



## Avant propos

Dans les sciences, le chemin est plus important que le but. Les sciences n'ont pas de fin.

Erwin Chargaff (biochimiste autrichien 1905-2002)

La science consiste à passer d'un étonnement à un autre.

Aristote (philosophe grec IV<sup>ème</sup> siècle av. J.C)

Ce n'est pas dans la science qu'est le bonheur, mais dans l'acquisition de la science.

Edgar Allan Poe (auteur américain 1809 – 1849)

On fait la science avec des faits, comme on fait une maison avec des pierres : mais une accumulation de faits n'est pas plus une science qu'un tas de pierres n'est une maison.

Henri Poincaré (physicien français 1854 – 1912)

Qui ne doute pas acquiert peu.

Léonard de Vinci (homme d'esprit universel italien 1452 – 1519)

Former les hommes, ce n'est pas remplir un vase, c'est allumer un feu.

Aristophane (poète grec V<sup>ème</sup> siècle av. J.-C) – Merci à Jacques Cattelin.



## Sommaire

N°	CHAPITRES	Pages
<b>MÉCANIQUE</b>		
<b>M1</b>	Le mouvement	3
<b>M2</b>	Action mécanique ou forces	7
<b>M3</b>	Équilibre d'un solide soumis à deux (02) puis à trois (03) forces	12
<b>M4</b>	Équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe	14
<b>M5</b>	Principe de l'inertie	15
<b>M6</b>	Quantité de mouvement	16
<b>ÉLECTRICITÉ</b>		
<b>E1</b>	Le courant électrique	23
<b>E2</b>	Intensité du courant électrique	27
<b>E3</b>	Étude de quelques dipôles passifs	33
<b>E4</b>	Dipôles actifs - point de fonctionnement	37
<b>E5</b>	Transistor - chaîne électronique	41
<b>CHIMIE</b>		
<b>CH1</b>	Notion d'éléments chimiques	46
<b>CH2</b>	Structure de l'atome	49
<b>CH3</b>	Classification périodique des éléments chimiques	51
<b>CH4</b>	Ions et molécules	54
<b>CH5</b>	Mole et grandeurs molaires	56
<b>CH6</b>	Équation bilan d'une réaction chimique	60
<b>CH7</b>	Chlorure de sodium	63
<b>CH8</b>	Solutions aqueuses ioniques	64
<b>CH9</b>	Tests d'identification de quelques ions	67
<b>CH10</b>	Solutions acides - solutions basiques	68
<b>CH11</b>	Réaction acido-basique : DOSAGE	69

## PROGRESSION CLASSE DE SECONDE C

*Avec un volume horaire de 5heures / Semaine (physique 3h + chimie 2h)*

	SEM	PHYSIQUE	CHIMIE
O C T	1	Le mouvement	Notion d'élément chimique
	2	Le mouvement	Structure de l'atome
	3	Action mécaniques ou forces	
	4	Action mécaniques ou forces	Classification périodique des éléments chimiques
N O V	5	Équilibre d'un solide soumis à 2 ou à 3 forces	Ions et molécules
	6	<b>Semaine</b>	<b>tampon</b>
	7	Équilibre d'un solide soumis à 2 ou à 3 forces	Ions et molécules
	8	Équilibre d'un solide soumis à 2 ou à 3 forces	Ions et molécules
D E C	9	Équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe	Mole et grandeur molaire
	10	Équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe	Équation-bilan d'une réaction chimique
	11	Principe de l'inertie	Équation-bilan d'une réaction chimique
J A N	12	<b>Semaine</b>	<b>tampon</b>
	13	Quantité de mouvement	Chlorure de sodium
	14	Quantité de mouvement	Solutions aqueuses ioniques
	15	Le courant électrique	Solutions aqueuses ioniques
F E V	16	Intensité d'un courant électrique	Solutions aqueuses ioniques
	17	Tension électrique	Tests d'identification de quelques ions
	18	<b>Semaine</b>	<b>tampon</b>
M A R S		Étude expérimentale de quelques dipôles passifs	Solutions acides et basiques. Mesures de pH
		Étude expérimentale de quelques dipôles passifs	Solutions acides et basiques. Mesures de pH
		Étude expérimentale de quelques dipôles passifs	Solutions acides et basiques. Mesures de pH
		Étude expérimentale d'un dipôle actif	Solutions acides et basiques. Mesures de pH
A V R	23	<b>Semaine</b>	<b>tampon</b>
	24	Étude expérimentale d'un dipôle actif	Réaction acido-basique. Dosage
M A I	25	Le transistor : amplificateur de courant	Réaction acido-basique. Dosage
	26		Réaction acido-basique. Dosage
	27	<b>Révision</b>	<b>Révision</b>
	28	<b>Révision</b>	<b>Révision</b>

# LE MOUVEMENT

## I. CARACTERE RELATIF DU MOUVEMENT

### 1. Notion de référentiel

#### a. observation

Un élève sur son vélo est :

- Immobile ou au repos par rapport à son camarade qu'il remorque.
- en mouvement par rapport à un autre camarade sous un arbre.

#### b. Conclusion

La notion de mouvement d'un corps dépend du solide par rapport auquel le mouvement observé. On dit que le mouvement a un **caractère relatif**. L'objet de référence constitue le **référentiel**. Il doit être toujours précisé pour l'étude de tout mouvement.

#### Exemples de référentiels

- Référentiel de Copernic ou héliocentrique.
- référentiel géocentrique
- Référentiel terrestre.

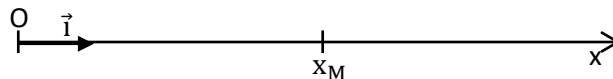
### 2. Repérage d'un point mobile

#### a. Repère d'espace

A un référentiel d'espace, on lie toujours un repère d'espace : système d'axes permettant de repérer la position des objets.

#### Exemples de repères

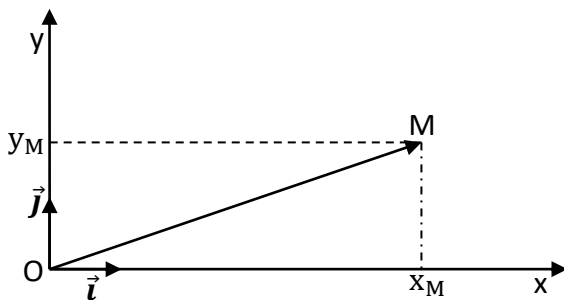
- Sur un axe



$\overrightarrow{OM} = x_M \vec{i}$  est le vecteur position du mobile M ;  $x_M$  est l'abscisse de M

$\vec{i}$  est le vecteur unitaire et  $OM = |x_M|$

- Dans plan



$$\overrightarrow{OM} = x_M \vec{i} + y_M \vec{j} \text{ et } OM = \sqrt{x_M^2 + y_M^2}$$

$x_M$  et  $y_M$  sont les coordonnées de M et  
 $(\vec{i}, \vec{j})$  sont les vecteurs unitaires du repère (O, x, y)

NB : il existe aussi le repère à trois axes orthogonaux (Ox, Oy, Oz) liés respectivement aux vecteurs unitaires  $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  appelé repère d'espace.

#### b. Repère de temps

Il est défini par un instant d'origine pris arbitrairement comme origine des dates ( $t=0$ ) et une unité de durée (**unité légale : la seconde, son symbole (s)**)

### 3. Trajectoire d'un point mobile

C'est l'ensemble des points occupés successivement par un mobile pendant son mouvement.

La trajectoire est :

- Rectiligne lorsque les points sont alignés
- Circulaire lorsque les points décrivent un cercle.
- curviligne lorsque les points forment une courbe quelconque.

## II. VITESSE D'UN POINT MOBILE

### 1. vitesse moyenne

La vitesse moyenne d'un mobile entre deux points  $M_1$  et  $M_2$  est le quotient de la distance parcourue  $M_1M_2 = d$  par la durée  $\Delta t = t_2 - t_1$  du parcours.

$$V_m = \frac{d}{\Delta t} = \frac{M_1M_2}{t_2 - t_1}$$

Avec  $d$  en m,  $\Delta t$  en s et  $V_m$  en m/s.

N.B :  $V_m$  s'exprime aussi en km/h avec  $1\text{m/s} = 3,6\text{ km/h}$

### 2. vitesse instantanée

C'est la vitesse à un instant donné. Elle est lue sur le compteur de vitesse (Tachymètre)

Exemple : Le car roulait à 110km/h lorsqu'il a été sifflé par la police

## III. VECTEUR VITESSE

### 1. vecteur vitesse moyenne

Entre deux positions  $M_1$  et  $M_2$ , il est donné par  $\vec{V}_m = \frac{\overrightarrow{M_1M_2}}{t_2 - t_1}$

### 2. vecteur vitesse instantanée

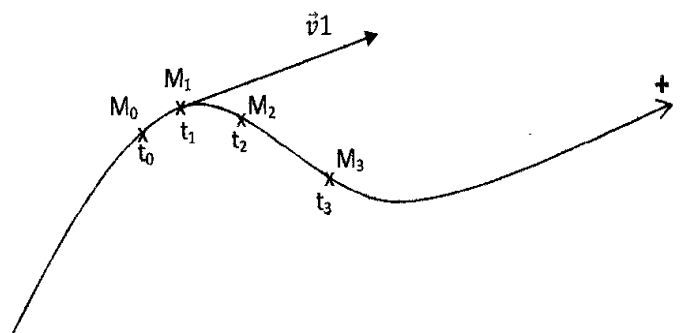
#### a. Expression

Le vecteur vitesse à un instant  $t_1$  donné noté  $\vec{v}_1$  encadré par deux autres instants  $t_0$  et  $t_2$  très

proches est donné par  $\vec{V}_1 = \frac{\overrightarrow{M_0M_2}}{t_2 - t_0}$

Si le marquage des positions consécutives du mobile a lieu à des intervalles de temps égaux à  $\tau$ , on a :  $t_2 - t_0 = 2\tau$  et

donc  $\vec{V}_1 = \frac{\overrightarrow{M_0M_2}}{2\tau}$



#### b. Caractéristiques

Soit la trajectoire suivante d'un mobile. Les caractéristiques du vecteur -vitesse en  $M_1$  ( $\vec{v}_1$ ) sont :

- Origine ou point d'application : le point  $M_1$
- Direction : La tangente à la trajectoire au point  $M_1$

- Sens : celui du mouvement.
- Valeur :  $v_1 = \frac{M_0 M_1}{t_0 - t_2}$

#### IV. ETUDE DE QUELQUES MOUVEMENTS PARTICULIERS

##### 1. Etude de l'enregistrement N°1 à distribué aux étudiants

###### a. Nature du mouvement

- Numérotter les différents points de la trajectoire. (*commencer toujours par  $X_0$* )
- Relier par des traits discontinus fins les points de la trajectoire et en déduire la nature de trajectoire. (*ces points forment une ligne droite*)
- ❖ **Les points sont alignés : La trajectoire est une droite (rectiligne).**
- Mesurer la distance entre deux points consécutifs de la trajectoire et en conclure (les points ont été enregistrés à des intervalles de temps égaux  $\tau=40\text{ms}$ )
- ❖ **La distance entre deux points consécutifs est la même : le mouvement est uniforme.**
- déduire de qui précède la nature du mouvement.
- ❖ **Le mouvement est rectiligne uniforme**

###### b. caractéristiques du vecteur -vitesse

- Calculer la vitesse du mobile aux dates  $t_2$  ;  $t_4$  ;  $t_{10}$  et  $t_{13}$

Sachant qu'en un point  $M_i$ , on a :  $v_i = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{2\tau}$

- Représenter les vecteurs - vitesses  $\vec{v}_2, \vec{v}_6, \vec{v}_{10}$  et  $\vec{v}_{13}$ .
- Comparer les vecteurs - vitesses obtenus.
- ❖ **Les vecteur-vitesses ont la même direction, le même sens et la même valeur donc :  $\vec{v}_2 = \vec{v}_6 = \vec{v}_{10} = \vec{v}_{13}$**
- En déduire la nature du mouvement étudié.
- ❖ **La trajectoire est une droite et la vitesse est constante : le mouvement étudié est rectiligne uniforme.**

##### 2. Etude de l'enregistrement N°8

###### a. Nature du mouvement

- Numérotter les différentes positions de la trajectoire.
- Relier par des traits fins discontinus les points de la trajectoire et en déduire sa nature.
- ❖ **Les points sont alignés : la trajectoire est une droite (rectiligne)**
- Mesurer la distance entre deux points consécutifs de la trajectoire et conclure.
- ❖ **La distance entre deux points consécutifs de la trajectoire varie.**
- Déduire de ce qui précède la nature du mouvement.
- ❖ **Le mouvement est rectiligne varié.**

###### b. caractéristique du vecteur - vitesse

- Calculer la vitesse du mobile aux dates  $t_2, t_6$  et  $t_{10}$ .
- Représenter les vecteurs - vitesses en ces points.
- Comparer les vecteurs vitesses obtenus.

- ❖ **Les vecteurs – vitesses ont la même direction, le même sens mais des valeurs différentes.**
- Définir le mouvement étudié.
- ❖ **La trajectoire est une droite et le vecteur – vitesse varie : Le mouvement étudié est rectiligne varié.**

### 3. Etude de l'enregistrement N°4

#### a. Nature du mouvement

- Numérotter les différentes positions de la trajectoire
- Tracer la médiatrice de chacun des segments  $[M_0M_2]$ ,  $[M_2M_4]$   $[M_4M_6]$  et conclure.
- ❖ **Les médiatrices sont concourantes en un point O**
- Tracer la trajectoire et conclure.
- ❖ **La trajectoire est un cercle.**
- Comparer les écarts entre les différentes positions consécutives.
- ❖ **Les écarts sont les mêmes : le mouvement est uniforme.**
- Dédire de ce qui précède la nature du mouvement
- ❖ **Le mouvement est circulaire uniforme.**

#### b. caractéristique du vecteur –vitesse

- Calculer la vitesse du mobile aux dates  $t_2$  ;  $t_7$  et  $t_{13}$ .
- Représenter les vecteurs – vitesses à ces dates
- Comparer les vecteurs – vitesses correspondants.
- ❖ **Les vecteurs – vitesses ont le même sens, la même valeur mais des directions différentes**
- Définir le mouvement obtenu.
- ❖ **La trajectoire est un cercle et les vecteur-vitesses ont le même sens, la même valeur mais des directions différentes : le mouvement étudié est circulaire uniforme.**

## Exercices d'applications

### Exercice 1

Un train A part d'Abidjan à 8h15 min pour Bouaké situé à 460 km d'Abidjan. Un autre train B part d'Abidjan à 9h00 pour la même destination. On donne  $V_A = 108\text{km/h}$  et  $V_B = 162\text{km/h}$ .

1. Quelle est le temps mis par le train A pour arriver à Bouaké ?
2. Quelle est le temps mis par le train B pour arriver à Bouaké ?
3. Trouver l'heure d'arriver pour chaque train.
4. Déterminer la distance parcourue par le train A juste avant le démarrage du train B.
5. Trouver l'heure et la distance à partir d'Abidjan pour lesquelles le train B rattrape le train A.

### Exercice 2

Deux élèves SIE et KOFFI habitent respectivement le quartier Dallas et le quartier Château. SIE a l'habitude de faire ce trajet en 45 min, à la vitesse  $V=1,6\text{ km/h}$  (la trajectoire est supposée rectiligne) ; quant à KOFFI, il a l'habitude cette distance en 1heure.

1. Calculer la distance qui sépare les deux domiciles.
2. Calculer la vitesse de KOFFI pour se rendre chez SIE.
3. les deux garçons décident de se rendre visite et chacun quitte son domicile à 16h00.
  - a) calculer la durée  $\Delta t$  mise avant la rencontre.
  - b) En déduire l'heure de la rencontre.
  - c) A quelle distance du lieu d'habitation de KOFFI les deux enfants se rencontrent -ils ?

### Exercice 3

MOUSSA et YAO prennent le départ du marathon de la ville d'Abidjan. Il empruntent le même trajet rectiligne et ne sont pas gênés par les autres coureurs. MOUSSA en tête du peloton est alors distant de YAO de 21 m .En admettant que leurs vitesses respectives  $V'= 5\text{m/s}$  et  $V= 8\text{m/s}$  restent constantes, combien de temps met YAO pour rattraper MOUSSA.

### Exercice 4

Un train part de Paris à 11h 56 min pour Rouen .IL roule à la vitesse moyenne de  $120\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ . A 12 h 11 min, un autre train part de Rouen pour Paris en roulant à la vitesse moyenne de  $70\text{ km/h}\cdot\text{h}^{-1}$ . La distance Paris-Rouen vaut 140 km.

- 1 - A quelle heure le train de Paris arrive -t-il à destination ?
- 2 - A quelle heure le train de Rouen arrive -t-il à destination ?
- 3 - A quelle heure les deux trains se rencontrent t-ils ?
- 4 - A quelle distance de Paris ces deux trains se rencontrent -t-ils ?

**Correction des exercices****Exercice 1**

Temps mis par le train A :

$$1. \quad v = \frac{d}{\Delta t}; \Delta t = d / V_A = 460/108 = 4,25 \text{ h} = 4 \text{ h } 15 \text{ min.}$$

Temps mis par le train B :

$$2. \quad v = \frac{d}{\Delta t}; \Delta t = d / V_B = 460/162 = 2,84 \text{ h} = 2 \text{ h } 50 \text{ min } 20 \text{ s.}$$

Heure d'arrivée :

➤ train A

$$3. \quad \Delta t = t_{\Delta} + t_A = 8 \text{ h } 15 \text{ min} + 2,84 \text{ h} \\ = 8 \text{ h } 15 \text{ min} + 2 \text{ h } 50 \text{ min } 24 \text{ s} \\ = 11 \text{ h } 05 \text{ min } 24 \text{ s}$$

➤ Train B

$$4. \quad \Delta t = t_{\Delta} + t_A = 9 \text{ h} + 4 \text{ h } 15 \text{ min} \\ = 13 \text{ h } 15 \text{ min } 36 \text{ s}$$

Distance parcourue par le train A :

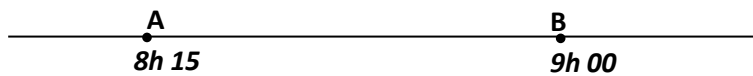
$$d = V_A \cdot \Delta t = \frac{108}{60} \times 45 = 81 \text{ km.}$$

Distance et heure de rattrapage :

Si il ya rencontre alors les équations horaires sont en égalités :

Ici on a des mouvements rectilignes uniformes : donc l'équation de base est :

$$X = V \cdot t$$



$$V_A \cdot t_A = V_B \cdot t_B \quad \text{avec} \quad t_B = t - 45$$

$$V_A \cdot t = V_B (t - 45) \quad \text{et} \quad (V_A - V_B)t = -45 V_B$$

$$\Delta t = \frac{45 V_B}{V_B - V_A} = \frac{45 \times 162}{162 - 108} = 135 \text{ min} = 2 \text{ h } 15 \text{ min}; \quad (\text{soit à } 10 \text{ h } 30 \text{ min du point A})$$

Distance de Rattrapage :

$$d = V_A \cdot \Delta t = \frac{108}{60} \times 135 = 243 \text{ km.}$$

**Exercice 2**

- 1 - Calcul de la distance qui sépare les deux domiciles.

$$V = \frac{d}{\Delta t}; d = V \cdot \Delta t \quad \text{A.N } d = \frac{1,6}{60} \times 45 = 1,2 \text{ km}$$

- 2 - Vitesse de Koffi

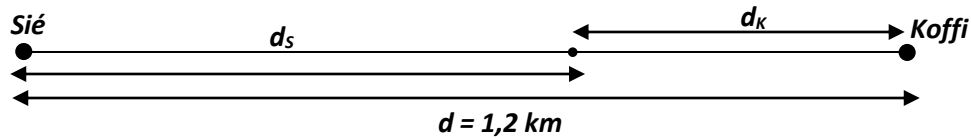
$$V = \frac{d}{\Delta t} = \frac{1,2}{1} = 1,2 \text{ km}$$

- 3 - a) la durée
- $\Delta t$
- mise avant la rencontre

$$\Delta t = t_R - t_D \text{ avec :}$$

$t_R$  = temps de rencontre

$t_D$  = temps de départ



$$4 - \begin{cases} ds = Vs \cdot \Delta t \\ dk = Vk \cdot \Delta t \end{cases} \quad d = ds + dk = Vs \cdot \Delta t + Vk \cdot \Delta t = \Delta t \cdot (Vs + Vk)$$

$$\Delta t = \frac{d}{Vs + Vk} = \frac{1,2}{1,6 + 1,2} = \frac{1,2}{2,8} = 0,43 \text{ h soit } \Delta t = 25 \text{ min } 42\text{s}$$

- 5 - Heure de la rencontre

$$t_R = \Delta t + t_D = 16 \text{ h} + 25 \text{ min } 42\text{s} = 16 \text{ h } 25 \text{ min } 42\text{s}$$

- 6 - Distance de Koffi

$$d = V \cdot \Delta t = 1,2 \times 0,43 = 0,516 = 516 \text{ m.}$$

**Exercice 3**

- 1 - heure de l'arrivée à destination

- a) Train de Paris

$$\Delta t = \frac{d}{\Delta t} = 140/120 = 1,17 \text{ h} = 1 \text{ h } 10 \text{ min}$$

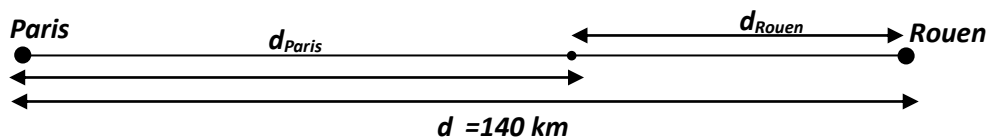
- b) Train de Rouen

$$\Delta t = \frac{d}{\Delta t} = 140/70 = 2 \text{ h}$$

heure (Paris) = 11 h 56min + 1 h 10min = 13 h 06 min

heure (Rouen) = 12 h 11 min + 2h = 14 h 11 min

- 2 - Heure de rencontre :



$$d = d_P + d_R = V_P \Delta t + V_R \Delta t = 140 \text{ km}$$

$$\Delta t = \frac{d}{V_P + V_R} = \frac{140}{120 + 70} = 0,736 \text{ h}$$

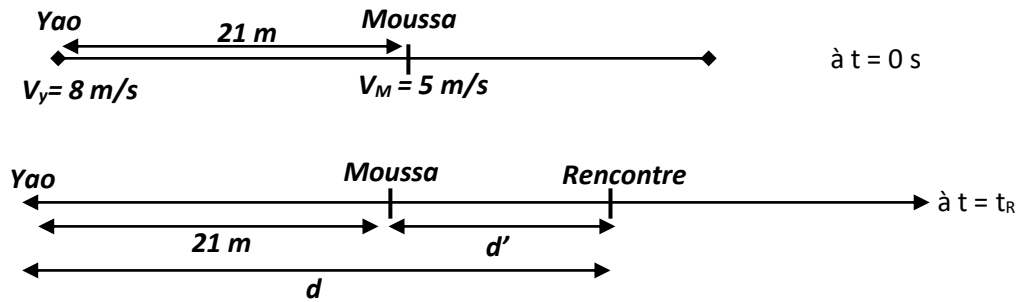
$$\Delta t = 0,736 \text{ h} = 44 \text{ min } 12\text{s}$$

- 3 - Distance de rencontre de Paris

$$H = 11 \text{ h } 56 \text{ min} + 44 \text{ min } 12\text{s} = 12 \text{ h } 40 \text{ min } 12\text{s}$$

**Exercice 4**

1 - Temps mis par YAO pour rattraper MOUSSA

Soit  $\Delta t$  la durée de la poursuite

- La distance parcourue par YAO pendant cette durée est :  $d_Y = V_Y \Delta t$
- La distance parcourue par MOUSSA pendant la même durée est :  
 $d_M = V_M \Delta t$  ; avec  $d_M = d - 21$

Rattrapage : alors  $d_M = d_Y$  ; d'où  $V_M \Delta t = V_Y \Delta t$ 

(1)  $d - 21 = V_M \Delta t$

(2)  $d = V_Y \Delta t$

En faisant le rapport de (1)/(2) on a :  $(d-21) V_Y = d V_M$  ;

$$d V_Y - 21 V_Y = d V_M ; d(V_Y - V_M) = 21 V_Y$$

Finalement :  $d = \frac{21 \times V_Y}{V_Y - V_M} = \frac{21 \times 8}{8 - 5} = 56 \text{ m}$

$$\Delta t = d / V_Y = 56 / 8 = 7 \text{ s}$$

**Exercice 5**

Pour la préparation de leur discipline d'endurance aux Epreuves Physiques et Sportives (EPS) du Lycée. Trois élèves MOUSSA, Séry et KONAN décident de courir chaque matin dans la même direction d'un trajet rectiligne d'un point A à un point B. MOUSSA et Séry partent à 6h 00 min ; Séry en tête est distant de Moussa de 200 m. Enfin Konan du fait de son retard part à 6h 15 min.

**Données :** les vitesses de MOUSSA, Séry et de KONAN sont respectivement  $10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  ;  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  et  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

- 1 - A quelle distance et à quelle heure MOUSSA rattrape -t-il Séry ?
- 2 - Combien de temps et à quelle distance KONAN rattrape -t-il MOUSSA ?

# ACTIONS MÉCANIQUES

## I. MANIFESTATION D'UNE ACTION MECANIQUE

### 1. Effets dynamique

#### a. Mise en mouvement d'un objet

KOFFI pousse une brouette initialement immobile ; elle se met en mouvement .Koffi exerce une action mécanique sur la brouette qui la met en mouvement.

Auteur : Les bras de Koffi.

Receveur : La brouette.

*Une action mécanique peut donc mettre un objet en mouvement.*

#### b. Modification du mouvement d'un objet

Drogba marque un but de la tête sur un corner. Sa tête exerce une action mécanique sur la balle qui modifie son mouvement

**Auteur** : La tête de Drogba

**Réceveur** : La balle

*Une action mécanique peut donc modifier la nature du mouvement d'un objet*

### 2. Effet statiques

#### a. déformation d'un objet

Bamba presse un chiffon ; il change de forme. La main de Bamba exerce une action mécanique sur le chiffon qui le déforme.

**Auteur** : La main de Bamba.

**Receveur** : le chiffon

*Une action mécanique peut donc déformer un objet.*

#### b. Equilibre d'un objet

Un livre posé sur une table horizontale reste immobile. La table exerce une action mécanique sur le livre qui le maintient en équilibre.

**Auteur** : La table

**Receveur** : Le livre.

*Une action mécanique peut donc maintenir un objet en équilibre.*

### 3. Définition d'une force

Une force est une action mécanique capable de :

- Mettre un corps en mouvement ou modifier son mouvement.
- Déformer un corps ou le maintenir en équilibre.

On distingue :

- Les forces de contact : la tension du fil ; tension du ressort ;les forces de frottements
- Les forces à distance : l'attraction terrestre, la force électrostatique, la force magnétique.

## II. MODELISATION D'UNE ACTION MECANIQUE

### 1. Caractère vectoriel de la force

Une force est une grandeur vectorielle dont les caractéristiques sont :

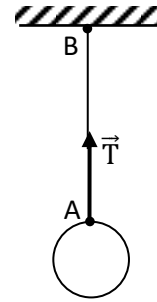
- **Point d'application** : C'est le point où la force agit.
- **Direction** : la droite suivant laquelle la force agit.

- **Sens** : Celui du mouvement que la force est susceptible de produire.
- **Intensité** : C'est la valeur de la force exprimée en newton (N)

## 2. Représentation

Pour représenter une force, il faut choisir une échelle convenable.

Exemple : représenter la tension  $\vec{T}$  de valeur 10N du fil sur la figure ci-contre à l'échelle 1cm pour 5N



### III. ÉTUDE DE QUELQUES EXEMPLES DE FORCES

#### 1. Poids d'un corps

##### a. Définition

Le poids d'un corps est l'attraction exercée par la terre sur ce corps.

C'est une action mécanique à distance répartie en volume

##### b. Caractéristiques

- Point d'application : Le centre de gravité G du corps.
- Direction : La verticale passant par G
- Sens : Du haut vers le bas.
- Intensité :  $P = mg$  avec :  $P$  en N,  $m$  en kg et  $g$  en (N/kg)

**Remarque** : Le poids d'un corps varie avec le lieu car  $g$  varie.

**exemple**

Lieu	Lune	Equateur	Pôle nord	Jupiter
$g$ (N/kg)	1,6	9,78	9,83	26

#### 2. Tension d'un ressort

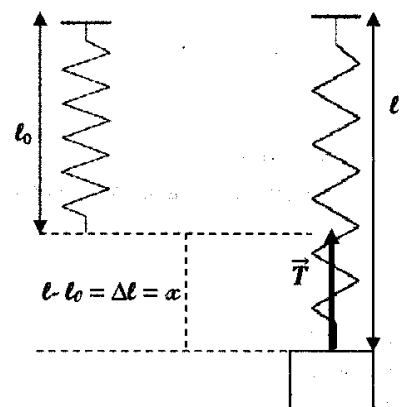
##### a) Définition

C'est la force exercée par le ressort sur un corps accroché à l'une de ses extrémités

C'est une action mécanique de contact localisée

##### b) caractéristiques

- Point d'application : Point de contact entre le corps et le ressort.
- Direction : L'axe du ressort.
- Sens : Voir schéma ci-dessous.
- Intensité : C'est sa valeur  $T$  exprimée en N.  
 $l_0$  : longueur à vide du ressort.  
 $\Delta l = x = l - l_0$  : allongement du ressort.



##### c) Etude de l'allongement d'un ressort

###### • Protocole

On utilise le dispositif précédent. On mesure la longueur à vide  $l_0$ . Pour différentes masses marquées accrochées à l'extrémité libre du ressort, on mesure les différentes longueurs  $l$  correspondantes du ressort.

- Tableau de mesures

Masses (g)	0	50	100	150	200	250	500
$P = T = mg$ (N)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	5
$l$ en cm	0	2	4	6	8	10	20
$l$ en m	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2

- Tracé du graphe  $T = f(x)$

Échelle : 1cm  $\leftrightarrow$  0,5 N ou 50g et 1cm  $\leftrightarrow$  0,02 m ou 2 cm

Voir papier millimétré

- Exploitation de la courbe

La courbe obtenue est une droite passant par l'origine du repère. La tension  $T$  et l'allongement  $x$  sont proportionnels. Le coefficient de proportionnalité noté  $k$  est la constante de raideur (ou raideur) du ressort. On a :

$$k = \frac{\Delta T}{\Delta x} = 25 \text{ N.m}^{-1}$$

- Conclusion

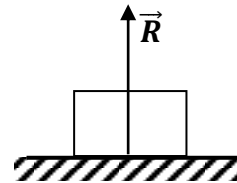
La tension  $T$  d'un ressort est proportionnelle à son allongement :  $T = kx$   
avec  $T$  en (N),  $x$  en (m) et  $k$  en ( $\text{N.m}^{-1}$ )

### 3. Autres exemples de forces

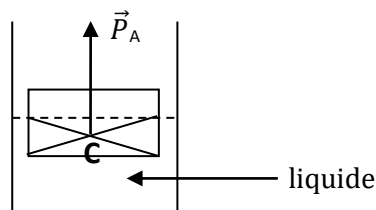
#### a) Réaction d'un support

$\vec{R}$  est perpendiculaire au support

C'est une action mécanique de contact répartie en surface

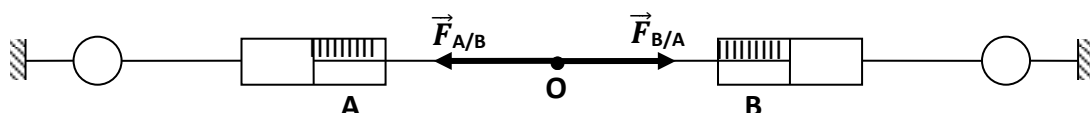


#### b) Poussée d'Archimède



## IV. PRINCIPE DES ACTIONS RÉCIPROQUES

### 1. Mise en évidence



On constate que les deux forces ont la même direction, des sens opposés et la même valeur (intensité). On dit que les deux dynamomètres A et B sont en interaction.

### 2. Énoncé du principe

Lorsque deux corps A et B sont en interaction, le corps A exerce une force  $\vec{F}_{A/B}$  sur le corps B et le corps B exerce une force  $\vec{F}_{B/A}$  sur le corps A telle que  $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$

**Exemples : La marche à pied, la propulsion d'une fusée, ... etc.**

### Exercices d'applications

#### Exercice 1

dans un repère orthonormé  $(O, \vec{i}, \vec{j})$  l'unité étant le newton, on donne :

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

1. Représenter  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$
2. Calculer la norme de chaque force.
3. Déterminer les angles  $(\vec{i}, \vec{F}_1)$  ;  $(-\vec{j}, \vec{F}_1)$  et  $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$
4. représenter le vecteur  $\vec{F} = 2\vec{F}_1 + 4\vec{F}_2$ . En déduire l'angle  $(\vec{i}, \vec{F})$
5. représenter  $\vec{F}' = -\vec{F}_1 - \vec{F}_2$

#### Résolution détaillée

1. représentation des forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  (voir figure)
2. calcul de la norme de chaque force

$$F_1 = \sqrt{(2)^2 + (-3)^2} = \sqrt{13}$$

$$F_2 = \sqrt{(-1)^2 + (-2)^2} = \sqrt{5}$$

3. déterminons les angles

➤ méthode 1 (produits scalaire)

$$\vec{i} \cdot \vec{F}_1 = \vec{i} \cdot (2\vec{i} - 3\vec{j}) = F_1 \cos(\vec{i}, \vec{F}_1) = 2 \text{ alors } \cos(\vec{i}, \vec{F}_1) = \frac{2}{\sqrt{13}} = 0,555 \text{ d'ou } (\vec{i}, \vec{F}_1) = 56,29^\circ$$

$$-\vec{j} \cdot \vec{F}_1 = -\vec{j} \cdot (2\vec{i} - 3\vec{j}) = F_1 \cos(-\vec{j}, \vec{F}_1) = 3 \text{ alors } \cos(-\vec{j}, \vec{F}_1) = \frac{3}{\sqrt{13}} = 0,832 \text{ d'ou } (-\vec{j}, \vec{F}_1) = 33,69^\circ$$

$$\vec{F}_1 \cdot \vec{F}_2 = (2\vec{i} - 3\vec{j}) \cdot (-\vec{i} - 2\vec{j}) = F_1 \times F_2 \cos(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = -2 + 6 = 4 \text{ alors}$$

$$\cos(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = \frac{4}{\sqrt{13} \times \sqrt{5}} = 0,496 \text{ d'ou } (\vec{F}_1, \vec{F}_2) = 60,26^\circ$$

➤ méthode 2 (méthode de tangente)

Pour déterminer les angles on peut aussi utiliser une méthode toute simple

- Pour  $(\vec{i}, \vec{A})$  alors on a  $\tan(\vec{i}, \vec{A}) = \frac{y}{x}$
- Pour  $(\vec{j}, \vec{A})$  alors on a  $\tan(\vec{j}, \vec{A}) = \frac{x}{y}$

$$\tan((\vec{i}, \vec{F}_1)) = \frac{3}{2} \text{ d'ou } \text{mes}(\vec{i}, \vec{F}_1) = 56,30^\circ$$

$$\tan(-\vec{j}, \vec{F}_1) = \frac{2}{3} \text{ d'ou } \text{mes}(-\vec{j}, \vec{F}_1) = 33,69^\circ$$

en regardant la figure, on peut décomposer  $\text{mes}(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$  en  $\text{mes}(\vec{F}_1, -\vec{j})$  et  $\text{mes}(-\vec{j}, \vec{F}_2)$

alors  $\text{mes}(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = \text{mes}(\vec{F}_1, -\vec{j}) + \text{mes}(-\vec{j}, \vec{F}_2)$  d'ou  $\tan(\vec{F}_1, -\vec{j}) = \frac{2}{3}$  et  $\text{mes}(-\vec{j}, \vec{F}_2) = 33,69^\circ$

aussi  $\tan(-\vec{j}, \vec{F}_2) = \frac{-1}{-2}$  et  $\text{mes}(-\vec{j}, \vec{F}_2) = 26,56^\circ$  finalement  $\text{mes}(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = 33,69^\circ + 26,56^\circ = 60,25^\circ$

4. Représentons le vecteur  $\vec{F}$

$$\vec{F} = 2\vec{F}_1 + 4\vec{F}_2 = 2 \cdot (2\vec{i} - 3\vec{j}) + 4 \cdot (-\vec{i} - 2\vec{j}) = -14\vec{j}$$

déduisons l'angle  $(\vec{i}, \vec{F}) = 0$

5. Représentation de  $\vec{F}'$  (voir figure)**Exercice 2**

A l'extrémité d'un ressort on exerce une force  $\vec{F}$  de valeur connue. On mesure la longueur  $\ell$  du ressort.

