \\ C_{\text{red}} \cdot V_{\text{red}} - 5x = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} X_{\text{eq}} = C_{\text{ox}} \cdot V_{\text{ox}} \\ C_{\text{red}} \cdot V_{\text{red}} = 5 \cdot C_{\text{ox}} \cdot V_{\text{ox}} \end{cases} \quad \begin{matrix} (1) \\ (2) \end{matrix}$$

- L'équation (1) nous permet de remplir la dernière ligne du tableau d'avancement.
- L'équation (2) nous permet d'atteindre notre but, avoir la concentration en ions  $\text{Fe}^{2+}$  de la solution à titrer :

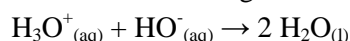
$$[\text{Fe}^{2+}] = c_{\text{red}} = \frac{5 \times C_{\text{ox}} \times v_{\text{ox}}}{v_{\text{red}}} = \frac{5 \times 0.020 \times 18 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-3}} = 0.090 \text{ mol/L}$$

### III- Dosage conductimétrique :

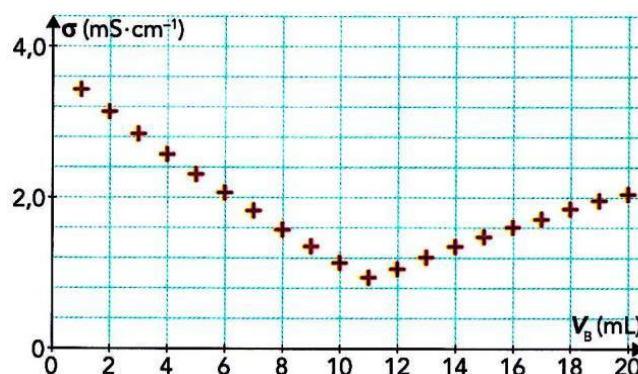
Dans cette partie nous allons considérer comme exemple, le dosage acido-basique des ions oxonium  $\text{H}_3\text{O}^+$  par les ions hydroxyde  $\text{OH}^-$  :

#### ❖ Exercice

On dose, par titrage conductimétrique, une solution  $S_A$  d'acide chlorhydrique, ( $\text{H}_3\text{O}^+ (\text{aq}) + \text{Cl}^- (\text{aq})$ ), par une solution  $S_B$  d'hydroxyde de sodium, ( $\text{Na}^+ (\text{aq}) + \text{HO}^- (\text{aq})$ ). L'équation de la réaction de titrage est :



Le suivi du titrage par conductimétrie permet de tracer le graphe  $\sigma = f(V_B)$  ci-contre :



1. Faire un schéma légendé du dispositif de titrage.
2. Déterminer le volume équivalent  $V_E$  du titrage. On néglige la dilution lors du titrage.
3. On se place avant l'équivalence :
  - a. Quel est le réactif limitant ?
  - b. La concentration en ions chlorure varie-t-elle au cours du titrage ?
  - c. L'expression de la conductivité  $\sigma$  de la solution contenue dans le bécher est :

$$\sigma = \lambda_{(H_3O^+)} \cdot [H_3O^+] + \lambda_{(Na^+)} \cdot [Na^+] + \lambda_{(Cl^-)} \cdot [Cl^-]$$

Sachant que  $\lambda_{(H_3O^+)} > \lambda_{(Na^+)}$ , justifier l'évolution de la conductivité  $\sigma$  avant l'équivalence.

4. On se place maintenant après l'équivalence :
  - a. Quel est le réactif limitant ?
  - b. Établir l'expression de la conductivité  $\sigma$ .
  - c. Justifier l'évolution de la conductivité de la solution contenue dans le bécher après l'équivalence du titrage.

❖ **CORRECTION :**

1.
  - Solution titrante : solution  $S_B$  d'hydroxyde de sodium dans la burette graduée.
  - Solution titrée : solution  $S_A$  d'acide chlorhydrique dans le bécher.
2. On lit l'abscisse du point d'intersection des 2 demi-droites :  $V_E = 11,0\text{mL}$ .
3.
  - a. Avant l'équivalence, la conductivité due aux ions  $H_3O^+_{(aq)}$  présents dans le bécher est d'abord importante, puis diminue au fur et à mesure que l'on ajoute des ions  $HO^-_{(aq)}$  (puisque'il se forme de l'eau). Le réactif limitant est l'ion hydroxyde  $HO^-_{(aq)}$ .
  - b. La concentration en ions chlorure ne varie pas au cours du dosage, car c'est un ion spectateur qui est initialement dans le bécher (dans la solution  $(H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)})$ ). Les ions  $Cl^-_{(aq)}$  ne réagissent pas et on néglige l'effet de dilution.
  - c. Lors des ajouts successifs de la solution d'hydroxyde de sodium ( $Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}$ ), les ions  $H_3O^+_{(aq)}$  présents dans le bécher sont consommés et remplacés par de l'eau de conductivité nulle. Les ions  $Na^+_{(aq)}$  apportés par le réactif titrant, sont moins conducteurs. Avant l'équivalence, la conductivité globale de la solution diminue.
4.
  - a. Après l'équivalence, le réactif limitant est l'ion  $H_3O^+_{(aq)}$ . En effet, celui-ci a été totalement consommé à l'équivalence. Après l'équivalence, les ions  $HO^-_{(aq)}$  versés ne réagissent plus et sont donc versés en excès et donc la conductivité augmente.
  - b. Après l'équivalence, la conductivité  $\sigma$  s'écrit donc :
 
