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 IVème 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 Vème siècle av. J.-C) – Merci à Jacques Cattelin.

Sommaire

PROGRESSION CLASSE DE SECONDE C

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

	SEM	PHYSIQUE	CHIMIE
OCT	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
NOV	5	Équilibre d'un solide soumis à 2 ou à 3 forces	Ions et molécules
	6	**Semaine**	**tampon**
	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
DEC	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
JAN	12	**Semaine**	**tampon**
	13	Quantité de mouvement	Chlorure de sodium
	14	Quantité de mouvement	Solutions aqueuses ioniques
	15	Le courant électrique	Solutions aqueuses ioniques
FEV	16	Intensité d'un courant électrique	Solutions aqueuses ioniques
	17	Tension électrique	Tests d'identification de quelques ions
	18	**Semaine**	**tampon**
MARS		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
AVR	23	**Semaine**	**tampon**
	24	Étude expérimentale d'un dipôle actif	Réaction acido-basique. Dosage
MAI	25	Le transistor : amplificateur de courant	Réaction acido-basique. Dosage
	26		Réaction acido-basique. Dosage
	27	**Révision**	**Révision**
	28	**Révision**	**Révision**

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.

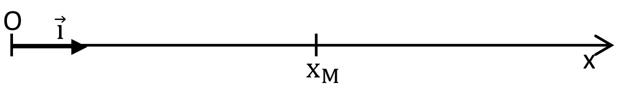
2. Repérage d'un point mobile

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

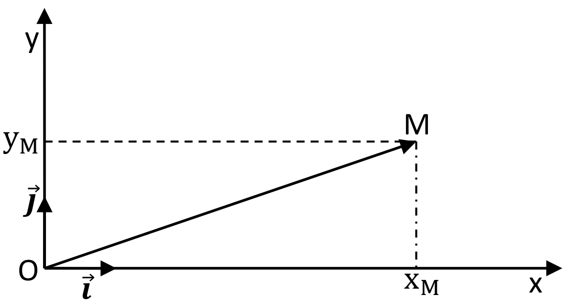
- Sur un axe



$\overrightarrow{OM} = x_M\,\vec{i}$ 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



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

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.

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

Avec d en m, Δt en s et V_m en m/s.
N.B : V_m s'exprime aussi en km/h avec ***1m/s =3,6 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 $\vec{V}m = \frac{\overrightarrow{M_1M_2}}{t_2 - t_1}$

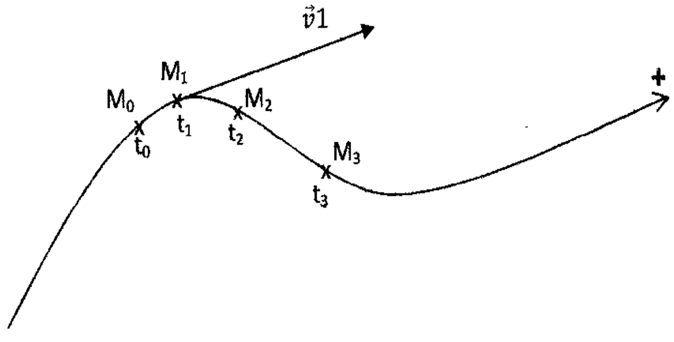
2. vecteur vitesse instantanée

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 τ, on a : $\mathbf{t_2 - t_0 = 2\tau}$ 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 : $v_1 = \frac{M_0M_1}{t_0 - t_2}$

IV. ETUDE DE QUELQUES MOUVEMENTS PARTCULIERS

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

a. Nature du mouvement

- Numéroter 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 τ=40ms)
- ***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

- Numéroter 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

- Numéroter 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.***
- Déduire 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 a 9h00 pour la même destination. On donne V_A = 108km/h et
V_B = 162km/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 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 Δt 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. II 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'= 5m/s et V= 8m/s restent constantes, combien de temps met YAO pour rattraper MOUSSA.

Exercice 4

Un train part de Paris a 11h 56 min pour Rouen .IL roule a la vitesse moyenne de 120km.h^{-1}. A 12 h 11 min, un autre train part de Rouen pour Paris en roulant a la vitesse moyenne de 70 km/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. $v = \frac{d}{\Delta t}$; $\Delta t = d/ V_A = 460/108 = 4{,}25$ h = 4h 15 min.

Temps mis par le train B :

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

Heure d'arrivée :

- train A

3. $\Delta t = t_\Delta + t_A$ = 8 h15 min + 2,84 h
   = 8 h 15 min + 2 h 50 min 24s
   = 11 h 05 min 24s

- Train B

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

Distance parcourue par le train A :

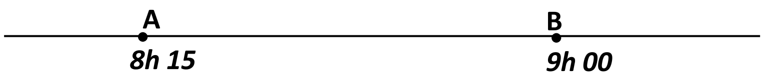
$d = V_A .\Delta t = \frac{108}{60} \times 45 = 81$ km.

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 :

$$X = V.t$$



$V_A.t_A = V_B.t_B$ avec $t_B = t - 45$

$V_A.t = V_B(t - 45)$ et $(V_A - V_B)t = - 45\, V_B$

$\Delta t = \frac{45 V_B}{V_{B-} V_A} = \frac{45\times162}{162-108}$ **=** 135 min = 2h 15 min ; (soit à 10h 30 min du point A)

Distance de Rattrapage :

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

Exercice 2

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

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

2 - Vitesse de Koffi

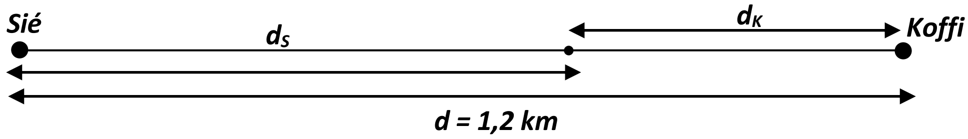
$V = \frac{d}{\Delta t} = \frac{1,2}{1} = 1,2$ km

3 - a) la durée Δt mise avant la rencontre

$\Delta t = t_R - t_D$ avec :

t_R = temps de rencontre

t_D = temps de départ



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

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

5 - Heure de la rencontre

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

6 - Distance de Koffi

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

Exercice 3

1 - heure de l'arrivée à destination

a) Train de Paris

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

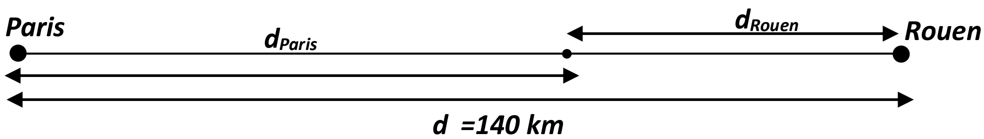
b) Train de Rouen

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



$d = d_P + d_R = V_p\Delta t + V_R\Delta t = 140$ km

$\Delta t = \frac{d}{Vp+Vr} = \frac{140}{120+70} = 0,736$ h

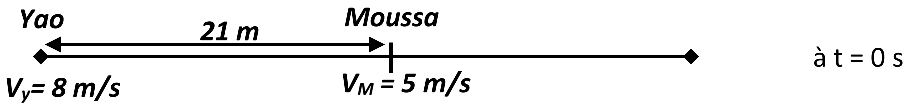
$\Delta t = 0,736$h = 44 min 12s

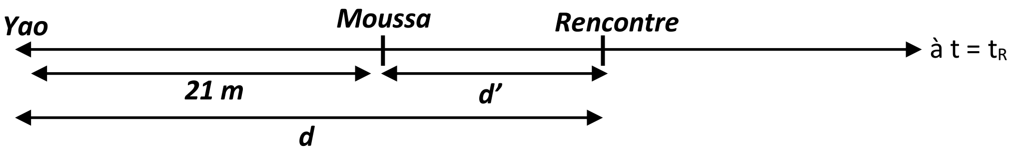
3 - Distance de rencontre de Paris

H = 11h 56min + 44 min 12s =12 h 40 min 12s

Exercice 4

1 - Temps mis par YAO pour rattraper MOUSSA





Soit Δt la durée de la poursuite

- La distance parcourue par YAO pendant cette durée est : $d_Y = V.\Delta t$
- La distance parcourue par MOUSSA pendant la même durée est :
  $d_M = V'.\Delta t$; avec $d_M = d - 21$

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

(1) $\boldsymbol{d - 21 = V_M.\Delta t}$

(2) $\boldsymbol{d = V_y.\Delta t}$

En faisant le rapport de (1)/(2) on a : $(d\text{-}21)\, V_Y = d.V_M$;

$dVy - 21Vy = d\, V_M$; $d(Vy - V_M) = 21\, Vy$

Finalement : $d = \frac{21 \times Vy}{Vy - VM} = \frac{21 \times 8}{8-5} = 56$ m

$\Delta t = d/Vy = 56/8 = 7s$

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 $10 m.min^{-1}$; $15 m.min^{-1}$ et $6 m.min^{-1}$.

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 :

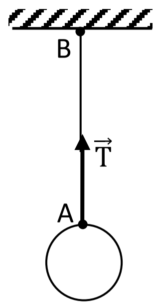
- **Point d'application** : C'est le point où la force agit.
- **Direction** : la droite suivant laquelle la force agit.

- **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 : $\boxed{P = mg}$ 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

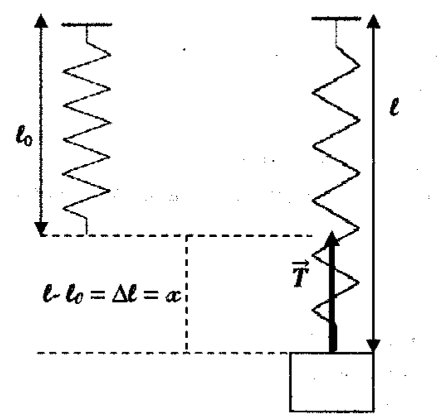
2. Tension d'un ressort

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 ↔ 0,5 N ou 50g et 1cm ↔ 0,02 m ou 2 cm
Voir papier millimétré

- Exploitation de la courbe

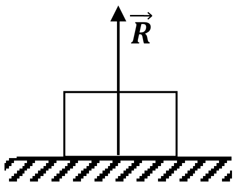
La courbe obtenue est une droite passant par l'origine du repère. La tension T et l'allongement x sont proportionnels. Le coefficient de proportionnalité noté k est la constante de raideur (ou raideur) du ressort. On a : $\boxed{k = \frac{\Delta T}{\Delta x} = 25 \text{ N.m}^{-1}}$

- Conclusion

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

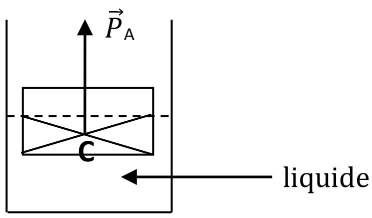
3. Autres exemples de forces
   a) Réaction d'un support

$\vec{R}$ *est perpendiculaire au support*



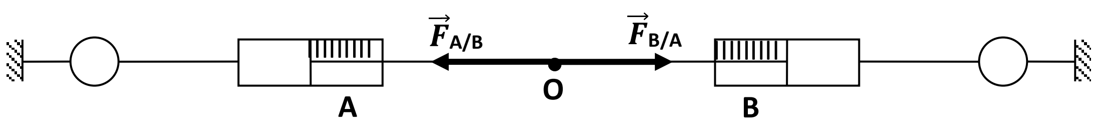
C'est une action mécanique de contact repartie en surface

   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 $\boldsymbol{\vec{F}_{A/B} = - \vec{F}_{B/A}}$

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

Exercices d'applications

Exercice 1

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

$\vec{F}_1 = 2\vec{\imath} - 3\vec{\jmath}$ et $\vec{F}_2 = -\vec{\imath} - 2\vec{\jmath}$

1. Représenter $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$
2. Calculer la norme de chaque force.
3. Déterminer les angles $(\vec{\imath},\vec{F}_1)$; $(-\vec{\jmath},\vec{F}_1)$ 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 $(\vec{\imath}, \vec{F})$
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)

   $\vec{\imath}.\vec{F}_1 = \vec{\imath}.(2\vec{\imath} - 3\vec{\jmath}) = F_1\cos(\vec{\imath},\vec{F}_1) = 2$ alors $\cos(\vec{\imath},\vec{F}_1) = \frac{2}{\sqrt{13}} = 0,555$ d'ou $(\vec{\imath},\vec{F}_1) = 56,29°$

   $-\vec{\jmath}.\vec{F}_1 = -\vec{\jmath}.(2\vec{\imath} - 3\vec{\jmath}) = F_1\cos(-\vec{\jmath},\vec{F}_1) = 3$ alors $\cos(-\vec{\jmath},\vec{F}_1) = \frac{3}{\sqrt{13}} = 0,832$ d'ou $(-\vec{\jmath},\vec{F}_1) = 33,69°$

   $\vec{F}_1.\vec{F}_2 = (2\vec{\imath} - 3\vec{\jmath}).(-\vec{\imath} - 2\vec{\jmath}) = F_1 \times F_2\cos(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = -2+6 = 4$ alors

   $\cos(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = \frac{4}{\sqrt{13}\times\sqrt{5}} = 0,496$ d'où $(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = 60,26°$
   - méthode 2(méthode de tangente)

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

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

$\tan((\vec{\imath},\vec{F}_1) = \frac{3}{2}$ d'où $mes(\vec{\imath},\vec{F}_1) = 56,30°$

$\tan(-\vec{\jmath},\vec{F}_1) = \frac{2}{3}$ d'où $mes(-\vec{\jmath},\vec{F}_1) = 33,69°$

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

alors $mes(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = mes(\vec{F}_1,-\vec{\jmath}) + mes(-\vec{\jmath},\vec{F}_2)$ d'où $\tan(\vec{F}_1,-\vec{\jmath}) = \frac{2}{3}$ et $mes(-\vec{\jmath},\vec{F}_2) = 33,69°$

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

4. Représentons le vecteur $\vec{F}$

   $\vec{F} = 2\vec{F}_1 + 4\vec{F}_2 = 2.(2\vec{\imath} - 3\vec{\jmath}) + 4.(-\vec{\imath} - 2\vec{\jmath}) = -14\vec{\jmath}$

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

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 ℓ du ressort.