F (N)	0	1	2	3	4
$\ell$ (cm)	8,5	10	11,5	13	14,5

1. Quelle est la longueur  $\ell_0$  à vide du ressort. Déterminer l'allongement  $x$  du ressort pour chaque valeur de F.
2. Tracer la courbe d'étalonnage en précisant clairement ce qu'est cette courbe.  
échelle : 1cm  $\leftrightarrow$  1 N et 1cm  $\leftrightarrow$  1cm de longueur.
3. Quelle est la constante de raideur du ressort.
4. Une force produit un allongement du ressort de 3,5 cm. Quelle est la valeur de cette force ? Donner deux méthodes de résolutions pour le calcul de cette force F.

**Exercice 3**

On étalonne un ressort à spires non jointives a l'aide de différents masses marquées et on note la longueur  $l$  du ressort.

m(g)	100	200	400	500
$\ell$ (cm)	12	14	18	20

A l'aide d'une représentation graphique simple, montrer qu'il existe une relation affine entre le poids des masses marquées et la longueur  $\ell$  ( $g = 10\text{N/kg}$ ).

1. Quelle est la longueur à vide  $\ell_0$  du ressort ?
2. Quelle est la constante de raideur  $k$  du ressort ?
3. On applique à l'extrémité du ressort une force d'intensité 2,5N. Quelle est l'allongement du ressort provoqué ?

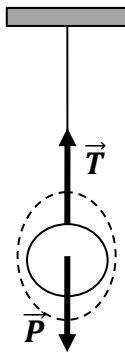
# ÉQUILIBRE D'UN SOLIDE SOUMIS À DEUX PUIS TROIS FORCES

## I. SYSTÈME

### 1. Définition

Un système est un corps (solide) ou l'ensemble de corps que l'on désire étudier.  
Tout ce qui n'appartient pas au système est appelé le milieu extérieur.

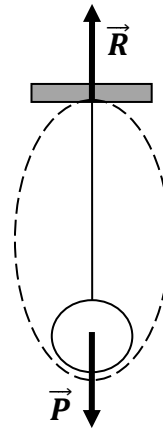
### 2. Exemples



**Système :** La boule

**Forces extérieures :**

- Le poids de la boule  $\vec{P}$
- La tension du fil  $\vec{T}$



**Système :** La boule + le fil de masse négligeable

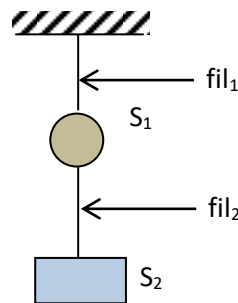
**Forces extérieures :**

- Le poids de la boule  $\vec{P}$
- La réaction du support  $\vec{R}$

### Exercice d'application

A partir du dispositif ci-dessous représenter qualitativement à l'aide d'un schéma, les forces qui s'appliquent à chaque système.

- Système :  $S_1$
- Système :  $S_2$
- Système :  $(S_1 + S_2 + \text{fil}_2)$

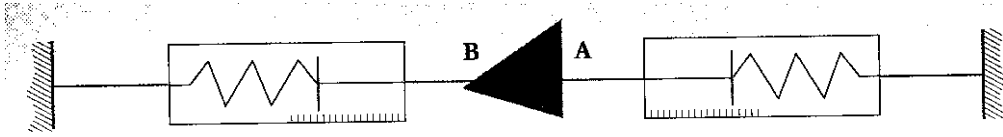


### Résolution détaillée

- a. Représentation des forces pour le système  $S_1$  :  $\vec{T}_1$  ;  $\vec{T}_2$  ;  $\vec{P}_1$
- b. Représentation des forces pour le système  $S_2$  :  $\vec{T}_2$  ;  $\vec{P}_2$  ;
- c. Représentation des forces pour le système  $(S_1 + S_2 + \text{fil}_2)$  :  $\vec{T}_1$  ;  $\vec{P}$  ( $S_1 + S_2$ )

## II. CONDITIONS D'EQUILIBRE D'UN SOLIDE SOUMIS A DEUX FORCES

### 1. Schéma du dispositif expérimental



### 2. Résultats

A l'équilibre, l'on constate que :

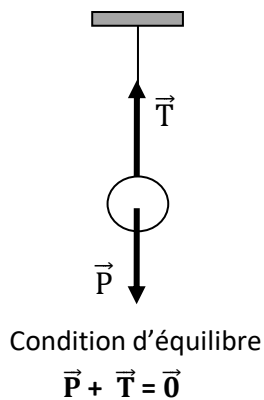
- Les forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  ont le même support.
- Les forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  sont de sens opposés.
- Les forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  ont la même valeur ( $F_1 = F_2 = \dots\dots N$ )

### 3. Conclusion : Conditions d'équilibre

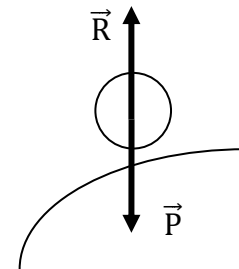
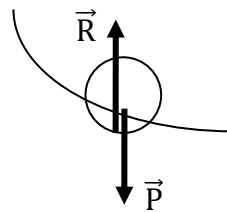
Lorsqu'un solide soumis à l'action de deux forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  est en équilibre :

- Les forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  ont la même droite d'action.
- $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$  donc  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$  et en module  $F_1 = F_2$

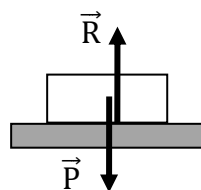
### 4. Exemples d'équilibre



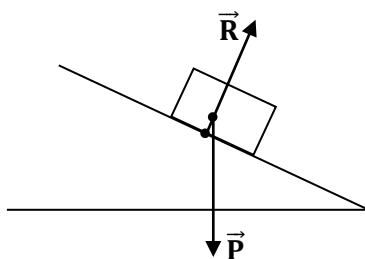
Ecartée de sa position d'équilibre, la bille revient :  
L'équilibre est dit **stable**



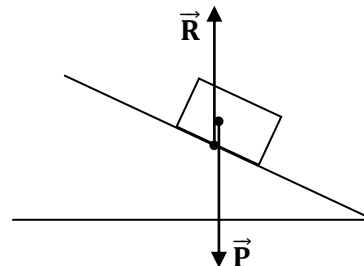
Ecartée de sa position d'équilibre, la bille ne revient plus : L'équilibre est dit **instable**



Condition d'équilibre  
 $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$



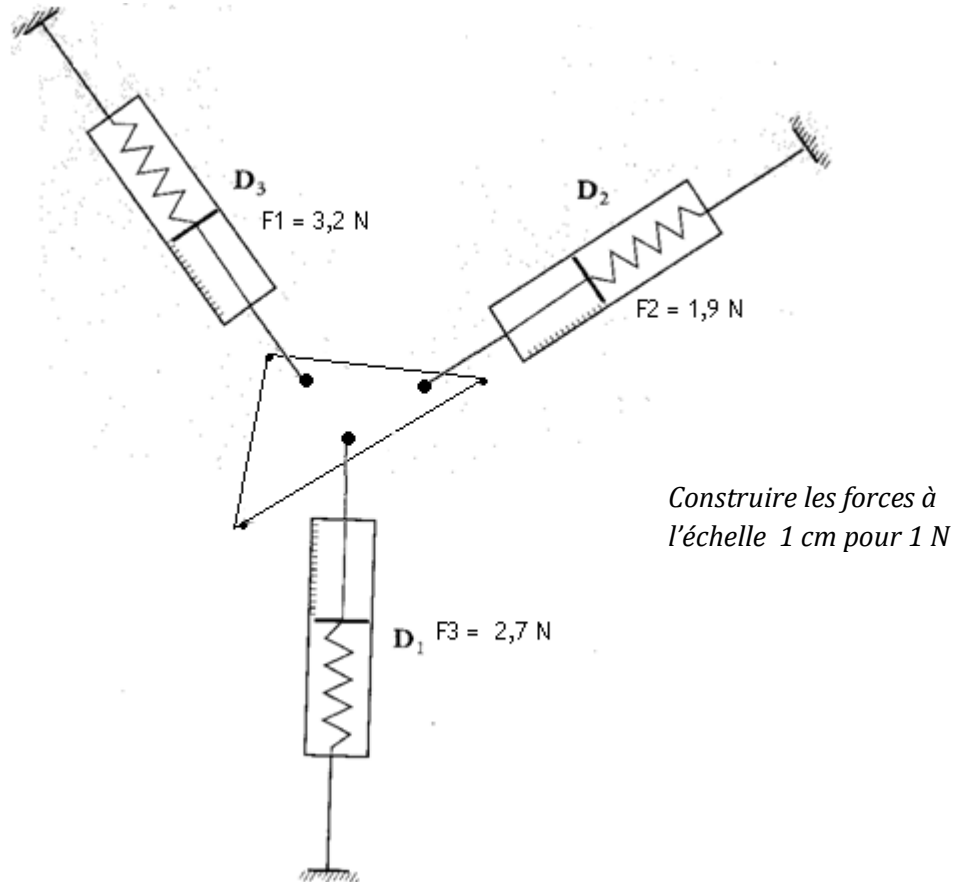
**Glissement sans frottement**  
(surface lisse) :  $\vec{P} + \vec{R} \neq \vec{0}$



**Glissement avec frottement**  
(surface rugueuse) :  $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$

### III. CONDITIONS D'ÉQUILIBRE D'UN SOLIDE SOUMIS A TROIS FORCES NON COLINÉAIRES

#### 1. Schéma du dispositif expérimental



#### 2. Résultats

A l'équilibre, on constate que :

- Les forces  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$  sont coplanaires
- Leurs droites d'actions sont concourantes
- La somme vectorielle des forces est nulle

#### 3. Conclusion : Conditions d'équilibre

Lorsqu'un solide soumis à trois forces  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$  non colinéaires est à l'équilibre :

- Les trois forces sont coplanaires (dans le même plan)
- Leurs droites d'action sont concourantes

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

#### 4. Application

Pour résoudre un exercice de mécanique, il faut :

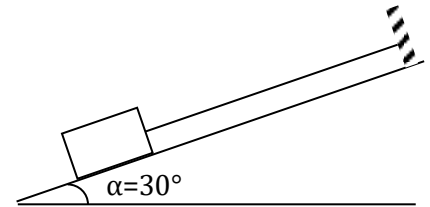
- ✓ Définir le système d'étude
- ✓ faire l'inventaire des forces et les représenter sur un schéma

Ecrire les conditions d'équilibre et les exploiter.

#### Exercice

Un solide S de poids 7 N est maintenu en équilibre sur un plan incliné, dont la surface de contact est lisse, par un fil inextensible.

Déterminer la tension du fil et la réaction du support, sachant que le plan incliné fait un angle  $\alpha=30^\circ$  avec l'horizontale.



#### Résolution par la méthode graphique

Le solide est soumis à son poids :  $\vec{P}$

La réaction du support :  $\vec{R}$

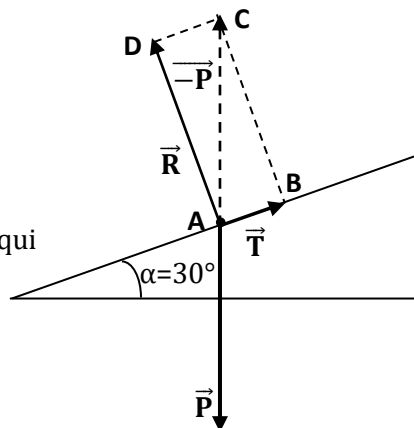
La tension du fil :  $\vec{T}$

Pour déterminer l'intensité de R et T, partons par la relation vectorielle :  $\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} = \vec{0}$  (condition d'équilibre)  $\Rightarrow \vec{R} + \vec{T} = -\vec{P}$

- Choisissons une échelle  
1 cm  $\leftrightarrow$  2,5 N
- Le poids  $\vec{P}$   
1 cm  $\leftrightarrow$  2,5 N  
2,8 cm  $\leftrightarrow$  7 N

Mesurons les longueurs AD et AB qui représente respectivement R et T

- **AD = 2,4 cm**
- **AB = 1,4 cm**



En utilisant l'échelle définie

1 cm  $\leftrightarrow$  2,5 N

**T = AB  $\times$  2,5 = 3,5 N**

**R = AD  $\times$  2,5 = 6 N**

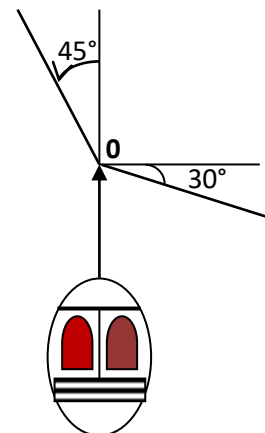
#### Exercice d'application (résolution graphique)

##### Exercice 1 (tension du câble d'une télécabine)

Une benne de télécabine a un poids de 4000 N.

Les deux brins du câble qui la soutient ont des directions données par la figure ci-contre

Déterminer les tensions de ces deux brins, graphiquement et par calcul.

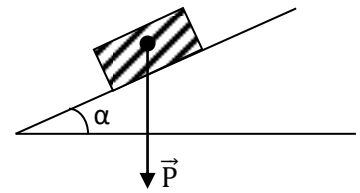


**Exercice 2**

Une brique de poids  $P = 10\text{N}$  est posée sur un plan faisant avec l'horizontale un angle variable  $\alpha$ .

On constate que la brique commence à glisser lorsque  $\alpha = 30^\circ$ .

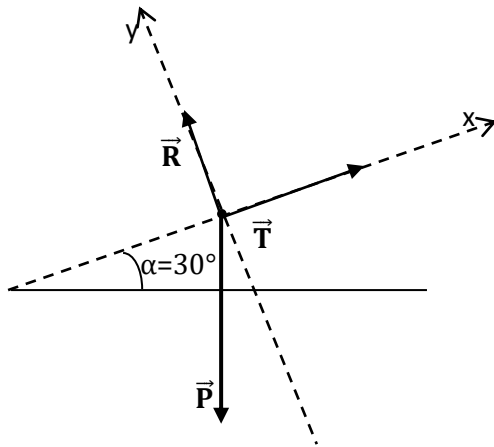
Déterminer, dans les conditions de cet équilibre limite, la réaction  $\vec{R}$  du plan incliné sur la brique et l'intensité de la force de frottement  $\vec{f}$ .



▪ Résolution par la méthode Analytique :

Dans le repère orthonormé  $(0,x,y)$ , les coordonnées des différentes forces  $\vec{P}$  ;  $\vec{R}$  et  $\vec{T}$  sont :

Conditions d'équilibre : :  $\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} = \vec{0}$



$$P_x + R_x + T_x = 0$$

$$P_y + R_y + T_y = 0$$

- $-P\sin\alpha + 0 + T = 0 \Rightarrow T = P\sin\alpha$
- $-P\cos\alpha + R + 0 = 0 \Rightarrow R = P\cos\alpha$

Application numérique :

$$T = 7 \times \sin 30^\circ = 3,6\text{N}$$

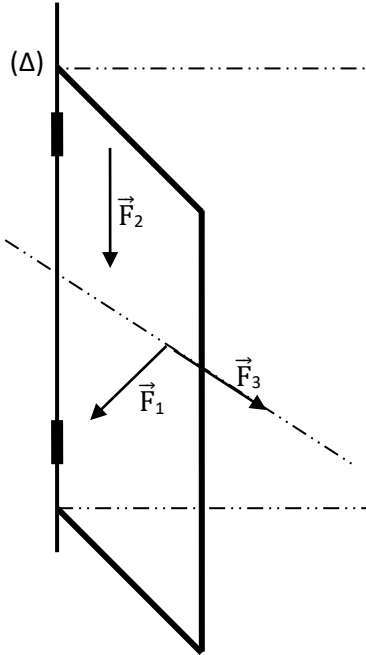
$$R = 7 \times \cos 30^\circ = 6,06\text{N}$$

**Remarque :** pour la méthode analytique il faudra choisir un repère convenable qui simplifie les Calculs

# ÉQUILIBRE D'UN SOLIDE MOBILE AUTOUR D'UN AXE FIXE

## I. EFFET DE ROTATION D'UNE FORCE SUR UN OBJET MOBILE AUTOUR D'UN AXE FIXE

### 1. Expérience et observations



Forces	effet de Rotation
Forces $\vec{F}_2$	la porte ne tourne pas
Forces $\vec{F}_3$	la porte ne tourne pas
Forces $\vec{F}_1$	la porte tourne

### 2. Conclusion

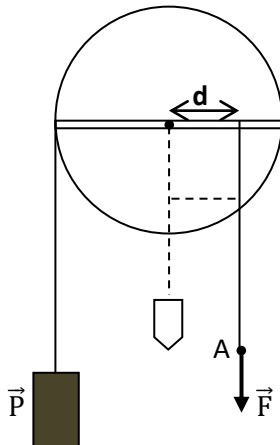
Une force n'a un effet de rotation sur un solide mobile autour d'un axe fixe que si sa droite d'action de la force :

- ne coupe pas l'axe de rotation,
- n'est pas parallèle à l'axe de rotation

## II. MOMENT D'UNE FORCE PAR RAPPORT A UN AXE FIXE

### 1. Expérience et Observations

Un operateur exerce différentes valeurs de la force  $F$  au point  $A$  pour maintenir la charge de poids  $P$  en équilibre. On relève dans le tableau les différentes valeurs de  $F$  et de la distance  $d$ .



$F(N)$	2	4	5	8	10
$d(m)$	5	2,5	2	1,25	1
$F.d(N.m)$	10	10	10	10	10

- Lorsque  $d$  diminue, l'intensité de la force augmente et vis versa.
- Le produit  $F \times d = \text{constate}$

Cette étude montre que pour obtenir un effet donné, la force à exercer est d'autant moins intense que la distance  $d$  de son support à l'axe est grande.

## 2. Conclusion

Le produit  $F \times d$  est une constante. Il caractérise l'effet de rotation et est appelé **moment de la force**.

## 3. Définition du moment d'une force

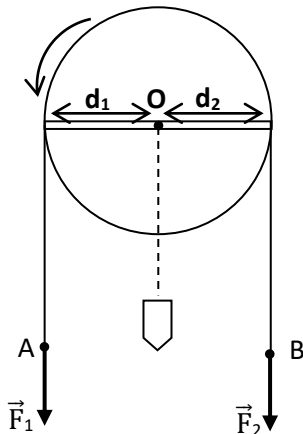
Le moment  $M_{\Delta}(\vec{F})$  par rapport à un axe fixe  $(\Delta)$  de la force  $\vec{F}$  est le produit de son intensité  $F$  par la distance  $d$  entre la droite d'action de la force  $F$  et l'axe de rotation.

On a :  $M_{\Delta}(\vec{F}) = F \cdot d$  où  $F$  est en (N),  $d$  en (m) et  $M_{\Delta}(\vec{F})$  en N.m

**La distance  $d$  appelée bras de levier.**

**Remarque:** Le moment d'une force dont la droite d'action est parallèle ou sécante à l'axe de rotation est nul.

## 4. Moment, grandeur algébrique



La force  $\vec{F}_1$  tend à faire tourner le solide dans le sens positif choisi arbitrairement : Son moment est positif

$$M_{\Delta}(\vec{F}_1) = F_1 \cdot d_1$$

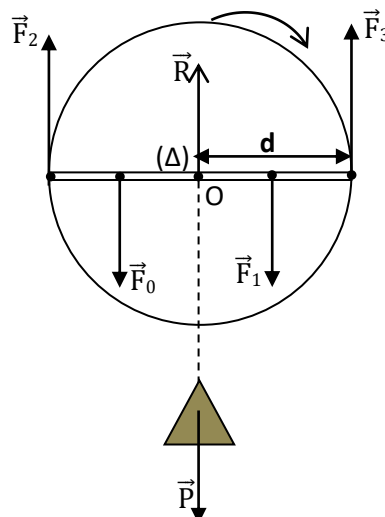
La force  $\vec{F}_2$  tend à faire tourner le solide (S) dans le sens contraire : Son moment est donc négatif.

$$M_{\Delta}(\vec{F}_2) = - F_2 \cdot d_2$$

## III. CONDITIONS D'ÉQUILIBRE D'UN SOLIDE MOBILE AUTOUR D'UN AXE FIXE

### 1. Expérience et Résultats

Un disque à l'équilibre est soumise aux forces suivantes ;  $\vec{F}_0, \vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{R}$  et  $\vec{P}$  avec  $F_0 = F_1 = F_2 = F_3 = F$  (voir figure).



2. Résultats

Valeur des forces	P	F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	R	F <sub>3</sub>
Bras de levier	0	$\frac{d}{2}$	$\frac{d}{2}$	d	0	d
moment de chaque force	0	$-F \cdot \frac{d}{2}$	$+F \cdot \frac{d}{2}$	$+F \cdot d$	0	$-F \cdot d$

**On constate :**  $M_{\Delta}(\vec{F}) + M_{\Delta}(\vec{P}) + M_{\Delta}(\vec{R}) + M_{\Delta}(\vec{P}_0) = + 0 - F \cdot \frac{d}{2} + F \cdot \frac{d}{2} + F \cdot d + 0 - F \cdot d = 0$

3. conclusion : Théorème des moments

Lorsqu'un solide , mobile autour d'un axe fixe est en équilibre, la somme algébrique des moments par rapport à cet axe des forces extérieures qui lui sont appliquées est nulle.

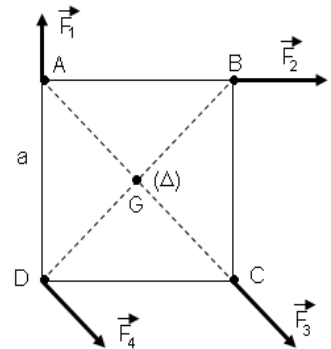
**NB :** A cette condition, li faut ajouter la condition d'équilibre  $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$

**Exercices d'applications**Exercice 1

Une plaque de forme carrée ABCD, de coté a, est mobile dans le plan vertical, autour d'un axe horizontal ( $\Delta$ ) passant par le centre d'inertie G du carré. Des forces sont appliquées aux sommets A, B, C, D comme l'indique la figure suivante.

- Calculer le moment de chacune des forces par rapport à l'axe ( $\Delta$ )
- Le carré peut-il être en équilibre ? Justifier

On donne a = 60 cm F<sub>1</sub> = F<sub>4</sub> = 16 N et F<sub>2</sub> = F<sub>3</sub> = 2 N

**Résolution détaillée**

- Calcul des moments de chacune des forces par rapport à l'axe ( $\Delta$ )

**Le sens positif choisit est celui des aiguilles d'une montre**

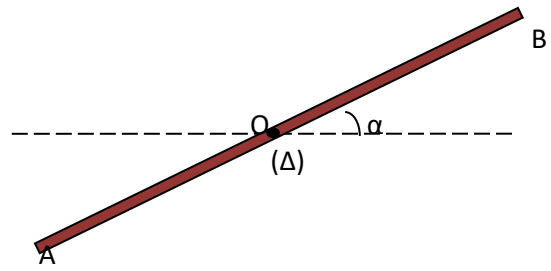
- $M_{\Delta}(F_1) = F_1 \times \frac{a}{2} = 16 \times \frac{0,6}{2} = + 4,8 \text{ N.m}$
- $M_{\Delta}(F_2) = F_2 \times \frac{a}{2} = 2 \times \frac{0,6}{2} = + 0,60 \text{ N.m}$
- $M_{\Delta}(F_3) = F_3 \times 0 = 2 \times 0 = - 0 \text{ N.m}$  car la droite d'action de  $\vec{F}_3$  rencontre l'axe ( $\Delta$ ) au point G
- $M_{\Delta}(F_4) = F_4 \times \frac{a\sqrt{2}}{2} = 16 \times \frac{0,6\sqrt{2}}{2} = - 6,79 \text{ N.m}$

- Vérifions l'équilibre de ce carré

- $M_{\Delta}(\vec{F}_1) + M_{\Delta}(\vec{F}_2) + M_{\Delta}(\vec{F}_3) + M_{\Delta}(\vec{F}_4) = + 4,8 + 0,6 - 0 - 6,79 \neq 0$   
La plaque n'est pas en équilibre

**Exercice 2**

Une tige homogène de longueur  $l$  et de poids  $\vec{P}$  est mobile autour d'un axe horizontal  $\Delta$  perpendiculaire à cette tige en son milieu  $O$ . On applique à l'extrémité  $A$ , une force  $\vec{F}_1$  perpendiculaire et à l'extrémité  $B$  une force  $\vec{F}_2$  verticale.  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_1$  sont toutes deux orthogonales à  $(\Delta)$ .  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_1$  sont orientés vers le bas.

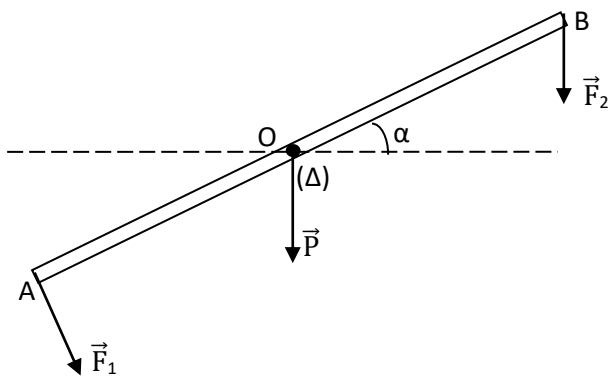


- Représenter les forces extérieures appliquées à la tige.
- Calculer les moments des forces exercées sur la tige par rapport à  $(\Delta)$ .
- La tige est-elle en équilibre ? Justifier votre réponse.
- Si non dans le sens de quelle(s) force(s) tournerait t- elle ?
- Calculer la valeur de la force qu'il faut appliquer (à  $F_1$  ou à  $F_2$ ) pour maintenir la tige en équilibre.
- Calculer la réaction  $R$  de la tige.

Données :  $l = 10\text{cm}$  ;  $P = 1\text{N}$  ;  $F_1 = 2\text{N}$  ;  $F_2 = 3\text{N}$  et  $\alpha = 30^\circ$

**Résolution détaillée**

- Calcul des moments des forces appliquées :  
Le sens positif choisit est le sens des aiguille d'une montre.
- 



Calcul du moment de la force  $\vec{R}$   
 $M_{\Delta}(\vec{R}) = R \cdot d = 0\text{N}\cdot\text{m}$  car  $R$  rencontre  $(\Delta)$

Calcul du moment de la force  $\vec{P}$   
 $M_{\Delta}(\vec{P}) = P \cdot d = 0\text{N}\cdot\text{m}$  car  $P$  rencontre  $(\Delta)$

Calcul du moment de la force  $\vec{F}_1$   
 $M_{\Delta}(\vec{F}_1) = - F_1 \times OA = - F_1 \times \frac{l}{2}$   
 $= 2 \times 0,05 = 0,1 \text{ N}\cdot\text{m}$

Calcul du moment de la force  $\vec{F}_2$   
 $M_{\Delta}(\vec{F}_2) = + F_2 \times OB \cos \alpha = + F_2 \times \frac{l}{2} \cos \alpha$   
 $= 3 \times 0,05 \times \cos 30^\circ = 0,13 \text{ N}\cdot\text{m}$

- La tige n'est pas en équilibre
- La tige tournera dans le sens de la force  $F_2$  car le moment de  $M_{\Delta}(\vec{F}_2)$  est supérieure au moment de  $F_1$ ;  $M_{\Delta}(\vec{F}_2) > M_{\Delta}(\vec{F}_1)$ .
- Valeur à appliquer pour maintenir la tige en équilibre.  
Ici il faut appliquer cette valeur à la force  $F_1$  et soit  $F$  la force à appliquer  
 $(F + F_1) \cdot \frac{l}{2} = F_2 \cdot \frac{l}{2} \cos \alpha$  d'où  $F = F_2 \cos \alpha - F_1$  A.N  $F = 3 \cos 30^\circ - 2 = 0,598 \text{ N}$
- La réaction  $R$  de la tige est

Exprimons la condition nécessaire de non déplacement de la tige  $G$

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

En utilisant l'axe  $(0,y)$  orienté vers le haut et colinéaire à  $\vec{P}$

$$R - P - F_1 \cos \alpha - F_2 = 0 \text{ d'où } R = P + F_2 + F_1 \cos \alpha$$

$$\text{A.N : } R = 1 + 3 + 2 \cos 30^\circ = 5,73 \text{ N}$$

# PRINCIPE DE L'INERTIE

## I. DÉFINITIONS

### 1. Système isolé

Un système mécaniquement isolé est un système qui n'est soumis à aucune force extérieure.

### 2. Système pseudo-isolé

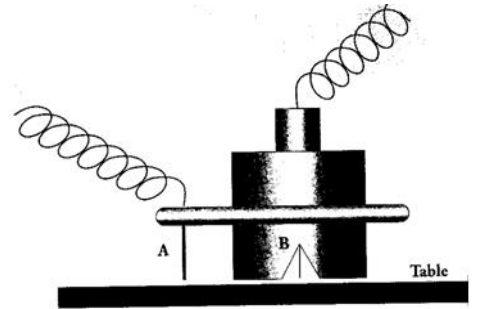
Un système pseudo-isolé est un système qui est soumis à des forces extérieures qui se compensent à chaque instant. ( $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$ )

## II. CENTRE D'INERTIE D'UN SOLIDE

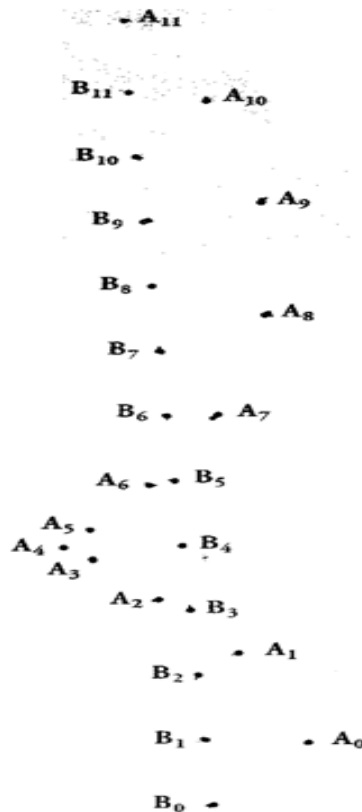
### 1. Mise en évidence

#### a) Démarche expérimentale

Lançons un palet en le faisant tourner sur une table à coussin d'air horizontale puis étudions le mouvement de deux de ces points : Son centre B (point particulier) et un autre point quelconque A. Les trajectoires de chacun de ces points sont marquées toutes des durées égales  $\tau$ .



#### b) Exploitation du document 11



- Tracer la trajectoire des points A et B. Conclure.

**La trajectoire de B est rectiligne et celle de A est curviligne**

- Comparer les écarts entre les différentes positions consécutives du point A d'une part et du point B d'autre part.

**L'écart entre les positions consécutives de B est constant alors que l'écart entre les positions consécutives de A varie.**

- Quelle est la nature du mouvement de chaque point ?

**Le point B a un mouvement rectiligne uniforme alors que A a un mouvement curviligne varié.**

### c) Conclusion

Le point B qui a un mouvement rectiligne uniforme est appelé **centre d'inertie du palet**.

### 2. Définition du centre d'inertie d'un solide

Le centre d'inertie d'un solide isolé ou pseudo-isolé est le point unique de ce solide qui est animé d'un mouvement rectiligne uniforme. Il sera noté G

#### **Remarque:**

Le mouvement du point G définit le mouvement d'ensemble du solide.

tous les autres points du solide autre que G ont un mouvement appelé mouvement propre. (Ils tournent autour du centre d'inertie G)

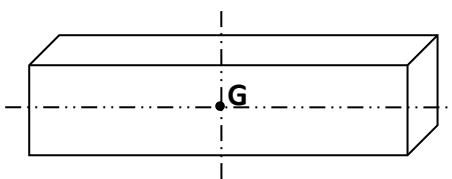
### 3. Principe de l'inertie

Dans un référentiel galiléen, le centre d'inertie d'un solide isolé ou pseudo-isolé :

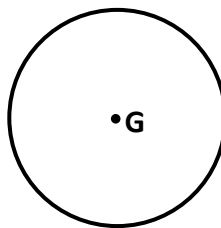
- reste au repos s'il est initialement au repos.
- est animé d'un mouvement rectiligne uniforme s'il est initialement en mouvement.