$$\sigma = \lambda_{(HO^-)} \cdot [HO^-] + \lambda_{(Na^+)} \cdot [Na^+] + \lambda_{(Cl^-)} \cdot [Cl^-]$$
  - c. Après l'équivalence, on ajoute des ions  $Na^+_{(aq)}$  et  $HO^-_{(aq)}$  en excès. La conductivité  $\sigma$  augmente car la conductivité molaire ionique des ions  $HO^-_{(aq)}$  notamment est particulièrement élevée.



## Exercices d'applications – Chapitre 7

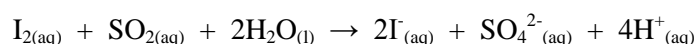
### Le dosage direct

#### ❖ Exercice 1 :

Un laboratoire d'analyse doit déterminer la concentration de dioxyde de soufre  $\text{SO}_{2(\text{aq})}$  dans une solution commerciale que l'on note S. Pour cela, un technicien dose cette dernière à l'aide d'une solution aqueuse de di-iode aqueux  $\text{I}_{2(\text{aq})}$ . En effet, il introduit dans un erlenmeyer, un volume  $V_1 = 20,0 \text{ mL}$  de la solution S, 4 mL d'acide sulfurique incolore et 1 mL d'empois d'amidon également incolore.

La solution titrante, de concentration en di-iode  $C_2 = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  est ensuite ajoutée jusqu'à l'équivalence repérée par le changement de couleur du milieu réactionnel. L'équivalence est obtenue après avoir versé un volume  $V_E = 6,28 \text{ mL}$  de solution de di-iode.

L'équation support du dosage est :



1. Préciser, en justifiant, le changement de couleur qui permet de repérer l'équivalence.
2. Déterminer la concentration molaire  $C_1$  en dioxyde de soufre de cette solution et en déduire que sa concentration massique  $C_{\text{m}(\text{exp})}$  en dioxyde de soufre est égale à  $0,201 \text{ g.L}^{-1}$ .

#### ❖ Exercice 2 :

On désire par cet exercice déterminer la concentration molaire  $C_0$  en acide acétique ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) du vinaigre du commerce, on prépare alors une solution diluée 100 fois de concentration  $C_A$ . Ensuite, on prélève un volume  $V_A = 10,0 \text{ mL}$  de cette solution diluée que l'on dose par une solution d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^{+} + \text{HO}^{-}$ ) de concentration  $C_B = 10.10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .

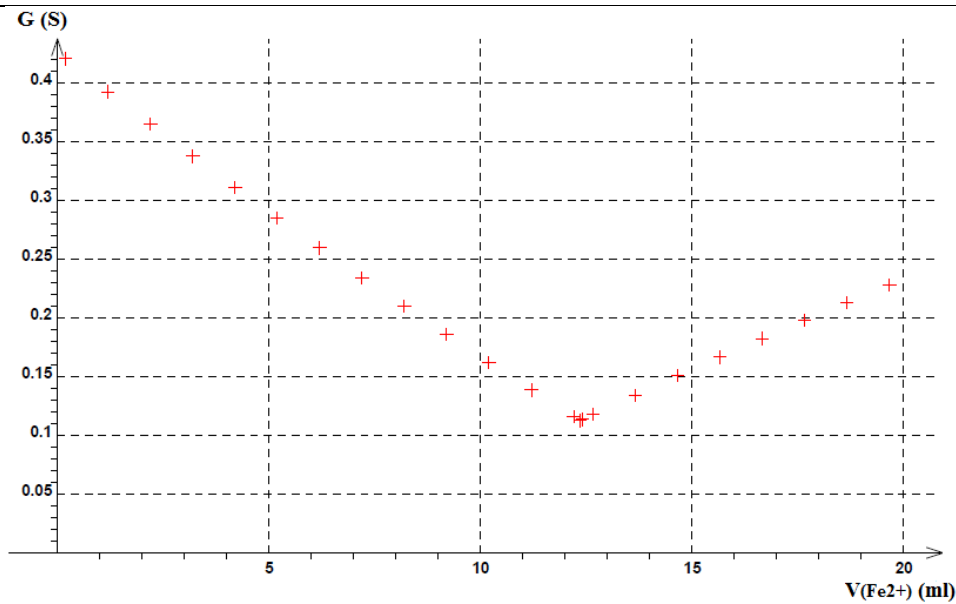
Le volume de réactif titrant (hydroxyde de sodium) versé à l'équivalence vaut  $V_{\text{BE}} = 9,7 \text{ mL}$ .