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

1. Quelle est la longueur ℓ_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 ↔ 1 N et 1cm ↔ 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
ℓ(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 ℓ (g = 10N/kg).

1. Quelle est la longueur à vide ℓ_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 ?

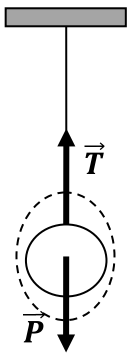
ÉQUILIBRE D'UN SOLIDE SOUMIS À DEUX PUIS TROIS FORCES

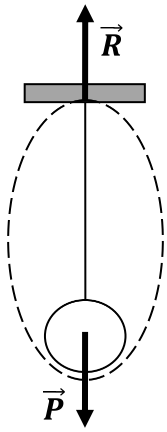
I. SYSTÈME

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 $\vec{T}$**

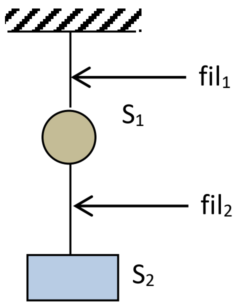
Système : La boule + le fil de masse négligeable
Forces extérieures :

- **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 + fil$_2$)

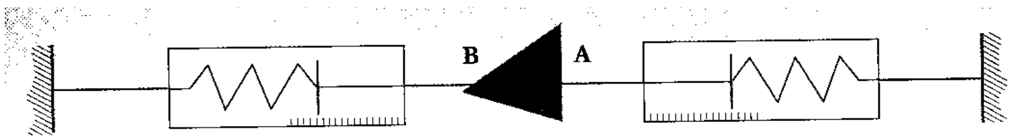


Résolution détaillée

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 + 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 :

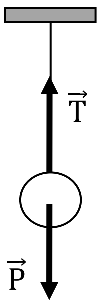
- Les forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ ont le même support.
- Les forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ sont de sens opposés.
- Les forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ ont la même valeur ($F_1 = F_2$ = ……..N)

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 $\mathbf{F_1 = F_2}$

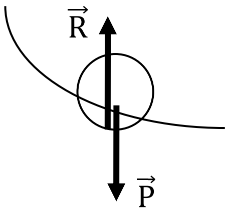
4. Exemples d'équilibre

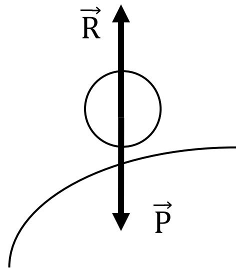


Condition d'équilibre

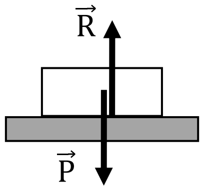
$\vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$

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



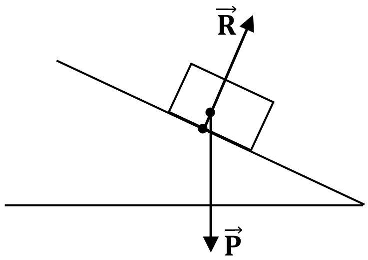


Ecartée de sa position d'équilibre, la bille ne revient plus : L'équilibre est dit **instable**



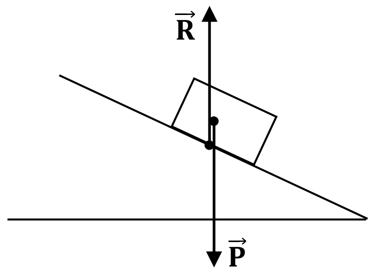
Condition d'équilibre

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



Glissement sans frottement

(surface lisse) : $\vec{P} + \vec{R} \# \vec{0}$

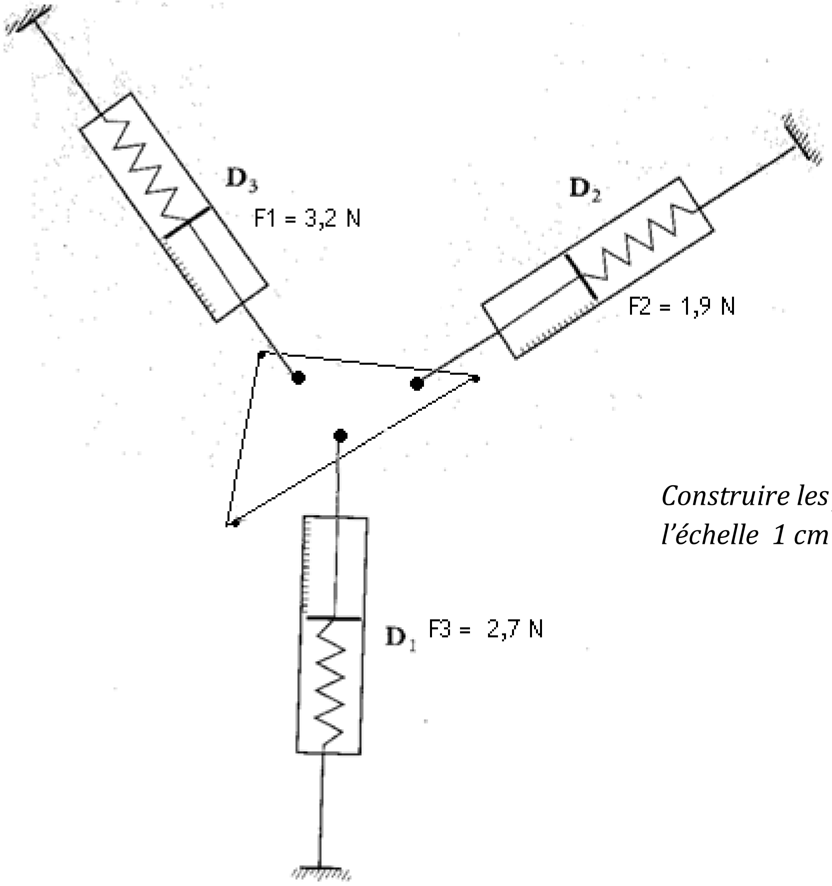


Glissement avec frottement

(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



Construire les forces à l'échelle 1 cm pour 1 N

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

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

4. Application

Pour résoudre un exercice de mécanique, il faut :

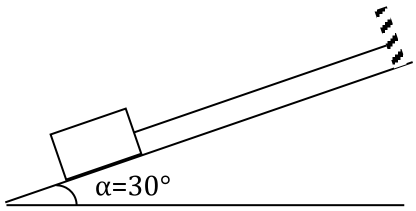
- ✓ Définir le système d'étude
- ✓ faire l'inventaire des forces et les représenter sur un schéma

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 α=30° avec l'horizontale.



Résolution par la méthode graphique

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

La réaction du support : $\vec{R}$

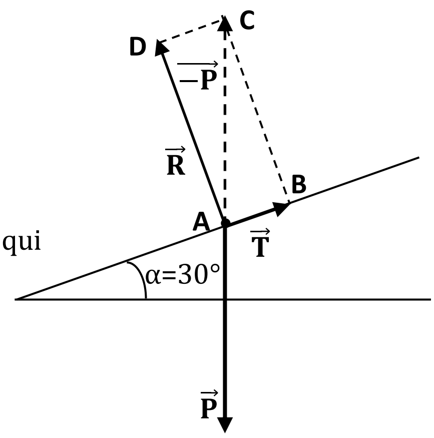
La tension du fil : $\vec{T}$

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

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

1cm ↔ 2,5 N

T = AB×2,5 = 3,5N

R = AD×2,5 = 6N

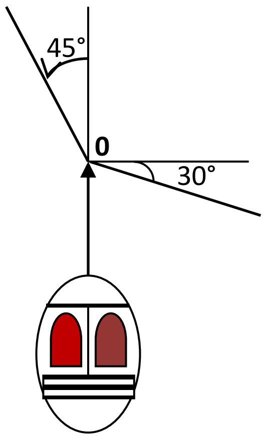
Exercice d'application (résolution graphique)

Exercice 1 (tension du câble d'une télécabine)

Une benne de télécabine a un poids de 4000 N.

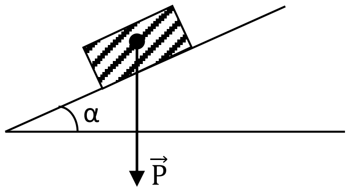
Les deux brins du câble qui la soutient ont des directions données par la figure ci-contre

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



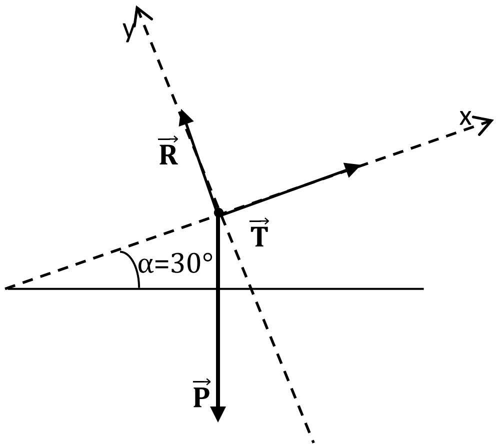
Exercice 2

Une brique de poids P = 10N est posée sur un plan faisant avec l'horizontale un angle variable α.
On constate que la brique commence à glisser lorsque α = 30°.
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 : : $\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} = \vec{0}$



$\mathbf{P_x + R_x + T_x = 0}$
$\mathbf{P_y + R_y + T_y = 0}$

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

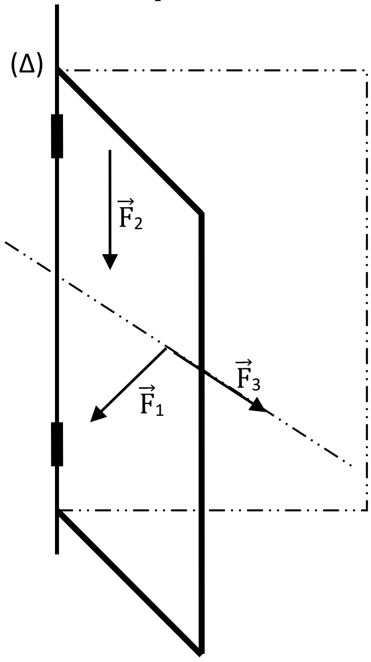
  Application numérique :
  T = 7×sin30° = 3,6N
  R = 7×cos30° = 6,06N

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. ÉFFET 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

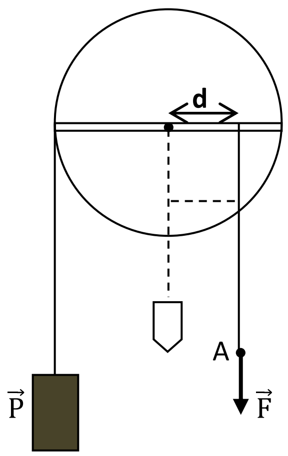
Une force n'a un effet de rotation sur un solide mobile autour d'un axe fixe que si sa droite d'action de la force :

- 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×d = 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×d** est une constante. Il caractérise l'effet de rotation et est appelé **moment de la force.**

3. Définition du moment d'une force

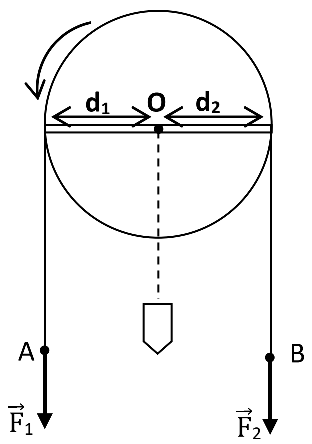
Le moment $M_{\Delta}(\vec{F})$ par rapport à un axe fixe (Δ) de la force $\vec{F}$ est le produit de son intensité F par la distance d entre la droite d'action de la force F et l'axe de rotation.