## III. DÉTERMINATION MATHÉMATIQUE DU CENTRE D'INERTIE

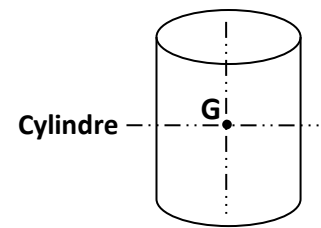
### 1. Centre d'inertie de quelques solides de forme géométrique simple



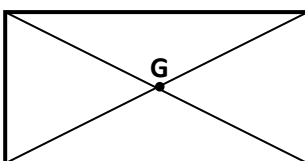
Parallélépipède



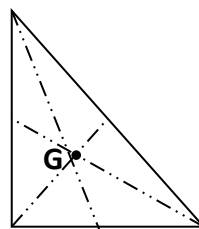
Cerceau



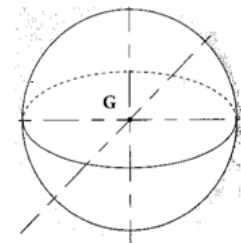
Cylindre



rectangle



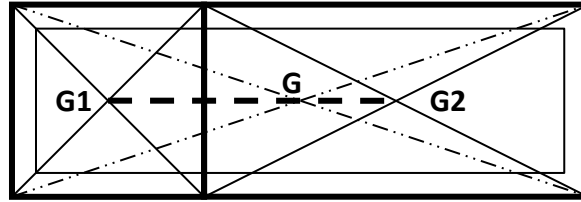
Triangle



Sphère

2. Centre d'inertie d'un système de deux solides

Soit un système constitué de deux solides  $S_1$  et  $S_2$  faits dans la même matière (homogène).  $S_1$  de masse  $m_1$  et de centre d'inertie  $G_1$ .  $S_2$  de masse  $m_2$  et de centre d'inertie  $G_2$ . Soit  $G$  le centre d'inertie de l'ensemble.



- Positionner  $G_1$ ,  $G_2$  et  $G$  puis tracer le segment  $[G_1G_2]$ .
- Que constate-t-on ?  
 $G_1$ ,  $G_2$  et  $G$  sont alignés et  $G$  est plus proche de  $G_2$  (solide le plus lourd)
- Comparer les rapports  $\frac{m_2}{m_1}$  et  $\frac{GG_1}{GG_2}$

On a  $\frac{m_2}{m_1} = \frac{GG_1}{GG_2} = 2$  donc  $m_1GG_1 = m_2GG_2$

Où encore en notation vectorielle  $m_1\overrightarrow{GG_1} = -m_2\overrightarrow{GG_2}$  ou encore  $m_1\overrightarrow{GG_1} + m_2\overrightarrow{GG_2} = \vec{0}$  (**Relation barycentrique**)

Soit un point  $O$  fixe de l'espace. On peut définir le centre d'inertie  $G$  de l'ensemble par rapport au point fixe  $O$ . La relation barycentrique devient :

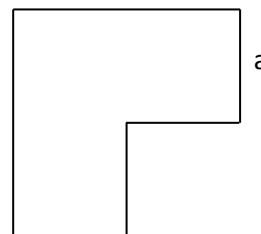
**N.B :** Le centre d'inertie d'un solide composé de plusieurs parties est donné par la relation suivante : On définit un point fixe  $O$  tel que  $(O, \vec{i}, \vec{j})$  soit un repère

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

Exercices d'applications

**Exercice 1**

Soit la plaque de carton homogène et d'épaisseur constante de la figure ci-contre. Le côté  $a = 1,5\text{cm}$



Résolution détaillée

Première méthode

Décidons de découper cette plaque homogène en un rectangle et un carré.

Soit  $G_1$  le centre d'inertie du rectangle et de masse  $m_1$

Soit  $G_2$  le centre d'inertie du carré et de masse  $m_2$

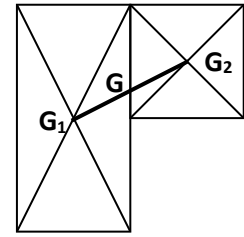
$G$  est le centre d'inertie de l'ensemble des deux systèmes ainsi formés.

Alors  $m_1\overrightarrow{GG_1} + m_2\overrightarrow{GG_2} = \vec{0}$  (en introduisant  $G_1$  entre  $\overrightarrow{GG_2}$ ) on a finalement

$$\overrightarrow{G_1 G} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \overrightarrow{G_1 G_2} \quad (m_1 = 2m_2)$$

$$\overrightarrow{G_1 G} = \frac{1}{3} \overrightarrow{G_1 G_2}$$

**Le centre d'inertie G est situé sur le segment  $[G_1 G_2]$  à  $1/3$  et partant de  $G_1$ .**



**N.B :** On pouvait partir de la relation barycentrique  $\overrightarrow{OG} = \frac{m_1 \overrightarrow{OG_1} + m_2 \overrightarrow{OG_2}}{m_1 + m_2}$

et remplacer le point fixe O par  $G_1$

### Deuxième méthode

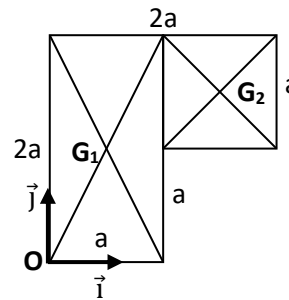
La relation barycentrique avec uniquement les deux systèmes  $S_1$  et  $S_2$  devient

$$\overrightarrow{OG} = \frac{m_1 \overrightarrow{OG_1} + m_2 \overrightarrow{OG_2}}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 \overrightarrow{OG_1}}{m_1 + m_2} + \frac{m_2 \overrightarrow{OG_2}}{m_1 + m_2} \quad (m_1 = 2m_2)$$

$$\frac{m_1}{m_1 + m_2} = \frac{2}{3}$$

$$\frac{m_2}{m_1 + m_2} = \frac{1}{3}$$

$$\overrightarrow{OG} = \frac{2}{3} \overrightarrow{OG_1} + \frac{1}{3} \overrightarrow{OG_2}$$



dans un repère orthonormée  $(O, \vec{i}, \vec{j})$

Les vecteurs  $\overrightarrow{OG_1}$  et  $\overrightarrow{OG_2}$  ont pour coordonnées

$$\overrightarrow{OG_1}(a; a) \text{ et } \overrightarrow{OG_2}(a + \frac{a}{2}; a + \frac{a}{2})$$

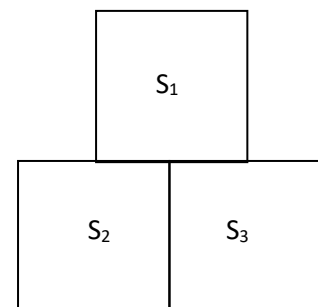
$$\overrightarrow{OG} = \begin{cases} \frac{2}{3} \times a + \frac{1}{3} \times (a + \frac{a}{2}) = \frac{2}{3} \times 1,5 + \frac{1}{3} \times (1,5 + \frac{1,5}{2}) = 1,75 \\ \frac{2}{3} \times a + \frac{1}{3} \times (a + \frac{a}{2}) = \frac{2}{3} \times 1,5 + \frac{1}{3} \times (1,5 + \frac{1,5}{2}) = 1,75 \end{cases}$$

$$\overrightarrow{OG} (x=1,75; y = 1,75)$$

### Exercice 2

Trois plaquettes carrées homogènes  $S_1$ ,  $S_2$  et  $S_3$  d'épaisseur constante, de côté  $a = 4\text{cm}$  et de masses respectives  $m_1 = 10\text{g}$ ;  $m_2 = 20\text{g}$  et  $m_3 = 60\text{g}$  sont disposés comme l'indique la figure ci-contre

Déterminer la position du centre d'inertie G du système formé par les trois plaques.



### Résolution détaillée

Soit O le point fixe, définissons le repère  $(O, \vec{i}, \vec{j})$

relation barycentrique :

$$\overrightarrow{OG} = \frac{m_1 \overrightarrow{OG_1} + m_2 \overrightarrow{OG_2} + m_3 \overrightarrow{OG_3}}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$\vec{OG} = \frac{m_1 \vec{OG}_1}{m_1+m_2+m_3} + \frac{m_2 \vec{OG}_2}{m_1+m_2+m_3} + \frac{m_3 \vec{OG}_3}{m_1+m_2+m_3}$$

avec :

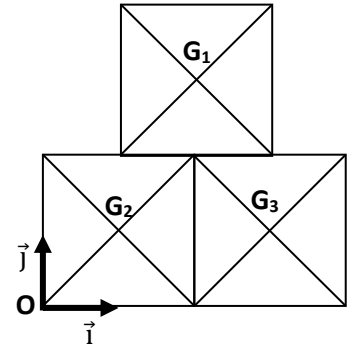
$$\frac{m_1}{m_1+m_2+m_3} = \frac{10}{10+20+60} = \frac{10}{90} = \frac{1}{9}$$

$$\frac{m_2}{m_1+m_2+m_3} = \frac{20}{10+20+60} = \frac{20}{90} = \frac{2}{9}$$

$$\frac{m_3}{m_1+m_2+m_3} = \frac{60}{10+20+60} = \frac{60}{90} = \frac{2}{3}$$

$$\vec{OG} = \frac{1 \vec{OG}_1}{9} + \frac{2 \vec{OG}_2}{9} + \frac{2 \vec{OG}_3}{3}$$

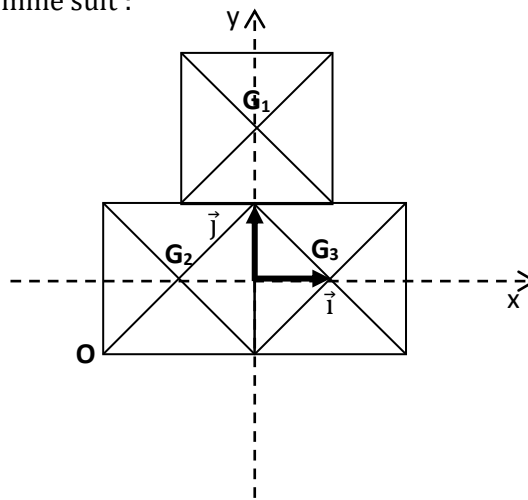
$$\vec{OG} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{9} \times 4 + \frac{2}{9} \times 2 + \frac{2}{3} \times 6 = \frac{8}{9} + 4 = \frac{44}{9} \\ \frac{1}{9} \times 6 + \frac{2}{9} \times 2 + \frac{2}{3} \times 2 = \frac{10}{9} + \frac{4}{3} = \frac{22}{5} \end{array} \right\}$$



$\vec{OG}$  : ( $x = 4,88$  et  $y = 2,44$  dans le repère  $(O, \vec{i}, \vec{j})$ )

### Autre méthode de résolution

On peut changer de repère comme suit :



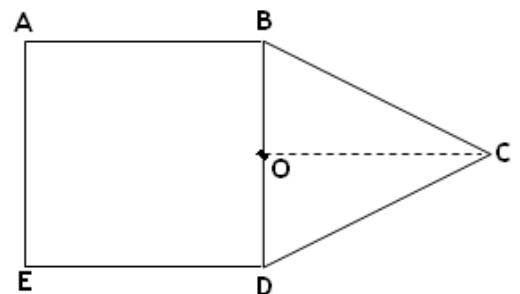
REPONSE :  $\vec{OG}$  : ( $x = 0,88$  et  $y = 0,44$  dans le repère  $(O, \vec{i}, \vec{j})$ )

### Exercice 3

La plaque ABCDE, représentée ci après homogène et d'épaisseur constante est formée d'une partie carrée ABCE de côté  $a = 3\text{cm}$ , et d'une partie triangulaire BCD. Déterminer :

- Graphiquement la position du centre d'inertie de la plaque par rapport au point O
- Par calcul le centre d'inertie de la plaque par rapport au point O.

On donne  $AB = OC = a = 3\text{cm}$



### Résolution détaillée

Le centre d'inertie G est donné par la formule du barycentre.

$$\vec{OG} = \frac{m_1 \vec{OG}_1 + m_2 \vec{OG}_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 \vec{OG}_1}{m_1 + m_2} + \frac{m_2 \vec{OG}_2}{m_1 + m_2}$$

Soit un point fixe, définissons un repère  $(O, \vec{i}, \vec{j})$

Les composantes des vecteurs  $\vec{OG}_1$  et  $\vec{OG}_2$

$$\vec{OG}_1 \quad (x=1,5 ; y=1,5)$$

$$\vec{OG}_2 \quad (x=1,5 ; y=HG_2) \text{ avec } HG_2 = \frac{1}{3}$$

$$HD = \frac{1}{3} \times \frac{a\sqrt{3}}{2} = \frac{1}{3} \times \frac{3\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,866 = 0,9$$

$$\vec{OG}_2 \quad (x=1,5 ; y=3,9)$$

Le rapport des masses est égal à celui des surfaces :  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{S_1}{S_2}$

avec  $S_1 = a^2$  (carré)

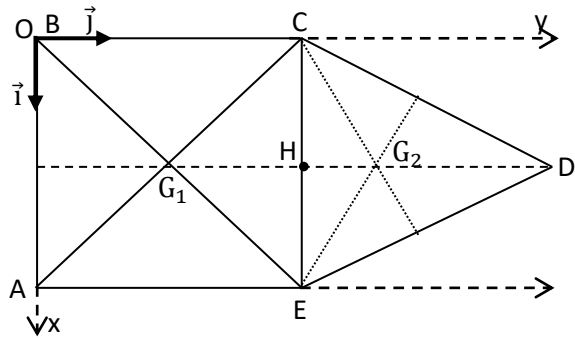
$$S_2 = \frac{a^2\sqrt{3}}{4} \text{ (triangle) car aire} = \frac{B \times h}{2} \text{ ( } B = a \text{ et } h = \frac{a\sqrt{3}}{2} \text{ )}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = a^2 \times \frac{4}{a^2\sqrt{3}} = 2,31 \text{ d'où } m_1 = 2,31m_2$$

$$\frac{m_1}{m_1 + m_2} = \frac{2,31}{3,31} \text{ et } \frac{m_2}{m_1 + m_2} = \frac{1}{3,31}$$

$$\vec{OG} = \frac{2,31 \vec{OG}_1}{3,31} + \frac{1 \vec{OG}_2}{3,31}$$

$$\vec{OG} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{2,31}{3,31} \times 1,5 + \frac{1}{3,31} \times 1,5 = 1,5 \\ \frac{2,31}{3,31} \times 1,5 + \frac{1}{3,31} \times 3,9 = 2,225 \end{array} \right\}$$



#### Exercice 4

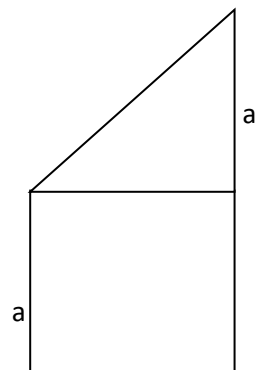
Une plaque homogène et d'épaisseur constante est composée d'une partie carrée  $S_1$  et d'une partie triangulaire  $S_2$ .

Déterminer la position du centre d'inertie de cette plaque.

$$a = 3\text{cm}$$

**NB** : Les médianes concourent au **centre de gravité** G du triangle

$$AG = \frac{2}{3}AA' ; BG = \frac{2}{3}BB' ; CG = \frac{2}{3}CC'$$



# QUANTITE DE MOUVEMENT D'UN SYSTEME

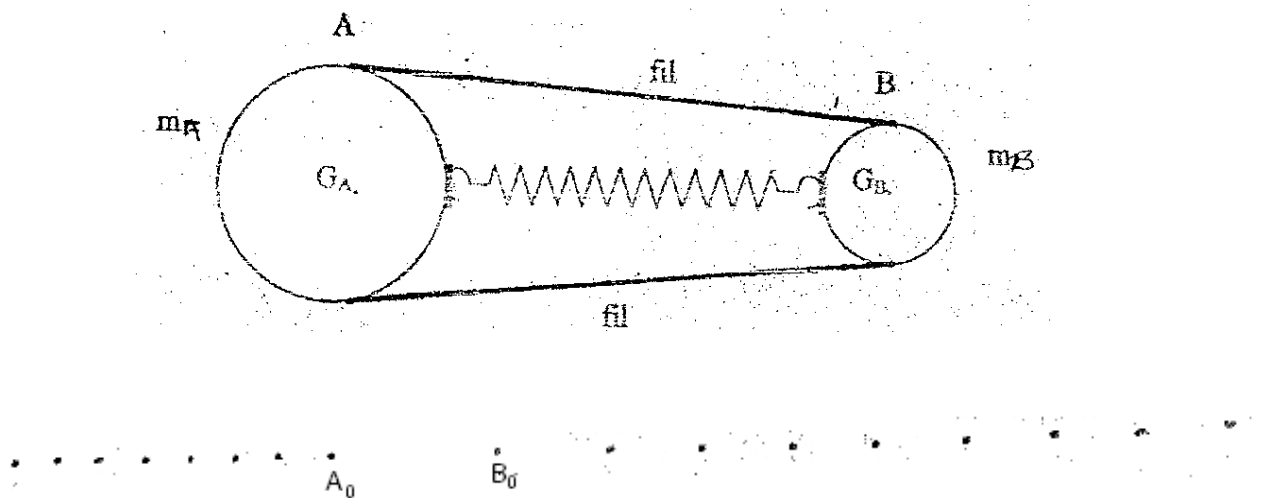
## I. VECTEUR QUANTITE DE MOUVEMENT

### 1. Mise en évidence

Soit un système constitué par deux mobiles autoporteurs A de masse  $m_1$  et B de masse  $m_2$  telle que  $m_1 = 2m_2$  reliés par deux fils et par un ressort comprimé de masse négligeable.

Coupons les fils, les deux mobiles s'éloignent par propulsion l'un de l'autre. On enregistre les positions des mobiles A et B.

#### a. Analyse et Exploitation du document N°31



- Numéroté les positions  $A_i$  et  $B_i$  (voir doc)
- Identifier la nature du mouvement du centre d'inertie de chaque solide.

Les points sont alignés et régulièrement espacés : **Le mouvement du centre d'inertie de chaque solide est rectiligne uniforme.**

- Calculer les vitesses aux points  $A_3$  et  $B_3$  et représenter les vecteurs vitesses correspondants. (Représentation : voir figure)
- Calculer et comparer les rapports  $\frac{m_A}{m_B}$  et  $\frac{v_B}{v_A}$

$$\frac{m_A}{m_B} = 2 \text{ et } \frac{v_B}{v_A} = 2 \text{ donc } \frac{m_A}{m_B} = \frac{v_B}{v_A} \text{ ou encore } m_A v_A = m_B v_B$$

En grandeur vectorielle on a :  $m_A \vec{v}_A = - m_B \vec{v}_B$  (même direction et sens opposé)

#### b. Conclusion

$m_A v_A$  est appelé quantité de mouvement du solide A et noté  $p_A$

$m_B v_B$  est appelé quantité de mouvement du solide B et noté  $p_B$

$m_A \vec{v}_A$  est appelé quantité de mouvement du solide A et noté  $\vec{p}_A$

$m_B \vec{v}_B$  est appelé quantité de mouvement du solide B et noté  $\vec{p}_B$

## 2. Définition du vecteur quantité de mouvement

Le vecteur quantité de mouvement  $\vec{p}$  d'un solide est le produit de sa masse  $m$  par le vecteur vitesse  $\vec{V}_G$  de son centre d'inertie  $\vec{p} = m\vec{V}_G$

### ➤ Caractéristiques :

- Direction : celui de  $\vec{V}_G$
- Sens : celui du mouvement du mobile
- Point d'application : centre de gravité du solide
- Intensité :  $p = mV_G$  ;  $p$ (kg.m/s) ;  $V_G$  en (m/s);  $m$  en (kg)

### Exercice d'application

Un camion de 15 tonnes roule à la vitesse de 4,8 km/h.

1. Calculer le module de la quantité de mouvement.
2. Calculer la vitesse, en km/h et en m/s d'une voiture de 800 kg ayant la même quantité de mouvement.

### Résolution détaillée

1. module de la quantité de mouvement du camion

$$p = mV = 15.10^3 \times \frac{4800}{3600} = 20\,000 \text{ kg.m.s}^{-1}$$

2. vitesse de la voiture

$$p = m'V' \text{ alors } V' = \frac{p}{m'} = 25 \text{ m/s ou } V' = 90 \text{ km.h}^{-1}$$

## 3. Vecteur quantité de mouvement d'un système de deux solides

Soit un système  $S$  constitué de deux solides  $S_1$  et  $S_2$  tels que  $\vec{p}_1 = m_1\vec{V}_1$  et  $\vec{p}_2 = m_2\vec{V}_2$ . Le vecteur quantité de  $S$  est  $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$  donc  $(m_1 + m_2)\vec{V}_G = m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2$ .

## II. CONSERVATION DU VECTEUR QUANTITE DE MOUVEMENT

### 1. Mise en évidence

Deux palets  $S_1$  et  $S_2$  liés par un élastique sont lancés sur une table à coussin d'air horizontale. Le système est pseudo-isolé. Les palets attirés l'un vers l'autre par l'élastique se repoussent lors du choc. Les positions des centres d'inerties  $G_1$  (points  $A_i$ ) et  $G_2$  (points  $B_i$ ) sont enregistrées à des intervalles de temps égaux.

- Sachant que ( $m_A = 2m_B = 40\text{g}$  ;  $\tau = 40\text{ms}$ )

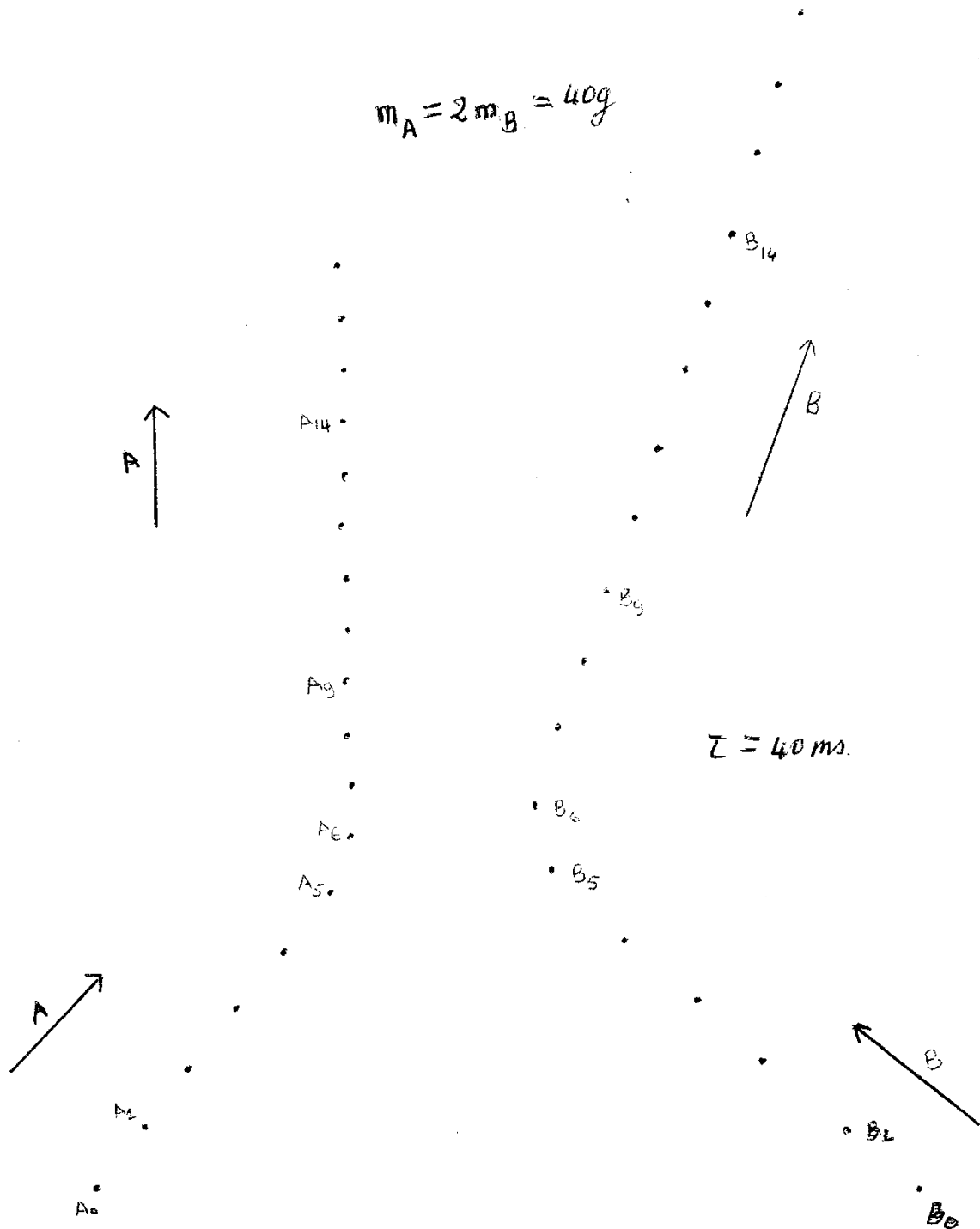
### 2. Analyse et Exploitation du document N°22

- Numéroter les différentes positions  $A_i$  et  $B_i$  occupées par les mobiles A et B
- Déterminer le centre d'inertie  $G_i$  des droites  $A_iB_i$
- Calculer les quantités de mouvement  
Avant le choc respectivement en un point A et B à la même position  
Après le choc respectivement en un point A et B à la même position
- Construisez la somme des vecteurs quantités de mouvement au point  $G_i$  correspondant  
Avant le choc  $p = p_1 + p_2$   
Après le choc  $p' = p'_1 + p'_2$   
Echelle :  $2\text{cm} = 0,65.10^{-2} \text{ kg.m.s}^{-1}$
- Déterminer graphiquement sur le document à l'aide de l'échelle la valeur de la quantité de mouvement

Avant le choc

Après le choc

- Comparer p et p'
- Conclure



### 3. Conclusion

Le vecteur quantité de mouvement du système avant le choc est égal au vecteur quantité de mouvement du système après le choc :  $\vec{p} = \vec{p}'$

### 4. Loi de conservation du vecteur quantité de mouvement

Le vecteur quantité de mouvement d'un système isolé ou pseudo-isolé, déformable ou non, se conserve (reste constant)

## Exercices d'application

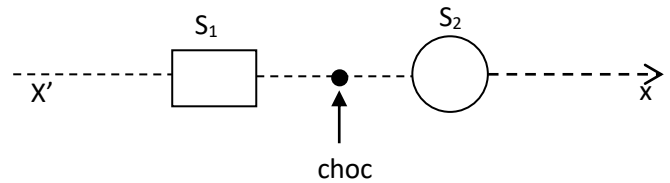
### Exercice 1

Un objet solide  $S_1$  de masse  $m_1 = 10\text{g}$  glisse sur un plan horizontal parfaitement lisse à la vitesse  $V_1 = 0,2\text{ m/s}$ .

Il heurte de plein fouet un autre solide  $S_2$  de masse  $m_2 = 30\text{g}$  glissant dans la même direction et en sens contraire avec une vitesse  $V_2 = 0,1\text{m/s}$ .

$S_1$  rebondit et repart dans la même direction à la vitesse  $V_1' = 0,25\text{m/s}$ .

Déterminer les caractéristiques du vecteur vitesse  $V_2'$  de  $S_2$  après le choc.



### Résolution détaillée

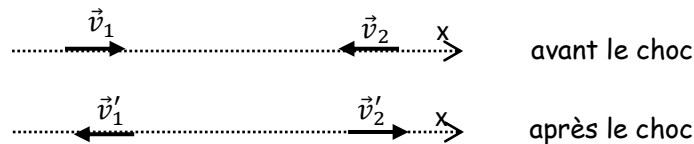
- Caractéristique de la vitesse  $\vec{V}_2'$  après le choc

Avant le choc on a :  $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2$

Après le choc on a :  $\vec{p}' = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 = m_1\vec{V}_1' + m_2\vec{V}_2'$

Le système étant considéré comme pseudo-isolé la quantité de mouvement se conserve alors

- $\vec{p} = \vec{p}'$  soit  $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$  finalement  $m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 = m_1\vec{V}_1' + m_2\vec{V}_2'$   
Projection des vecteurs vitesses sur l'axe (x, x)



- Toutes les vitesses ont la même direction

Si un vecteur vitesse a le sens des x positif alors il est compté positivement

Si un vecteur vitesse a le sens des x négatif alors il est compté négativement

- $(x', x) : m_1V_1 - m_2V_2 = -m_1V_1' + m_2V_2'$  (on supposera que la vitesse  $V_2$  est dans ce sens)
- $V_2' = \frac{m_1}{m_2}(V_1 + V_2') - V_2$  soit  $V_2' = + 0,05\text{ m/s}$

**Point d'application** : centre d'inertie du solide  $S_2$

**Direction** : le plan horizontal

**Sens** :  $V_2' > 0$  donc  $V_2'$  a le sens des x positifs. ( $S_2$  rebondit)

**Norme** :  $V_2' = 0,05\text{m/s}$

**Exercice 2**

Deux voitures, l'une de 900 kg et l'autre de 1300 kg se déplaçant sur une même droite, en sens inverse se heurtent de plein fouet. Juste avant le choc, la première voiture roulait à 60km/h et la deuxième à 45 km/h. Après la collision elles restent accrochées l'une à l'autre.

1. Dans quel sens l'ensemble se déplacera - t-il après le choc ?
2. Calculer sa vitesse juste après le choc.

**Résolution détaillée**

1. Sens de déplacement de l'ensemble après le choc.

- Quantité de mouvement des deux voitures

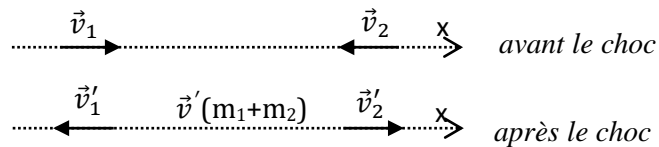
$$P_1 = m.V_1 = 900 \times 60 \text{ 000} / 3600 = 15 \text{ 000 kg.m.s}^{-1}$$

$$P_2 = m.V_2 = 1300 \times 45 \text{ 000} / 3600 = 16 \text{ 250 kg.m.s}^{-1}$$

$$p_2 > p_1 \text{ donc l'ensemble se déplacera dans le sens de la voiture 1 (} m = 900\text{kg ; } V = 60\text{km.s}^{-1}\text{)}$$

- Vitesse juste après le choc

Conservation de la quantité de mouvement :



$$m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 = (m_1 + m_2) \vec{V}' \text{ projetons sur l'axe } (x, x') \quad m_1 V_1 - m_2 V_2 = - (m_1 + m_2) V'$$

$$V' = \frac{m_2 V_2 - m_1 V_1}{m_1 + m_2} = 0,57 \text{ m.s}^{-1} \text{ ou } 2,1 \text{ km/h}$$

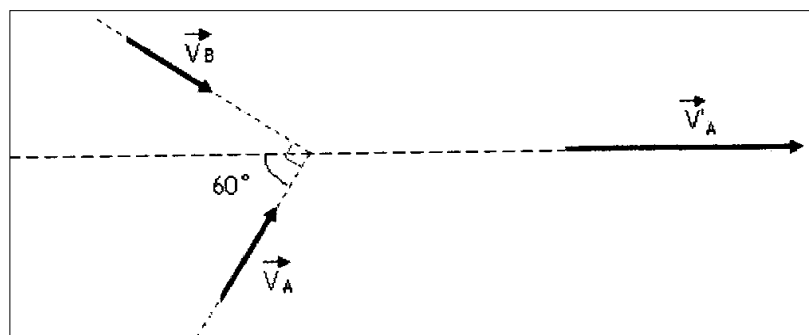
**Exercice 3**

Au cours d'un jeu, deux enfants lancent deux balles identiques, A et B de vitesses respectives  $\vec{v}_A$  et  $\vec{v}_B$  incliné par rapport à l'horizontal, animées d'un même mouvement rectiligne uniforme. Elles se heurtent à angle droit comme l'indique la figure suivante :

La vitesse de la boule A avant le choc est  $v_A = 1 \text{ m.s}^{-1}$

Après le choc, la boule B est immobile. En utilisant la loi de conservation du vecteur quantité de mouvement :

1. Calculer  $v_B$  de la balle B avant le choc et
2. Calculer la vitesse  $v'_A$  de la balle A après le choc.



**Résolution détaillée**

Vitesse de la boule B avant le choc  $v_A$   
 Vitesse de la boule A après le choc  $v'_A$

**1. Calcul de la vitesse  $v_A$  avant le choc**

- **avant le choc**

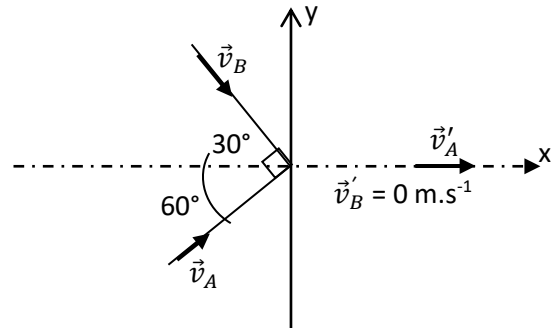
$$\vec{p} = \vec{p}_A + \vec{p}_B = m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B$$

- **après le choc**

$$\vec{p}' = \vec{p}'_B + \vec{p}'_A = m_A \vec{v}'_A ;$$

$$\vec{p}'_B = \vec{0} \text{ car } \vec{v}'_B = \vec{0}$$

$$\text{Donc : } \vec{p} = \vec{p}' \text{ d'où } m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B = m_A \vec{v}'_A$$



Le système étant pseudo-isolé donc la quantité de mouvement se conserve

Les balles A et B étant identiques donc :  $m_A = m_B$

$$\vec{v}_A + \vec{v}_B = \vec{v}'_A$$

$$\text{Projection (y, y') : } -v_A \sin 60^\circ + v_B \cos 60^\circ = 0$$

Vitesse de la boule B avant le choc :  $v_B$

$$v_B = \frac{v_A \cos 60^\circ}{v_B \cos 60^\circ} = 1,73 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{Projection (x, x') : } \sin 60^\circ + \cos 60^\circ = v'_A$$

**2. Vitesse de la boule A après le choc**

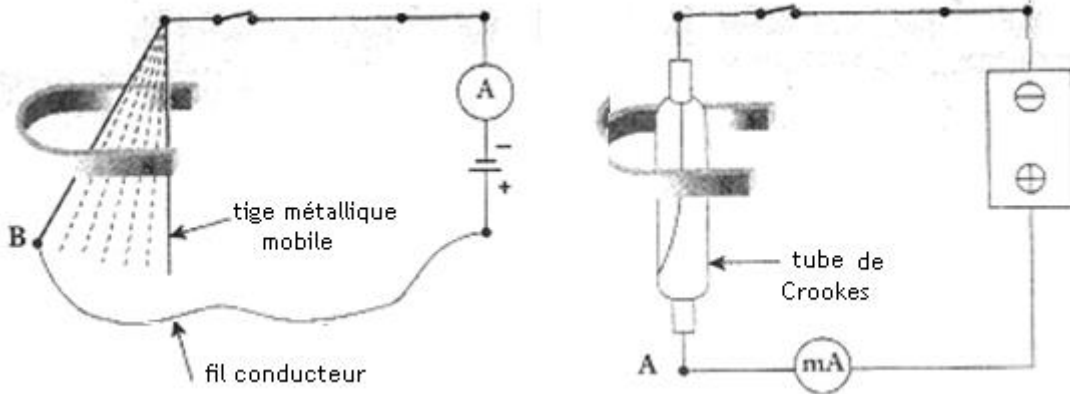
$$v'_A = 1,73 \times \sin 60^\circ + 1 \times \cos 60^\circ = 2 \text{ m.s}^{-1}.$$

# INTENSITE DU COURANT ÉLECTRIQUE

## I. LE COURANT ÉLECTRIQUE

### 1. Nature du courant électrique dans les métaux.

#### a) Expérience



#### b) Observation

Le faisceau d'électrons et le conducteur métallique sont déviés de la même manière. Le milliampèremètre indique la circulation d'un courant électrique dans le sens positif (de l'anode vers la cathode)

#### c) Interprétation

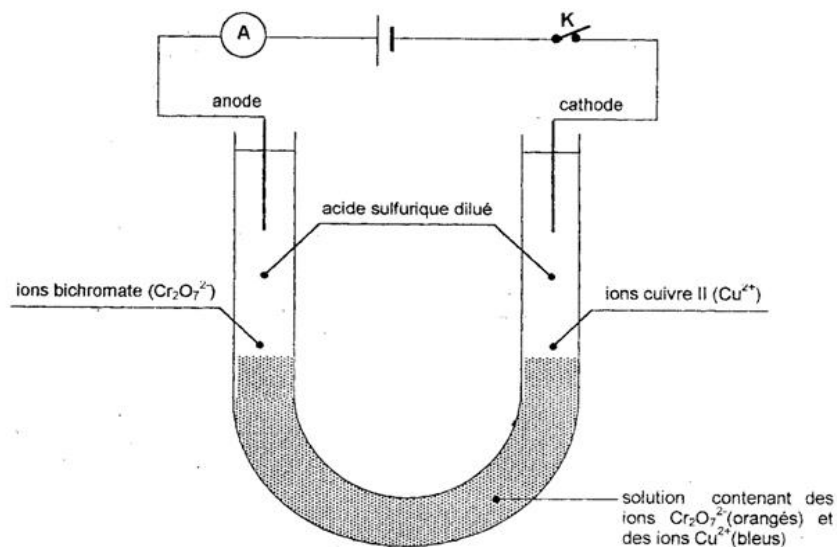
La déviation de la tige métallique montre qu'il existe des électrons libres en mouvement de A vers B

#### d) Conclusion

Dans un conducteur métallique, le courant électrique est dû à un déplacement d'ensemble d'électrons libres de la borne négative à la borne positive du générateur.