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 diminue 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.

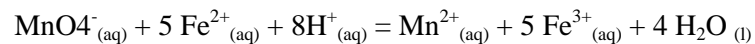
#### ❖ Exercice 3 :

Dans un bécher, on introduit un volume  $V_1 = 10,0 \text{ mL}$  d'une solution de permanganate de potassium de concentration  $C_1$  inconnue, 2,5 mL d'acide sulfurique de concentration égale à  $1,0 \text{ mol/L}$  et 200 mL d'eau distillée. La solution de sel de Mohr contenant les ions  $\text{Fe}^{2+}$  de concentration  $C_2 = 0,100 \text{ mol/L}$  est ajoutée dans la burette graduée. On effectue le titrage en suivant à l'aide d'un conductimètre, les variations de la conductance  $G$  de la solution contenue dans le bécher en fonction du volume de solution de sel de Mohr versé. On obtient la courbe ci-dessous :

1. Faire un schéma annoté du dispositif expérimental.
2. Pour quelle raison ajoute-t-on un grand volume d'eau distillée avant de débiter le dosage ?
3. Ecrire les formules chimiques du permanganate de potassium solide et de l'acide sulfurique.
4. Avec quel instrument doit-on prélever les 10,0 mL de solution de permanganate de potassium ? Justifier.



5. Ecrire les deux demi-équations électroniques relatives aux couples mis en jeu. Et en déduire que l'équation de la réaction d'oxydoréduction s'écrit :



6. En l'absence de conductimètre, comment repérer expérimentalement l'équivalence ? Justifier.

7. La formule chimique du sel de Mohr est  $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{NH}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  (s). Quelle masse de sel de Mohr solide doit-on peser pour préparer 100 mL de solution de concentration  $C_2$  ?

8. Quel est le nom de l'ion  $\text{Mn}^{2+}$  ?

9. Déterminer graphiquement le volume équivalent.

10. Donner la relation à l'équivalence et en déduire la valeur de la concentration molaire  $C_1$  de la solution de permanganate de potassium.

**Données :** Couples oxydant / réducteur mis en jeu :  $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$  ;  $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$ .

## La chimie organique

### I- Introduction :

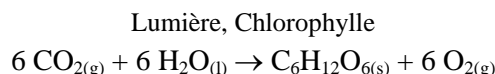
#### 1- Qu'est-ce que la chimie organique ?

La chimie organique est la chimie des composés du carbone, d'origine naturelle ou produits par synthèse. Les composés renferment non seulement du carbone mais aussi généralement de l'hydrogène (on a alors des hydrocarbures : composé de C et H). Parfois, il y a de l'oxygène, de l'azote, du soufre ou du phosphore.

#### 2- Origine naturelle des composés organiques

##### ❖ La photosynthèse :

C'est le processus qui permet aux végétaux de transformer le dioxyde de carbone en glucide (sucre).



On rappelle que la photosynthèse est la réaction inverse de la respiration. C'est elle qui permet de régénérer le dioxygène dans l'atmosphère.

##### ❖ Les pétroles et gaz naturels :

C'est la décomposition de matières organiques (animal ou végétal) sous forme de microorganismes qui s'est accumulé au fond des océans et qui se mêlent à des minéraux.

Ils constituent la matière première de la chimie organique de synthèse.

### II- Le carbone, élément de base de la chimie organique :

Le numéro atomique de l'élément carbone est  $Z(\text{C}) = 6$ , donc la configuration électronique de cet élément est :  $(\text{K})^2(\text{L})^4$ .

Pour saturer sa couche externe à 8 électrons et ainsi respecter la règle de l'octet, le carbone doit accueillir 4 électrons en formant 4 liaisons covalentes (4 doublets liants).

Selon la répartition de ces liaisons, nous allons rencontrer des géométries différentes :

Liaisons autour de l'atome de carbone	Géométrie dans la	Exemple
4 liaisons simples	Tétraédrique	$\text{CH}_4$ (méthane)
2 liaisons simples + 1 liaison double	Plan	$\text{CH}_2\text{O}$ (méthanal)
1 liaison simple + 1 liaison triple	Plan	$\text{HCN}$ (Acide cyanhydrique)
2 liaisons doubles	Plan	$\text{CO}_2$ (dioxyde de carbone)

## Le squelette carboné

### I- La chaîne carbonée

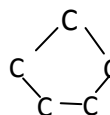
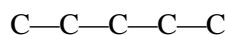
#### 1- Définition :

On appelle chaîne carbonée ou squelette carboné l'enchaînement des atomes de carbone constituant une molécule organique. Les atomes de carbone sont ensuite liés à d'autres atomes, soit il n'y a que des atomes H, soit ce sont des groupes d'atomes appelés groupes caractéristiques (voir plus loin).