On a : $\mathbf{M_{\Delta}(\vec{F}) = F.d}$ 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

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

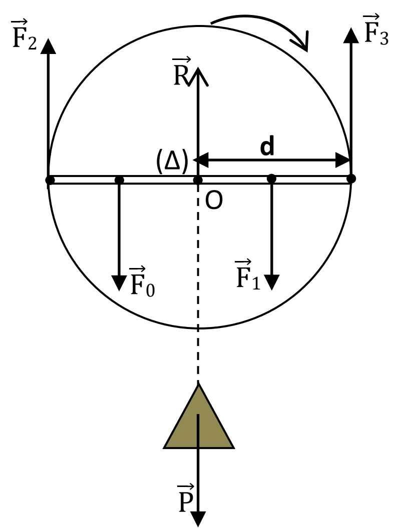
La force $\vec{F}_2$ tend à faire tourner le solide (S) dans le sens contraire : Son moment est donc négatif.

$$M_{\Delta}(\vec{F}_1) = - F_2.d_2$$

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 $\mathbf{F_0 = F_1 = F_2 = F_3 = F}$ (voir figure).



2. Résultats

Valeur des forces	P	F_0	F_1	F_2	R	F_3
Bras de levier	0	$\frac{d}{2}$	$\frac{d}{2}$	d	0	d
moment de chaque force	0	$-F.\frac{d}{2}$	$+F.\frac{d}{2}$	+F.d	0	-F.d

On constate : $M_\Delta(\vec{F}) + M_\Delta(\vec{P}) + M_\Delta(\vec{R}) + M_\Delta(\vec{P_0}) = +0 - F.\frac{d}{2} + F.\frac{d}{2} + F.d + 0 - F.d = 0$

3. conclusion : Théorème des moments

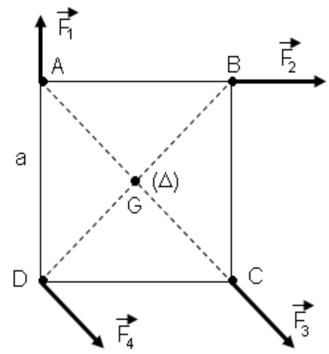
Lorsqu'un solide , mobile autour d'un axe fixe est en équilibre, la somme algébrique des moments par rapport à cet axe des forces extérieures qui lui sont appliquées est nulle.

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 (Δ) 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.



1. Calculer le moment de chacune des forces par rapport à l'axe (Δ)
2. Le carré peut-il être en équilibre ? Justifier

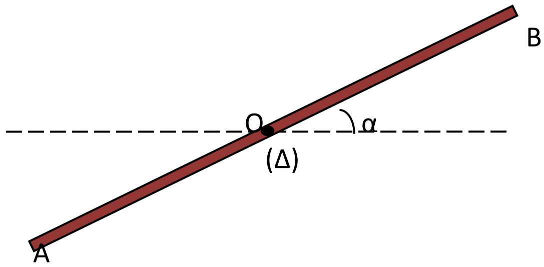
On donne a = 60 cm $F_1 = F_4 = 16$ N et $F_2 = F_3 = 2$ N

Résolution détaillée

1. Calcul des moments de chacune des forces par rapport à l'axe (Δ)
   Le sens positif choisit est celui des aiguilles d'une montre
   - $M_\Delta(F_1) = F_1 \times \frac{a}{2} = 16 \times \frac{0,6}{2} = +4,8$ N.m
   - $M_\Delta(F_2) = F_2 \times \frac{a}{2} = 2 \times \frac{0,6}{2} = +0,60$ N.m
   - $M_\Delta(F_3) = F_3 \times 0 = 2 \times 0 = -0$ N.m car la droite d'action de $\vec{F_3}$ rencontre l'axe (Δ) au point G
   - $M_\Delta(F_4) = F_4 \times \frac{a\sqrt{2}}{2} = 16 \times \frac{0,6\sqrt{2}}{2} = -6,79$ N.m
2. Vérifions l'équilibre de ce carré
   - $M_\Delta(\vec{F_1}) + M_\Delta(\vec{F_2}) + M_\Delta(\vec{F_3}) + M_\Delta(\vec{F_4}) = +4,8 + 0,6 - 0 - 6,79 \# 0$
     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 Δ 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 (Δ). $\vec{F}2$ et $\vec{F}_1$ sont orientés vers le bas.



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

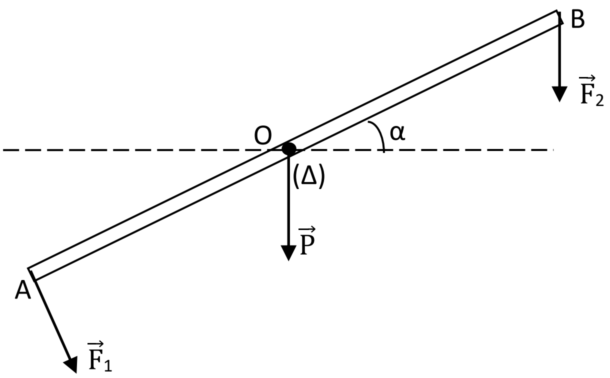
Données : ℓ = 10cm ; P=1N ; F_1 = 2N ; F_2 = 3N et α = 30°

Résolution détaillée

a. Calcul des moments des forces appliquées :

Le sens positif choisit est le sens des aiguille d'une montre.

b.



Calcul du moment de la force $\vec{R}$

$M_\Delta(\vec{R})$ = R.d = 0N.m car R rencontre (Δ)

Calcul du moment de la force $\vec{R}$

$M_\Delta(\vec{P})$ = P.d =0N.m car P rencontre (Δ)

Calcul du moment de la force $\vec{F}_1$

$M_\Delta(\vec{F}_1) = - F_1 \times OA = - F_1 \times \frac{l}{2}$

$= 2\times0{,}05 = 0{,}1$ N.m

$M_\Delta(\vec{F}_2) = + F_2 \times OB\cos\alpha = + F_2 \times \frac{l}{2}\cos\alpha$

$= 3\times0{,}05\times\cos30° = 0{,}13$ N.m

c. La tige n'est pas en équilibre
d. 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 ; $M_\Delta(\vec{F}_2) > M_\Delta(\vec{F}_1)$.
e. 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
$(F+F_1).\frac{l}{2} = F_2.\frac{l}{2}\cos\alpha$ d'où $F = F_2\cos\alpha - F_1$ A.N $F = 3\cos30° - 2 = 0{,}598$ N
f. 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 $\vec{P}$

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

A.N : $R = 1+3+2\cos30° = 5{,}73$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

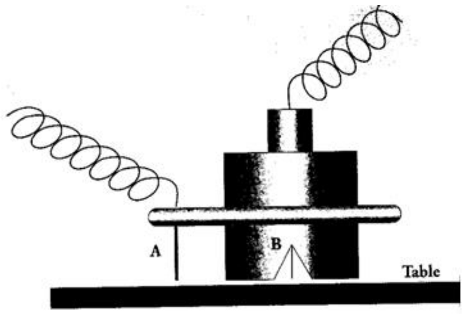
Un système pseudo-isolé est un système qui est soumis à des forces extérieures qui se compensent à chaque instant. ($\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$)

II. CENTRE D'INERTIE D'UN SOLIDE

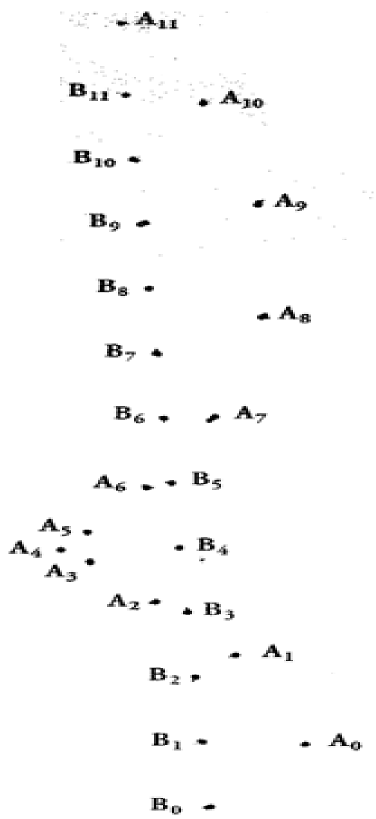
1. Mise en évidence

a) Démarche expérimentale

Lançons un palet en le faisant tournoyer 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 τ.



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 B 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)

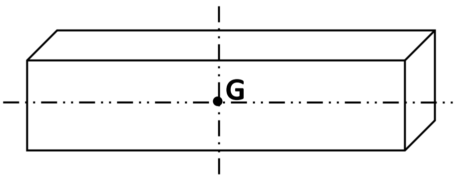
3. Principe de l'inertie

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

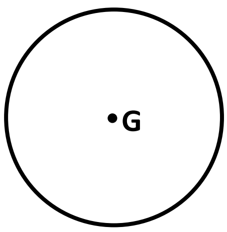
- reste au repos s'il est initialement au repos.
- est animé d'un mouvement rectiligne uniforme s'il est initialement en mouvement.

III. DÉTERMINATION MATHÉMATIQUE DU CENTRE D'INERTIE

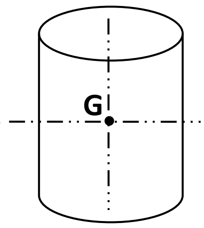
1. Centre d'inertie de quelques solides de forme géométrique simple

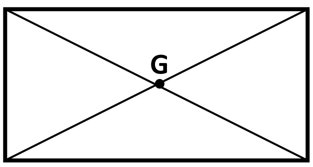


Parallélépipède

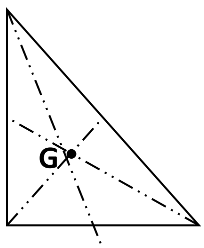


Cerceau

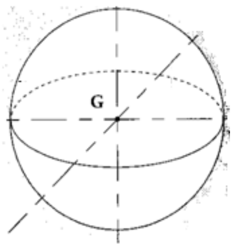
Cylindre




rectangle



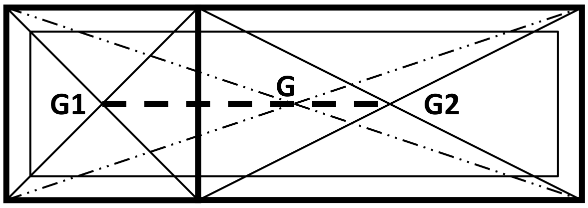
Triangle



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* $\mathbf{m_1GG_1 = m_2GG_2}$

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

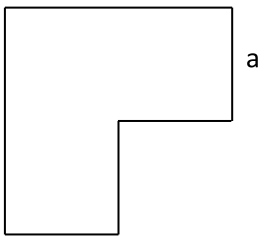
N.B : Le centre d'inertie d'un solide composé de plusieurs parties est donné par la relation suivante : On définit un point fixe O tel que $(O,\vec{i},\vec{j})$ soit un repère

$$\boxed{\overrightarrow{OG} = \frac{m_1\overrightarrow{GG_1} + m_1\overrightarrow{GG_2} + \cdots}{m_1 + m_2 + \cdots}}$$

Exercices d'applications

Exercice 1

Soit la plaque de carton homogène et d'épaisseur constante de la figure ci-contre. Le coté a = 1,5cm



Résolution détaillée

Première méthode

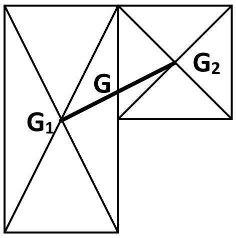
Décidons de découper cette plaque homogène en un rectangle et un carrée.

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



$\overrightarrow{G_1G} = \frac{m_2}{m_1+m_2}\overrightarrow{G_1G_2}$ ($m_1 = 2m_2$)

$\overrightarrow{G_1G} = \frac{1}{3}\overrightarrow{G_1G_2}$

Le centre d'inertie G est situé sur le segment [G_1G_2] à 1/3 et partant de G_1.