### 2. Nature du courant électrique dans les électrolytes.

#### a) Expérience et observation



**On observe :**

- Une coloration orange à l'anode.
- Une coloration bleue à la cathode

b) Interprétation

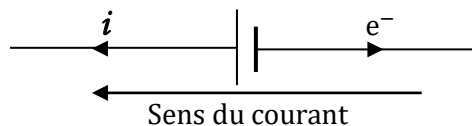
- La couleur orange à l'anode est due à la présence des ions dichromates ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) : Ils se déplacent donc vers l'anode.
- La couleur bleue à la cathode est due à la présence des ions cuivre II ( $\text{Cu}^{2+}$ ) : Ils se déplacent donc vers la cathode

c) Conclusion

Le courant électrique dans un électrolyte (solution conductrice) est dû à la double migration des ions : Les cations migrent vers la cathode tandis que les anions migrent vers l'anode.

3. Sens conventionnel du courant électrique

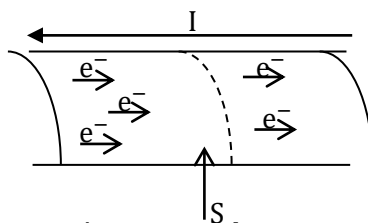
Dans un circuit électrique fermé, le courant à l'extérieur du générateur se déplace de la borne positive (+) à la borne négative (-)

**Exemple****II. INTENSITE DU COURANT CONTINU**1. Quantité d'électricité (Q)

On appelle quantité d'électricité la valeur absolue de la charge portée par l'ensemble des porteurs de charges (ions ou électrons). Elle se note Q et s'exprime en coulomb (C). On a :  $Q = n|q|$  où q est la charge de chacun des n porteurs de charge

**Exemple**

- ✓ Pour un électron :  $q = -e$  donc  $Q = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$
- ✓ Pour un ion  $\text{Cu}^{2+}$  :  $q = +2e$  donc  $Q = 2e$ .
- ✓ Pour 10 ions carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ),  $q = -2e$  donc  $Q = 10|-2e| = 20e$ .

2. intensité du courant électriquea) Définition

L'intensité du courant électrique notée I est la quantité d'électricité qui traverse une section de conducteur par unité de temps. On a  $I = \frac{Q}{\Delta t}$  avec I en ampère (A), Q en C et  $\Delta t$  en s.

**N.B :** Elle se mesure à l'aide d'un ampèremètre monté en série. On utilise souvent des multiples et sous multiples de l'ampère.

**1 kiloampère (kA) =  $10^3$  A**

**1 milliampère (mA) =  $10^{-3}$  A**

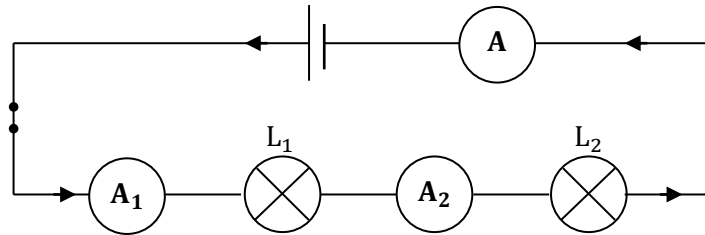
**1 microampère ( $\mu$ A) =  $10^{-6}$  A**

On utilise aussi comme unité l'ampère-heure : **1 Ah = 3600 C**

### III. PROPRIÉTÉS DU COURANT CONTINU

#### 1. Circuit série

##### a) Expérience et résultats



Ampèremètres	A	A1	A2
Intensité (A)	$I = 0,11$	$I_1 = 0,11$	$I_2 = 0,11$

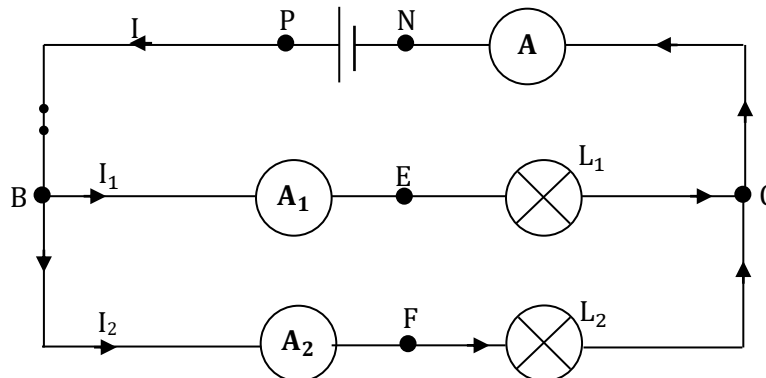
Constat :  **$I = I_1 = I_2$**

##### b) Conclusion

L'intensité du courant est la même en tout point d'un circuit série : C'est la loi d'unicité de l'intensité du courant.

#### 2. Circuit avec dérivation

##### a) Expérience et résultats



- B et C sont appelés des nœuds.
- BP et NC représente la branche principale.
- BEC et BFC sont les branches dérivées

Ampèremètres	A	A1	A2
Intensité (A)	$I = 0,142$	$I_1 = 0,064$	$I_2 = 0,078$

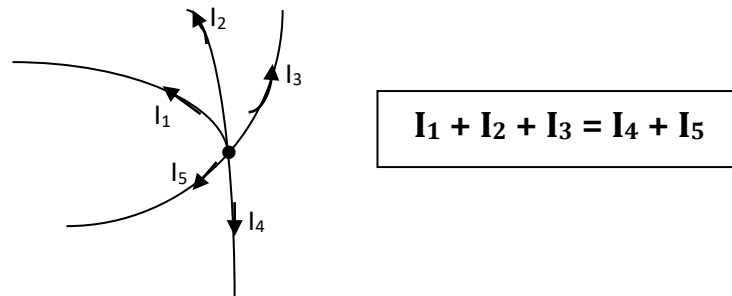
- Constat :  **$I = I_1 + I_2$**

##### b) Conclusion

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

c) loi des nœuds

La somme des intensités des courants arrivant à un nœud est égale à la somme des intensités des courants partant de ce nœud.

**Exercice d'application****Exercice 1**

Une calculatrice en fonctionnement est parcourue par un courant électrique d'intensité  $I = 3,5\mu\text{A}$ .

1. calculer la charge électrique débitée par la pile qui alimente la calculatrice pendant une minute.
2. Calculer le nombre d'électrons qui traverse la section d'un conducteur pendant la même durée.

**Résolution détaillée**

1. La charge électrique est :

$$Q = I \cdot \Delta t = 3,5 \cdot 10^{-6} \times 60 = 0,21 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

2. Le nombre d'électrons  $n$  qui traversent la section d'un conducteur

$$Q = n|e| ; \text{ avec } e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C (charge élémentaire)}$$

$$n = \frac{Q}{e} = \frac{0,21 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,13 \cdot 10^{16} \text{ soit } 1,3 \cdot 10^{15} \text{ électrons, soit un millions trois cents milliards d'électrons.}$$

**Exercice 2**

Un circuit électrique est traversé par un courant de  $0,3\text{A}$  pendant  $1\text{ms}$ .

Calculer le nombre d'électrons qui le traversent pendant cette durée.

**Résolution détaillée**

Quantité d'électricité

$$Q = I \cdot \Delta t = 0,3 \cdot 10^{-3} \times 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

$$Q = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{3600} = 8,3 \cdot 10^{-8} \text{ A.h}$$

Le nombre d'électrons

$$Q = n|e| \Rightarrow n = \frac{Q}{e}; \text{ A.N: } n = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 1,9 \cdot 10^{15} \text{ électrons}$$

**Exercice 3**

Lors d'une électrolyse d'une solution de sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4$ ) avec anode de cuivre. Il se produit à la cathode :  $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}$ .

1. Quelle quantité d'électricité, doit-on faire circuler dans le montage pour obtenir le dépôt :
  - a. d'un atome de cuivre ?

- b. d'une mole d'atomes de cuivre ?
- c. d'un gramme de cuivre ?  $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g/mol}$
2. quelle doit être l'intensité du courant dans le montage si on veut obtenir le dépôt d'un gramme de cuivre en 15 minutes ?

### Résolution détaillée

1. quantité d'électricité nécessaire.
  - a. Pour un atome de cuivre, il faut deux électrons  
 $Q = 2 \cdot |e| = 2 \times (1,6 \cdot 10^{-19}) = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
  - b. Pour une mole d'atomes de cuivre, il faut 2 moles d'électrons.  
 $Q = 2 \cdot N_A \cdot |e| = 6,02 \cdot 10^{23} \times (3,2 \cdot 10^{-19}) = 1,95 \cdot 10^5$
  - c. Pour un gramme de cuivre, il faut  
 $Q = 2 \cdot N_A \cdot |e| = 2 \cdot \frac{m}{M} \times N_A \times |e|$   
 $Q = 2 \cdot \frac{1}{63,5} \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 6,02 \cdot 10^{23} = 3033,7 \text{ C}$

Remarque : La charge transporté par une mole d'électrons est appelée **Faraday** :

$$1 \text{ F} = 96\,500 \text{ C d'où } Q = (ne^-) \cdot F \text{ avec } ne^- : \text{ nombres de moles d'électrons}$$

2. Intensité du courant dans le montage

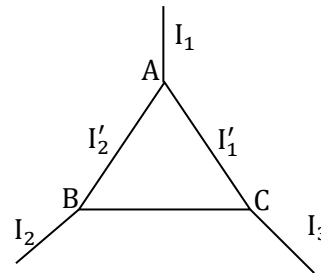
$$I = \frac{Q}{t} = 3,37 \text{ A}$$

### Exercice 4

On considère un montage « en triangle » au modèle du schéma ci-dessous

On donne:  $I_1 = 3 \text{ A}$  ;  $I_2 = 1 \text{ A}$

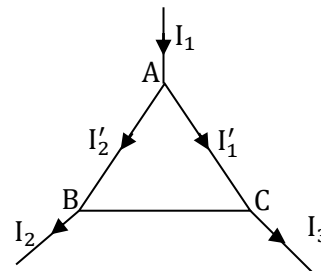
1. Calculer l'intensité du courant  $I_3$  et déterminer le sens du courant dans cette branche
2. Sachant que  $I'_1 = 1 \text{ A}$ , déterminer les sens et les intensités de tous les courants.



### Résolution détaillée

En utilisant la loi des nœuds aux points A, B et C.

1.  $I_3 = I_1 - I_2 = 3 - 2 = 1 \text{ A}$
2.  $I'_2 = I_1 - I'_1 = 3 - 1 = 2 \text{ A}$
3.  $I'_3 = I'_2 - I_2 = 2 - 1 = 1 \text{ A}$



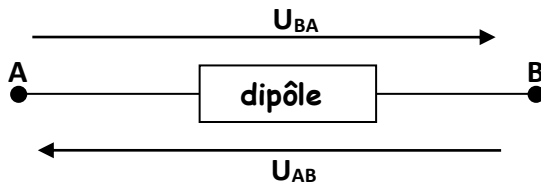
# TENSION ÉLECTRIQUE

## I. NOTION DE TENSION ÉLECTRIQUE

### 1. Définition

On appelle tension électrique entre deux points A et B d'un circuit, la différence d'état électrique ou différence de potentiel (ddp) entre ces deux points.

### Représentation



$V_A$  : Potentiel en A

$V_B$  : Potentiel en B

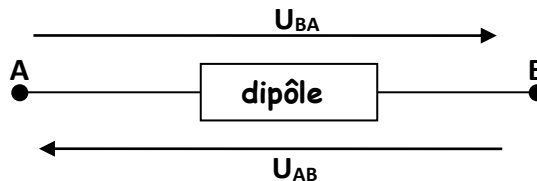
$$U_{AB} = V_A - V_B$$

L'unité de mesure de la tension est le volt (V)

**Exemples :** 1 millivolt (1 mV) =  $10^{-3}$ V, 1 kilovolt (1 kV) =  $10^3$ V, 1 méga volt (1 MV) =  $10^6$  V

Les appareils de mesure de la tension électrique sont le voltmètre et l'oscilloscope ; Ils sont branchés en dérivation.

### 2. Grandeur algébrique



N.B :  $U_{AB} = -U_{BA}$  montre que la tension est une grandeur algébrique et

$$V_A - V_B = -(V_B - V_A)$$

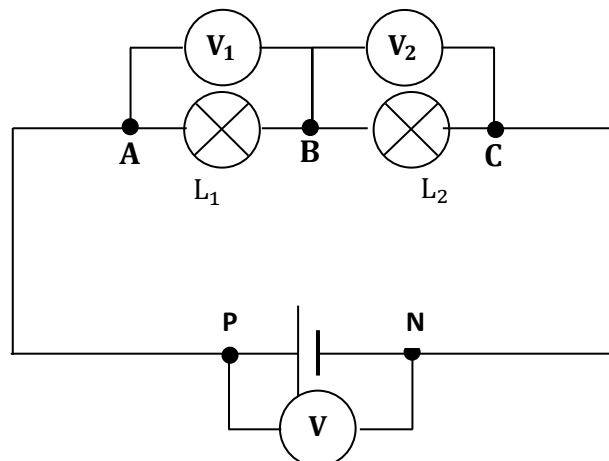
N.B : Tous les points d'un fil de connexion sont dans le même état électrique ( $V_A = V_B = V$ )

On choisit un fil conducteur de référence appelé masse  $\text{///}$  dont le potentiel est par convention égale à zéro. ( $V_M = 0$  V). Tous points reliés à la masse a un potentiel nul.

## II. LOIS DES TENSIONS CONTINUES

### 1. Circuit série

#### a) Expérience et résultats



Voltmètres	V	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>
Tensions (V)	U <sub>AC</sub> = 6,03	U <sub>AB</sub> = 2,06	U <sub>BC</sub> = 3,96

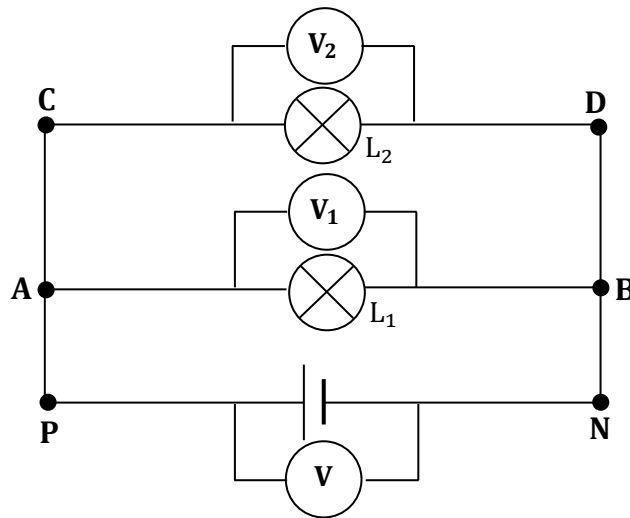
**Constat :**  $U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$

b) Conclusion

La tension aux bornes d'un ensemble de dipôles montés en série est égale à la somme des tensions aux bornes de chaque dipôle. C'est la loi d'additivité des tensions.

2. Circuit avec dérivation ou parallèle

a) Expérience et observations



Voltmètres	V	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>
Tensions (V)	U <sub>PN</sub> = 6	U <sub>AB</sub> = 6	U <sub>CD</sub> = 6

**Constat :**  $U_{PN} = U_{AB} = U_{CD}$

APNB et ABDC sont appelés mailles

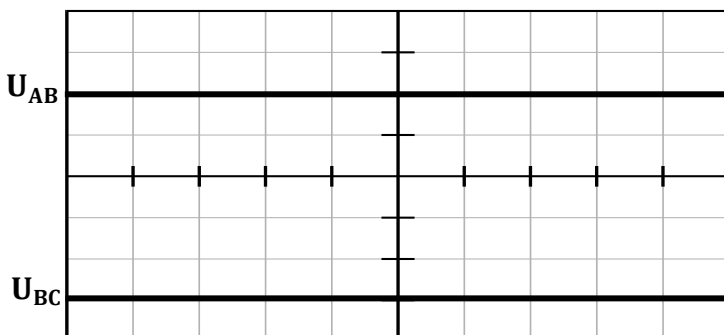
b) Conclusion

La tension est la même aux bornes d'un ensemble de dipôles montés en dérivation : C'est la loi d'unicité de la tension

**Remarque :** La tension aux bornes d'un fil de connexion est nulle en circuit fermé

III. VISUALISATION D'UNE TENSION A L'OSCILLOSCOPE

1. Tension continue

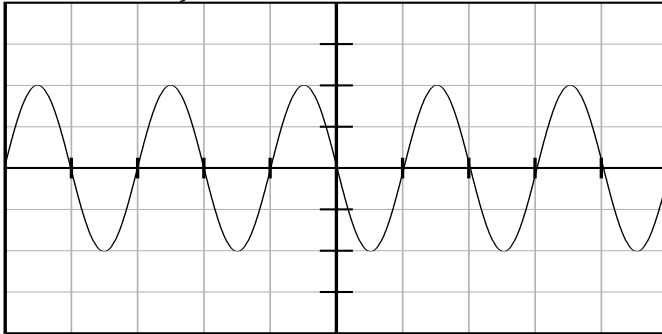


**Le balayage (déviation verticale) est notée :**  $k_v = 2 \text{ V/div}$  ou  $2 \text{ V/cm}$   
 $U_{AB} = k_v \times d = 2 \times 2 = 4 \text{ V}$   
 $U_{BC} = -k_v \times d = -2 \times 3 = -6 \text{ V}$

A l'oscilloscope la tension continue est une trace lumineuse.

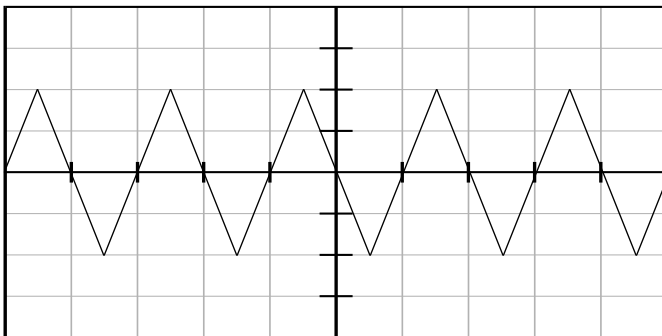
## 2. Tension alternative

### a) Tension sinusoïdale



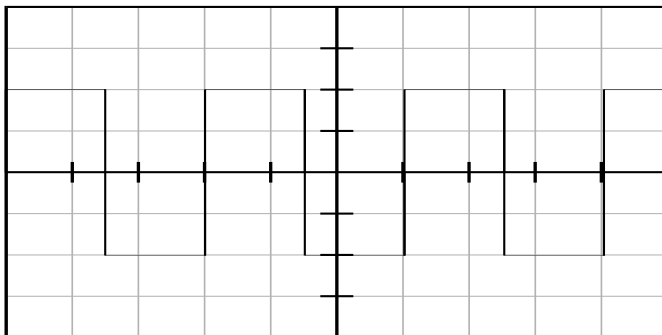
Sensibilité verticale : 1V/div  
Balayage : 5ms/div

### b) Tension triangulaire ou en dents de scie.



Sensibilité verticale : 1V/div  
Balayage : 5ms/div

### c) Tension rectangulaire ou en créneau



Sensibilité verticale : 2V/div  
Balayage : 10 ms/div

## 3. Caractéristiques d'une tension sinusoïdale

### a) Période

La période  $T$  d'une tension sinusoïdale est la plus courte durée au bout de laquelle elle se reproduit identique à elle-même. Elle s'exprime en seconde (s)

3. Pour la tension a)  $T = 5 \times 2 = 10 \text{ ms} = 0,01 \text{ s}$

### b) Fréquence

La fréquence ( $N$  ou  $f$ ) est le nombre de périodes effectuées en une seconde. C'est aussi l'inverse de la période et elle s'exprime en hertz (Hz)  $N = \frac{1}{T}$

4. Pour la figure a)  $N = \frac{1}{0,01} = 100 \text{ Hz}$

c) Tension maximale – tension efficace

- La tension maximale ou amplitude d'une tension sinusoïdale est la plus grande valeur que peut prendre cette tension. Elle se mesure à l'aide d'un oscilloscope et se note  $U_m$  ou  $U_{max}$
- La tension efficace d'une tension sinusoïdale est la tension mesurée à l'aide d'un voltmètre en mode alternatif. Elle se note  $U_{eff}$  ou  $U$ .
- Tension efficace et tension maximale sont liées par la relation :

$$U_{eff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Exercices d'applicationsExercice 1

Sur un écran d'oscilloscope, on visualise une tension alternative sinusoïdale. La tension maximale  $U_m$  correspond 1,7 divisions et la période à 2 divisions. Sachant que les sensibilités utilisées sont :

- $10^{-3}$  s/div en abscisse
- 0,5 V/div en ordonnée

- Déterminer :
  - La tension maximale  $U_m$  et la tension efficace  $U$ .
  - La période  $T$  et la fréquence  $N$  de l'oscillation.
- Représenter en vraie grandeur l'oscillogramme observé.

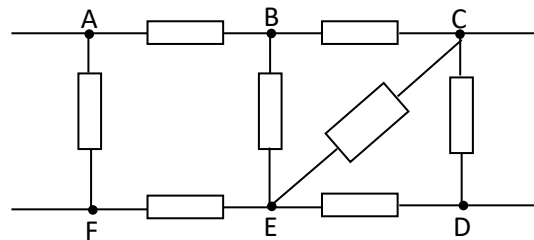
Exercice 2

Soit le circuit de la figure. On a mesuré les tensions

$$U_{AB} = 5,0 \text{ V} ; U_{AC} = 15 \text{ V}$$

$$U_{AE} = 12 \text{ V} ; U_{AD} = 20 \text{ V}$$

- Calculer la valeur des tensions  $U_{BC}$ ;  $U_{BE}$ ;  $U_{DE}$ ;  $U_{CD}$ ;  $U_{EC}$
- indiquer le sens des courants dans les trois branches formant le « triangle » CDE

RESOLUTION

- Calcul des tensions (loi d'additivité des tensions)

$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} \text{ d'où } U_{BC} = U_{AC} - U_{AB} = 15 - 5 = 10 \text{ V}$$

$$U_{AE} = U_{AB} + U_{BE} \text{ d'où } U_{BE} = U_{AE} - U_{AB} = 12 - 5 = 7 \text{ V}$$

$$U_{AD} = U_{AE} + U_{ED} \text{ et } U_{ED} = U_{AD} - U_{AE} \text{ d'où } U_{DE} = -(U_{AD} - U_{AE}) = U_{AE} - U_{AD}$$

$$U_{DE} = 12 - 20 = -8 \text{ V}$$

$$U_{AD} = U_{AC} + U_{CD} \text{ d'où } U_{CD} = U_{AD} - U_{AC} = 20 - 15 = 5 \text{ V}$$

$$U_{AE} = U_{AB} + U_{BE} \text{ d'où } U_{BE} = U_{AE} - U_{AB} = 12 - 5 = 7 \text{ V}$$

$$U_{EC} = U_{ED} + U_{DC} \text{ d'où } U_{EC} = U_{ED} + U_{DC} = 8 + (-5) = 3 \text{ V}$$

- Sens des courants dans les trois branches

Branche CD :  $U_{CD} = 5,0 \text{ V}$  alors  $V_C - V_D > 0$  ( $V_C > V_D$ ) :  $C \rightarrow D$

Branche ED :  $U_{ED} = 8 \text{ V}$  alors  $V_E - V_D > 0$  ( $V_E > V_D$ ) :  $E \rightarrow D$

Branche EC :  $U_{CE} = 3 \text{ V}$  alors  $V_C - V_E > 0$  ( $V_C > V_E$ ) :  $C \rightarrow E$

# ÉTUDE EXPERIMENTALE DE QUELQUES DIPÔLES PASSIFS

## I. DÉFINITIONS

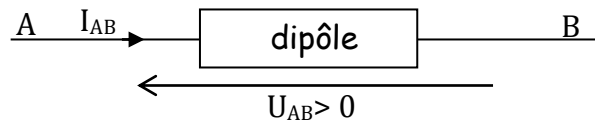
### 1. Dipôle

Un dipôle est un composant électrique ou électronique, ou toutes associations de composants comportant deux bornes. En circuit ouvert, si la tension à ses bornes est nulle, il est appelé dipôle passif.

**Exemples : Le conducteur ohmique, lampe, diode, moteur électrique, pile, ...**

### 2. Caractéristique d'un dipôle

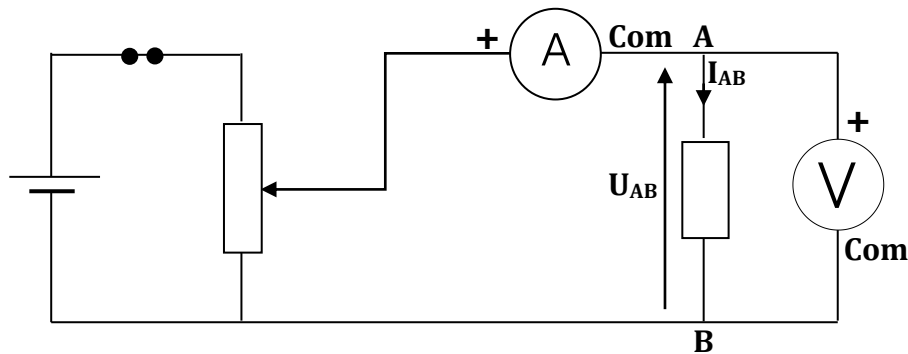
On étudie un dipôle passif avec la **convention récepteur**. Dans un dipôle passif, le courant s'écoule de A vers B si  $U_{AB} > 0$  ( $I_{AB}$  est alors positif, ou nul)



## II. CARACTERISTIQUE D'UN CONDUCTEUR OHMIQUE ET D'UNE LAMPE

### 1. Caractéristique d'un conducteur Ohmique

#### a. Schéma du dispositif expérimental



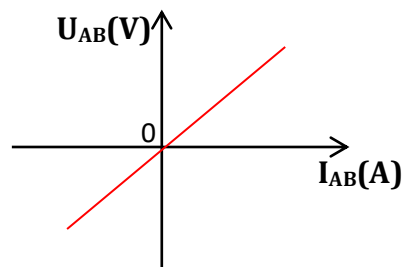
#### b. Tableau de mesures

$U_{AB}$ (V)	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
$I_{AB}$ (A)	-0,08	-0,06	-0,04	-0,02	0	0,02	0,04	0,06	0,08

#### c. Graphe $U_{AB} = f(I_{AB})$ : intensité-tension

Echelle : **1 cm pour 1V**

: **1 cm pour 20 mA**



d. Exploitation du graphe

- Le graphe  $U_{AB} = f(I_{AB})$  est une droite passant par l'origine du repère. Son équation est donc de la forme  $U_{AB} = aI_{AB}$ : Le conducteur ohmique est un **dipôle passif et linéaire**.
- A chaque point de la droite correspond son symétrique par rapport à l'origine du repère : Le conducteur ohmique est un **dipôle symétrique**.
- $a$  est le coefficient directeur de la droite avec  $a = \frac{\Delta U}{\Delta I} = 50 \Omega$ . C'est la résistance du conducteur ohmique. On la note **R**

e. Conclusion : (Loi d'OHM pour un conducteur ohmique)

La tension aux bornes d'un conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse :  $U_{AB} = RI_{AB}$  ; avec  $I$  en A,  $U$  en V et  $R$  en  $\Omega$

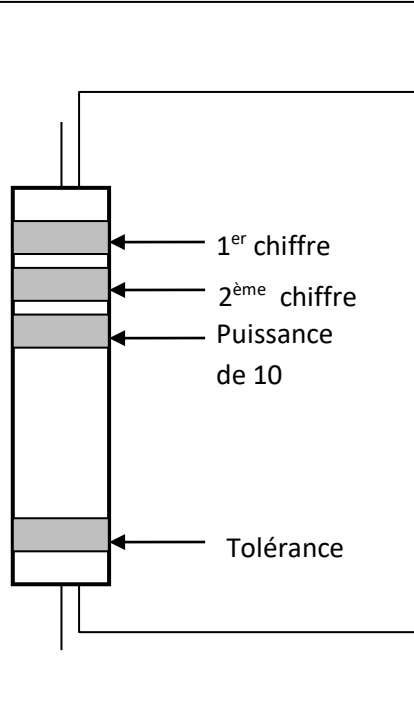
**Remarque :**

- La caractéristique tension – intensité  $I_{AB} = f(U_{AB})$  permet de déterminer la conductance du résistor :  $I_{AB} = GU_{AB}$  avec  $G = 1/R$  où  $G$  est en siemens (S).
- On peut aussi déterminer la résistance d'un conducteur ohmique par deux autres méthodes :

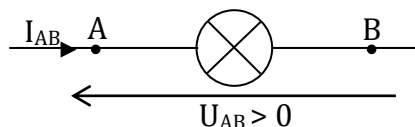
**Méthode de l'ohmmètre** : La mesure se fait directement aux bornes du résistor en dehors du circuit.