#### 2- La diversité des chaînes carbonées :

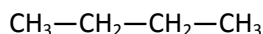
##### a. Chaîne ouverte ou chaîne cyclique

Une molécule organique peut être formée par un enchaînement ouvert de 5 atomes de carbone, ou bien par un enchaînement fermé, dit cyclique :

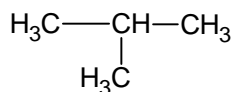


##### b. Chaînes linéaires ou ramifiées

Le squelette est linéaire s'il est formé d'un enchaînement de  $\text{CH}_2$  terminé à chaque extrémité par un  $\text{CH}_3$  :

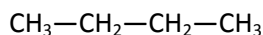


Sinon elle est ramifiée :

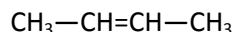


##### c. Chaînes saturées ou insaturées

Une chaîne est saturée s'il n'y a que des liaisons simples entre les atomes de carbone :



Sinon elle est insaturée : Il y a au moins une liaison multiple (double ou triple) :



#### 3- Ecriture des formules chimiques :

##### a. Formule brute

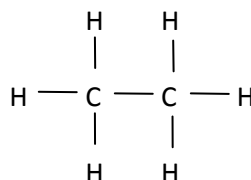
Elle renseigne sur la nature et le nombre d'atomes dans la molécule. Elle est du type :  $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z\text{N}_t$ .

⇒ Exemple :  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  pour le glucose.

##### b. La formule développée plane

Elle renseigne sur la nature des liaisons liant les différents atomes. Elle diffère de la représentation de Lewis par l'absence des doublets non liants.

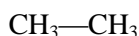
⇒ Exemple :  $\text{C}_2\text{H}_6$



c. La formule semi-développée

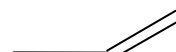
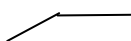
On ne fait plus apparaître les liaisons entre les atomes Carbone-Hydrogène, carbone-oxygène carbone-azote...

⇒ Exemple :  $C_2H_6$  :

d. La représentation topologique

On représente l'enchaînement des atomes de C par une ligne brisée qui représente les liaisons simples entre les C. Chaque extrémité de segment comporte un atome de C et autant d'atome d'H pour respecter la règle de l'octet.

⇒ Exemple :



## II- La nomenclature

## 1- Les différentes familles d'hydrocarbures :

Particularités de la chaîne	Nom de la famille
Chaîne ouverte saturée	Alcane
Chaîne cyclique saturée	Cyclane
Chaîne comportant une double liaison	Alcène
Chaîne comportant une triple liaison	Alcyne

## 2- Nomenclature des alcanes :

Les alcanes sont des hydrocarbures à chaîne ouverte de formule  $C_nH_{2n+2}$ .

a. Nom des alcanes à chaînes linéaires

Le nom d'un alcane à chaîne linéaire est formé d'un **préfixe numérique** (un nombre grec qui indique le nombre d'atomes de carbone dans la chaîne) et un suffixe (une terminaison) "**ane**".

Nom	Méthane	Ethane	Propane	Butane	Pentane	Hexane	Heptane	Octane	Nonane	Décane
Formule	$CH_4$	$C_2H_6$	$C_3H_8$	$C_4H_{10}$	$C_5H_{12}$	$C_6H_{14}$	$C_7H_{16}$	$C_8H_{18}$	$C_9H_{20}$	$C_{10}H_{22}$

b. Nom des alcanes à chaînes ramifiées

Une molécule ramifiée peut être considérée comme une chaîne carbonée principale sur laquelle sont fixées des ramifications (groupement alkyle). La nomenclature de ces ramifications est similaire à celle des alcanes. Il suffit de remplacer la terminaison "ane" par "yle" dans le nom de l'alcane linéaire:

Nom du groupe	Méthyle	Ethyle	Propyle
Formule brute	$CH_3-$	$CH_3-CH_2-$	$CH_3-CH_2-CH_2-$

## ⇒ Règles à suivre :

- On détermine la plus longue chaîne carbonée, c'est la chaîne principale ; elle donne son nom à l'alcane.
- On identifie les ramifications greffées sur la chaîne principale : ce sont des groupes alkyles.