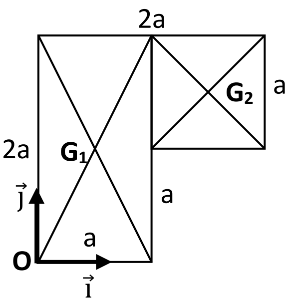
N.B : On pouvait partir de la relation barycentrique $\overrightarrow{OG} = \frac{m_1\overrightarrow{OG_1}+m_1\overrightarrow{OG_2}}{m_1+m_2}$

et remplacer le point fixe O par G_1

<u>Deuxième méthode</u>

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

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



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

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

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

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

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

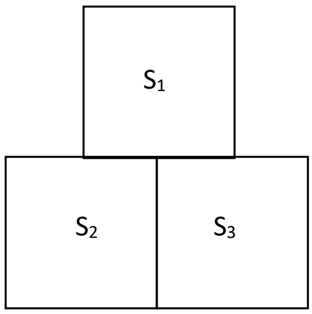
$\mathbf{\overrightarrow{OG_1}(a\,;a)}$ **et** $\mathbf{\overrightarrow{OG_2}(a+\frac{a}{2}\,;a+\frac{a}{2})}$

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

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

<u>Exercice</u> 2

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



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

<u>Résolution détaillée</u>

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

relation barycentrique :

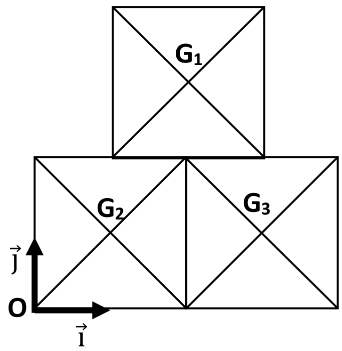
$$\overrightarrow{OG} = \frac{m_1\overrightarrow{OG_1}+m_2\overrightarrow{OG_2}+m_3\overrightarrow{OG_3}}{m_1+m_2+m_3}$$

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

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

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

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



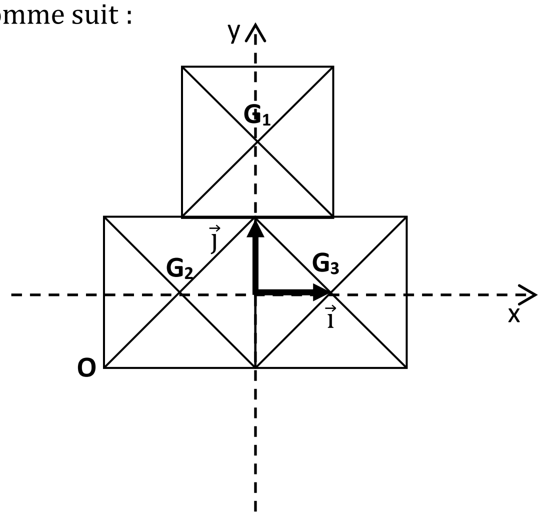
$$\overrightarrow{OG} = \frac{1\,\overrightarrow{OG_1}}{9} + \frac{2\,\overrightarrow{OG_2}}{9} + \frac{2\,\overrightarrow{OG_3}}{3}$$

$$\overrightarrow{OG} = \begin{Bmatrix} \frac{1}{9}\times 4 + \frac{2}{9}\times 2 + \frac{2}{3}\times 6 = \frac{8}{9} + 4 = \frac{44}{9} \\ \frac{1}{9}\times 6 + \frac{2}{9}\times 2 + \frac{2}{3}\times 2 = \frac{10}{9} + \frac{4}{3} = \frac{22}{5} \end{Bmatrix}$$

$\overrightarrow{OG}$: (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 :



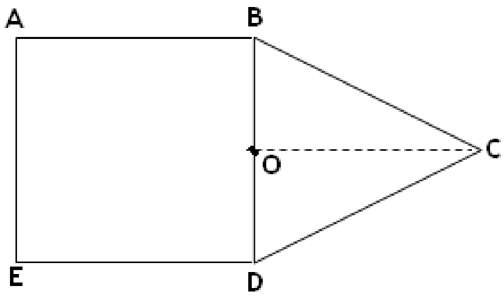
REPONSE : $\overrightarrow{OG}$: (x = 0,88 et y = 0,44 dans le repère $(O,\vec{i},\vec{j},)$)

Exercice 3

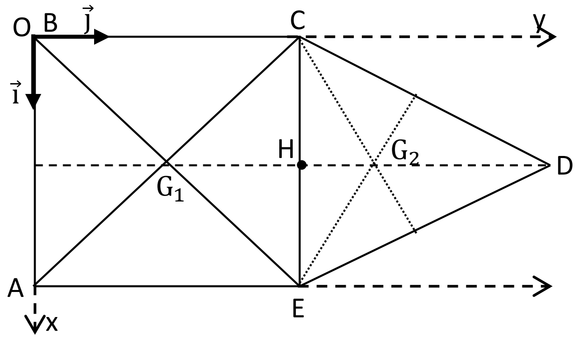
La plaque ABCDE, représentée ci après homogène et d'épaisseur constante est formée d'une partie carrée ABCE de côté a = 3cm, et d'une partie triangulaire BCD . Déterminer :

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

On donne AB = OC = a = 3cm



Résolution détaillée



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

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

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

Les composantes des vecteurs $\overrightarrow{OG_1}$ et $\overrightarrow{OG_2}$

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

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

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

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

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

avec $S_1 = a^2$ (carré)

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

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

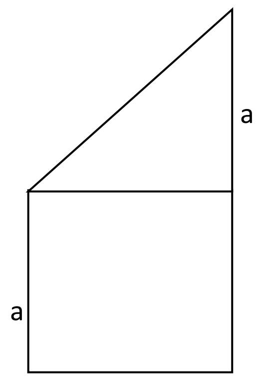
$\mathbf{\frac{m_1}{m_1+m_2} = \frac{2{,}31}{3{,}31}}$ **et** $\mathbf{\frac{m_2}{m_1+m_2} = \frac{1}{3{,}31}}$

$\overrightarrow{OG} = \dfrac{2{,}31\,\overrightarrow{OG_1}}{3{,}31} + \dfrac{1\,\overrightarrow{OG_2}}{3{,}31}$

$\overrightarrow{OG} = \begin{Bmatrix} \frac{2{,}31}{3{,}31} \times 1{,}5 + \frac{1}{3{,}31} \times 1{,}5 = 1{,}5 \\ \frac{2{,}31}{3{,}31} \times 1{,}5 + \frac{1}{3{,}31} \times 3{,}9 = 2{,}225 \end{Bmatrix}$

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 = 3cm



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

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

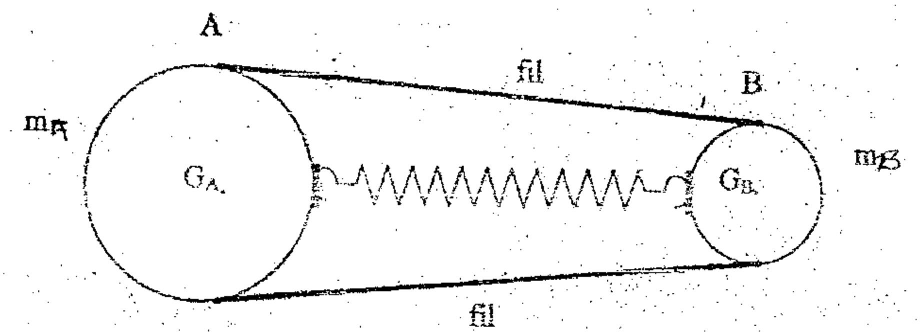
QUANTITE DE MOUVEMENT D'UN SYSTEME

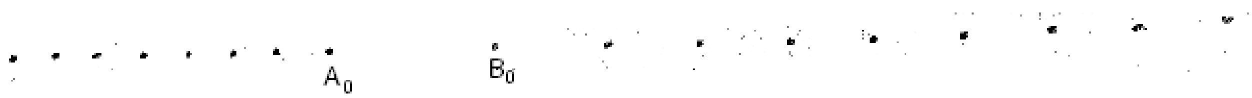
I. VECTEUR QUANTITE DE MOUVEMENT

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





- Numéroter les positions Ai et Bi (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 $\frac{V_B}{V_A}$

  $\frac{\mathbf{m_A}}{\mathbf{m_B}} = 2$ et $\frac{\mathbf{V_B}}{\mathbf{V_A}} = 2$ donc $\frac{\mathbf{m_A}}{\mathbf{m_B}} = \frac{\mathbf{V_B}}{\mathbf{V_A}}$ ou encore $\mathbf{m_A V_A = m_B V_B}$

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

b. Conclusion

$\mathbf{m_A V_A}$ est appelé quantité de mouvement du solide A et noté $\mathbf{p_A}$
$\mathbf{m_B V_B}$ est appelé quantité de mouvement du solide B et noté $\mathbf{p_B}$
$\mathbf{m_A \vec{V}_A}$ est appelé quantité de mouvement du solide A et noté $\vec{\mathbf{p}}_\mathbf{A}$
$\mathbf{m_B \vec{V}_B}$ est appelé quantité de mouvement du solide B et noté $\vec{\mathbf{p}}_\mathbf{B}$

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
   $p = mV = 15.10^3 \times \frac{4800}{3600} = 20\ 000\ kg.m.s^{-1}$
2. vitesse de la voiture
   $p = m'V'$ alors $V' = \frac{p}{m'} = 25\ m/s$ ou $V' = 90\ km.h^{-1}$

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 (pointsA_i) et G_2 (pointsB_i) sont enregistrées à des intervalles de temps égaux.

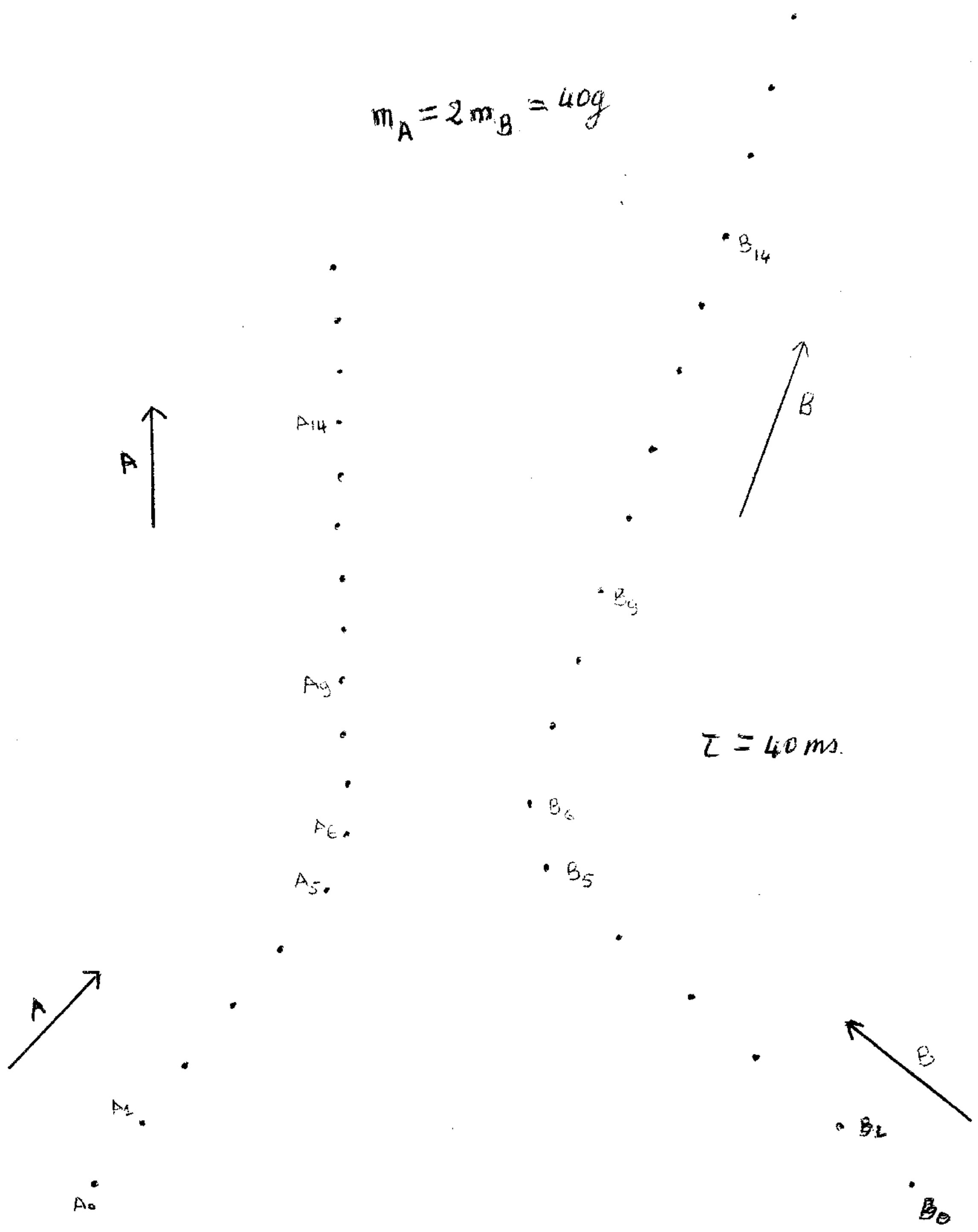
- Sachant que ($m_A = 2m_B = 40g$; $\tau = 40ms$)

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 : $2cm = 0{,}65.10^{-2}\ kg.m.s^{-1}$
- 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 : $\vec{p} = \vec{p}'$

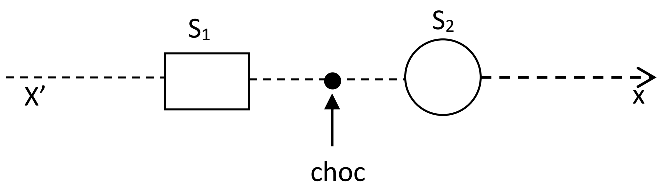
4. Loi de conservation du vecteur quantité de mouvement

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 =10g glisse sur un plan horizontal parfaitement lisse à la vitesse V_1=0,2 m/s.
Il heurte de plein fouet un autre solide S_2 de masse m_2=30g glissant dans la même direction et en sens contraire avec une vitesse V_2=0,1m/s.