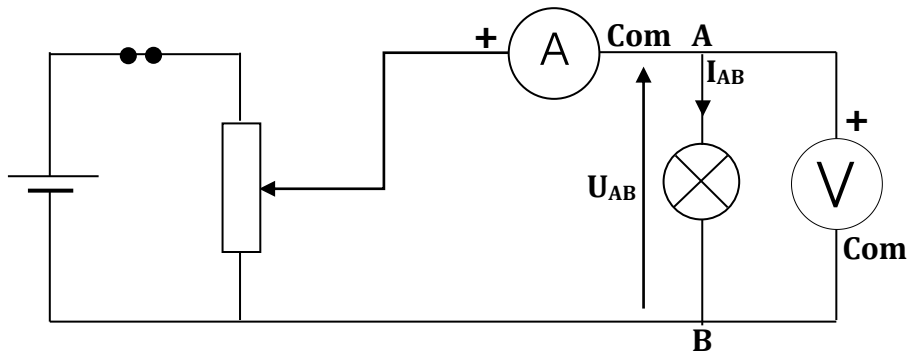
**Méthode des codes de couleurs** :

Couleur	1 <sup>er</sup> ou 2 <sup>ème</sup> chiffre	puissance de 10	tolérance
Noir	0	0	20%
Marron	1	1	1%
Rouge	2	2	2%
Orange	3	3	-
Jaune	4	4	-
Vert	5	5	-
Bleu	6	6	-
Violet	7	7	-
Gris	8	8	-
Blanc	9	9	-
Argent	-	-2	10%
Or	-	-1	5%

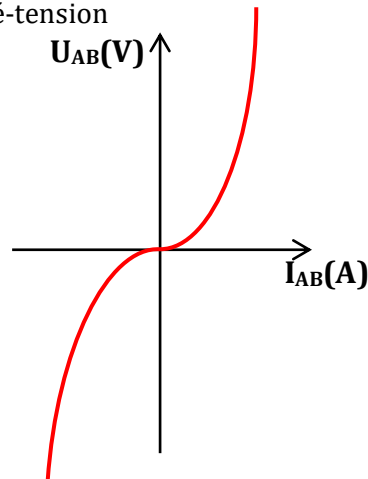


**Exemple** : Un résistor dont les couleurs d'anneau sont dans l'ordre Rouge – Orange – Marron – or a pour résistance  $R = (230 \pm 12)\Omega$

2. Caractéristique d'une lampe à incandescencea. Symbole

b. Schéma du dispositif expérimentalc. Tableau de mesures

$U_{AB}(V)$	-1,5	-1	-0,5	-0,2	-0,1	-0,05	0	0,05	0,1	0,2	0,5	1	1,5
$I_{AB}(mA)$	-200	-163	-124	-90	-67	-34	0	35	65	90	120	160	200

d. Graphe :  $I_{AB} = f(U_{AB})$  intensité-tension1 cm  $\leftrightarrow$  0,25 V1 cm  $\leftrightarrow$  25 mAe. Exploitation du graphe

- La courbe n'est pas une droite alors **le dipôle n'est pas linéaire**
- La courbe passe par l'origine et chaque point est symétrique par rapport à son origine O : **le dipôle est symétrique.**

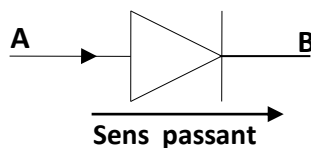
f. Conclusion

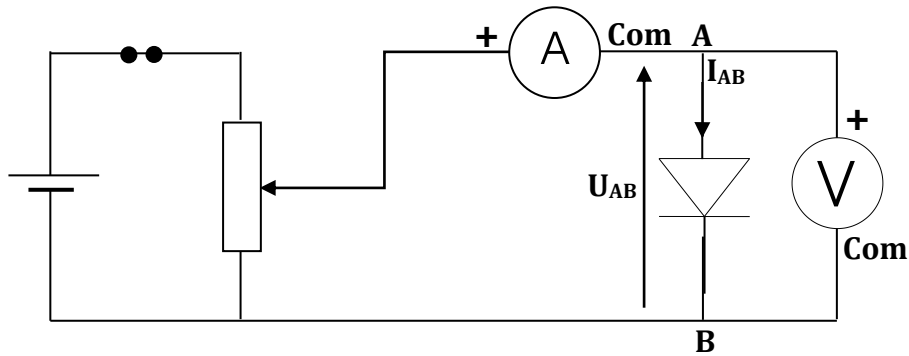
La lampe à incandescence est un dipôle passif symétrique non linéaire

### III. CARACTERISTIQUE D'UNE DIODE

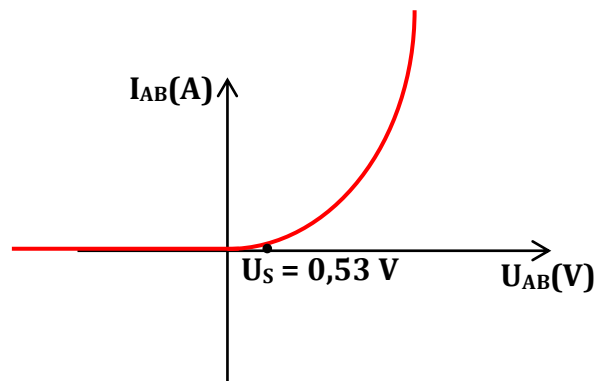
1. Diode à jonctiona. Définition

C'est un composant électronique qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens appelé sens passant ou sens direct. Son symbole est :



b. Schéma du dispositif expérimentalc. Tableau de mesure

U(V)	-2	-1	0	0,53	0,57	0,6	0,61
I(mA)	0	0	0	0,5	1,1	2	2,5
U(V)	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68
I(mA)	3	3,5	4,1	5	6	8	9
U(V)	0,74	0,8	0,85				
I(mA)	40	110	500				

d. Graphe :  $I_{AB} = f(U_{AB})$  tension-intensitéÉchelle : 1 cm  $\leftrightarrow$  1 mA: 1 cm  $\leftrightarrow$  0,1 Ve. Exploitation du graphe

- Pour  $U_{AB} < 0,53\text{V}$ ,  $I_{AB} = 0$  : **La diode est bloquée**. Elle se comporte comme un interrupteur ouvert ; aucun courant ne passe.
- Pour  $U_{AB} \geq 0,53\text{V}$ ,  $I_{AB} \neq 0$  : **La diode est dite passante**. Elle se comporte comme un conducteur ohmique de faible résistance.

**Remarque** : La valeur  $U_S = 0,53\text{ V}$  est appelée **tension seuil**. La diode devient conductrice à cette tension.

**Exemple** :

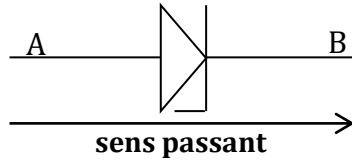
**La diode au silicium** :  $U_S \geq 0,6\text{ V}$

**La diode au germanium** :  $U_S \geq 0,3\text{ V}$

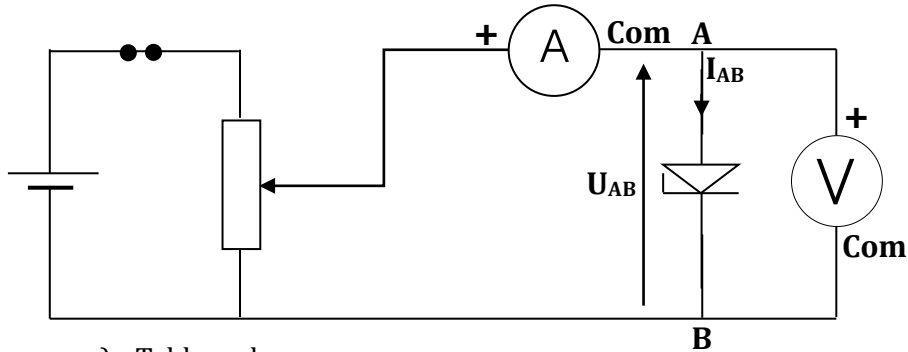
## 2. La diode Zener

### a) Définition

C'est une diode qui conduit le courant électrique dans le sens direct pour  $U_{AB} \geq U_s$  et en inverse pour  $U_{AB} \leq -U_z$  avec  $U_z > 0$  est la tension Zener et  $U_s$  est la tension seuil. Son symbole est :



### b) Schéma du dispositif expérimental



### c) Tableau de mesures

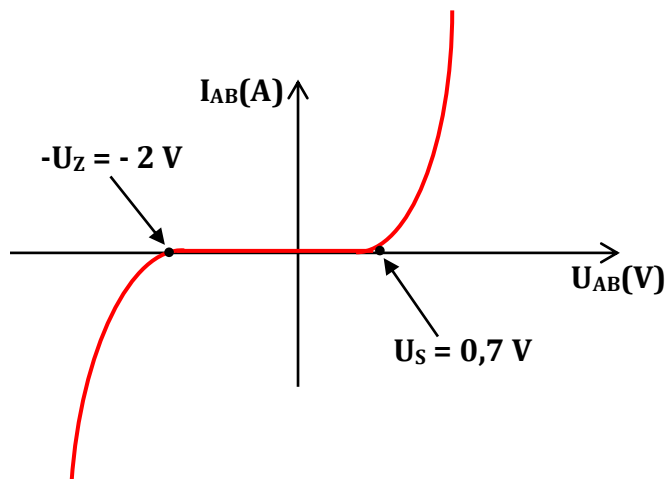
U(V)	-2,7	-2	-1	0	0,5	0,6	0,7	0,8
I(mA)	-11,5	-0,65	0	0	0	0	0,3	7,5

### d) Graphe $I_{AB} = f(U_{AB})$ tension-intensité

Echelle :

1 cm  $\leftrightarrow$  1 mA

1 cm  $\leftrightarrow$  0,5 V



### e) Exploitation du graphe

- Pour  $-2 \text{ V} < U_{AB} < 0,7 \text{ V}$  ;  $I = 0$  : la diode est non passante.
- Pour  $U_{AB} \geq 0,7 \text{ V}$  ;  $I > 0$ , La diode est passante en direct.
- Pour  $U_{AB} \leq -2 \text{ V}$  ;  $I < 0$ , la diode est passante en indirect.

### Remarques

$U_s = 0,7 \text{ V}$  est la tension seuil.

$U_z = 2 \text{ V}$  est la tension Zener.

$-U_z < U_{AB} < U_s$  la diode est non passante.

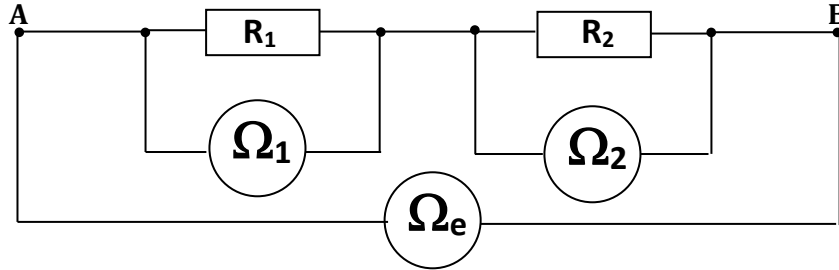
La diode est passante lorsque  $U_{AB} \geq U_s$  ou  $U_{AB} \leq -U_z$

**IV. ASSOCIATION DE DIPÔLES PASSIFS**

1. association de conducteurs ohmiques

1.1) association en série

a. étude expérimentale



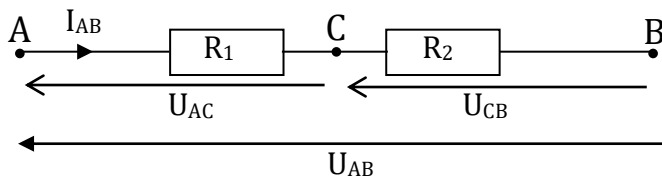
On lit  $R_1 = 80,5 \Omega$  ;  $R_2 = 46,5 \Omega$  et  $R_e = 126,9 \Omega$

On constate que :  $R_e = R_1 + R_2$

D'une manière générale, pour l'association en série de n conducteurs ohmiques, la résistance équivalente est la somme de toutes les résistances

$$R_{\text{éq}} = \sum_1^n R_i$$

b. Étude théorique



Appliquons la loi d'Ohm :

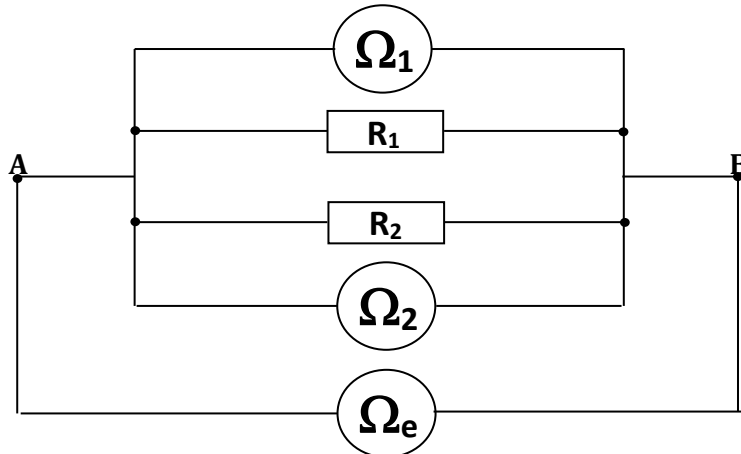
$$U_{AC} = R_1 I ; U_{CB} = R_2 I \text{ et } U_{AB} = R_{\text{éq}} I$$

$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CB} = R_1 \times I + R_2 \times I = (R_1 + R_2) \times I$$

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{AB} = R_{\text{éq}} I \\ U_{AB} = (R_1 + R_2) \cdot I \end{array} \right. \quad R_{\text{éq}} = R_1 + R_2$$

1.2) association en parallèle

a. Étude expérimentale



Pour  $R_1 = 80,5 \Omega$  alors  $1/R_1 = 0,012 \text{ S}$

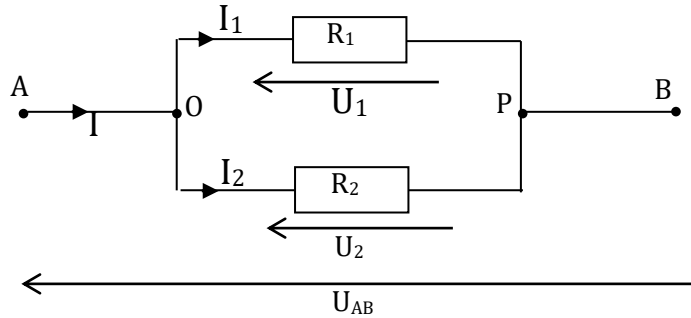
Pour  $R_2 = 46,5 \Omega$  alors  $1/R_2 = 0,021 \text{ S}$

On lit  $R_e = 29,5 \Omega$  alors  $1/R_e = 0,033 \text{ S}$

On constate que :  $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Leftrightarrow R_e = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$

D'une manière générale, pour l'association de n conducteurs ohmiques en parallèle, la résistance équivalente  $R_e$  est telle  $1/R_e = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$

b. étude théorique



$U_1 = R_1 \cdot I_1 ; U_2 = R_2 \cdot I_2 ; U_{AB} = R_{\text{éq}} \cdot I \text{ (} U_1 = U_2 = U_{AB} \text{)}$

La loi des nœuds en O :  $I = I_1 + I_2$

$I = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_{AB}}{R_1} + \frac{U_{AB}}{R_2} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)U_{AB}$

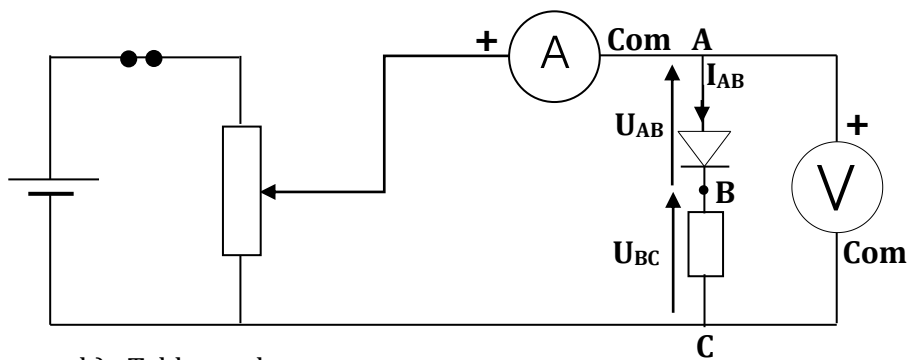
$I = \frac{U_{AB}}{R_{\text{éq}}}$

$$\begin{cases} I = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)U_{AB} \\ I = \frac{U_{AB}}{R_{\text{éq}}} \end{cases}$$

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

2. association en série d'un résistor et d'une diode à jonction

a) Schéma du dispositif expérimental



b) Tableaux de mesures

▪ Conducteur ohmique (seul)

U(V)	0	0,7	0,87	1	1,75
I (mA)	0	40	50	57	100

▪ Diode (seule)

U(V)	0	0,25	0,3	0,7	0,87	0,87	0,87
I (mA)	0	0	1	15	40	50	60

- Association diode - conducteur ohmique

U(V)	0	0,25	0,81	1,37	1,57	2	2,25
I (mA)	0	0	10	30	40	60	75

- c) Courbe  $I = f(U)$  (sur le même papier millimétré)

**1 cm ↔ 10 mA et 1 cm ↔ 0,25 V**

- d) Exploitation des courbes

Pour  $I = 30$  mA, Déterminer graphiquement la tension aux bornes du résistor ( $U_{BC}$ ), de la diode ( $U_{AB}$ ) et de l'association ( $U_{AC}$ ) : On a  $U_{BC} = 0,5$  V ;  $U_{AB} = 0,85$  V et  $U_{AC} = 1,37$  V

Pour  $I = 40$  mA, Déterminer graphiquement la tension aux bornes du résistor ( $U_{BC}$ ), de la diode ( $U_{AB}$ ) et de l'association ( $U_{AC}$ ). On a  $U_{BC} = 0,7$  V ;  $U_{AB} = 0,87$  V et  $U_{AC} = 1,57$  V

Pour chaque cas, comparer  $U_{BC} + U_{AB}$  et  $U_{AC}$

Pour  $I = 30$  mA, On a  $U_{BC} + U_{AB} = 1,35$  V et  $U_{AC} = 1,37$  V

$$\text{Donc } U_{BC} + U_{AB} \cong U_{AC}$$

Pour  $I = 40$  mA, On a  $U_{BC} + U_{AB} = 1,57$  V et  $U_{AC} = 1,57$  V

$$\text{Donc } U_{BC} + U_{AB} = U_{AC}$$

- e) Conclusion

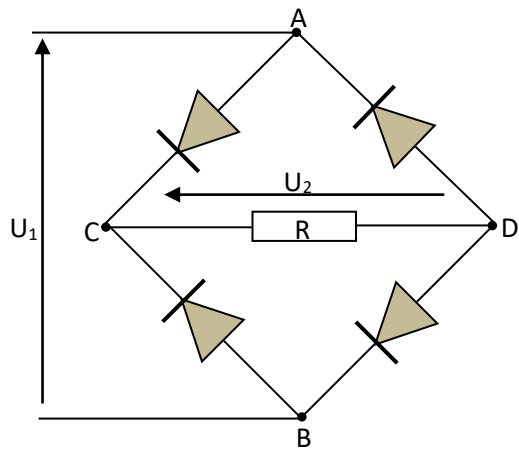
On peut construire point par point la caractéristique d'une association de dipôles montés en série en appliquant la loi d'additivité des tensions.

### Exercice d'application

#### Exercice 1

On réalise le pont de diodes de la figure ou R représente un conducteur ohmique.

1. Reprendre le schéma et Indiquer le sens des courants quand on applique une tension :
    - a)  $U_{AB} = U_1$  positive.
    - b)  $U_{AB} = U_1$  négative.
  2. Exprimer la tension  $U_{CD} = U_2$  en fonction de  $U_{AB} = U_1$  dans chaque cas ?  
Les diodes sont supposées idéales.  
( $U_{\text{diode}} = 0$ )
- Conclure.



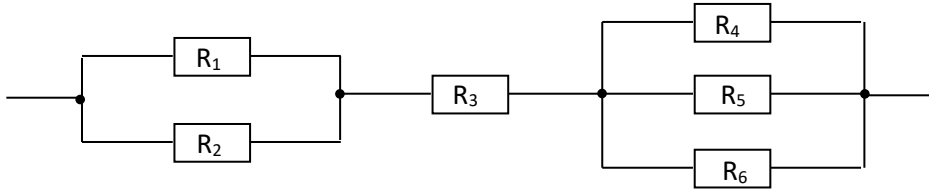
#### Résolution détaillée

1. Faire le schéma dans chaque cas.
2. a)  $U_1 = U_2$  lorsque la tension  $U_{AB}$  est positive  
b)  $-U_1 = U_2$  lorsque la tension  $U_{AB}$  est négative  
quelque soit la tension appliquée aux bornes de A et B, la tension aux bornes du conducteur Ohmique reste positive.

**Exercice 2**

Aux bornes d'un générateur (f.é.m :  $E = 100 \text{ V}$ , résistance interne :  $r = 15 \Omega$ ), on branche le dipôle AB constitué des résistances :

$R_1 = 20\Omega$  ;  $R_2 = 30\Omega$  ;  $R_3 = 10\Omega$  ;  $R_4 = 5\Omega$  ;  $R_5 = 10\Omega$  ;  $R_6 = 30\Omega$ .



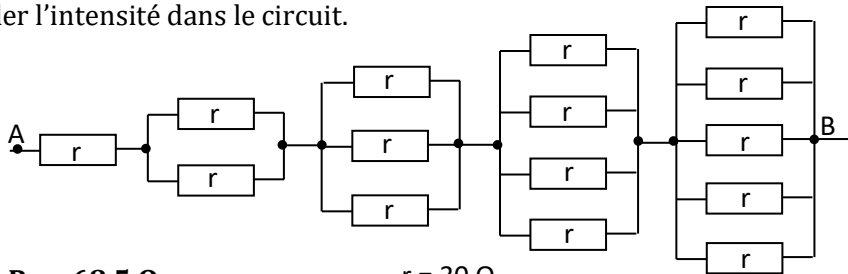
Déterminer la résistance équivalente  $R_e$  aux bornes de AB

Réponse :  $R_e = 25\Omega$

**Exercice 3**

Au bornes d'un générateur de f.é.m.  $E = 20 \text{ V}$  ; de résistance interne  $r = 1,5 \Omega$ , On branche le dipôle AB constitué par l'assemblage de quinze conducteurs ohmiques identiques de résistances :  $r = 30 \Omega$ .

Calculer l'intensité dans le circuit.



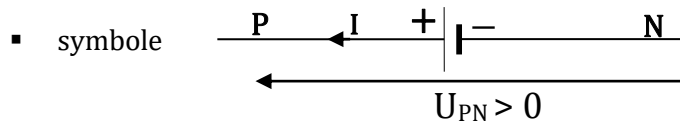
Réponse :  $R_e = 68,5 \Omega$

# ÉTUDE EXPERIMENTALE D'UN DIPÔLE ACTIF - POINT DE FONCTIONNEMENT

## I. ETUDE EXPERIMENTALE D'UN DIPÔLE ACTIF : CAS D'UNE PILE

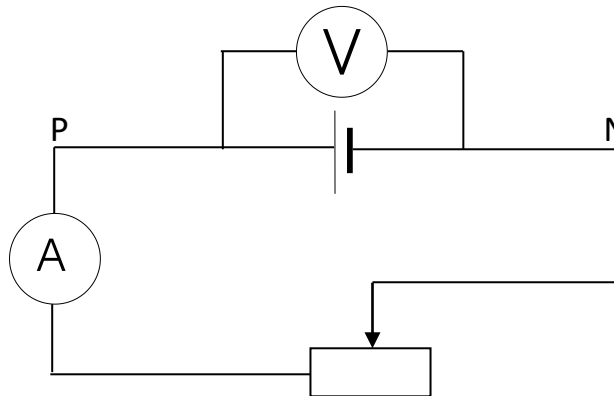
### 1. Définition d'un dipôle actif

Un dipôle actif est un dipôle dont la tension à ses bornes est non nulle même en circuit ouvert. Ces dipôles sont polarisés : Il possède une borne positive (+) et une borne négative (-). Les dipôles actifs constituent la famille des générateurs de symbole.



**Exemple : Les piles ; Les accumulateurs Les batteries ; les dynamos**

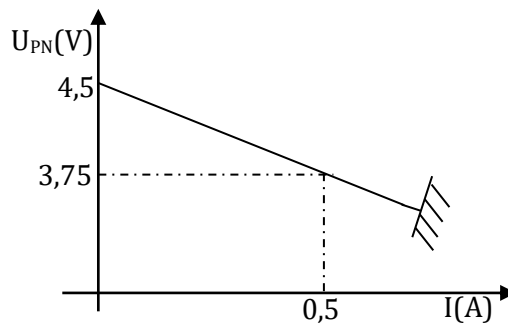
### 2. Schéma du dispositif expérimental



### 3. Tableau de mesure

$U_{PN}$ (V)	4,5	4,425	4,35	4,20	4,05	3,75
$I$ (A)	0	0,045	0,10	0,20	0,31	0,50

### 4. Courbe $U = f(I)$



### 5. Exploitation de la courbe

La courbe est une droite ne passant pas par l'origine du repère. Son équation est de la forme :

$$U_{PN} = a.I + b \text{ avec } a = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U(B) - U(A)}{I(B) - I(A)} = \frac{3,75 - 4,5}{0,5 - 0} = -1,5 \Omega$$

On pose  $a = -r$  :  **$r$  est appelé résistance interne de la pile** ;  $r = 1,5\Omega$

$b$  : ordonnée à l'origine, **est la force électromotrice (f.é.m) de la pile** notée :  $E = b = 4,5\text{ V}$

On a donc  $U_{PN} = 4,5 - 1,5.I$  (**loi D'OHM aux bornes de cette pile**)

### 6. Loi d'Ohm pour un générateur

La tension aux bornes d'un générateur de f.é.m  $E$  et de résistance interne  $r$  est proportionnelle à l'intensité  $I$  du courant qu'il débite.

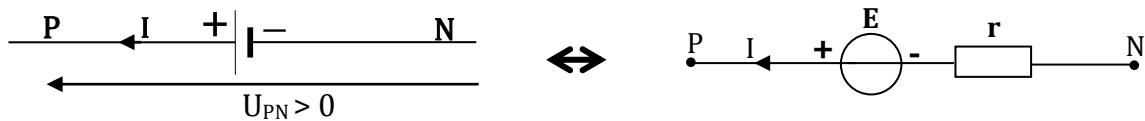
$$U_{PN} = E - r.I$$

avec  $U$  en V,  $E$  en V ;  $I$  en A et  $r$  en  $\Omega$

### Remarque :

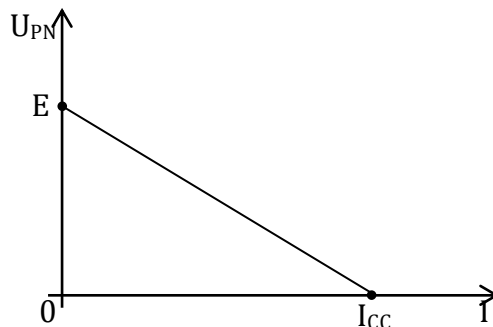
Si  $r = 0$  ;  $U_{PN} = E$  ; On dit qu'on a un générateur idéal de tension

**Schéma équivalent :**



### 7. Courant de court-circuit

Lorsqu'on relie par un fil conducteur les deux pôles d'un générateur, on l'a court-circuité. Ses deux bornes sont portées au même potentiel :  $V_P = V_N$  ;  $U_{PN} = 0$  c'est-à-dire  $E - r I_{CC} = 0$  donc :  **$I_{CC} = \frac{E}{r}$  est le courant de court-circuit**



## II. ASSOCIATION D'UN DIPÔLE ACTIF ET D'UN DIPÔLE PASSIF : POINT DE FONCTIONNEMENT

### 1. Définition du point de fonctionnement

C'est le couple tension - intensité ( $U$  ;  $I$ ) pour lequel le fonctionnement du circuit est normal.

### 2. Détermination du point de fonctionnement.

#### a) Méthode graphique

#### • Tableaux de mesures

##### ▪ Pour la pile

$U_{PN}$ (V)	4,5	4,35	4,20	4,05	3,75
$I$ (A)	0	0,10	0,20	0,31	0,50

##### ▪ Pour la lampe

$U_{AB}$ (V)	0	0,25	0,5	0,8	1,7	2,5	3	5
$I$ (A)	0	0,05	0,075	0,1	0,15	0,175	0,2	0,25

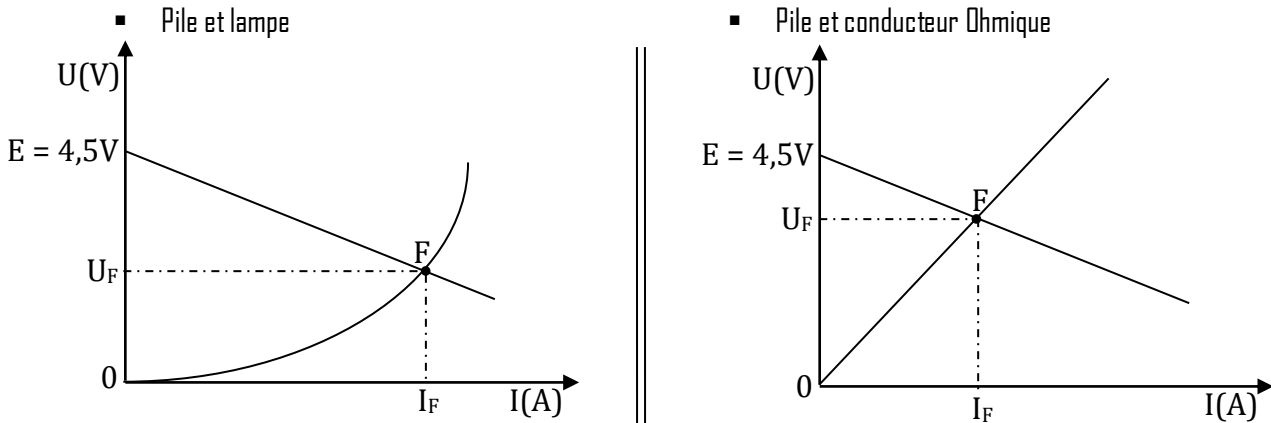
##### ▪ Pour le conducteur Ohmique

$U_{PN}$ (V)	4,5	4,425	4,35	4,20	4,05	3,75
$I$ (A)	0	0,045	0,10	0,20	0,31	0,50

- Tracé des courbes du point de fonctionnement :  $U = f(I)$  intensité-tension

Echelle : 1 cm pour 0,5 et 1 cm pour 0,05 A

L'allure des courbes est comme indiquée sur le schéma



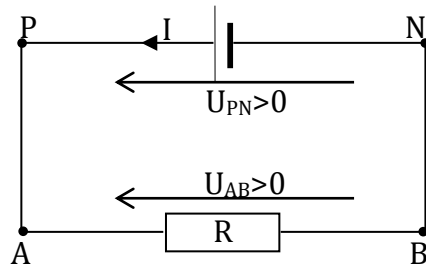
- Conclusion

**Le point de fonctionnement  $F(U,I)$  est le point d'intersection des deux courbes**

b) Méthode algébrique : Cas d'une pile et d'un résistor

Le point de fonctionnement peut être déterminé par calcul si les dipôles du circuit sont tous linéaires ; c'est le cas d'un conducteur Ohmique et d'une pile montés en série.

Exemple :



$$U_{PN} = E - rI$$

$$U_{AB} = R.I$$

On a :  $U_{PN} = U_{PA} + U_{AB} + U_{BN}$  ; avec  $U_{PA} = U_{BN} = 0$  donc :  $U_{PN} = U_{AB}$

$$E - rI = RI$$

D'où :

$$I = \frac{E}{R + r}$$

c) Généralisation : Loi de Pouillet

L'intensité du courant qui traverse un circuit constitué par des générateurs et des conducteurs ohmiques montés tous en série est donnée par la relation :

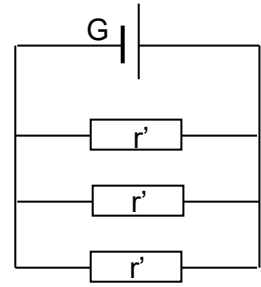
Où  $\sum E$  représente la somme de toutes les f.é.m en (V) et  $\sum R$  est la somme des résistances de tous les dipôles actifs et passifs en ( $\Omega$ ).

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

**Exercices d'applications****Exercice 1**

On dispose d'un générateur G (f.é.m.  $E = 12 \text{ V}$  et de résistance interne  $r = 2 \text{ } \Omega$ ) et de conducteurs ohmiques tous identiques de résistances  $r' = 30 \text{ } \Omega$ .

- Calculer l'intensité débitée par le générateur dans chacun des deux montages a et b.
- Calculer la tension aux bornes du générateur dans chaque cas.
- Calculer l'intensité  $i'$  à travers les résistances  $r'$ .

**Résolution détaillée**

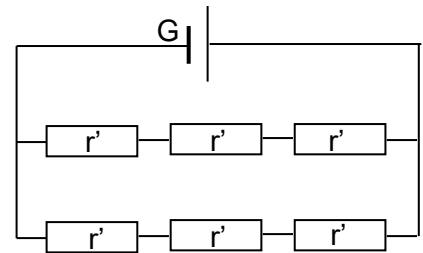
$$R_e = 10 \Omega; I = \frac{E}{R_e + r} = \frac{12}{10 + 2} = 1 \text{ A et } U_{PN} = E - rI = 12 - 2 \times 1 = 10 \text{ V}$$

$$U = r'I'; I' = \frac{U}{r'} = \frac{10}{30} = 0,333 \text{ A soit } I' = 333 \text{ mA}$$

**Exercice 2**

On dispose d'un générateur G (f.é.m.  $E = 12 \text{ V}$ ; de résistance interne  $r = 2 \text{ } \Omega$ ) et de conducteurs ohmiques tous identiques de résistances  $r' = 30 \text{ } \Omega$ .

- Calculer l'intensité débitée par le générateur dans chacun des deux montages a et b.
- Calculer la tension aux bornes du générateur dans chaque cas.
- Calculer l'intensité  $i'$  à travers les résistances  $r'$ .