- On numérote la chaîne carbonée principale (deux sens possibles). Le sens à adopter est tel que l'ensemble des indices de position des groupes alkyles soit le plus bas. Ainsi, un ensemble d'indices est qualifié comme le « plus bas », **lorsqu'il est comparé terme par terme avec un autre ensemble d'indices, chacun cité en ordre croissant de valeur, possède l'indice le plus bas au premier point de différence.**

⇒ **Exemple** : l'ensemble d'indices « **2,3,5,8** » est plus bas que « **3,4,6,8** » et « **2,4,5,7** ».

- On nomme le composé : on écrit d'abord les noms des groupes alkyles (avec élision du **e** final) précédés de leur indice de position, suivi du nom de l'alcane correspondant à la chaîne principale.

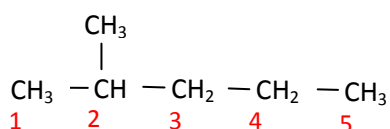
**Remarque 1** : s'il y a plusieurs groupes substituant :

- S'ils sont identiques : on place un préfixe devant le nom du groupe (di, tri, tétra ...) et on fait précéder de tous les numéros attribués au groupe.
- S'ils sont différents : ils s'écrivent par ordre alphabétique (sans tenir compte des éventuels préfixes).

**Remarque 2** : Conventions d'écriture :

- Entre deux lettres, pas d'espace (tout est attaché).
- Entre deux chiffres une virgule.
- Entre un chiffre et une lettre un tiret.

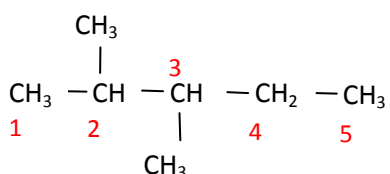
**Ex. 1 :**



**2-méthylpentane**

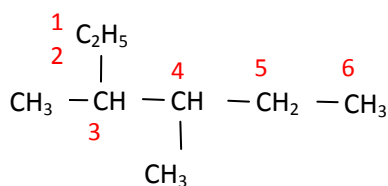
L'indice pour le préfixe est le plus petit possible

**Ex. 2 :**



**2,3-diméthylpentane**

**Ex. 3 :**



**3,4-diméthylhexane :**

On utilise l'ordre croissant pour les indices

### 3- Nomenclature des cycloalcane monocycliques :

Un cycloalcane monocyclique est un hydrocarbure saturé qui possède un cycle d'atomes de carbone, de formule générale  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ , avec  $n \geq 3$ .

#### a. Nom des cycloalcane monocycliques non ramifiées

Le nom d'un cycloalcane monocyclique non ramifiées se forme en accolant le préfixe "cyclo" au nom de l'alcane acyclique non ramifié possédant le même nombre d'atomes de carbone.

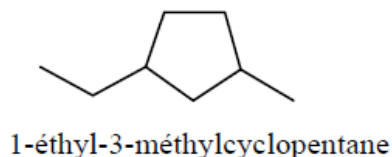
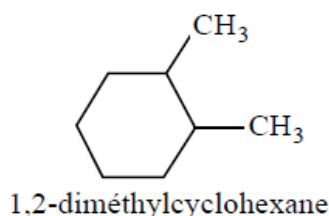
**Ex.** : cyclopropane ; cyclobutane ; cyclohexane.

**b. Nom des cycloalcanes monocycliques ramifiées**

Le nom des cycloalcanes monocycliques ramifiées est formé à partir de celui du cycloalcane monocyclique non ramifiées correspondant et en indiquant la substitution selon les règles énoncées précédemment.

La numérotation le long du cycle est choisie de telle façon que l'atome de carbone portant le premier substituant par ordre alphabétique porte le numéro « 1 » et que le carbone portant le second substituant par ordre alphabétique porte le numéro le plus petit possible.

⇒ **Exemple :**

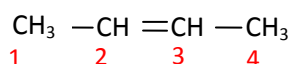
**4- Nomenclature des alcènes :**

Ce sont des hydrocarbures de formule  $C_nH_{2n}$ . Leurs chaînes carbonées comportent au moins une double liaison.

**a. Nom des alcènes à chaînes linéaires**

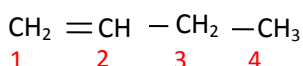
La terminaison "ène" remplace la terminaison "ane" des alcanes. La position de la double liaison est donnée par le numéro du premier atome de carbone doublement lié rencontré dans le sens de la numérotation (choisie telle que l'on attribue à la double liaison le plus petit numéro); ce numéro est placé entre le radical et la terminaison "ène".

**Ex. 1 :**



**But-2-ène**

**Ex. 2 :**

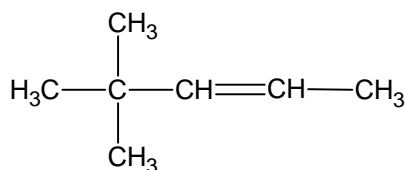


**But-1-ène**

**b. Nom des alcènes à chaînes ramifiées**

- On détermine la plus longue chaîne carbonée, c'est la chaîne principale; elle doit contenir la double liaison; elle donne son nom à l'alcène.
- On numérote selon la règle des alcènes linéaires.
- On identifie les groupes alkyles et on procède de la même façon que pour les alcanes.