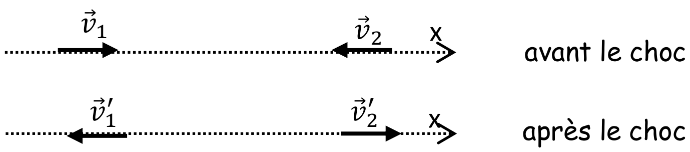
S_1 rebondit et repart dans la même direction à la vitesse V_1'=0,25m/s.
Déterminer les caractéristiques du vecteur vitesse V_2' de S_2 après le choc.

Résolution détaillée

- Caractéristique de la vitesse $\vec{V}_2'$ après le choc
  Avant le choc on a : $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2$
  Apres 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 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' = 0,05m/s

<u>Exercice</u> 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.

<u>Résolution détaillée</u>

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

- Quantité de mouvement des deux voitures

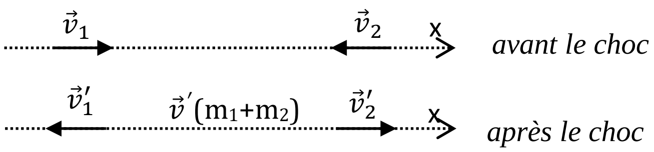
  $P_1 = m.V_1 = 900 \times 60\ 000/3600 = 15\ 000$ kg.m.s^{-1}

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

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

- Vitesse juste après le choc

  Conservation de la quantité de mouvement :



$\mathbf{m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 = (m_1+m_2)\vec{V}'}$ projetons sur l'axe (x, x') $m_1V_1 - m_2V_2 = -(m_1+m_2)V'$

$$V' = \frac{m_2V_2 - m_1V_1}{m_1+m_2} = 0{,}57 \text{ m.s}^{-1} \text{ ou } 2{,}1 \text{ km/h}$$

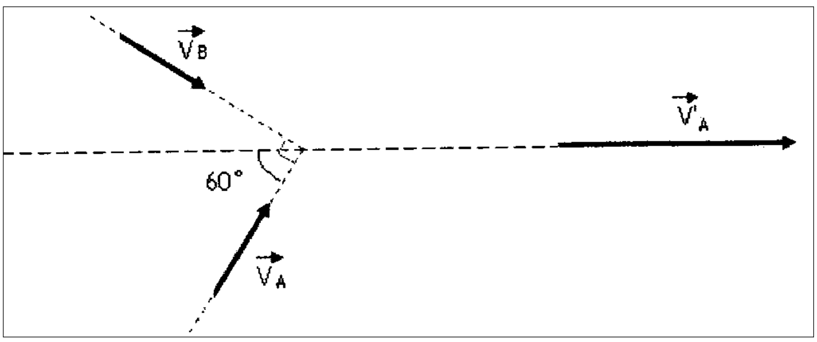
<u>Exercice</u> 3

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 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.



<u>Résolution détaillée</u>

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**

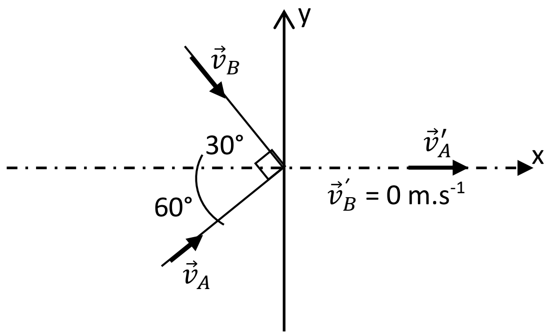
$\vec{p} = \vec{p}_A + \vec{p}_B = m_A\vec{v}_A + m_B\vec{v}_B$

- **après le choc**

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

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

Donc : $\vec{p} = \vec{p}'$ 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 : $m_A = m_B$

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

Projection (y, y') : $- v_A\sin60° + v_B\cos60° = 0$

Vitesse de la boule B avant le choc : v_B

$$v_B = \frac{v_A\cos60°}{v_B\cos60°} = 1{,}73 \text{ m.s}^{-1}$$

Projection (x, x') : $\sin60° + \cos60° = v'_A$

2. Vitesse de la boule A après le choc

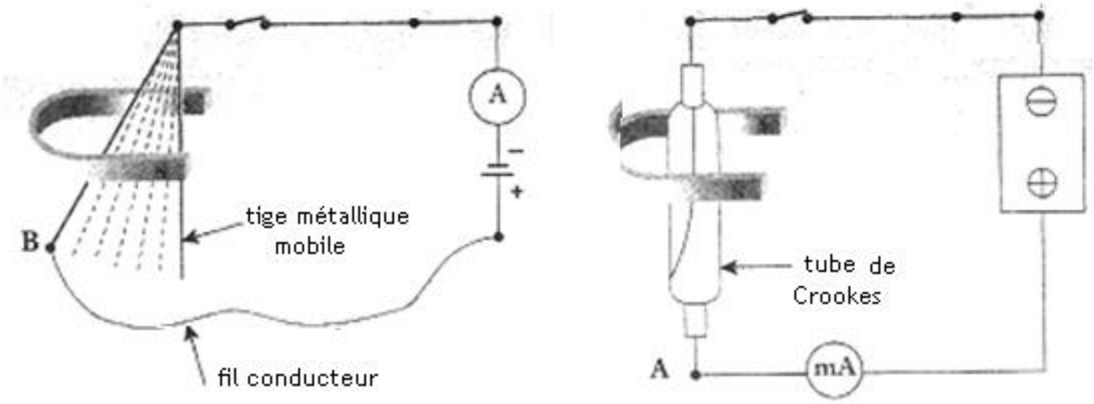
$v'_A = 1{,}73\times\sin60° + 1\times\cos60° = 2 \text{ m.s}^{-1}$.

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

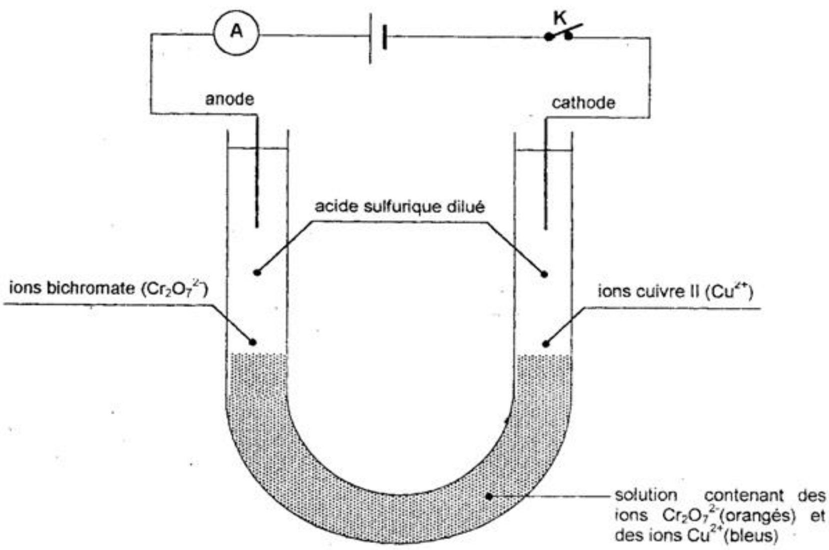
La déviation de la tige métallique montre qu'il existe des électrons libres en mouvement de A vers B

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 ($Cr_2O_7^{2-}$) : Ils se déplacent donc vers l'anode.
- La couleur bleue à la cathode est due à la présence des ions cuivre II (Cu^{2+}) : Ils se déplacent donc vers la cathode

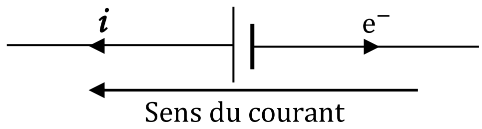
c) Conclusion

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)

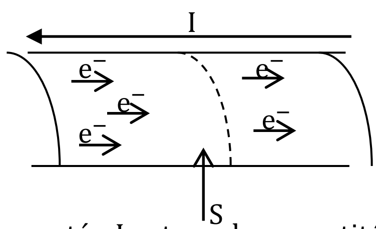
On appelle quantité d'électricité la valeur absolue de la charge portée par l'ensemble des porteurs de charges (ions ou électrons). Elle se note Q et s'exprime en coulomb (C). On a :
$Q = n|q|$ où q est la charge de chacun des n porteurs de charge

Exemple

- ✓ Pour un électron : $q = -e$ donc $Q = e = 1{,}6.10^{-19}$C
- ✓ Pour un ion Cu^{2+} : $q = +2e$ donc $Q = 2e$.
- ✓ Pour 10 ions carbonate (CO_3^{2-}), $q = -2e$ donc $Q = 10|-2e| = 20e$.

2. intensité du courant électrique

a) 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 $I = \dfrac{Q}{\Delta t}$ avec I en ampère (A), Q en C et Δt 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.

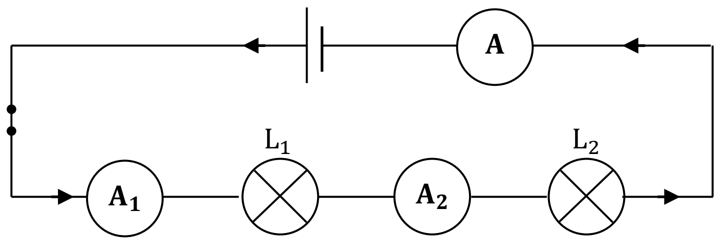
1 kiloampère (kA) = 10^3A
1 milliampère (mA) = 10^{-3} A
1 microampère (μA) = 10^{-6} A

On utilise aussi comme unité l'ampèreheure : **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

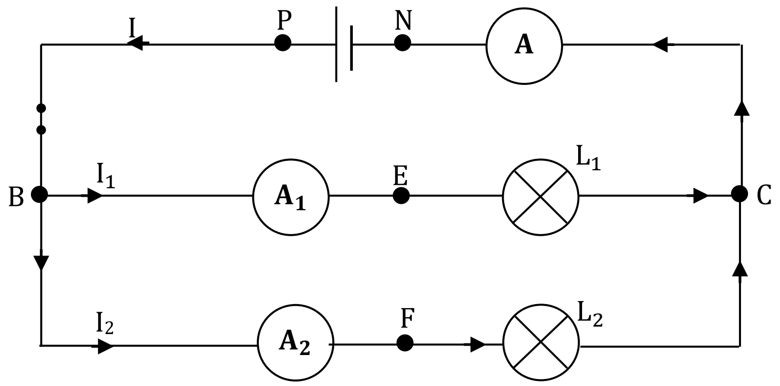
Constat : **$I = I_1 = I_2$**

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	A_1	A_2
Intensité (A)	I = 0,142	I_1 = 0,064	I_2 = 0,078

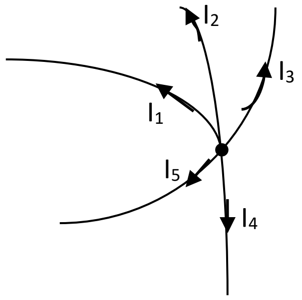
- Constat : **$I = I_1 + I_2$**

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.



$$\boxed{I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5}$$

Exercice d'application

Exercice 1

Une calculatrice en fonctionnement est parcourue par un courant électrique d'intensité
I = 3,5µA.

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 :
   $Q = I.\Delta t = 3,5.10^{-6} \times 60 = 0,21.10^{-3}$ C
2. Le nombre d'électrons n qui traversent la section d'un conducteur
   $Q = n|e|$; avec $e = 1,6.10^{-19}$C (charge élémentaire)
   $n = \frac{Q}{e} = \frac{0,21.10^{-3}}{1,6.10^{-19}} = 0,13.10^{16}$ soit $1,3.10^{15}$ électrons, soit un millions trois cents milliards d'électrons.

Exercice 2

Un circuit électrique est traversé par un courant de 0,3A pendant 1ms.