**Résolution détaillée**

$$R_e = 45 \Omega; I = \frac{E}{R_e + r} = \frac{12}{45 + 2} = 0,255 \text{ A et } U_{PN} = E - rI = 12 - 2 \times 0,255 = 11,5 \text{ V}$$

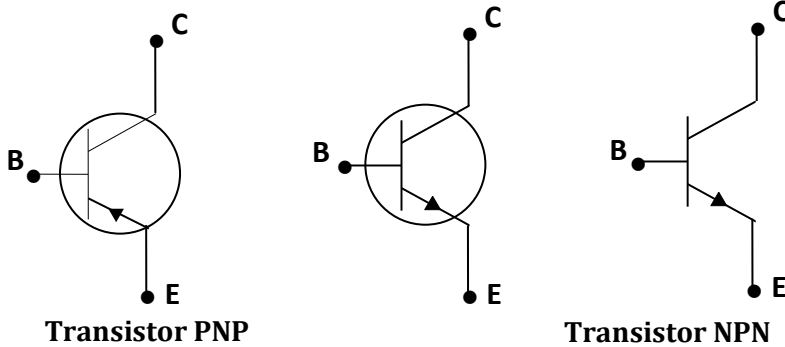
$$U = r'I'; I' = \frac{U}{3r'} = \frac{11,5}{90} = 0,128 \text{ A soit } I' = 128 \text{ mA}$$

# LE TRANSISTOR : UN AMPLIFICATEUR DE COURANT LA CHAÎNE ELECTRONIQUE

## I. LE TRANSISTOR

### 1. Description

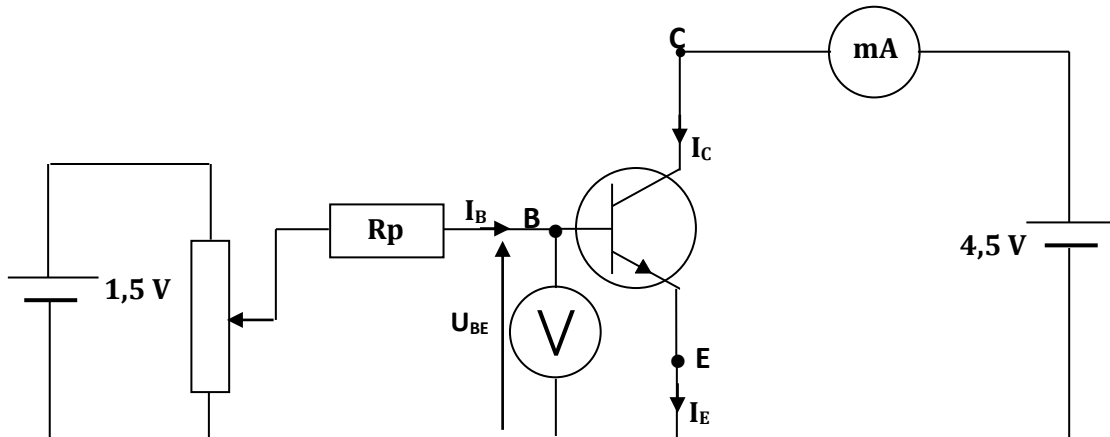
Le transistor est un composant électronique possédant trois bornes ou pôles. il en existe deux types :



La borne B est appelée base.  
La borne C est appelée collecteur.  
La borne E est appelée émetteur

### 2. Domaines de fonctionnement d'un transistor

#### a. Schéma du dispositif expérimental



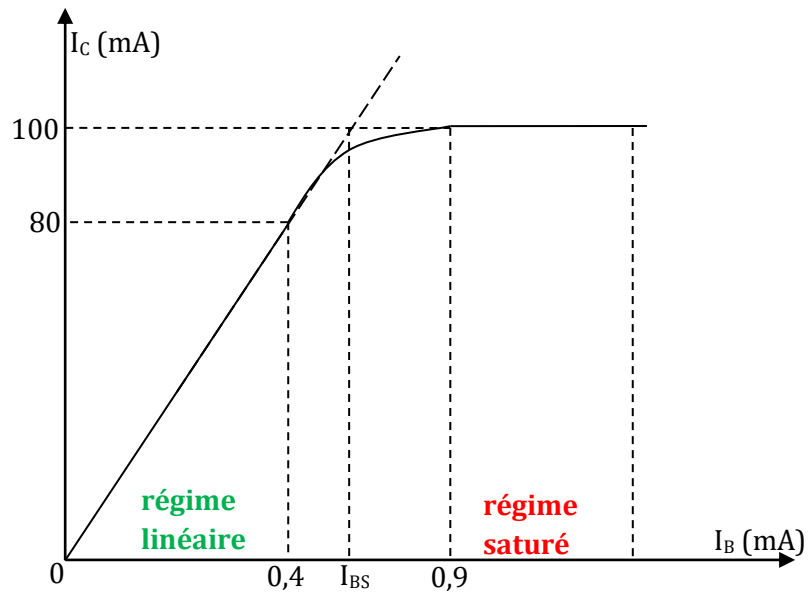
#### b. Résultats des mesures

$I_B$ (mA)	0	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,9	1,5
$I_C$ (mA)	0	0	0	20	40	60	80	97	100	100
$U_{BE}$ (V)	0	0,3	0,6	0,64	0,68	0,71	0,74	0,78	0,80	0,82

c. courbe  $I_C = f(I_B)$

Pour  $I_C : 1\text{cm} \leftrightarrow 10\text{mA}$

Pour  $I_B : 1\text{cm} \leftrightarrow 0,2\text{mA}$



d. exploitation du tableau et de la courbe

- Si  $U_{BE} < 0,6\text{V}$  ;  $I_B = I_C = 0$ , **le transistor est bloqué**. Il se comporte comme un interrupteur ouvert.
- Si  $U_{BE} > 0,6\text{V}$  alors  $I_B \neq 0$  et  $I_C \neq 0$ , **le transistor est débloqué** : il est dit passant ce transistor possède donc une tension seuil  $U_S = 0,6\text{V}$ .
- Si  $0,6\text{V} < U_{BE} < 0,8\text{V}$ , l'intensité  $I_C$  dans le collecteur est proportionnelle à celle dans la base  $I_C = \beta I_B$  avec  $\beta \gg 1$   $\beta$  est le **gain** d'amplification.

Le transistor fonctionne en amplificateur de courant. On parle de fonctionnement **linéaire** :

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = 200$$

La loi des nœuds donne  $I_E = I_B + I_C$

Si  $U_{BE} > 0,8\text{V}$ ,  $I_C = \text{cte} = 100\text{mA}$ . On dit que le transistor est **saturé**. il fonctionne **en régime saturé**.

e. Conclusion

Un transistor possède une tension seuil et a deux domaines de fonctionnement :

- Le domaine d'amplification
- Le domaine de saturation.

## II. LA CHAÎNE ELECTRONIQUE

Une chaîne électrique comporte :

### 1. Le capteur ou détecteur

Il est inséré dans le dispositif de commande monté à l'entrée du dispositif électronique. Il traduit la grandeur captée en une grandeur électrique. **Exemple LDR, CTN etc....**

### 2. Dispositif électronique

C'est un dispositif de traitement de signal : amplification (transistor)

### 3. L'alimentation

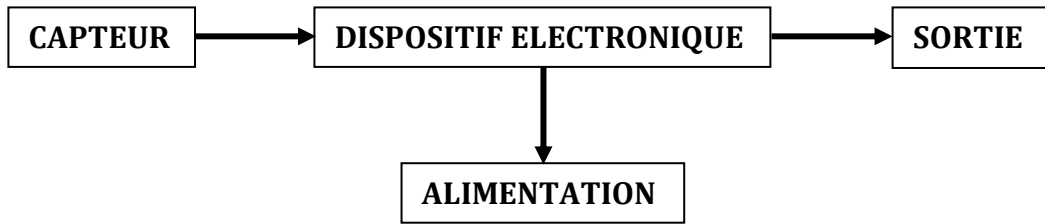
Elle fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement de la chaîne.

#### 4. Sortie

Elle sert de lien de communication entre l'appareil et l'homme,

*Exemple : sonnerie, haut parleur, etc.*

Une chaîne électronique peut donc être schématisée sous la forme :



### Exercices d'applications

#### Exercice 1

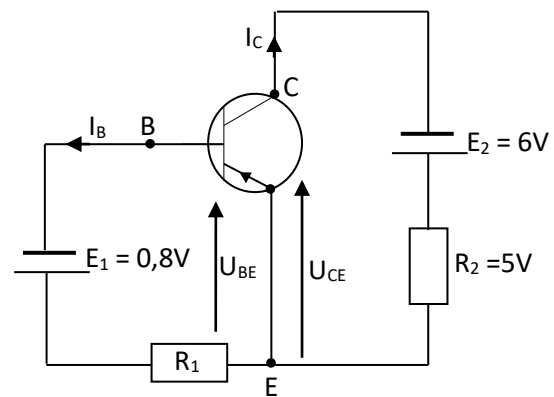
On donne, pour le montage de la figure

Les tensions  $U_{BE} = -0,65V$

$U_{CE} = -5V$

Le coefficient d'amplification en courant du transistor :  $\beta = \frac{I_C}{I_B} = 100$

Quelles sont les valeurs de  $I_C$ ,  $I_B$  et  $R_1$ , sachant que les générateurs ont une résistance interne négligeable ?



- Le calcul le plus simple est celui de  $I_C$ ; en effet l'ensemble (générateur  $E_2$ ; résistance  $R_2$ ) est équivalente à un générateur unique ( $E_2$ ;  $R_2$ ) dont le pôle + est l'émetteur E et le pôle - est le collecteur C. On a donc :  $U_{EC} = E_2 - R_2 I_C = -U_{CE}$

$$I_C = \frac{E_2 + U_{CE}}{R_2} = \frac{6 - 5}{25} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ A} = 0,4 \text{ mA}$$

- De même :

$$U_{BE} = E_1 - R_1 I_B = -U_{BE}$$

$$R_1 = \frac{E_1 + U_{BE}}{I_B} = \frac{0,8 - 0,65}{4 \cdot 10^{-4}} = \frac{1500}{4} = 375 \Omega$$

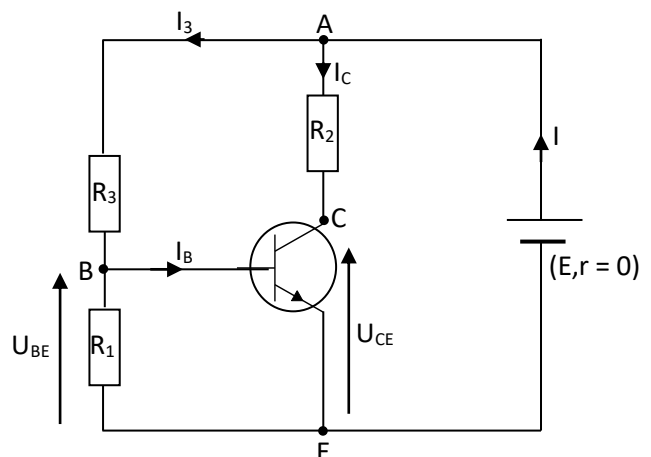
#### Exercice 2

La figure représente un transistor au germanium polarisée par un pont de résistances. Le générateur a pour f.é.m  $E = 10V$  et le transistor a pour coefficient d'amplification en courant  $\beta = 140$ . On impose les conditions de fonctionnement suivantes :

$$I_C = 5 \text{ mA} ; U_{CE} = 5V ; U_{BE} = 0,2V \text{ et}$$

$$I_1 = 8I_B$$

- Déterminer le sens du courant  $I_1$ .
- Quelles valeurs faut-il adopter pour les résistances  $R_1$ ;  $R_2$  et  $R_3$  ?
- Calculer la valeur de l'intensité  $I$



débitée par le générateur.

### Résolution détaillée

a. La tension  $U_{BE}$  doit être positive pour qu'un transistor NPN fonctionne. Le courant  $I_1$  circule donc de B vers E à travers la résistance  $R_1$ .

b. Calculons  $R_2$  exprimant la tension  $U_{AC}$

$$U_{AC} = R_2 \cdot I_C; R_2 = \frac{U_{AC}}{I_C}$$

$$U_{AC} = U_{AE} + U_{EC} = U_{AE} - U_{CE} = E - U_{CE}; \text{ donc } R_2 = \frac{E - U_{CE}}{I_C}$$

$$\text{A.N : } R_2 = \frac{10 - 5}{5 \cdot 10^{-3}} = 10^3 = 1 \text{ k}\Omega$$

Calculons  $R_1$  à partir de  $U_{BE}$  :  $R_1 = \frac{U_{BE}}{I_1}$  or ( $I_1 = 8I_B$ ;  $I_C = \beta I_B$ ) conduisent à  $I_1 = \frac{8I_C}{\beta}$  et

$$R_1 = \frac{\beta \cdot U_{BE}}{8I_C} = \frac{140 \times 0,2}{8 \times 5 \cdot 10^{-3}} = 700 \Omega$$

Calculons  $R_3$  à partir de  $U_{AB}$  :  $R_3 = \frac{U_{AB}}{I_3}$

$$U_{AB} = U_{AE} + U_{EB} = U_{AE} - U_{BE} = E - U_{BE}; \text{ loi des nœuds en B : } I_3 = I_1 + I_B$$

$$I_3 = 8I_B + I_B = 9I_B = \frac{9I_C}{\beta}$$

$$R_3 = \frac{(E - U_{BE}) \cdot \beta}{9I_C} = \frac{(10 - 0,2) \times 140}{9 \times 5 \cdot 10^{-3}}; R_3 = 3,05 \cdot 10^4 \Omega = 30,5 \text{ k}\Omega$$

c. Calculons la valeur de  $I$  en appliquant la loi des nœuds en A

$$I = I_3 + I_C = \frac{9}{\beta} I_C + I_C = I_C \cdot \frac{\beta + 9}{\beta}; I = 5 \times \frac{149}{140} = 5,3 \text{ mA}$$

### Exercice 3

On souhaite que le transistor utilisé dans le montage de la figure fonctionne dans les mêmes conditions que celle du problème. Le générateur est également le même. On a donc :

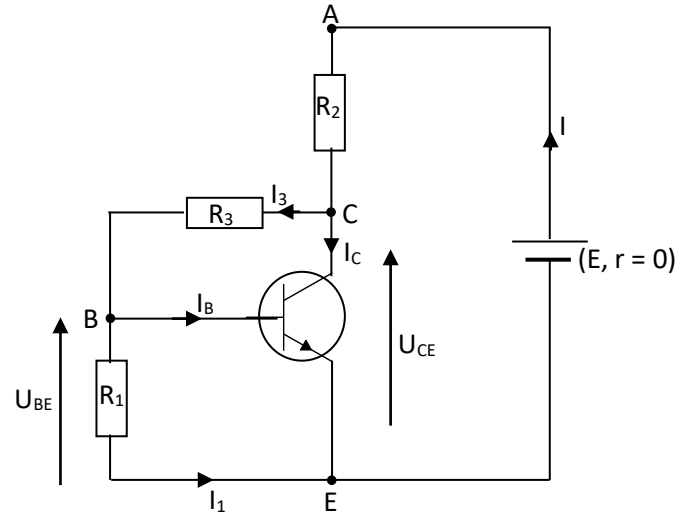
$$E = 10 \text{ V}; I_C = 5 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = 5 \text{ V}; U_{BE} = 0,2 \text{ V}$$

$$\beta = 140 \text{ et } I_1 = 8I_B$$

a. Calcul la valeur de l'intensité  $I$  du courant débité par le générateur.

b. Quelle valeur faut-il choisir pour les résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  ?



### Résolution détaillée

a. Calculons  $I$  en utilisant la loi des nœuds en E

$$I = I_1 + I_B + I_C = 9I_B + I_C; I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$I = \frac{9I_C}{\beta} + I_C = I_C \cdot \frac{\beta + 9}{\beta}; \text{ A.N } I = 5 \times \frac{149}{140} = 5,3 \text{ mA}$$

L'intensité du courant débitée par le générateur est la même que dans le montage du problème N°2

b. Les valeurs des résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$

- $R_1 = \frac{U_{BE}}{I_1}$  ; comme les valeurs de  $U_{BE}$  et de  $I_1$  sont inchangées par rapport à celles du problème N°2,  $R_1$  reste égal à  $700\Omega$  d'où  **$R_1 = 700\Omega$**

- $R_2 = \frac{U_{AC}}{I}$  ;  $U_{AC} = U_{AE} + U_{EC} = U_{AE} - U_{EC} = E - U_{CE}$   
 $I = \frac{(E - U_{CE}) \cdot \beta}{I_C(\beta + 9)}$  ; d'où  $R_2 = \frac{(10 - 5) \times 140}{5 \cdot 10^{-3} \times 140} = 940\Omega$  ;  **$R_2 = 940\Omega$**

- $R_3 = \frac{U_{CB}}{I_3}$  ;  $U_{CB} = U_{CE} + U_{EB} = U_{CE} - U_{EB}$

$$I_3 = I - I_C = I_C \cdot \frac{\beta + 9}{\beta} - I_C = I_C \times \frac{9}{\beta}$$

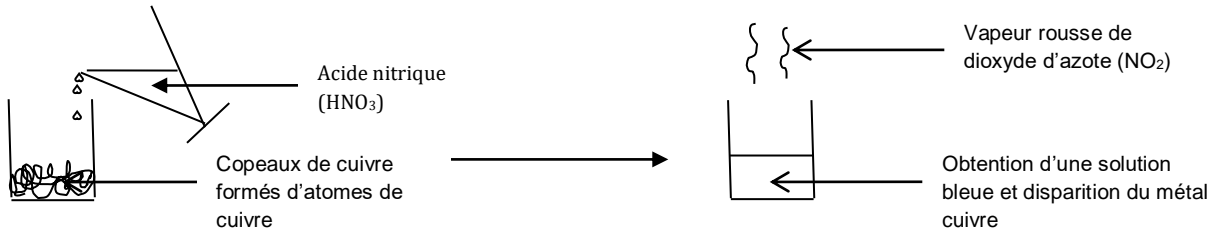
$$R_3 = \frac{(U_{CE} - U_{EB}) \cdot \beta}{9I_C} = \frac{(5 - 0,2) \times 140}{9 \times 5 \cdot 10^{-3}} = 1,49 \cdot 10^4 \Omega ; \mathbf{R_3 = 14,9 k\Omega}$$

# NOTION D'ÉLÉMENTS CHIMIQUES

## I. L'ÉLÉMENT CUIVRE

### 1. Réaction entre le métal cuivre et l'acide nitrique

#### a. Expérience et observations

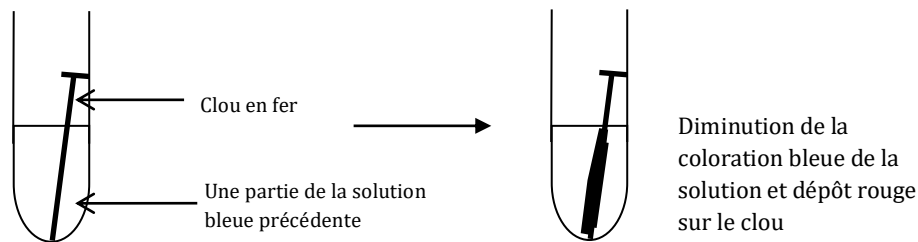


#### b. Conclusion

L'action de l'acide nitrique sur le métal cuivre donne une solution bleue de nitrate de cuivre II ( $Cu^{2+}$ ,  $NO_3^-$ ).

### 2. Action de la solution de nitrate de cuivre II sur le fer

#### a. Expérience et observations

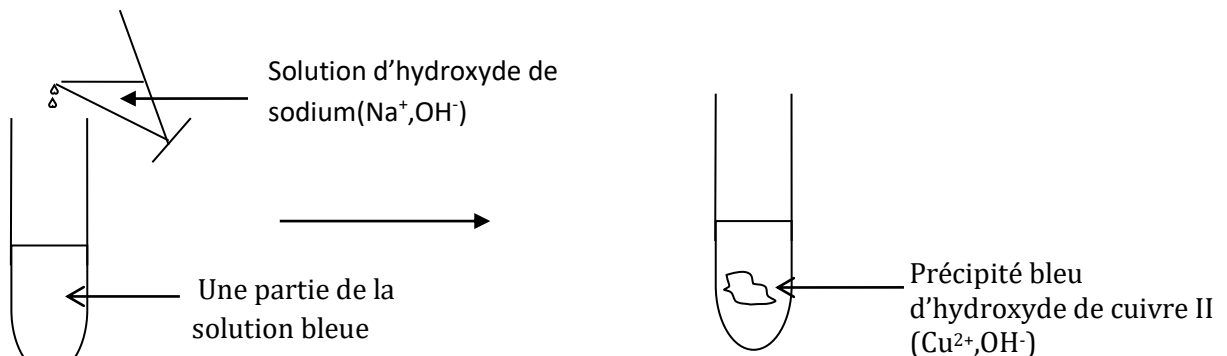


#### b. Conclusion

La réaction entre la solution de nitrate de cuivre II et le fer donne le métal de cuivre.

### 3. Nature de la solution bleue : action de la solution de soude ( $NaOH$ ) sur la solution de nitrate de cuivre II.

#### a. Expérience et observations



#### b. Conclusion

L'obtention de précipité bleu montre la présence d'ions cuivre II ( $Cu^{2+}$ ) dans la solution bleue précédente.

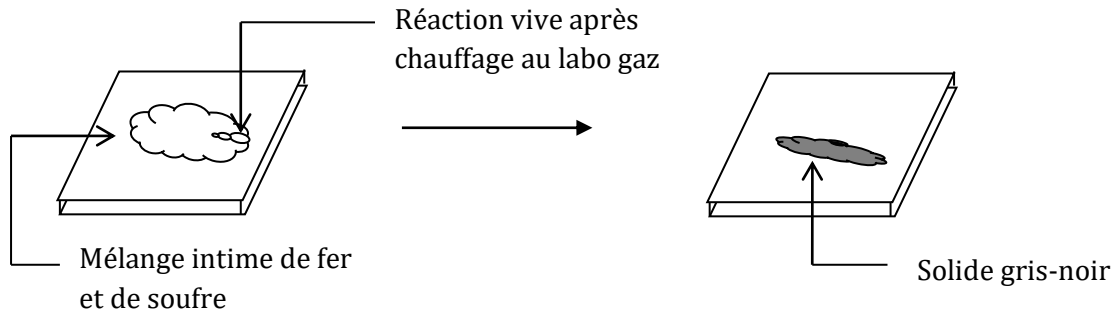
#### 4. L'élément cuivre

Le métal cuivre ( $Cu$ ), la solution bleue de nitrate de cuivre II ( $Cu(NO_3)_2$ ) et le précipité bleu d'hydroxyde de cuivre II ( $Cu(OH)_2$ ) ont en commun un élément : c'est l'élément chimique cuivre.

## II. L'ELEMENT SOUFRE

### 1. Réaction entre le fer et le soufre

#### a. Expérience et observations

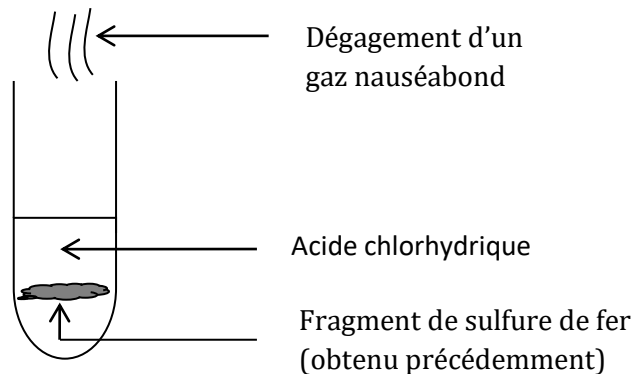


#### b. Conclusion

La réaction entre le fer et le soufre donne un solide gris- noir : le sulfure de fer ( $FeS$ ).

### 2. Action de l'acide chlorhydrique sur le sulfure de fer $FeS$

#### a. Expérience et observations



#### b. Conclusion

L'action de l'acide chlorhydrique sur le sulfure de fer donne un gaz nauséabond : le sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ )

### 3. L'élément soufre

Le sulfure de fer ( $FeS$ ) et le sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ) sont des espèces chimiques différentes qui ont en commun un élément : C'est l'élément soufre (S).

## III. LES ÉLÉMENTS CHIMIQUES ET LEURS SYMBOLES

### 1. Corps simples

Un corps simple ne contient qu'un seul élément. **Cu, Fe, S**

### 2. Corps composés

Un corps composé est constitué par plusieurs d'atomes.  **$H_2S$ ,  $FeS$ ,  $CuO$ ,  $CO_2$**

### 3. Définition d'un élément chimique

Un élément chimique est ce qui est commun à un corps simple et à tous ses composés.

### 4. Symbole des éléments chimiques

La matière est constituée à partir d'une centaine d'éléments chimiques (109)

Voici les symboles de quelques uns.

Nom de l'élément	Hydrogène	Oxygène	Carbone	Cuivre	Azote	Soufre	Fer
Symbole	H	O	C	Cu	N	S	Fe

Nom de l'élément	Zinc	Chlore	Aluminium	Sodium	Argent	Or	Brome	Etain	Mercure
Symbole	Zn	Cl	Al	Na	Ag	Au	Br	Sn	Hg

Exercice :

- Dénombrer et nommer les éléments présents dans les corps suivants : dichromate de potassium  $K_2Cr_2O_7$  ; permanganate de potassium  $KMnO_4$  ; carbonate de calcium  $CaCO_3$  ; saccharose  $C_{12}H_{22}O_{11}$  et l'urée  $CO(NH_2)_2$ .
- Quel est l'élément chimique commun à tous ses composés ?

**Résolution détaillée**

- Tableau récapitulatif

Corps	éléments chimiques	noms
$K_2Cr_2O_7$	K ; Cr ; O	K : potassium Cr : chrome <b>O : oxygène</b>
$KMnO_4$	K ; Mn ; O	K : potassium Mn : manganèse <b>O : oxygène</b>
$CaCO_3$	Ca ; C ; O	C : carbone Ca : calcium <b>O : oxygène</b>
$C_{12}H_{22}O_{11}$	C ; H ; O	C : carbone H : hydrogène <b>O : oxygène</b>
$CO(NH_2)_2$	C ; O ; N ; H	C : carbone H : hydrogène <b>O : oxygène</b> N : azote

- L'élément chimique commun à tous ses composés est l'oxygène : O

# STRUCTURE DE L'ATOME

## I. LES CONSTITUANTS DE L'ATOME

L'atome est constitué d'un **noyau** central autour duquel gravitent un ou plusieurs **électrons** noté ( $e^-$ ).

### 1. Le noyau

Le noyau est constitué de deux types de particules (les **protons** noté (**Z**) et les **neutrons** noté (**N**)). L'ensemble de ces particules constitue les **nucléons** ou **nombre de masse** et est noté **A**.

**A = Z + N** est appelé nombre de masse.

**Z** : est le numéro atomique ou nombre de charge.

**N** : est le nombre de neutrons.

Particules	Proton (p)	Neutron (n)
Masse	$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{kg}$	$m_n = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{kg}$
Charge	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$	0
Nombre	Z	N

**Remarque :** La masse des protons est égale à la masse des neutrons :  $m_p = m_n$

La charge des électrons est nulle.

### 2. L'électron

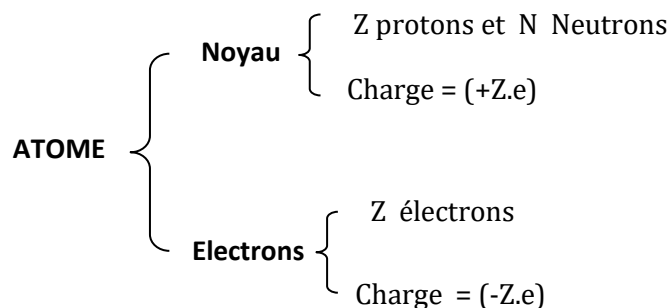
	masse	charge	nombre
électron ( $e^-$ )	$m_{e^-} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{Kg}$	$-e = - 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$	Z

**Remarque :** Le nombre de protons est égal au nombre de neutrons on écrit :

**Z (protons) = Z (électrons)**

### 3. L'électroneutralité de l'atome

Il ya Z protons et Z électrons dans un atome.



Charge totale de l'atome = charge du noyau + charge des électrons

$$= (+Z.e) + (- Z.e) = 0$$

La charge totale de l'atome est nulle : on dit que l'atome est **électriquement neutre**.

## II. MASSE ET DIMENSION DE L'ATOME ET DE SON NOYAU

### 1. Masse de l'atome et de son noyau

#### a. masse du noyau

$$m_{\text{noyau}} = Z \cdot m_p + N \cdot m_n \text{ or } m_p = m_n$$

donc

$$m_{\text{noy}} = (Z+N) \cdot m_p = A \cdot m_p \text{ car } Z + N = A$$

#### b. masse de l'atome

$$m_{\text{at}} = Z \cdot m_p + N \cdot m_n + Z \cdot m_{e^-} = A \cdot m_p + Z \cdot m_{e^-}$$

or  $m_p = 1835 m_e$  donc  $m_e$  est négligeable devant  $m_p$ .

$$M_{\text{atome}} = A \cdot m_p = m_{\text{noy}}$$

La masse de l'atome est pratiquement égale à celle du noyau.

### 2. Dimension d'un atome et de son noyau

#### Cas de l'atome d'hydrogène

rayon atomique :  $R_{\text{atomique}} = 54 \cdot 10^{-12} \text{m} = 54 \text{ pm}$

rayon de son noyau :  $R_{\text{noyau}} = 2 \cdot 10^{-15} \text{m} = 2 \cdot 10^{-3} \text{pm}$

avec pm = picomètre :  $1 \text{pm} = 10^{-12} \text{m}$

$R_{\text{at}} / R_{\text{noy}} = 2700 \Rightarrow R_{\text{at}} = 27000 R_{\text{noy}}$ .

#### Conclusion

Si le noyau avait un rayon de 1m, l'atome en aurait un rayon de  $27000 \text{m} = 27 \text{ km}$ .

Il ya donc un grand vide au sein de l'atome. On dit que l'atome a une **structure lacunaire**.

### 3. Notation du noyau d'un atome et d'un nucléide

Un noyau est caractérisé par le couple **(Z, A)**, chaque couple est appelé **nucléide**. Ainsi tout nucléide ou noyau de symbole X sera représenté par :  $\frac{A}{Z}X$

où X : symbole de l'élément chimique

A : Nombre de masse ou nombre de nucléon,

Z : nombre de proton ou numéro atomique.

**Exemple : nucléide hydrogène  ${}^1_1\text{H}$  ; nucléide carbone  ${}^{12}_6\text{C}$**

### 4. Notion d'isotopes

On appelle isotopes d'un noyau, des nucléides ayant le même numéro atomique Z mais les nombres de masse A différents.

Exemple : isotope de carbone  ${}^{12}_6\text{C}$ ,  ${}^{13}_6\text{C}$ ,  ${}^{14}_6\text{C}$  ; et isotope d'hydrogène :  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^3_1\text{H}$ .

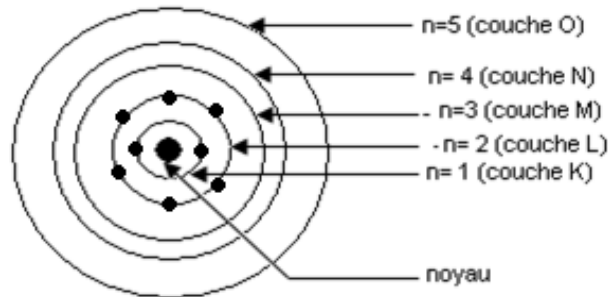
**Remarque :** L'ensemble des nucléides qui ont le même numéro atomique Z constitue un élément chimique.

### III. STRUCTURE ELECTRONIQUE DES ATOMES

#### 1. Couches électroniques

Les électrons d'un atome sont repartis sur différents niveaux successifs appelés **couches électroniques** ou **niveaux d'énergie** noté respectivement : **K** (1<sup>ère</sup> couche), **L** (2<sup>ème</sup> couche), **M** (3<sup>ème</sup> couche), **N** (4<sup>ème</sup> couche), **O** (4<sup>ème</sup> couche)

- Chaque couche est représentée par un nombre entier naturel **n** appelé **nombre quantique**.



#### 2. Règles de remplissage des couches

##### a. Principe de Pauli

Chaque couche électronique de rang **n** ne peut contenir au plus  **$2n^2$  électrons**.

couches	K	L	M	N
nombre n quantique	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4
nombre d'électron	2	8	18	32

##### b. principe de construction

Les électrons occupent successivement les couches en commençant par celles ayant les nombres **n** les plus faibles, c'est-à-dire dans l'ordre **K, L, M, N**

#### 3. Structure électronique d'un atome.

La formule électronique d'un atome est obtenue en écrivant la lettre qui correspond à chaque couche et en indiquant à droite, en exposant le nombre d'électrons sur la couche.

##### Exemples

symbole	H	C	Na	Al	Cl
numéro atomique	1	6	11	13	17
formule électronique	$K^1$	$K^2L^4$	$K^2L^8M^1$	$K^2L^8M^3$	$K^2L^8M^7$

##### Remarque :

L'état de l'atome obtenu en appliquant le principe de construction est appelé **état fondamental**. Certains éléments n'obéissent pas au principe de Pauli à cause de leurs propriétés chimiques.

**Exemple :**  ${}_{19}K : K^2L^8M^8N^1$  ;  ${}_{20}Ca : K^2L^8M^8N^2$

La dernière couche est appelée **couche externe** ou **couche de valence** ou **couche périphérique**.

#### 4. Représentation de Lewis des atomes

La représentation de Lewis consiste à schématiser la répartition des électrons sur la dernière couche de l'atome.

Par convention :

- un électron célibataire est représenté par un point (•)
- un doublet d'électrons est représenté par un tiret (–)

#### Exemple

Elément	Symbole du noyau	Formule électronique	Représentation de Lewis
Hydrogène	${}^1_1H$	K <sup>1</sup>	$\cdot$ H
Carbone	${}^{12}_6C$	K <sup>2</sup> L <sup>4</sup>	$\cdot$ •C• •
Oxygène	${}^{16}_8O$	K <sup>2</sup> L <sup>6</sup>	•O• –
Magnésium	${}^{24}_{12}Mg$	K <sup>2</sup> L <sup>8</sup> M <sup>2</sup>	•Mg•
Phosphore	${}^{31}_{15}P$	K <sup>2</sup> L <sup>8</sup> M <sup>5</sup>	•P• •
Chlore	${}^{35}_{17}Cl$	K <sup>2</sup> L <sup>8</sup> M <sup>7</sup>	–  Cl• –

#### Exercice 1

Compléter le tableau suivant :

Atome	Nombre de masses (A)	Nombre de protons (Z)	Nombre de neutrons (N)	Nombre d'électrons	Masse du noyau	Masse des électrons	Masse de l'atome
Be	9	4	5	4	9m <sub>p</sub>	4m <sub>e</sub>	9m <sub>p</sub> +4m <sub>e</sub>
S	32	16	16	16	32m <sub>p</sub>	16m <sub>e</sub>	32m <sub>p</sub> +16m <sub>e</sub>
Al <sup>3+</sup>	27	13	14	10	27m <sub>p</sub>	10m <sub>e</sub>	27m <sub>p</sub> +10m <sub>e</sub>
F <sup>-</sup>	19	9	10	10	19m <sub>p</sub>	10m <sub>e</sub>	19m <sub>p</sub> +10m <sub>e</sub>

#### Exercice 2

1. Un corps pur simple de masse m = 10g contient 3,74.10<sup>23</sup> atomes.  
Calculer la masse d'un atome de ce corps pur et déduire le nombre de nucléons A contenus dans le noyau.  
Son nombre de neutrons est N = 8, calculer son numéro atomique Z ; donner sa formule électronique. Quel est cet élément ? Quel ion est-il susceptible de créer ?
2. Le nuage électronique d'un atome possède la charge électrique Q = -1,92.10<sup>-18</sup> C  
Calculer le nombre d'électrons dans l'atome et déduire son numéro atomique Z.  
Donner sa formule électronique ? Quel est cet élément ? Quel ion est-il susceptible de créer ?

**Résolution détaillée**

1. Masse d'un atome de ce corps purs.

$$m_p = \frac{m}{N_{\text{atomes}}} = \frac{10}{3,7410^{23}} = 2,67.10^{-23} \text{ g}$$

$$A = \frac{m}{m_p} = \frac{2,67.10^{-26}}{1,67.10^{-27}} = 15,98 = 16$$

$$Z = A - N = 16 - 8 = 8 ; \mathbf{Z = 8}$$

$K^2L^6$  donc O (oxygène) donc  $O^{2-}$

2. Le nombre d'électrons dans l'atome.

$$n_{e^-} = \frac{Q}{-e} = \frac{1,92.10^{-18}}{-1,6.10^{-19}} = 12$$

$\mathbf{Z = 12}$  d'où  $K^2L^8M^2$  donc Mg (magnésium) on a  $Mg^{2+}$

# CLASSIFICATION PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

## I. PRINCIPE DE LA CLASSIFICATION

### 1. Tableau simplifié de classification

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	$1\text{H}$ Hydrogène							$2\text{He}$ Hélium
2	$3\text{Li}$ Lithium	$4\text{Be}$ Béryllium	$5\text{B}$ Bore	$6\text{C}$ Carbone	$7\text{N}$ Azote	$8\text{O}$ Oxygène	$9\text{F}$ Fluor	$10\text{Ne}$ Néon
3	$11\text{Na}$ Sodium	$12\text{Mg}$ Magnésium	$13\text{Al}$ Aluminium	$14\text{Si}$ Silicium	$15\text{P}$ Phosphore	$16\text{S}$ Soufre	$17\text{Cl}$ Chlore	$18\text{Ar}$ Argon
4	$19\text{K}$ Potassium	$20\text{Ca}$ Calcium						

### 2. Règles d'édification du tableau

Les éléments sont classés par ordre **croissant de numéro atomique Z** et ils sont disposés en ligne (horizontal) et en colonne (verticale).