**Ex.:**



**4,4-diméthylpent-2-ène**

### III- L'isomérisation :

#### 1- Définition :

Deux corps sont isomères s'ils ont la même formule brute mais des structures différentes.

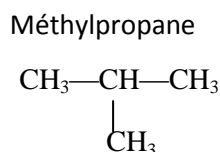
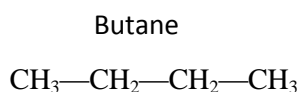
Si la formule semi-développée permet de rendre compte de cette différence, on parle d'isomères de constitution.

#### 2- Différents types d'isomérisation :

##### a. Isomérisation de chaîne

L'isomérisation de chaîne désigne les isomères qui diffèrent par leur chaîne carbonée.

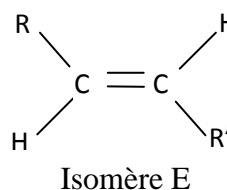
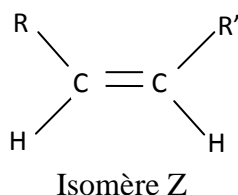
**Ex.** :  $C_4H_{10}$



##### b. Isomérisation Z-E :

Elle concerne les dérivés éthyléniques, ceux qui comportent une double liaison du type :  $R-CH=CH-R'$ . (R et R' groupe alkyl  $C_nH_{2n+1}$ ).

La libre rotation autour de la double liaison n'est pas possible, on a deux dispositions possibles :

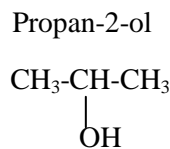
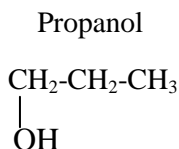


On rajoute devant le nom du composé (E) ou (Z) selon le cas

##### c. Isomérisation de position

L'isomérisation de position qualifie les isomères dont un groupement fonctionnel est placé sur des carbones différents de la chaîne carbonée.

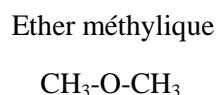
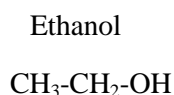
**Ex.** :  $C_3H_8O$



##### d. Isomérisation de fonction

L'isomérisation de fonction caractérise les isomères dont les groupes fonctionnels diffèrent.

**Ex.** :  $C_2H_6O$





## IV- Influence de la chaîne carbonée :

### 1- Evolution des propriétés physiques :

#### a. Température d'ébullition

Pour des molécules ayant mêmes groupes caractéristiques : Si le nombre de C augmente, alors la Température d'ébullition augmente.

Les isomères à squelette ramifié ont des températures d'ébullition plus faible que les alcanes à chaîne linéaires : ils sont plus volatils.

#### b. Densité

La densité des alcanes par rapport à l'eau est inférieure à 1, elle croît légèrement avec le nombre d'atomes de carbone.

#### c. Solubilité :

La chaîne carbonée des alcanes étant hydrophobe, ils sont insolubles dans l'eau (et les solvants polaires) mais solubles dans les solvants organiques (éther, acétone). (Question de polarité)

### 2- Distillation fractionnée :

La distillation consiste à porter à ébullition un mélange et à recueillir les gaz qui s'en échappent. On sait que la composition de ces gaz n'est pas la même que celle du liquide, les gaz sont plus riches en constituants les plus volatils.

Si on répète cette opération, à l'aide d'un matériel spécifique on réalise une distillation fractionnée. On peut récupérer, à différents étages dépendant de la température d'ébullition, des constituants purs.

On utilise cette technique dans l'industrie pétrolière.

## Exercices d'applications – Chapitre 9

## Le squelette carboné

## ❖ Exercice 1 :

Donner la formule semi-développée des composés suivants :

Hexane ;     3-méthylpentane ;     2,3-diméthylbutane ;     4-éthyl 2,2,4-triméthylheptane.