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

Résolution détaillée

Quantité d'électricité

$Q = I.\Delta t = 0,3.10^{-3} \times 10^{-3} = 3.10^{-4}$ C

$Q = \frac{3.10^{-4}}{3600} = 8,3.10^{-8}$ A.h

Le nombre d'électrons

$Q = n|e| \implies n = \frac{Q}{e}$; A.N : $n = \frac{3.10^{-4}}{1,6.10^{-19}} = 1,9.10^{15}$ électrons

Exercice 3

Lors d'une électrolyse d'une solution de sulfate de cuivre ($CuSO_4$) avec anode de cuivre. Il se produit à la cathode : $Cu^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow Cu$.

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(Cu) = 63,5 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
   $Q = 2.|e| = 2\times(1{,}6.10^{-19}) = 3{,}2.10^{-19}C$
   b. Pour une mole d'atomes de cuivre, il faut 2 moles d'électrons.
   $Q = 2.N_A.|e| = 6{,}02.10^{23} \times (3{,}2.10^{-19}) = 1{,}95.10^{5}$
   c. Pour un gramme de cuivre, il faut
   $Q = 2.N_A.|e| = 2.\frac{m}{M} \times N_A \times |e|$
   $Q = 2.\frac{1}{63{,}5} \times 1{,}6.10^{-19} \times 6{,}02.10^{23} = 3033{,}7\ C$

Remarque : La charge transportée par une mole d'électrons est appelée **Faraday** :
1 F = 96 500 C d'où $Q = (ne^{-}).F$ avec ne^{-} : nombres de moles d'electrons

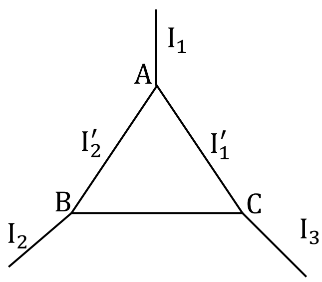
2. Intensité du courant dans le montage
$I = \frac{Q}{t} = 3{,}37\ A$

Exercice 4

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

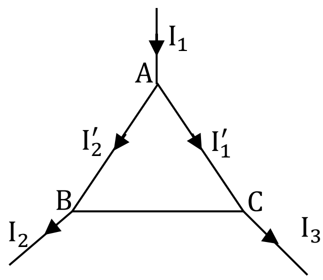
On donne: $I_1 = 3A$; $I_2 = 1A$

1. Calculer l'intensité du courant I_3 et déterminer le sens du courant dans cette branche
2. Sachant que $I'_1 = 1A$, 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. $I_3 = I_1 - I_2 = 3\text{-}2 = 1A$
2. $I'_2 = I_1 - I'_2 = 3\text{-}1 = 2A$
3. $I'_3 = I'_2 - I_2 = 2\text{-}1 = 1A$

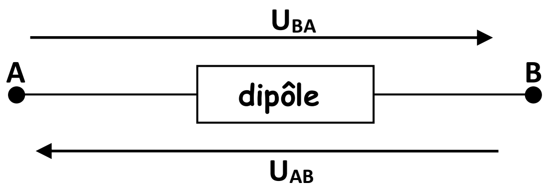
TENSION ÉLECTRIQUE

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

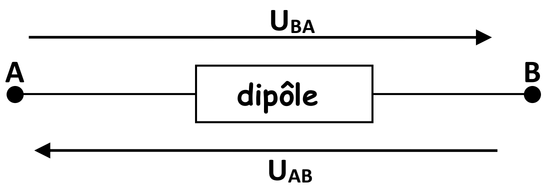
$U_{AB} = V_A - V_B$

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



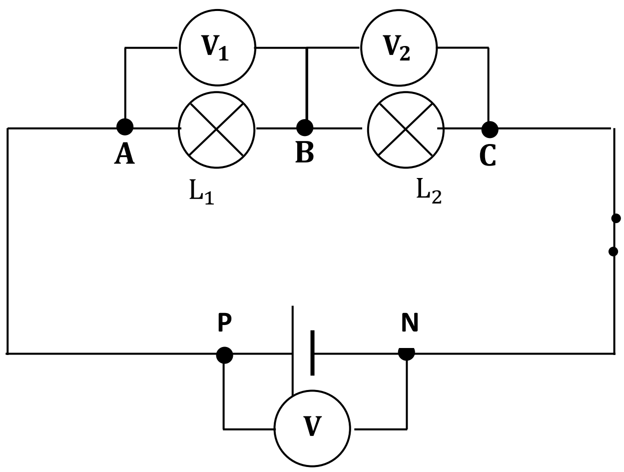
N.B : **$U_{AB} = - U_{BA}$** montre que la tension est une grandeur algébrique et
$V_A - V_B = - (V_B - V_A)$

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 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	V1	V2
Tensions (V)	U_{AC} = 6,03	U_{AB} = 2,06	U_{BC} = 3,96

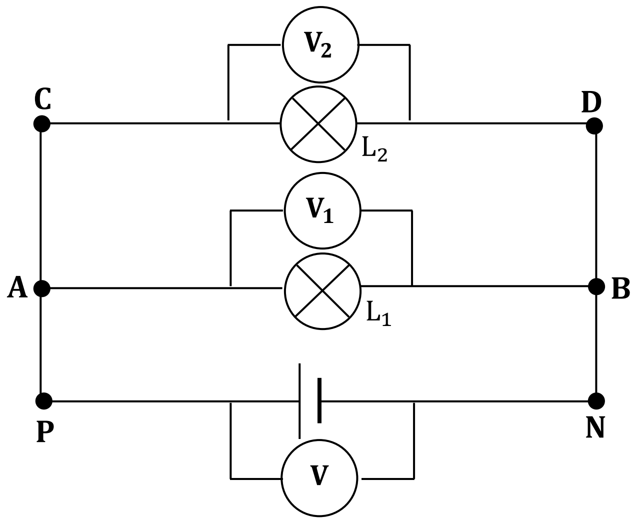
Constat : **$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$**

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 dérivations ou parallèle

a) Expérience et observations



Voltmètres	V	V1	V2
Tensions (V)	U_{PN} = 6	U_{AB} = 6	U_{CD} = 6

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

APNB et ABDC sont appelés mailles

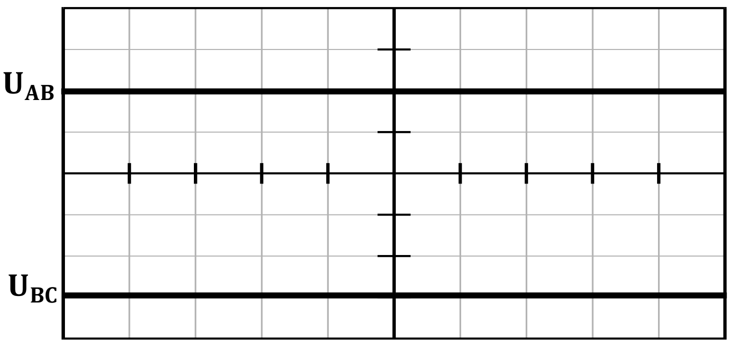
b) Conclusion

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

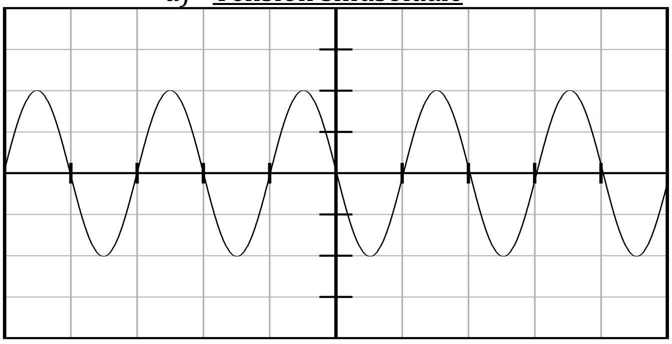


Le balayage (déviation verticale) est notée : k_v = 2 V/div ou 2 V/cm
$U_{AB} = k_v \times d = 2\times2 = 4$ V
$U_{BC} = - k_v \times d = - 2\times3 = - 6$ V

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

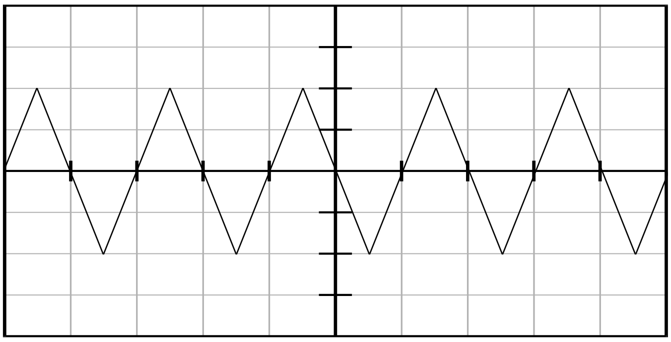
2. Tension alternative

a) Tension sinusoïdale



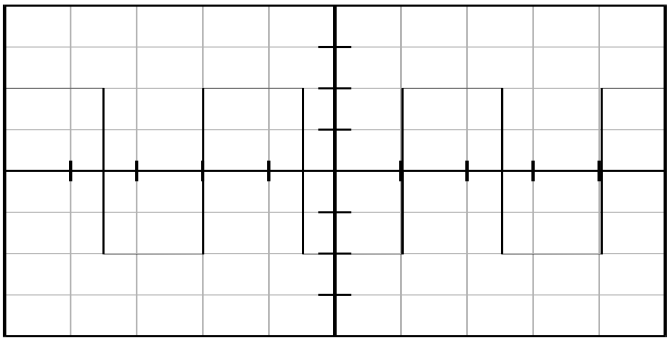
Sensibilité verticale : 1V/div
Balayage : 5ms/div

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 = 5x2 = 10 ms = 0,01 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) $\mathbf{N} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{T}}$

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

$$\boxed{\mathbf{Ueff} = \frac{\mathbf{Um}}{\sqrt{2}}}$$

Exercices d'applications

Exercice 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

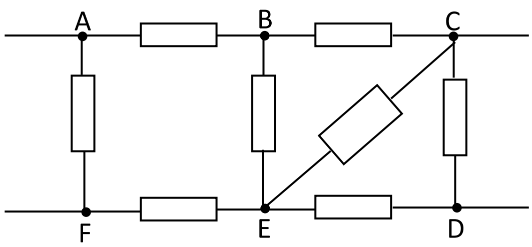
1. Déterminer :
   a. La tension maximale U_m et la tension efficace U.
   b. La période T et la fréquence N de l'oscillation.
2. Représenter en vrai grandeur l'oscillogramme observé.

Exercice 2

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

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

U_{AE} = 12 V ; U_{AD} = 20 V



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

RESOLUTION

1. Calcul des tensions (loi d'additivité des tensions)

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

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

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

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

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

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

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

2. Sens des courants dans les trois branches

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

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

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

ÉTUDE EXPERIMENTALE DE QUELQUES DIPÔLES PASSIFS

I. DÉFINITIONS

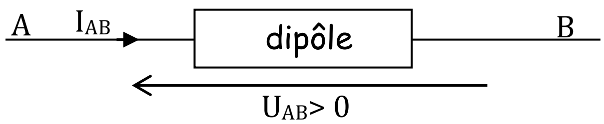
1. Dipôle

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

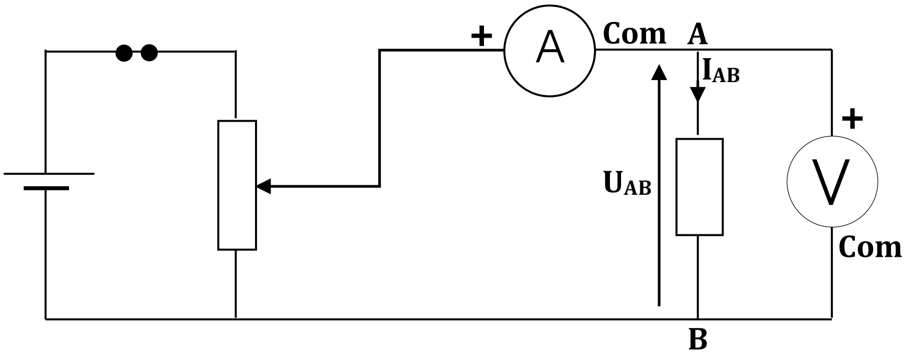
On étudie un dipôle passif avec la **convention récepteur**. Dabs un dipôle passif, le courant s'écoule de A vers B si $U_{AB} > 0$ (I_{AB} est alors positif, ou nul)