#### a) ligne ou période

Tous les éléments qui se terminent par la même couche ont la même **période**.

**Exemple : Li (Z = 3) :  $K^2L^1$  et Be (Z = 4) :  $K^2L^2$  sont de la même période.**

**NB :** pour connaître la période ou la ligne, on dénombre le nombre de couche dans la structure électronique.

#### b) colonne

Tous les éléments d'une même **colonne** ont le même nombre d'électrons sur leur couche externe.

**Exemple : Li (Z = 3) :  $K^2L^1$  et Na (Z = 11) :  $K^2L^8M^1$  ont la même colonne.**

## II. LES PRINCIPALES FAMILLES ET LEURS PROPRIÉTÉS

### 1. Définition de famille

Dans le tableau de classification périodique les éléments d'une même colonne forment une **même famille**. On identifie cinq (05) familles selon la colonne à laquelle elles appartiennent.

#### a. Famille des métaux alcalins

C'est tous les éléments excepté l'Hydrogène qui comptent un (01) seul électron sur leur couche externe. Ils appartiennent tous à la première colonne.

**Le lithium Li (Z = 3) :  $K^2L^1$**

**Le Sodium Na (Z = 11) :  $K^2L^8M^1$**

Les alcalins sont des métaux mous très oxydables à froid par le dioxygène de l'air. Tous réagissent violemment avec l'eau en produisant du dihydrogène.

Ils perdent facilement leur seul électron pour donner des cations métalliques.

b. Famille des métaux alcalino-terreux

C'est tous les éléments qui comptent deux (02) électrons sur leur couche externe. Ils appartiennent tous à la deuxième colonne.

Ils ont tendance à perdre ces deux électrons pour donner des cations métalliques. Ils s'oxydent très facilement en donnant des oxydes réfractaires.

**Le Béryllium Be (Z = 4) :  $K^2L^2$**

**Le magnésium Mg (Z = 12) :  $K^2L^8M^2$**

c. Familles des chalcogènes

C'est tous les éléments qui comptent six (06) électrons sur leur couche externe. Ils appartiennent tous à la sixième colonne.

**L'Oxygène O (Z = 8) :  $K^2L^6$**

**Le Soufre S (Z = 16) :  $K^2L^8M^6$**

d. Famille des halogènes

C'est tous les éléments qui comptent sept (07) électrons sur leur couche externe. Ils tous appartiennent à la septième colonne.

**Le Fluor (Z = 9) :  $K^2L^7$**

**Le Chlore Cl (Z = 17) :  $K^2L^8M^7$**

Ils ont tendance à capter un électron pour donner des anions. Ils réagissent avec l'hydrogène pour donner des halogénures d'hydrogènes.

e. Famille des gaz rares

C'est tous les éléments excepté l'Hélium qui comptent un huit (08) électrons sur leur couche externe. Ils appartiennent tous à la huitième colonne.

**Le Néon Ne (Z = 10) :  $K^2L^8$**

**L'Argon Ar (Z = 18) :  $K^2L^8M^8$**

Ils sont très stables et caractérisés par une réactivité chimique quasi nulle.

### Exercice d'application

#### Exercice 1

Un élément chimique à la formule électronique suivante :  $K^2L^8M^2$

1. A quelle ligne et à quelle colonne de la classification périodique appartient-il ?
2. Identifier l'élément par son nom et son symbole.

#### Résolution détaillée

M donc  $n = 3$  donc période ou ligne = 3

électrons de valence = 2 donc 2<sup>ème</sup> colonne.

3<sup>ème</sup> ligne et 2<sup>ème</sup> colonne d'où le magnésium (Mg)

#### Exercice 2

Un élément chimique X appartenant à la troisième période possède la structure de Lewis suivantes :  $\boxed{X} \cdot$

- a. Quelle est sa formule électronique ?
- b. Quel est son numéro atomique ?
- c. Quelle est sa famille ?
- d. de quel élément s'agit-t-il ?

#### Résolution détaillée

- a. la formule électronique est :  $K^2L^8M^7$
- b. le numéro atomique est :  $Z = 17$
- c. C'est la famille des halogènes
- d. Il s'agit du Chlore de symbole : Cl

# IONS ET MOLÉCULES

## I. FORMATION DES IONS

### 1. Règle de l'octet

Lors des réactions chimiques, les atomes évoluent de façon à acquérir huit électrons sur leur couche externe, identique à celle du gaz rare le plus proche dans le tableau de classification périodique des éléments.

### 2. Ions monoatomiques

Ils sont issus d'atomes qui ont gagné ou perdu un ou plusieurs électrons.

Exemples :

	Symbole et nom	Formule électronique
CATIONS	Na <sup>+</sup> : ion sodium Mg <sup>2+</sup> : ion magnesium Al <sup>3+</sup> : ion aluminum	K <sup>2</sup> L <sup>8</sup> K <sup>2</sup> L <sup>3</sup> K <sup>2</sup> L <sup>8</sup>
ANIONS	Cl <sup>-</sup> : ion chlorure F <sup>-</sup> : ion fluorure S <sup>2-</sup> : ion sulfure	K <sup>2</sup> L <sup>8</sup> M <sup>8</sup> K <sup>2</sup> L <sup>8</sup> K <sup>2</sup> L <sup>8</sup> M <sup>8</sup>

### 3. Ions polyatomiques

C'est un assemblage d'atomes qui a globalement perdu ou gagné un ou des électrons.

Formule chimique	OH <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Nom	ion hydroxyde	ion nitrate	ion sulfate	ion carbonate	ion ammonium	ion hydronium	ion dichromate	ion permanganate

### 4. Composés ioniques

Un composé ionique est un édifice stable électriquement neutre formé de cations et d'anions. Il est représenté par sa formule statistique.

Nom du composé ionique	Ions présents		Formule ionique	Formule statistique
	cations	anions		
Chlorure de sodium	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	(Na <sup>+</sup> ; Cl <sup>-</sup> )	NaCl
Sulfate d'aluminium	Al <sup>3+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	(2 Al <sup>3+</sup> ; 3SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
Sulfate de fer II	Fe <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	(Fe <sup>2+</sup> ; SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	FeSO <sub>4</sub>
Hydroxyde de calcium	Ca <sup>2+</sup>	OH <sup>-</sup>	(Ca <sup>2+</sup> ; 2OH <sup>-</sup> )	Ca(OH) <sub>2</sub>

## II. FORMATION DES MOLECULES

### 1. Liaison de covalence ou liaison covalente

Une liaison de covalence entre deux atomes résulte de la mise en commun par ces deux atomes, de deux électrons périphériques.

### 2. Valence d'un atome

La valence d'un élément chimique est le nombre de liaison de covalence que l'atome de cet élément peut établir avec d'autres éléments.

Exemple :

**L'hydrogène est monovalent (valence(H)=1)**

**L'oxygène est divalente (val(O)=2)**

**L'azote est trivalent (val(N)=3)**

**Le carbone est tétravalent (val(C)=4)**

### 3. Molécule

Une molécule est un édifice chimique stable, électriquement neutre formé d'atomes liés entre eux par des liaisons de covalence.

Molécule	Formule des liaisons	Schéma de Lewis de la molécule	Type de liaison
H <sub>2</sub>		H—H	Liaison de covalence simple
O <sub>2</sub>			Liaison de covalence double
N <sub>2</sub>		IN≡NI	Liaison de covalence triple
HCl		H—Cl	Liaison de covalence simple

### 4. caractéristiques géométriques de certaines molécules

Molécule nom	formule	Caractéristique géométrique modèle éclaté (longueur de liaison d en nm)	Modèle électronique	Formule développée	Modèle compact
Dihydrogène	H <sub>2</sub>		H:H	H—H	
Dichlore	Cl <sub>2</sub>		:Cl:Cl:	Cl—Cl	
Chlorure d'hydrogène	HCl		H:Cl:	H—Cl	
Dioxygène	O <sub>2</sub>		Ö:Ö	O=O	
Eau	H <sub>2</sub> O				
Ammoniac	NH <sub>3</sub>				
Dioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>		Ö:C:Ö	O=C=O	
Méthane	CH <sub>4</sub>				

### **III. CORPS PURS ET MELANGE**

#### 1. Corps pur

Un corps pur simple est constitué d'atomes ou de molécules identiques.

##### Exemple

**Cu ; Fe ; H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ; Cl<sub>2</sub>**

#### 2. Corps composé

Un corps composé est constitué à partir de molécules ayant des atomes différents.

##### Exemple

**CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>**

#### 3. Mélange

Un mélange est constitué de plusieurs types de molécules ou d'atomes

##### Exemple

L'air ; mélange de poudre de fer et de fleur de soufre

# LA MOLE ET LES GRANDEURS MOLAIRES

## I. QUANTITE DE MATIERE

### 1. la mole

La mole de symbole **mol** est l'unité de quantité de matière. Elle désigne la quantité de matière contenant  $6,02 \cdot 10^{23}$  entités élémentaires (atomes, molécules, ions etc...)

### 2. la constante ou le nombre d'Avogadro

Elle désigne le nombre d'entités élémentaires contenu dans une mole.

On la note  $N_A = N = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

Exemples

**1 mol d'atomes de cuivre renferme  $6,02 \cdot 10^{23}$  atomes de cuivre.**

**1 mol de molécules d'eau renferme  $6,02 \cdot 10^{23}$  molécules d'eau.**

**1 mol d'ions sodium renferme  $6,02 \cdot 10^{23}$  ions sodium.**

## II. GRANDEURS MOLAIRES

### 1. la masse molaire

La masse molaire notée  $M$  d'une entité élémentaire (atomes, molécules, ions etc) est la masse d'une mole de cette entité. Son unité est **g/mol** ou **g.mol<sup>-1</sup>**.

#### a. La masse molaire atomique

C'est la masse d'une mole d'atomes. Elle correspond généralement au nombre de masse de l'élément considéré.

**Exemple**  $M_C = 12 \text{ g.mol}^{-1}$ ;  $M_O = 16 \text{ g/mol}$ ;  $M_H = 1 \text{ g/mol}$ .

#### b. La masse molaire moléculaire

C'est la masse d'une mole de molécules. Elle est égale à la somme des masses molaires atomiques des atomes qui constituent la molécule.

**Exemple**

$$M(C_4H_{10}) = 4M_C + 10M_H = 58 \text{ g/mol}$$

$$M(C_6H_{12}O_6) = 6M(C) + 12M(H) + 6M(O) = 180 \text{ g/mol}$$

### 2. Expression de la quantité de matière

La quantité de matière ou nombre de moles noté  $n$  d'un échantillon de matière dont on connaît la masse est :

$$n = \frac{m}{M}$$

masse ( $m$ ) en kg

masse molaire ( $M$ ) en  $\text{g.mol}^{-1}$

mole ( $n$ ) en mol

Remarque :

Si  $N$  désigne le nombre d'entités élémentaires alors  $n$  se détermine :

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

$n$  : mol

$N$  : sans unité

$N_A$  : en  $\text{mol}^{-1}$

Application

1. Un morceau de sucre de masse  $m = 3,0$  g contient essentiellement du saccharose de formule  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Quelle est la quantité de matière  $n$  du sucre contenu dans ce morceau ?
2. Un clou en fer contient  $3,5 \cdot 10^{21}$  atomes de fer Fe, quelle est la quantité de matière contenue dans ce clou ?

### Résolution détaillée

1.  $n(C_{12}H_{22}O_{11}) = \frac{m}{M} = \frac{3,0}{342} = 8,8 \cdot 10^{-3}$  mol
2.  $n(Fe) = \frac{N}{N_A} = \frac{3,5 \cdot 10^{21}}{6,02 \cdot 10^{23}}$  donc  $n(Fe) = 5,8 \cdot 10^{-3}$  mol

### 3. Volume gazeux et quantité de matière

#### a. Loi d'Avogadro- Ampère

Dans les mêmes conditions de température et de pression une mole de molécules d'un gaz quelconque occupe le même volume.

#### b. Volume molaire

Le volume molaire est le volume occupé par une mole de gaz. Il se note  $V_m$  et s'exprime en L/mol.

Dans les conditions normales de température et de pression (CNTP) ( $0^\circ$  ;  $1,013 \cdot 10^5$  Pa = 1atm).  $V_m = V_0 = 22,4$  L/mol.

#### c. Relation entre le volume V d'un gaz et la quantité de matière

La quantité de matière d'un gaz de volume V est donnée par :

$$\text{(mol)} \longrightarrow n = \frac{V}{V_m} \longleftarrow \begin{array}{l} \text{(L)} \\ \text{(L/mol)} \end{array}$$

#### Application

Un gaz occupe dans les CNTP un volume  $V = 0,3$  cm<sup>3</sup>. Calculer la quantité de matière  $n$  contenu dans ce gaz.

#### Réponse

$$n = \frac{V}{V_M} = \frac{300,1}{22,4} = 13,39 \text{ mol}$$

#### d. Masse molaire et densité d'un gaz

La densité  $d$  d'un gaz par rapport à l'air est le rapport de la masse molaire  $M$  de ce gaz par 29.

$$\text{Sans unité} \longrightarrow d = \frac{M}{29} \longleftarrow \text{g/mol}$$

#### Application

Calculer la densité du gaz butane

#### Réponse

$$M(C_4H_{10}) = 4 \cdot M(C) + 10 \cdot M(H) = 58 \text{ g/mol}$$

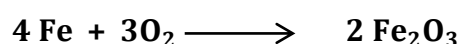
$$d = \frac{M}{29} = \frac{58}{29} = 2$$

# ÉQUATION - BILAN D'UNE RÉACTION CHIMIQUE

## I. RÉACTION CHIMIQUE

### 1. exemple de réaction chimique

Pendant l'harmattan les poteaux en fer du lycée se rouillent, nous savons que le fer se rouille au contact de l'air humide, c'est une oxydation lente dont l'équation bilan simplifié est :



Les réactifs sont le fer Fe et le dioxygène O<sub>2</sub>

Le produit est l'oxyde ferrique **Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

### 2. définition

Au cours d'une réaction chimique ; les corps que l'on met en présence (les réactifs) disparaissent en se transformant en de nouvelles espèces chimiques (les produits) de la réaction.

## II. ÉQUATION-BILAN D'UNE REACTION CHIMIQUE

### 1. définition

Une réaction chimique est une réaction qui traduit des relations de proportions entre les quantités de matières des réactifs utilisés et ceux des produits formés.

### 2. conséquences

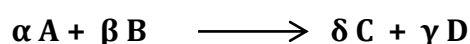
Conservations des éléments chimiques

Conservations des atomes

Conservations des masses

### 3. bilan molaire d'une réaction chimique

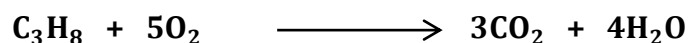
Soit la réaction suivantes affectés des coefficients  $\alpha$  ;  $\beta$  ;  $\delta$  ;  $\gamma$ , les corps A, B, C et D sont solides, liquides, ou gaz.



bilan molaire :

$$\frac{n_A}{\alpha} = \frac{n_B}{\beta} = \frac{n_C}{\gamma} = \frac{n_D}{\delta}$$

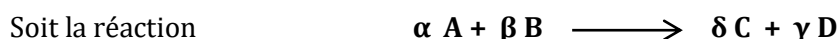
exemple :



$$\frac{n(\text{C}_3\text{H}_8)}{1} = \frac{n(\text{O}_2)}{5} = \frac{n(\text{CO}_2)}{3} = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{4}$$

#### 4. Proportions stœchiométriques

Deux réactifs sont pris dans les proportions stœchiométriques si ces réactifs réagissent dans les proportions comme suit :



Égalités entre ces rapports : 
$$\frac{n_A}{\alpha} = \frac{n_B}{\beta} \Rightarrow \frac{n_A}{n_B} = \frac{\alpha}{\beta}$$

#### 5. Réactifs en excès et réactifs en défaut

Si deux réactifs réagissent dans des proportions non stœchiométriques c'est à dire si

$$\frac{n_A}{n_B} \neq \frac{\alpha}{\beta}$$

Alors il existe un des réactifs qui est en **excès** et l'autre en **défaut**.

**N.B :** si  $\frac{n_A}{n_B} > \frac{\alpha}{\beta}$  (alors A est en excès et B est en défaut)

**Remarque :** le réactif en défaut est le réactif pris dans les proportions stœchiométriques plus faibles que le réactifs en excès : C'est le **réactif limitant** (il met fin à la réaction)

#### FICHE METHODE

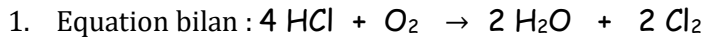
- 1) On détermine les quantités de matière initiales (nombre de moles) de chaque réactif.
- 2) À l'aide du rapport des bilans molaires, on détermine le réactif limitant.
- 3) à l'aide du réactif limitant :
  - a- on détermine la quantité de matière du réactif (en excès) qui a réagit.
  - b- on détermine la quantité de matière des produits formés.

### III. EXPLOITATION

Le chlorure d'hydrogène est un gaz de volume  $V = 120$  L, qui réagit avec le dioxygène de volume  $V = 20$  L pour donner de l'eau et du dichlore.

1. Ecrire l'équation-bilan de la réaction.
2. Faire le bilan molaire
3. Quel est le réactif en excès et le réactif limitant ?
4. Quel est le volume du réactif restant ?
5. Calculer le volume de dichlore  $Cl_2$  recueilli et la masse d'eau formée.

**Données :**  $V_M = 24$  L/mol ;  $M(H) = 1$ g/mol ;  $M(O) = 16$ g/mol

**Résolution détaillée**

2. Bilan molaire :

$$\frac{n(\text{HCl})}{4} = \frac{n\text{O}_2}{1} = \frac{n\text{H}_2\text{O}}{2} = \frac{n\text{Cl}_2}{2}$$

$$\frac{n(\text{HCl})}{n(\text{O}_2)} = \frac{4}{1} = 4$$

$$n(\text{HCl}) = \frac{V}{V_m} = \frac{120}{24} = 5 \text{ mol et } n(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_m} = \frac{20}{24} = 0,83 \text{ mol}$$

$$\frac{n(\text{HCl})}{n(\text{O}_2)} = \frac{5}{0,83} = 6,82 > 4$$

3. Le réactif en excès est HCl et le réactif limitant est le dioxygène.

4. nombre de moles de HCl ayant réagit :

$$n(\text{HCl}) = 4 \cdot n\text{O}_2 = 4 \times 0,83 = 3,32 \text{ mol}$$

- nombre de mole de HCl initial

$$n(\text{HCl}) = \frac{V}{V_M} = \frac{120}{24} = 5 \text{ mol}$$

5. volume restant :  $V_{\text{restant}} = (n_i - n_r)V_M = (V_i - V_r) = (5 - 3,32) V_M = 40,32 \text{ L}$ 

6. volume de dichlore et masse d'eau

• Volume de  $\text{Cl}_2$  :

$$\frac{n\text{Cl}_2}{2} = \frac{n\text{O}_2}{1} \text{ d'où } n\text{Cl}_2 = 2 n\text{O}_2$$

$$V(\text{Cl}_2) = n(\text{Cl}_2) \cdot V_M = 2 n\text{O}_2 \times 24 = 2 \times 0,83 \times 24 = 39,84 \text{ L}$$

• Masse d'eau formée :

$$\frac{n\text{O}_2}{1} = \frac{n\text{H}_2\text{O}}{2} \text{ d'où } n(\text{H}_2\text{O}) = 2n(\text{O}_2)$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \times M(\text{H}_2\text{O}) = 2n(\text{O}_2) \times 18 = 29,88 \text{ L}$$

# LE CHLORURE DE SODIUM SOLIDE

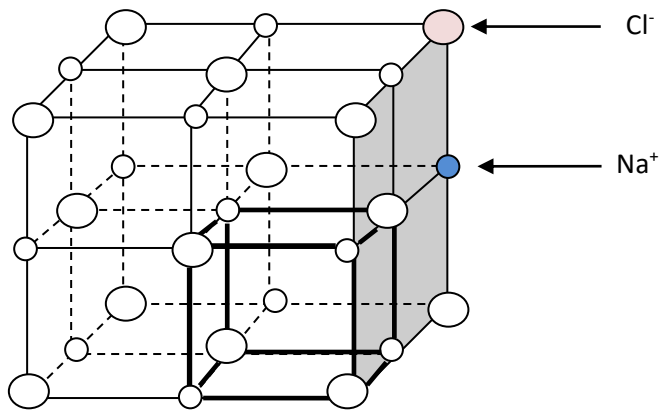
## I. STRUCTURE DU CRISTAL DU CHLORURE DE SODIUM

### 1. Réseau cristallin

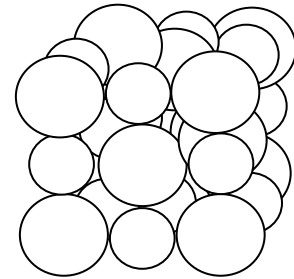
Le chlorure de sodium est le sel de cuisine. Il a une structure ordonnée appelée **réseau cristallin**. Son modèle éclaté est appelé : **maille**.

### 2. Schéma d'une maille

Une maille est composée de huit (8) motifs (cubes) et dans un motif il ya 4 ions  $\text{Na}^+$  et 4 ions  $\text{Cl}^-$  disposés alternativement sur les sommets d'un cube.

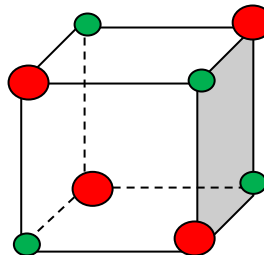


Modèle éclaté



Modèle compact

### 3. Schéma d'un motif



### **Remarque :**

Dans la maille il ya autant d'ions positif que d'ions négatifs donc le cristal de chlorure de sodium est électriquement neutre : Sa formule chimique est  $\text{NaCl}$ .

Deux ions identiques ne sont jamais en contact.

La cohésion du cristal est due aux forces appelées **forces électrostatiques**.

### 4. Relation de calcul

Les ions étant sphériques l'arête  $a$  d'une maille est telle que :  $a = 2(R_{\text{Na}^+} + R_{\text{Cl}^-})$ .

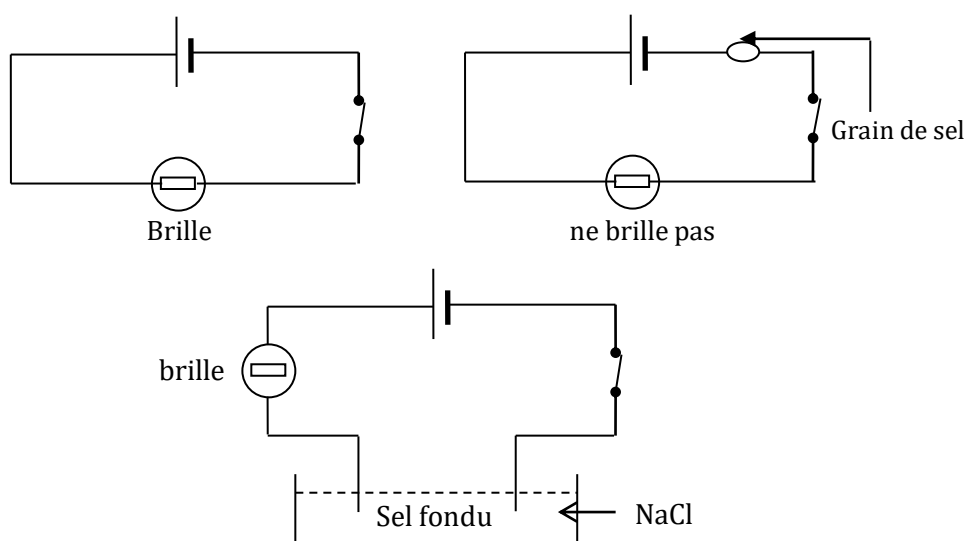
Le volume du cristal  $V$  est tel que  $V = na^3$

**$n$  : nombre de maille**

## II. PROPRIETE PHYSIQUE DU NaCl SOLIDE

### 1. Conductibilité électrique

#### a. Expérience et observations



#### b. Conclusion

- Le chlorure de sodium à l'état solide ne conduit pas le courant électrique ; car les ions  $\text{Na}^+$  ;  $\text{Cl}^-$  sont fixes c'est un isolant électrique.
- Le chlorure de sodium fondu (liquide) est une solution conductrice ; car les ions  $\text{Na}^+$  ;  $\text{Cl}^-$  sont mobiles en solution.

### 2. Stabilité thermique

La cohésion du cristal est due aux fortes interactions attractives entre les ions de signe contraire. Le cristal est rigide ; sa température de fusion est de l'ordre de  $800^\circ\text{C}$  ; il faut donc beaucoup d'énergie pour le disloquer d'où sa stabilité thermique.

# SOLUTIONS AQUEUSES IONIQUES

## I. DISSOLUTION DANS L'EAU D'UN COMPOSE IONIQUE

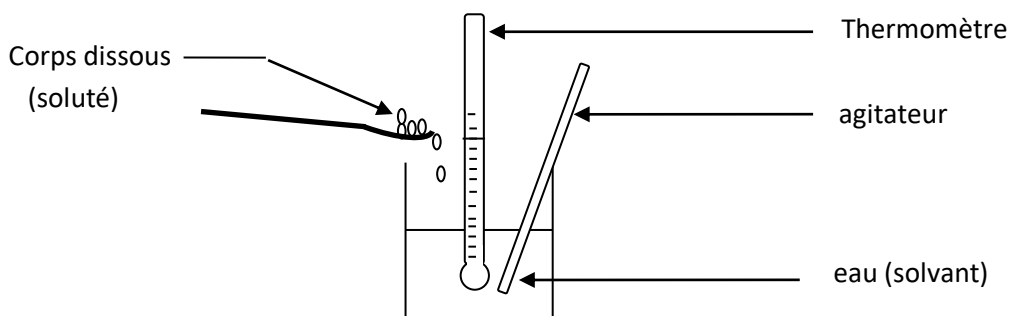
### 1. Définition

L'eau peut dissoudre un certain nombre de substances solides, liquides ou gazeuses. On obtient des solutions aqueuses de ces substances.

L'eau est **le solvant** et les substances dissoutes **les solutés**. L'opération de mise en solution des solutés est appelée **dissolution**.

### 2. Effets thermiques de la dissolution

#### a. Expériences et observations



composés dissous	NaOH	NaCl	NH <sub>4</sub> Cl
Température initiale (ti)	29°C	29°C	29°C
Température finale (tf)	37°C	29°C	24°C
Constat	Elévation de température	Température constante	Baisse de température

#### b. Interprétation

La dissolution d'un composé ionique dans l'eau se fait en trois étapes fictives.

La dislocation du cristal

La dispersion des ions

L'hydratation des ions

La dislocation et la dispersion s'accompagnent d'absorption de chaleur : Elles sont dites **endothermiques**.

L'hydratation s'accompagne d'un dégagement de chaleur : Elle est dite **exothermique**.

Lorsque l'effet endothermique et l'effet exothermique se compensent, la dissolution est dite **athermique**.

#### c. Conclusion

- Lors de la dissolution de NaOH dans l'eau, l'effet exothermique l'emporte sur l'effet endothermique : **La dissolution est exothermique.**
- Lors de la dissolution de NaCl dans l'eau, l'effet exothermique et endothermique se compense : **La dissolution est dite athermique.**
- Lors de la dissolution de NH<sub>4</sub>Cl dans l'eau l'effet endothermique l'emporte sur l'effet exothermique : **La dissolution est endothermique.**

d. Solubilité d'un soluté dans l'eau

On appelle solubilité dans l'eau la quantité maximale de soluté que l'on peut dissoudre à une température donnée dans un litre d'eau. Elle s'exprime en g/L pour les solides et les liquides et en L/L pour les gaz

**Exemple : NaCl à 20°C : 360 g/L**  
**à 100°C : 390g/L**

3. Concentration molaire et massique des espèces chimiques dans une solutiona. Concentration molaire volumique

La concentration molaire volumique d'un constituant A d'une solution est la quantité de matière (mol) de A présente dans 1L de cette solution.

$$\text{mol/L} \longrightarrow \boxed{[A] = \frac{n_A}{V}}$$

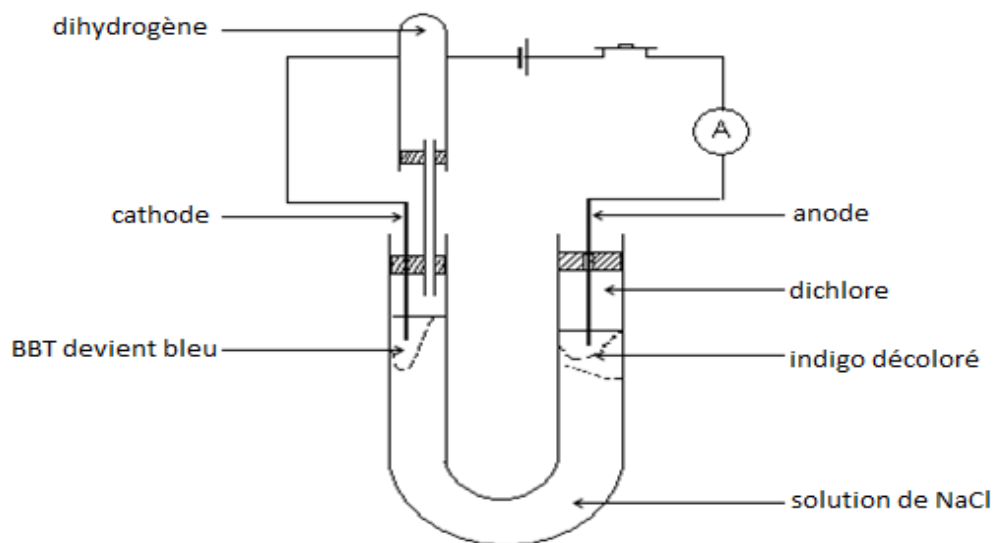
mol  
L

b. Concentration massique

La concentration massique d'une espèce chimique B dans une solution est la masse (g) de B dissoute dans un 1L de cette solution.

$$\text{g/L} \longrightarrow \boxed{c = \frac{m_B}{V}}$$

g  
L

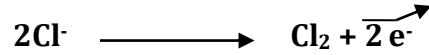
II. ELECTROLYSE DU CHLORURE DE SODIUM EN SOLUTION AQUEUSE1. Expérience et observation

## 2. Interprétation des réactions chimiques aux électrodes

### ▪ A l'anode :

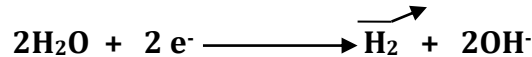
La décoloration de l'indigo caractérise la présence du gaz dichlore ( $\text{Cl}_2$ ). Les ions  $\text{Cl}^-$  sont oxydés en  $\text{Cl}_2$  selon l'équation :

L'équation de la réaction est :



### ▪ A la cathode :

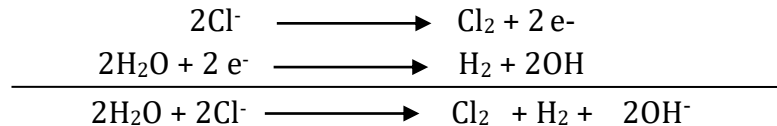
Le BBT vire au bleu donc la solution contient des ions hydroxyde. L'eau est décomposée en dihydrogène ( $\text{H}_2$ ) et en ion hydroxyde ( $\text{OH}^-$ ) selon l'équation :



La coloration rose violacée de la phénolphthaléine ( $\varphi\varphi$ ) montre la présence de ces ions  $\text{OH}^-$ .

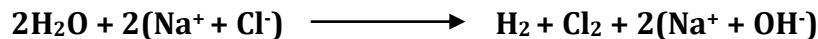
## 3. Conclusion

L'électrolyse de la solution aqueuse de chlorure de sodium se fait selon l'équation bilan suivante :



## 4. Rôle du solvant dans l'électrolyte

Au cours de l'électrolyse le nombre d'ions  $\text{Na}^+$  n'est pas modifié alors que les ions  $\text{Cl}^-$  disparaissent. Pour assurer l'électroneutralité de la solution, le solvant ici l'eau se décompose pour donner des ions  $\text{OH}^-$ . En ajoutant l'ion  $\text{Na}^+$  aux deux membres de l'équation bilan on obtient :



### Exercice d'application

On dissout 40g de chlorure de potassium dans 250mL d'eau pure. On réalise l'électrolyse de la solution aqueuse ainsi obtenue.

1. Faire le schéma de l'électrolyse.
2. Donner les équations aux électrodes ainsi que l'équation-bilan de l'électrolyse.
3. Déterminer à la fin de l'électrolyse,
  - a. La quantité de matière d'ion chlorure qui a réagit.
  - b. Le volume de dichlore obtenu dans les CNTP.
  - c. La quantité d'électricité mise en jeu.
  - d. Le temps mis pour effectuer l'électrolyse sachant que l'intensité débitée est de 3 A.
  - e. La masse du corps solide qu'on recueille après évaporation de l'eau.

Donner le nom de ce corps.

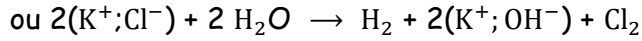
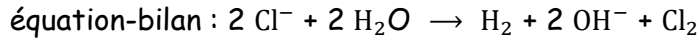
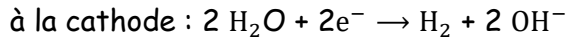
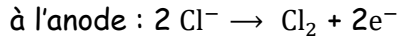
On donne : en g/mol : Na : 23 ; O : 16 ; H : 1 ;

et le volume molaire dans les CNTP :  $V_m = 22,4\text{L/mol}$

Le nombre d'Avogadro :  $N_A = 6,02.10^{23} / \text{mol}$  ;  $e = 1,6.10^{-19} \text{C}$

**Résolution détaillée**

- Schéma de l'électrolyse (voir schéma de l'électrolyse du cours)
- équation aux électrodes :



3.