2,2-diméthylbutane ;     4,4,6,6-tétraméthyl-octane ;     2-propyl-3-éthylhexane

2-éthyl-3-méthyl-4-propylnonane ;     1,3-diéthylpropane ;     4-méthyl-1,3-diéthylpentane

## ❖ Exercice 2 :

Donner le nom des composés dont les formules semi-développées sont les suivantes :

.....		
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

## ❖ Exercice 3 :

Ecrire la formule semi-développée des composés suivants :

But-1-ène ;     méthylbut-1-ène ;     3,4-triméthylpent-2-ène

3-éthyl-2-méthylpent-2-ène ;     (E) pent-2-ène ;     (Z) 2,5-diméthylhex-3-ène

## Groupes caractéristiques en chimie organique

### Introduction

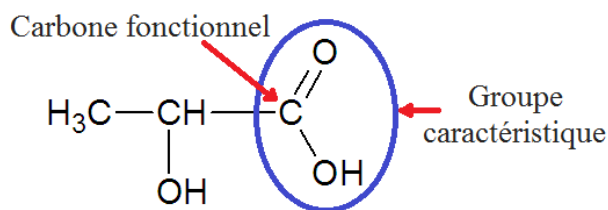
Dans la plupart des médicaments, les principes actifs sont constitués de molécules organiques qui doivent leur réactivité et leur efficacité des ensembles d'atomes qui constituent des "groupes caractéristiques". Ces groupes caractéristiques confèrent des propriétés spécifiques aux molécules qui les possèdent.

Lorsque des atomes, autres que l'hydrogène, sont liés aux atomes de carbone d'une molécule organique, alors ils constituent des groupes caractéristiques à l'origine de la réactivité des molécules.

Chaque groupe caractéristique permet de définir une famille de composés chimiques.

### 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 :



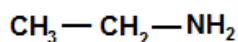
### II- Familles des composés organiques

#### 1- Famille des amines

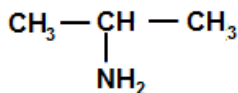
Les amines possèdent le groupe caractéristique amino «  $-\text{NH}_2$  ». On pourra les noter d'une façon générale  $\text{R}-\text{NH}_2$ .

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.

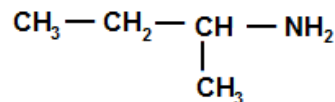
⇒ Exemples :



éthanamine



propan-2-amine



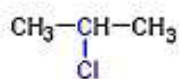
butan-2-amine

#### 2-Famille des composés halogénés

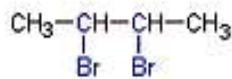
Les composés halogénés portent un groupe caractéristiques halogéno «  $-\text{X}$  », où «  $\text{X}$  » représente un atome de la famille des halogènes (F; Cl ; Br ; I).

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.

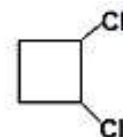
⇒ Exemples :



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**.

#### a. 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 :

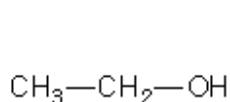
- **Alcool primaire** : Si le carbone fonctionnel est lié à un atome de carbone ou non lié à aucun atome de carbone.
- **Alcool secondaire** : Si le carbone fonctionnel est lié à deux atomes de carbone.
- **Alcool tertiaire** : Si le carbone fonctionnel est lié à trois atomes de carbone.

Classe de l'alcool	Alcool primaire	Alcool secondaire	Alcool tertiaire
Formule générale	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{R}' \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R}'' \\   \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{R}' \end{array}$

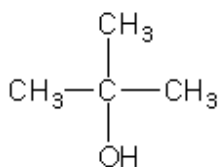
#### b. Nomenclature des alcools

Le nom de l'alcool dérive de l'alcane correspondant. Le «-e» terminal est remplacé par «-ol» précédé du numéro de la position du carbone fonctionnel de la chaîne carbonée et qui porte le numéro le plus petit possible.

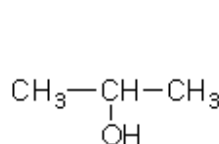
⇒ Exemples :



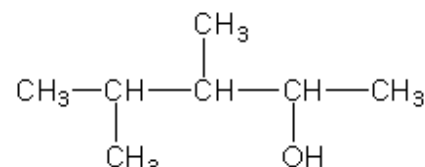
éthanol



2-méthylpropan-2-ol



propan-2-ol



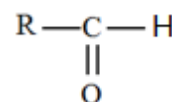
3,4-diméthylpentan-2-ol

### 4-Famille des composés carbonyles :

Les aldéhydes et les cétones constituent les composés carbonylés. Ils possèdent le groupe carbonyle C = O.

#### a. Les aldéhydes

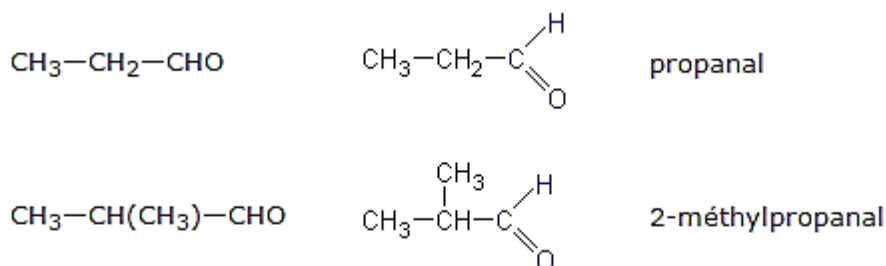
L'aldéhyde est un composé carbonylé dont le groupe caractéristique se trouve au bout de la chaîne. Leur formule générale est :



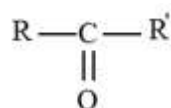
**b. Nomenclature des aldéhydes**

Le nom d'un aldéhyde dérive de l'alcane correspondant. Le « -e » terminal est remplacé par « -al ».