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

1. Caractéristique d'un conducteur Ohmique

a. Schéma du dispositif expérimental



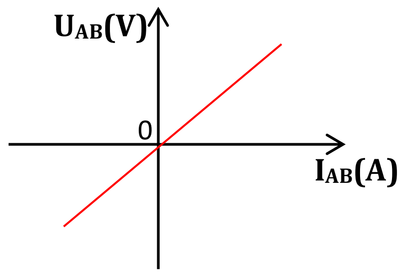
b. Tableau de mesures

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. <u>Exploitation du graphe</u>

- 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 $\boldsymbol{a = \frac{\Delta U}{\Delta I} = 50\ \Omega}$. C'est la résistance du conducteur ohmique. On la note **R**

e. <u>Conclusion</u> : **(Loi d'OHM pour un conducteur ohmique)**

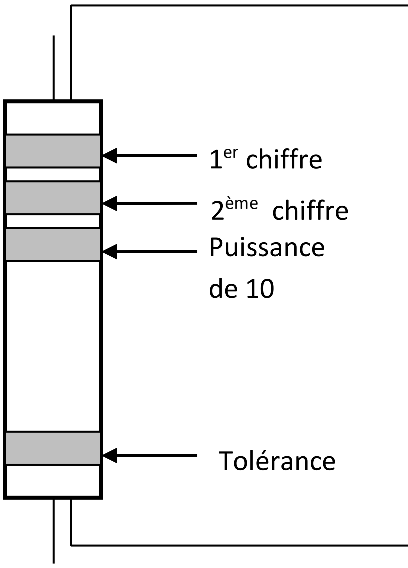
La tension aux bornes d'un conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse : $\boldsymbol{U_{AB} = RI_{AB}}$ ***; avec I en A, U en V et R en Ω***

Remarque :

- La caractéristique tension – intensité I_{AB} = f(U_{AB}) permet de déterminer la conductance du résistor ***:*** $\boldsymbol{I_{AB} = GU_{AB}}$ avec $\boldsymbol{G = 1/R}$ 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 :

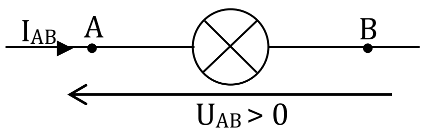


Couleur	1er ou 2ème chiffre	puissance de 10	tolérance
Noir	0	0	20%
Marron	1	1	1%
Rouge	2	2	2%
Orange	3	3	-
Jaune	4	4	-
Vert	5	5	-
Bleu	6	6	-
Violet	7	7	-
Gris	8	8	-
Blanc	9	9	-
Argent	-	-2	10%
Or	-	-1	5%

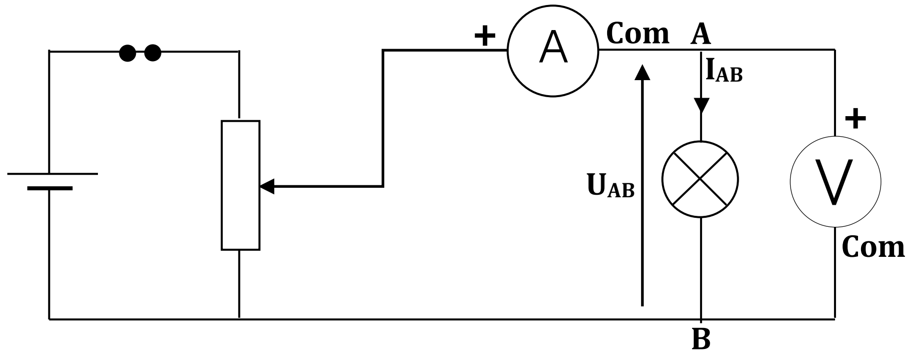
<u>Exemple</u> : Un résistor dont les couleurs d'anneau sont dans l'ordre Rouge – Orange – Marron – or a pour résistance $\boldsymbol{R = (230 \mp 12)\Omega}$

2. <u>Caractéristique d'une lampe à incandescence</u>

a. <u>Symbole</u>



b. Schéma du dispositif expérimental



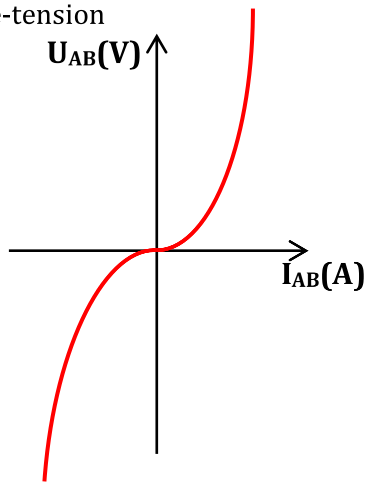
c. Tableau de mesures

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-tension

1 cm ↔ 0,25 V

1 cm ↔ 25 mA



e. 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 a son origine O : le **dipôle est symétrique**.

f. Conclusion

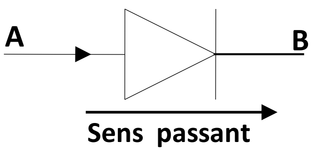
La lampe à incandescence est un dipôle passif symétrique non linéaire

III. CARACTERISTIQUE D'UNE DIODE

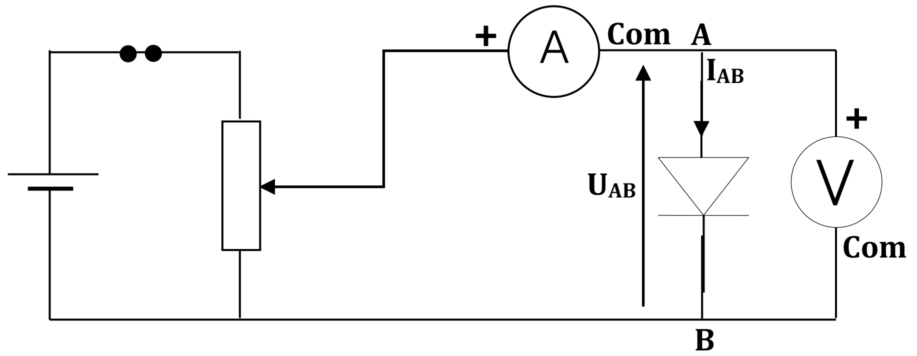
1. Diode à jonction

a. 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 expérimental



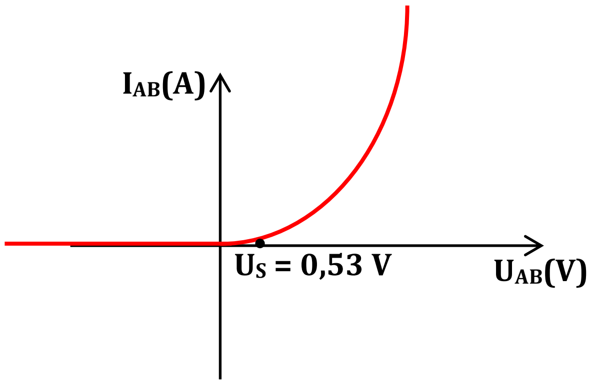
c. Tableau de mesure

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-intensité

Échelle : 1 cm ↔ 1 mA

: 1 cm ↔ 0,1 V



e. Exploitation du graphe

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

Remarque : La valeur Us = 0,53 V est appelée **tension seuil**. La diode devient conductrice à cette tension.

Exemple :

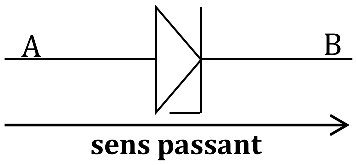
La diode au silicium : $U_S \geq 0,6$ V

La diode au germanium : $U_S \geq 0,3$ V

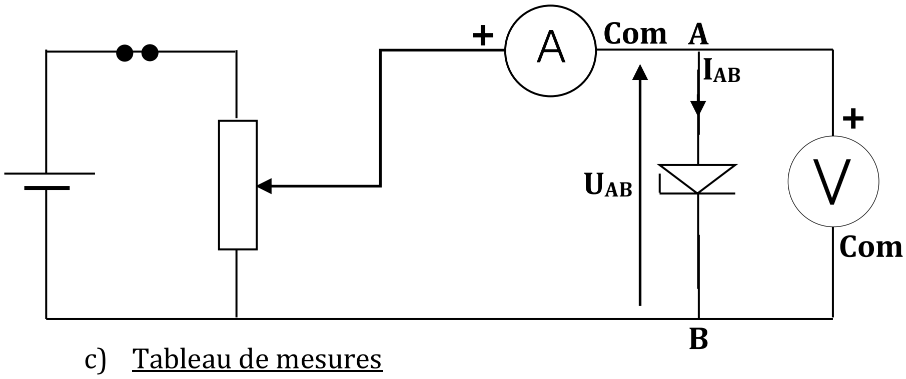
2. La diode Zener

a) Définition

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



b) Schéma du dispositif expérimental



c) Tableau de mesures

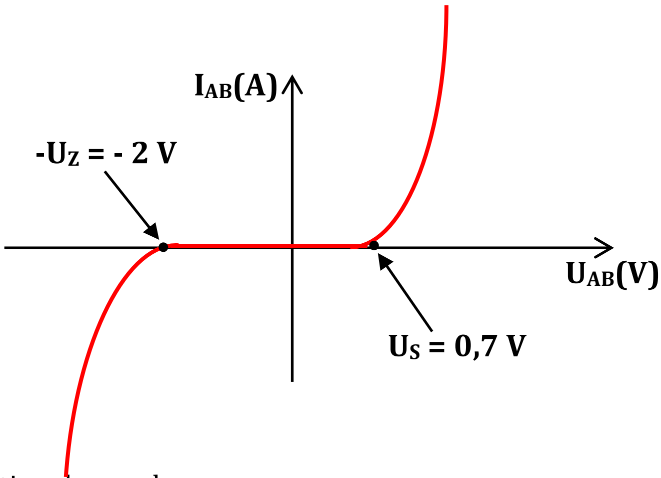
U(V)	-2,7	-2	-1	0	0,5	0,6	0,7	0,8
I(mA)	-11,5	-0,65	0	0	0	0	0,3	7,5

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

Echelle :

1 cm ↔ 1 mA

1 cm ↔ 0,5 V



e) Exploitation du graphe

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

Remarques

Us = 0,7 V est la tension seuil.

Uz = 2V est la tension Zener.

-Uz < U_{AB} < Us la diode est non passante.

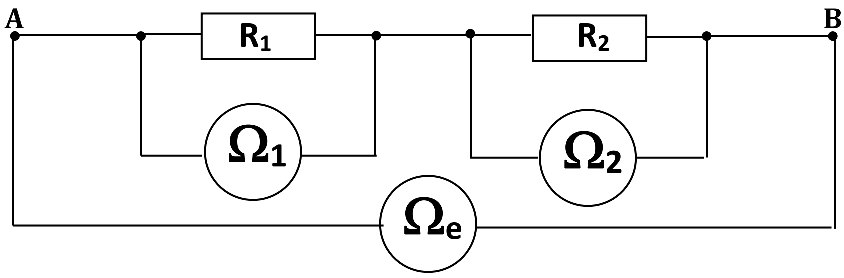
La diode est passante lorsque **$U_{AB} \geq$ Us ou $U_{AB} \leq$ - Uz**

IV. ASSOCIATION DE DIPÔLES PASSIFS

1. association de conducteurs ohmiques

1.1) association en série

a. étude expérimentale

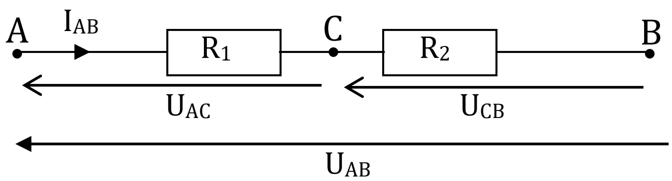


On lit $R_1 = 80{,}5\ \Omega$; $R_2 = 46{,}5\ \Omega$ et $R_e = 126{,}9\ \Omega$

On constate que : $\mathbf{Re = R_1 + R_2}$

D'une manière générale, pour l'association en série de n conducteurs ohmiques, la résistance équivalente est la somme de toutes les résistances $R\,éq = \sum_{1}^{n} R_i$

b. Étude théorique



Appliquons la loi d'Ohm :

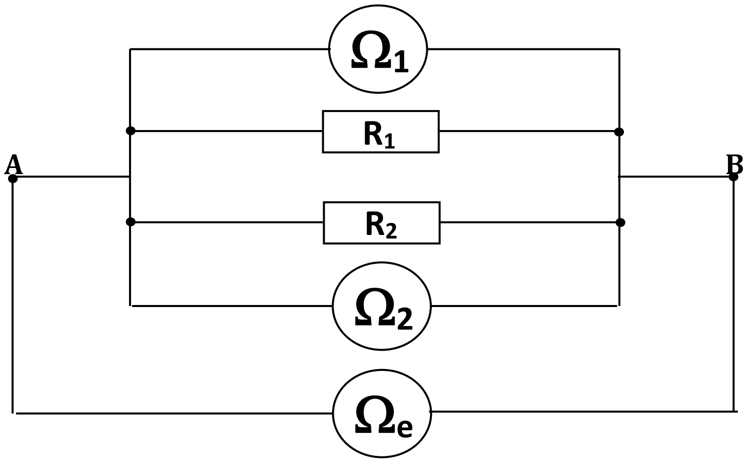
$U_{AC} = R_1 I$; $U_{CB} = R_2 I$ et $U_{AB} = R_{éq} I$