- quantité de matière d'ions chlorure qui a réagit.

$$C_{\text{KCl}} = \frac{m}{M.V} = \frac{40}{0,25 \times (39,5 + 35,5)} = 2,15 \text{ mol/L}$$

$$n_{\text{Cl}^-} = C.V = 2,15 \times 0,25 = 0,54 \text{ mol}$$

- Volume de dichlore obtenu dans les C.N.T.P

$$V_{\text{Cl}_2} = n_{\text{Cl}_2} \times V_M = \frac{n_{\text{Cl}_2}}{2} \times V_M$$

$$V_{\text{Cl}_2} = \frac{0,54}{2} \times 22,4 = 6,048 \text{ L}$$

- Quantité d'électricité mise en jeu

Une mole d'électron correspond à  $N_A$  Avogadro

$$Q = n|q|.N_A = 2 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 6,02 \cdot 10^{23} = 192\,640 \text{ C}$$

- temps mis pour effectuer l'électrolyse pour  $I = 3 \text{ A}$

$$Q = I \times t \text{ d'où } t = \frac{Q}{I} = \frac{192.640}{3} = 64\,213 \text{ s ; soit } 17 \text{ h } 50 \text{ min}$$

- masse du corps solide recueilli après vaporisation.

$$n_{\text{KOH}} = \frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH})} \text{ alors } m_{\text{KOH}} = n_{\text{KOH}} \times M_{\text{KOH}}$$

$$\frac{n_{\text{KCl}}}{2} = \frac{n_{\text{KOH}}}{2} \text{ or } n_{\text{Cl}^-} = 0,54 \text{ mol}$$

$$n_{\text{KOH}} = 0,54 \times 56 = 29,7 \text{ g}$$

# TESTS D'IDENTIFICATION DE QUELQUES IONS

## I. CARACTERISATION DES IONS

### 1. Couleurs des ions en solution

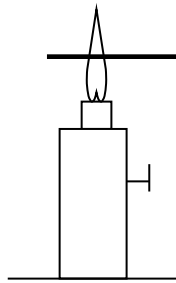
La couleur des solutions aqueuses ioniques est souvent due à celle des ions en solution.

Exemples

Ions	$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Fe}^{2+}$	$\text{Fe}^{3+}$	$\text{MnO}_4^-$	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$
Couleurs de la solution	Bleue	Verte pâle	rouille	violette	orange

### 2. Test à la flamme

Certains ions portés dans une flamme colorent cette flamme avec une couleur caractéristique.



Fil de platine plongé au préalable dans la solution contenant l'ion à tester

Exemples

Pour l'ion  $\text{Na}^+$  : flamme jaune

Pour l'ion  $\text{Cu}^{2+}$  : flamme verte

Pour l'ion  $\text{Ca}^{2+}$  : flamme rouge-orangé

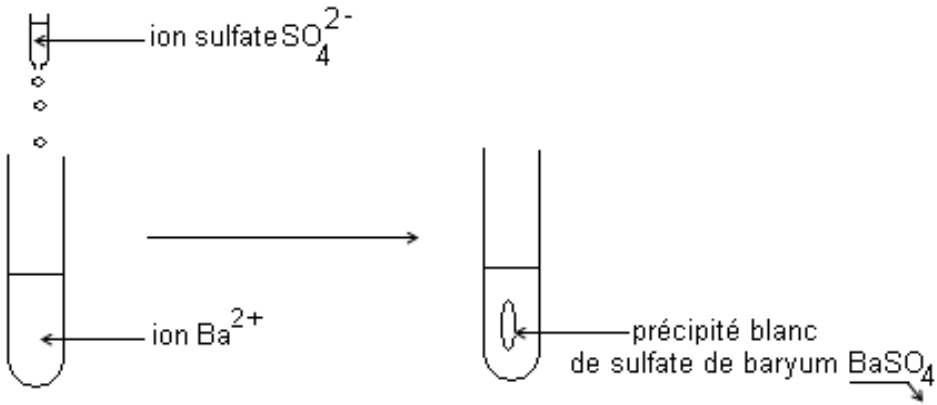
### 3. Test des précipitations des ions

#### a. Identification de quelques cations

Ion à tester: ion argent  $\text{Ag}^+$

Equation bilan de la réaction:  $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \longrightarrow \text{AgCl}$

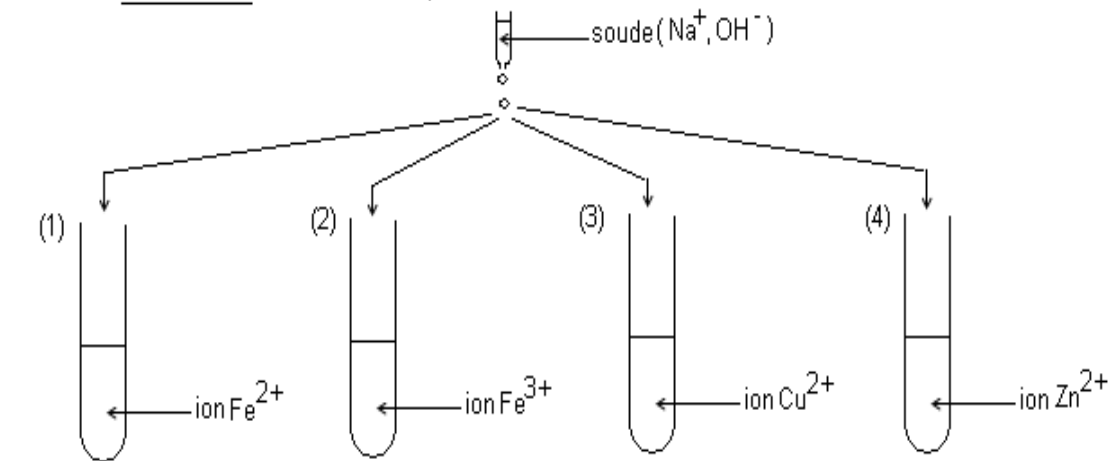
Ion à tester: ion baryum  $Ba^{2+}$



Equation bilan de la réaction:  $Ba^{2+} + SO_4^{2-} \longrightarrow BaSO_4$

---

Ions à tester: ions fer II ( $Fe^{2+}$ ); ions fer III ( $Fe^{3+}$ ); ions cuivre ( $Cu^{2+}$ ); ion zinc ( $Zn^{2+}$ )

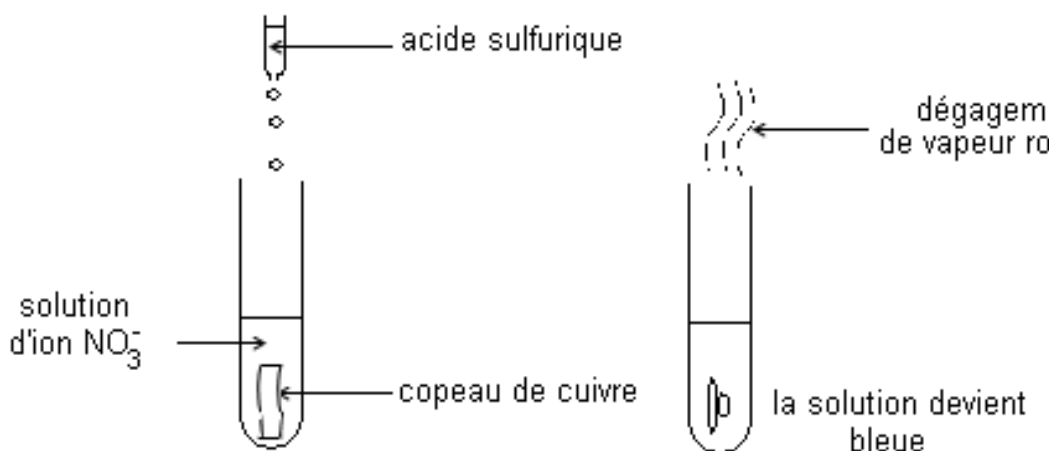


(1) formation de précipité vert  
 (2) précipité rouille  
 (3) précipité bleu  
 (4) précipité blanc qui disparaît avec un excès de soude

(1)  $Fe^{2+} + 2 OH^- \longrightarrow Fe(OH)_2$   
 (2)  $Fe^{3+} + 3 OH^- \longrightarrow Fe(OH)_3$   
 (3)  $Cu^{2+} + 2 OH^- \longrightarrow Cu(OH)_2$   
 (4)  $Zn^{2+} + 2 OH^- \longrightarrow Zn(OH)_2$

b. Identification de quelques anions

Ion à tester: ion nitrate  $\text{NO}_3^-$



acide sulfurique

dégagement de vapeur ro

solution d'ion  $\text{NO}_3^-$

copeau de cuivre

la solution devient bleue

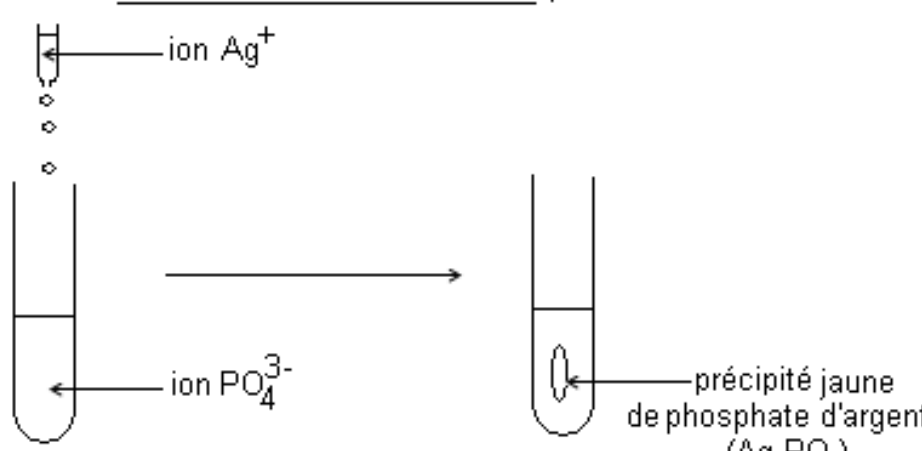
L'équation de la réaction est:

$$2\text{NO}_3^- + 3\text{Cu} + 8\text{H}^+ \longrightarrow 2\text{NO} + 3\text{Cu}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$$

puis  $2\text{NO} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO}_2$

---

Ion à tester: ion phosphate  $\text{PO}_4^{3-}$

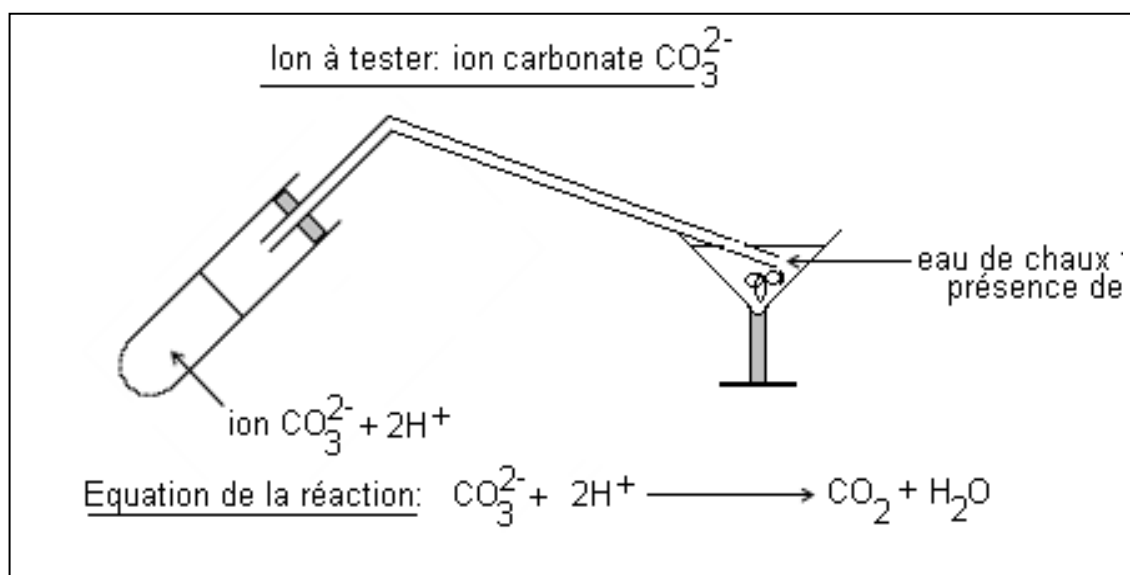


ion  $\text{Ag}^+$

ion  $\text{PO}_4^{3-}$

précipité jaune de phosphate d'argent ( $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ )

Equation bilan de la réaction:  $3\text{Ag}^+ + \text{PO}_4^{3-} \longrightarrow \text{Ag}_3\text{PO}_4$



**Remarque:** Les ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  sont aussi identifiés respectivement par les ions  $\text{Ag}^+$  et  $\text{Ba}^{2+}$  avec formation de précipité blanc.

## II. TABLEAU RECAPITULATIF

### 1. Les cations

Ions testé	Réactif	Observations	Formule du précipité
$\text{Ag}^+$	$\text{Cl}^-$	Précipité blanc de chlorure d'argent qui noircit à la lumière	$\text{AgCl}$ ↓
$\text{Ba}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-}$	Précipité blanc de sulfate de baryum	$\text{BaSO}_4$ ↓
$\text{Fe}^{2+}$	$\text{OH}^-$	Précipité vert d'hydroxyde de fer II, soluble dans un excès de soude	$\text{Fe(OH)}_2$ ↓
$\text{Fe}^{3+}$	$\text{OH}^-$	Précipité rouille d'hydroxyde de fer III, insoluble dans un excès de soude	$\text{Fe(OH)}_3$ ↓
$\text{Cu}^{2+}$	$\text{OH}^-$	Précipité bleu d'hydroxyde de cuivre II, insoluble dans un excès de soude	$\text{Cu(OH)}_2$ ↓
$\text{Zn}^{2+}$	$\text{OH}^-$	Précipité blanc d'hydroxyde de zinc, soluble dans un excès de soude	$\text{Zn(OH)}_2$ ↓

2. Les anions

Ion testé	Réactif	Observations	Formule du corps
$Cl^-$	$Ag^+$	Précipité blanc de chlorure d'argent	$AgCl$ ↓
$SO_4^{2-}$	$Ba^{2+}$	Précipité blanc de sulfate de baryum	$BaSO_4$ ↓
$CO_3^{2-}$	$H_3O^+$	Dégagement de $CO_2$ trouble l'eau de chaux	↑ $CO_2$
$PO_4^{3-}$	$Ag^+$	Précipité blanc de phosphate d'argent	$AgPO_4$ ↓
$NO_3^-$	$H_3O^+$	Dégagement de $NO$ qui au contact de l'air donne des vapeurs rousses de $NO_2$	↑ $NO_2$

# SOLUTION ACIDES ET BASIQUES

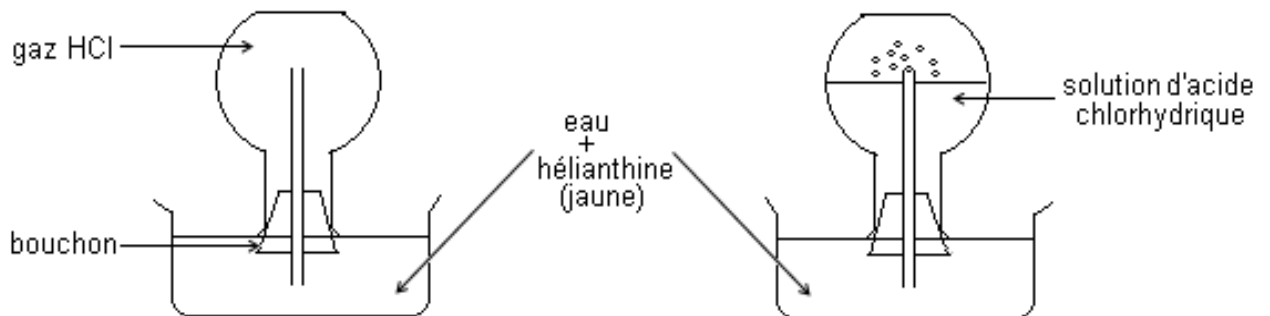
## MESURE DE PH

### I. SOLUTION ACIDE

#### 1. Préparation de la solution aqueuse d'acide chlorhydrique

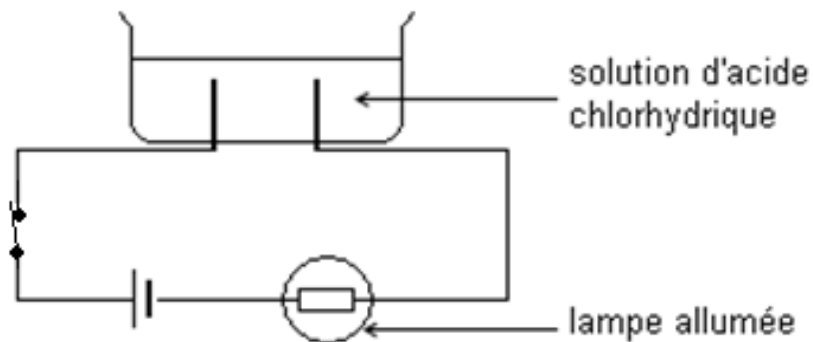
Le chlorure d'hydrogène de formule HCl est un gaz incolore, d'odeur piquante, soluble dans l'eau.

#### Expérience du jet d'eau



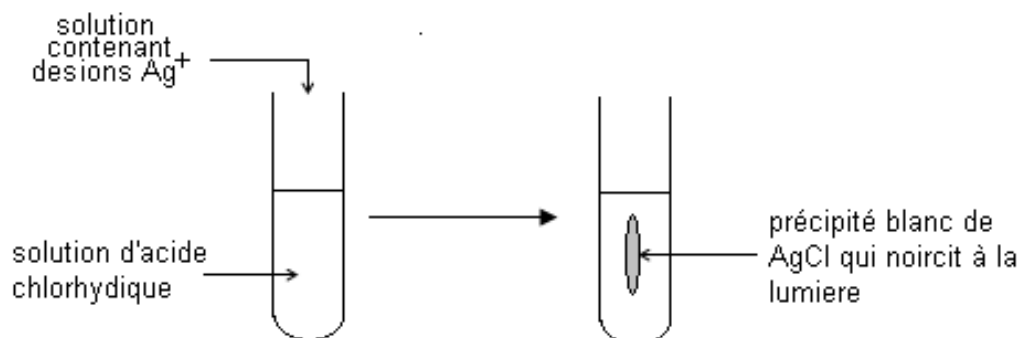
Le chlorure d'hydrogène est très soluble dans l'eau. La solution obtenue est appelée solution d'acide chlorhydrique.

#### 2. Conductibilité électrique



La solution aqueuse d'acide chlorhydrique conduit le courant électrique : c'est-à-dire **un électrolyte**. Elle contient donc des ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{Cl}^-$ .

#### 3. Mise en évidence de l'ion $\text{Cl}^-$



Ce test caractérise la présence des ions  $\text{Cl}^-$  dans la solution d'acide chlorhydrique.

4. Equation bilan de la réaction du chlorure d'hydrogène avec l'eau



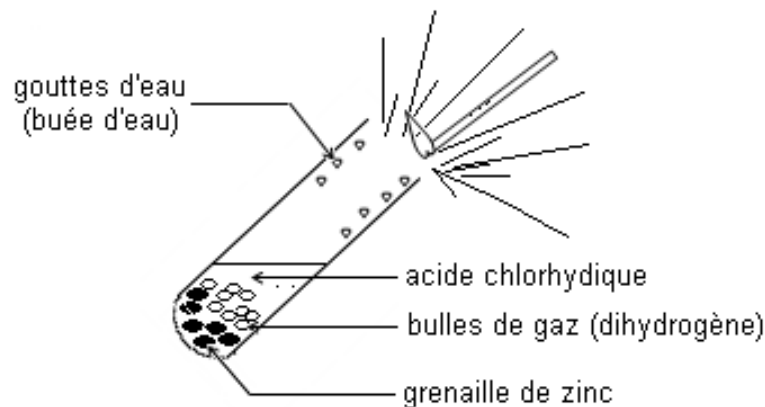
5. Propriété de l'ion hydronium ( $\text{H}_3\text{O}^+$ )

- Action sur les indications colorées

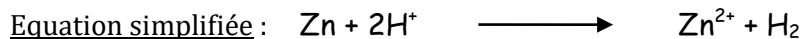
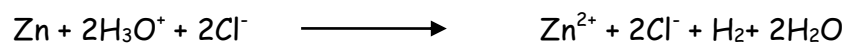
solution	Eau pure	Acide chlorhydrique
Indication coloré		
Hélianthine	jaune	Rouge
Bleu de bromothymol	vert	Jaune
phénophtaléine	incolore	incolore

Les changements de couleur observés avec l'hélianthine et le bleu de bromothymol, sont dus à la présence d'ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  dans la solution.

- Action sur les métaux



Équation de la réaction



**Remarque :** L'acide chlorhydrique n'a aucune action sur le cuivre (Cu) et l'argent (Ag). Cette partie sera mieux expliquée dans les réactions redox en classe de première.

**Application**

Dans les CNTP, on dissout 0,224 L de chlorure d'hydrogène dans un litre d'eau pure

- Calculer la concentration de la solution d'acide chlorhydrique
- Calculer les concentrations des ions présents.

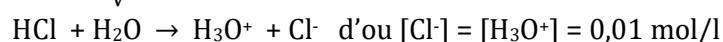
Données :  $V_M = 22,4 \text{ l.mol}^{-1}$

**Résolution**

- La concentration d'acide chlorhydrique.

$$n_{\text{HCl}} = \frac{V_{\text{HCl}}}{V_M} = \frac{0,224}{22,4} = 10^{-2} \text{ mol}$$

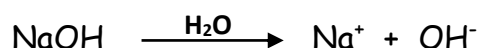
$$C_{\text{HCl}} = \frac{n_{\text{HCl}}}{V} = 0,01 \text{ mol/l}$$



## II. LA SOLUTION BASIQUE (solution aqueuse d'hydroxyde de sodium) : NaOH

### 1. Préparation de la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium

L'hydroxyde de sodium ou soude caustique de formule NaOH est un composé ionique déliquescent à l'état pastille et très soluble dans l'eau. Lorsqu'on dissout l'hydroxyde de sodium dans l'eau, on obtient une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium appelée soude.

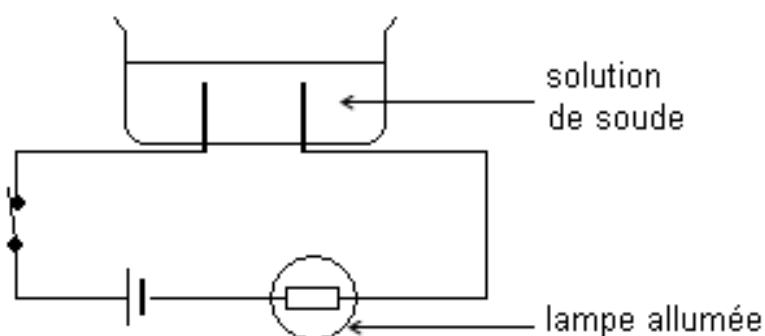


### 2. Application

On désire préparer une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration  $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .

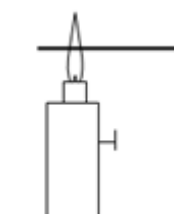
- Déterminer la masse de NaOH à dissoudre dans 1 L d'eau distillée
- Donner le mode opératoire

### 3. Conductibilité électrique



La solution aqueuse d'hydroxyde de sodium conduit le courant électrique c'est un électrolyte : elle contient des ions ( $\text{Na}^+, \text{OH}^-$ )

### 4. Identification de l'ion $\text{Na}^+$



La tige de platine préalablement chauffée jusqu'à la disparition de l'incandescence puis trempée dans la solution de soude et replacée dans la flamme prend la couleur jaune. Elle caractérise la présence d'ions sodium  $\text{Na}^+$  dans la solution d'hydroxyde de sodium.

### 5. Propriété de l'ion OH<sup>-</sup>

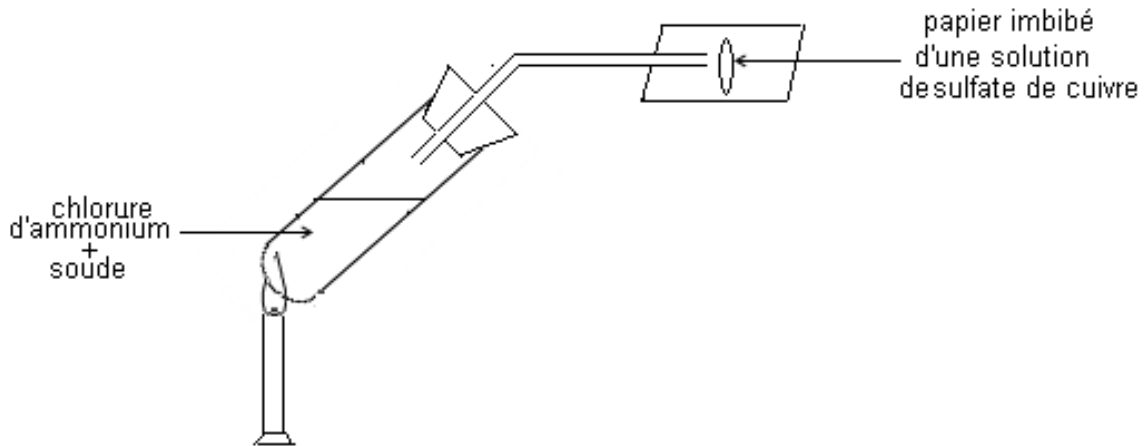
- Action sur les indications colorées

Les changements de couleur du bleu de bromothymol et de la phénolphtaléine sont dus aux ions hydroxydes OH<sup>-</sup>.

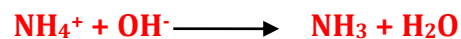
- **Action sur les ions métalliques**

Solution contenant les ions métalliques	Observation après action de l'ion OH <sup>-</sup> sur la solution	Equation de la réaction
Cu <sup>2+</sup>	Précipité bleu hydroxyde de cuivre II	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2$
Fe <sup>2+</sup>	Précipité vert hydroxyde de fer II	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$
Zn <sup>2+</sup>	Précipité blanc hydroxyde de Zinc	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Zn}(\text{OH})_2$

- **Action sur l'ion ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**



Le gaz qui se dégage et qui bleuit un papier imbibé d'une solution de CuSO<sub>4</sub> est le gaz d'ammoniac NH<sub>3</sub>.



**Remarque :** On détecte aussi la présence de NH<sub>3</sub> à partir de réactif de Nessler qui brunit.

Indicateur coloré \ Solution	Eau pure	Hydroxyde de sodium
Hélianthine	jaune	Jaune
Bleu de bromothymol	Vert	Bleu
Phénolphtaléine	Incolore	Rose violacée

## III. NOTION DE pH

### 1. Définition

Le pH d'une solution aqueuse est défini par la relation :

- $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$
- Il rend compte de l'acidité, la basicité ou la neutralité d'une solution aqueuse.

## 2. Mesure de pH

Le pH d'une solution aqueuse se mesure à l'aide :  
d'un pH-mètre ou avec le papier indicateur de pH.

pH de quelques solutions à 25°C

- jus de citron : pH = 2,3
- eau de javel : pH = 10,8
- eau pure : pH = 7

Une solution à 25°C dont le pH est :

**inférieur à 7 est dite solution acide**

**égal à 7 est dite solution neutre**

**supérieure à 7 est dite solution basique**

## 3. pH de l'eau pure à 25°C

Le pH de l'eau pure est égal à 7 ( $[H_3O^+] = 10^{-7}$  mol/L). L'eau étant électriquement neutre, elle contient aussi les ions négatifs  $OH^-$  ( $[OH^-] = 10^{-7}$  mol/L)

Les ions  $H_3O^+$  et  $OH^-$  proviennent de la réaction



## 4. Effet de la dilution sur le pH

### 4.1. Solution acide : solution chlorhydrique

C (mol.L <sup>-1</sup> )	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>
pH	2	3	4	5

**Lorsqu'on dilue une solution acide, son pH augmente et tend vers celui de l'eau.**

### 4.2. Solution basique : solution d'hydroxyde de sodium

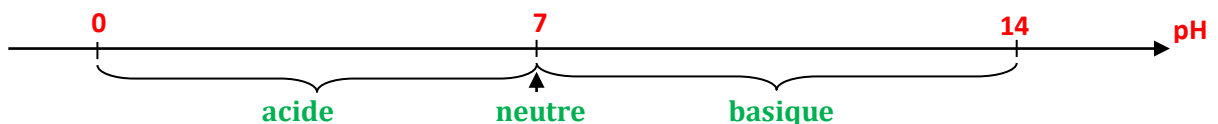
C (mol.L <sup>-1</sup> )	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>
pH	12	11	10	9

**Lorsqu'on dilue une solution basique, son pH diminue et tend vers celui de l'eau**

**Remarque : L'opération de dilution ne transforme pas une solution acide en base et inversement.**

## 5. L'échelle du pH

L'échelle du pH varie de 0 à 14 (à 25°C)

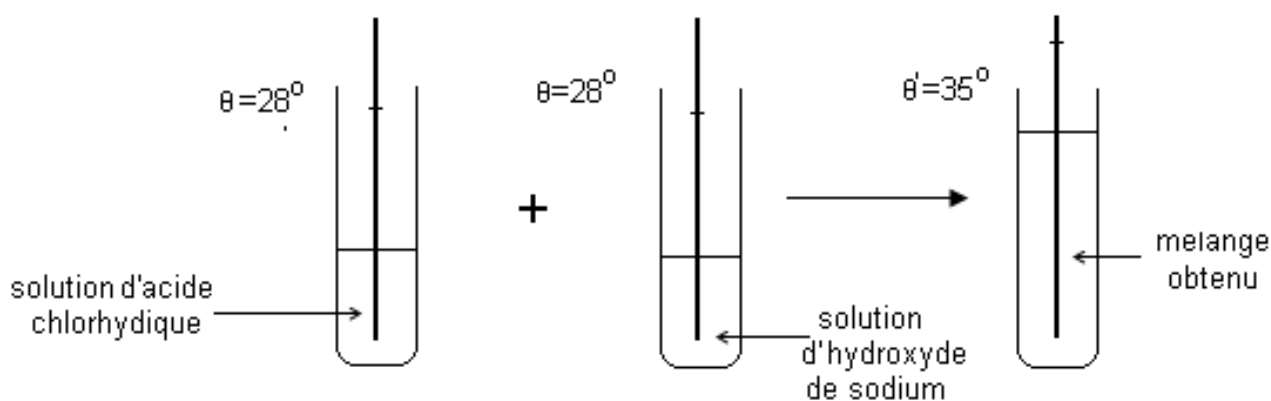


# RÉACTION ACIDO-BASIQUE DOSAGE

## I. CARACTÉRISTIQUE DE LA RÉACTION ENTRE LA SOLUTION D'HYDROXYDE DE SODIUM ET LA SOLUTION D'ACIDE CHLORHYDRIQUE

### 1. Expérience et observation

On mélange des volumes égaux de solution aqueuse d'acide chlorhydrique et d'hydroxyde de sodium de même concentration.



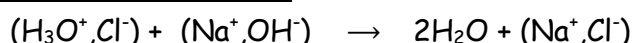
### 2. Conclusion

La réaction entre l'acide chlorhydrique et la soude dégage de la chaleur : elle est exothermique.

### Remarque

Le pH de la solution obtenue est égal à 7 à 25 °C. C'est une solution de chlorure de sodium qui est neutre.

### 3. Équation bilan de la réaction



L'équation simplifiée est :  $H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2H_2O$

## II. DOSAGE

### 1. Définition

Doser une solution contenant une espèce chimique A c'est déterminer la concentration molaire volumique de cette espèce.

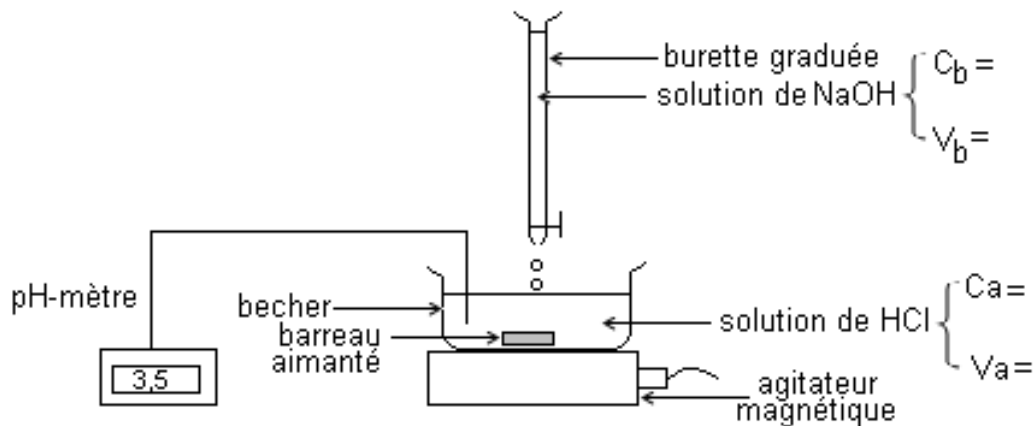
Pour cela on utilise un réactif dont on connaît la concentration qui avec A donne une réaction rapide et totale.

**Remarque :** la réaction qui se produit chaque fois qu'une solution d'acide chlorhydrique et une solution d'hydroxyde de sodium réagissent l'une sur l'autre est appelée réaction acido-basique.

Son équation bilan est :  $H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2H_2O$

Les ions  $Cl^-$  et  $Na^+$  n'apparaissent pas dans l'équation bilan parce qu'ils ne participent à la réaction. Ce sont des ions spectateurs.

## 2. Mode opératoire



On verse progressivement à l'aide d'une burette graduée, une solution d'hydroxyde de sodium de concentration  $10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$  dans un bécher contenant 20 mL d'acide chlorhydrique de même concentration et bleu de bromothymol.

## 3. tableau de mesures

pH	1	1,2	1,3	1,5	2	7	11,9	12
$V_b$ (mL)	0	4	8	12	16	20	24	28
$C_b V_b$								
$C_a V_a$								

## 4. Exploitation

Pour un volume  $V_b = 20 \text{ mL}$  de base versé ;

- L'indicateur coloré passe du jaune au vert
- Le pH du mélange est alors 7
- On constate que  $C_a V_a = C_b V_b$

$C_a V_a = n(\text{H}_3\text{O}^+)$  : quantité de matière d'ions hydronium présente dans l'acide chlorhydrique.

$C_b V_b = n(\text{OH}^-)$  : quantité de matière d'ions hydroxyde apportées par l'hydroxyde de sodium.

## 5. Définition de l'équivalence acido - basique

L'équivalence acido-basique est obtenue lorsque la quantité d'ions hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ) apportée par la soude est égale à quantité d'ions hydronium ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) initialement présente dans la solution d'acide chlorhydrique.

$$n(\text{OH}^-)_{\text{apportée}} = n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{Présente}} \Rightarrow C_b V_b = C_a V_a$$