⇒ Exemples :

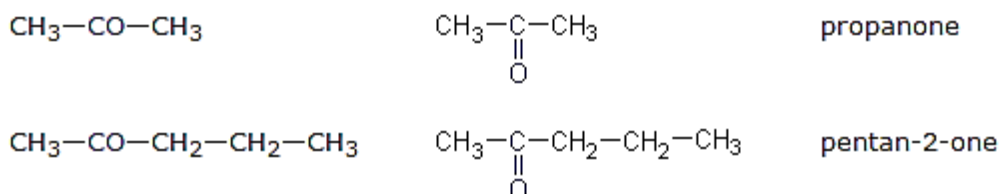
**c. Les cétones :**

Une cétone est un composé carbonylé dont le groupe caractéristique se trouve entre deux atomes de carbone. Sa formule générale est :

**d. Nomenclature des cétones :**

Le nom de la cétone dérive du nom de l'alcane correspondant. Le « -e » terminal est remplacé par « -one », précédé du numéro de la position du carbone fonctionnel dans la chaîne carbonée.

❖ Exemples :

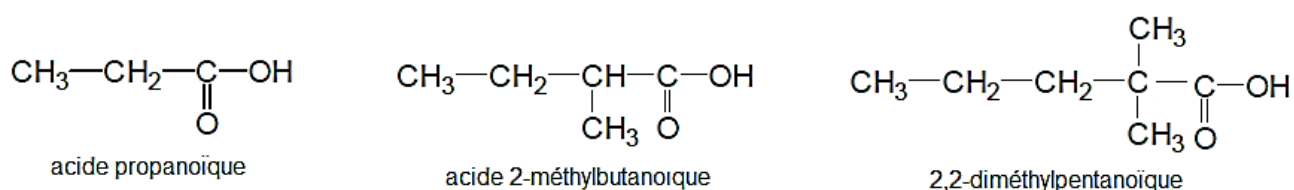
**5- Famille des acides carboxyliques**

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.

**Nomenclature des acides carboxyliques**

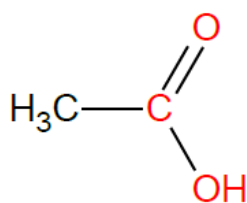
On nomme les acides carboxyliques en ajoutant au nom de l'alcane correspondant le suffixe « oïque », précédé du terme « acide ».

⇒ Exemples :

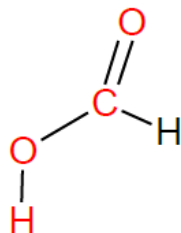


**Remarque :**

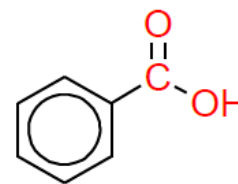
- Certaines molécules d'acide carboxylique ont des noms usuels :



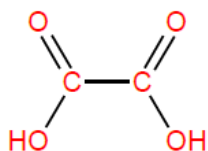
acide acétique



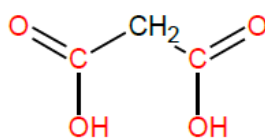
acide formique



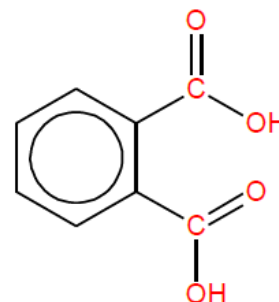
acide benzoïque



acide oxalique

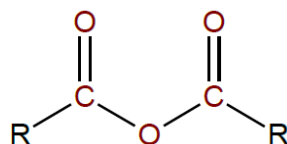


acide malonique

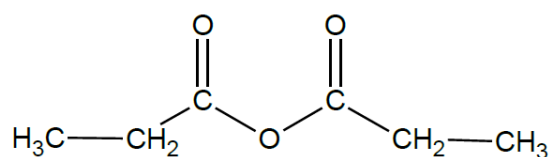


acide orthophthalique

- Par élimination d'une molécule d'eau entre deux molécules d'acides carboxyliques on obtient formellement une molécule d'anhydride d'acide de formule  $(\text{R}-\text{CO})_2\text{O}$  : (Programme de 2BAC)



Le nom d'un anhydride d'acide s'obtient en remplaçant le terme « acide » du nom de l'acide carboxylique correspondant par le terme « anhydride » :



anhydride propanoïque

- L'hydrolyse d'un anhydride d'acide donne deux acides carboxyliques :