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

$$\begin{cases} U_{AB} = R_{éq} I \\ U_{AB} = (R_1 + R_2).I \end{cases} \qquad \mathbf{R_{éq} = R_1 + R_2}$$

1.2) association en parallèle

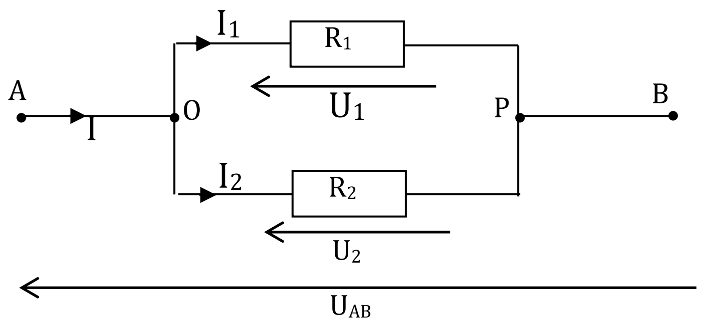
a. Étude expérimentale



Pour $R_1 = 80{,}5\ \Omega$ alors $1/R_1 = 0{,}012$ S
Pour $R_2 = 46{,}5\ \Omega$ alors $1/R_2 = 0{,}021$ S
On lit $Re = 29{,}5\ \Omega$ alors $1/Re = 0{,}033$ S
On constate que : $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Leftrightarrow \mathbf{Re} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$

D'une manière générale, pour l'association de n conducteurs ohmiques en parallèle, la résistance équivalente R_e est telle $1/R_e = 1/R1 + 1/R2 + ... + 1/Rn$

b. étude théorique

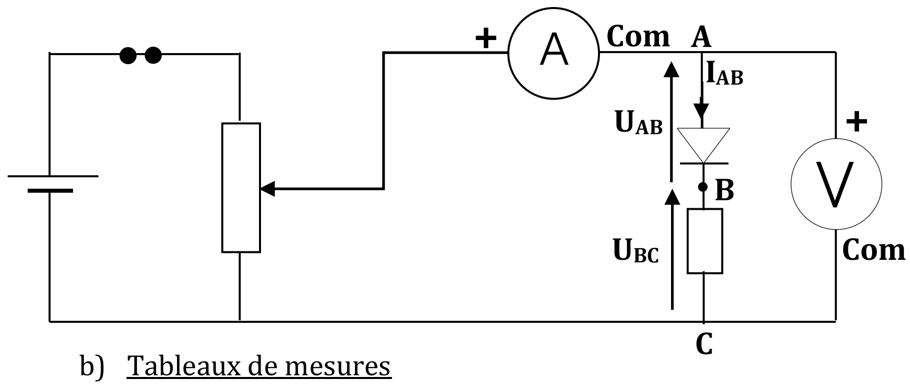


$U_1 = R_1.I_1$; $U_2 = R_2.I_2$; $U_{AB} = R_{éq}.I$ $(U_1 = U_2 = U_{AB})$
La loi des nœuds en O : $I = I_1 + I_2$
$I = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_{AB}}{R_1} + \frac{U_{AB}}{R_2} = (\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})U_{AB}$
$I = \frac{U_{AB}}{R_{éq}}$

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

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

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

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

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.

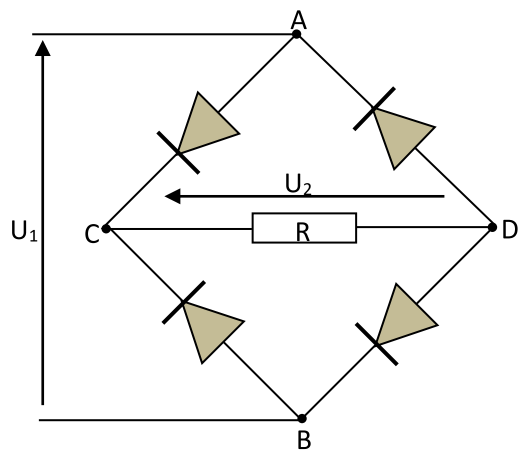
Exercice d'application

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.
   ($U_{diode} = 0$)

   Conclure.



Résolution détaillée

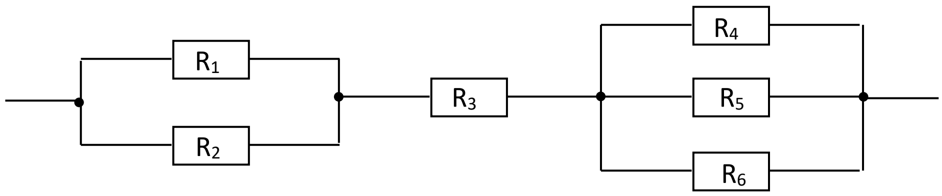
1. Faire le schéma dans chaque cas.
2. a) $U_1 = U_2$ lorsque la tension U_{AB} est positive
   b) - $U_1 = U_2$ lorsque la tension U_{AB} est négative

quelque soit la tension appliquée aux bornes de A et B, la tension aux bornes du conducteur Ohmique reste positive.

<u>Exercice</u> 2

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

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



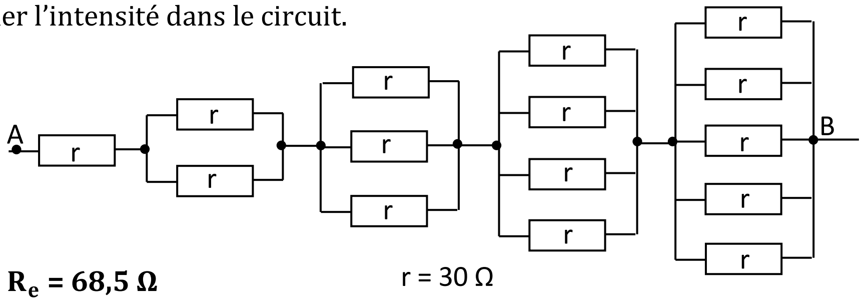
Déterminer la résistance équivalente R_e aux bornes de AB

Réponse : $\mathbf{R_e = 25\Omega}$

<u>Exercice</u> 3

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

Calculer l'intensité dans le circuit.



Réponse : $\mathbf{R_e = 68{,}5\ \Omega}$

r = 30 Ω

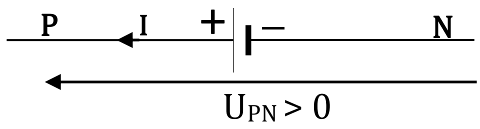
ÉTUDE EXPERIMENTALE D'UN DIPÔLE ACTIF - POINT DE FONCTIONNEMENT

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

1. Définition d'un dipôle actif

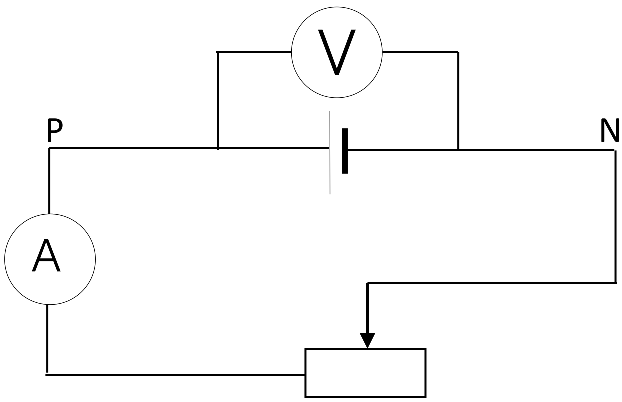
Un dipôle actif est un dipôle dont la tension à ses bornes est non nulle même en circuit ouvert. Ces dipôles sont polarisés : Il possède une borne positive (+) et une borne négative (-). Les dipôles actifs constituent la famille des générateurs de symbole.

- symbole



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

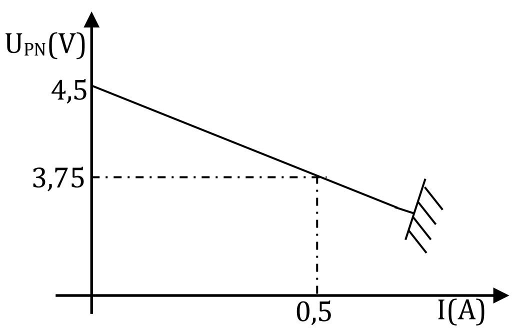
2. Schéma du dispositif expérimental



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 :

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

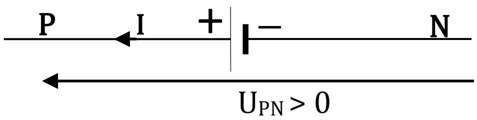
On pose a = - r : **r est appelé résistance interne de la pile** ; r = 1,5Ω
b : ordonnée à l'origine, **est la force électromotrice (f.é.m) de la pile** notée : E = b = 4,5 V
On a donc U_{PN} = 4,5 – 1,5.I **(loi D'OHM aux bornes de cette pile)**

6. Loi d'Ohm pour un générateur

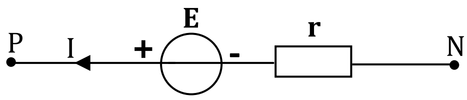
La tension aux bornes d'un générateur de f.é.m E et de résistance interne r est proportionnelle à l'intensité I du courant qu'il débite.

$$\boxed{U_{PN} = E - r.I}$$ avec U en V, E en V ; I en A et r en Ω

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

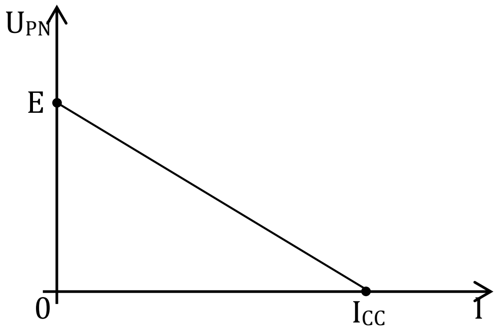


⇔



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

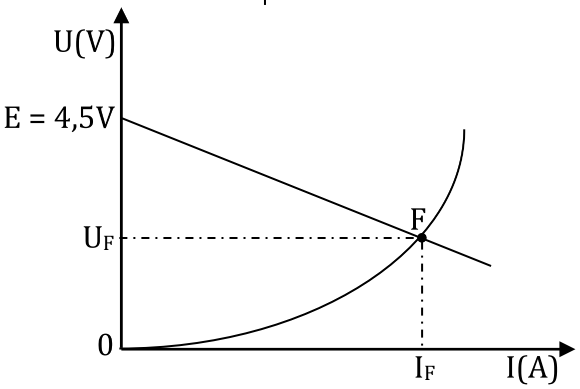
  - Pour le conducteur Ohmique

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

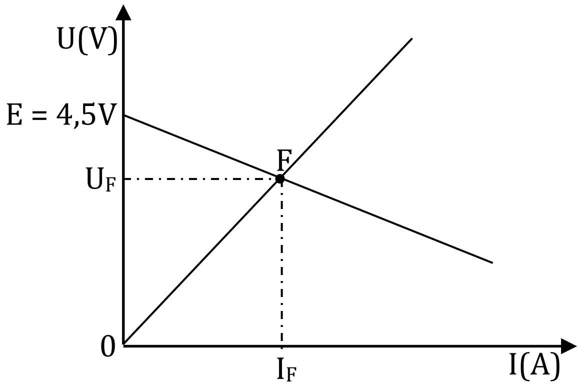
- Tracé des courbes du point de fonctionnement : U = f(I) intensité-tension

Echelle : 1 cm pour 0,5 et 1 cm pour 0,05 A
L'allure des courbes est comme indiquée sur le schéma

- Pile et lampe



- Pile et conducteur Ohmique

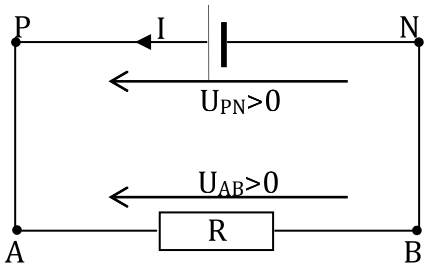


- Conclusion

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 :



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

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

On a : $U_{PN} = U_{PA} + U_{AB} + U_{BN}$; avec $U_{PA} = U_{BN} = 0$ donc : $\mathbf{U_{PN} = U_{AB}}$
E – rI = RI

D'où :

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

c) Généralisation : Loi de Pouillet

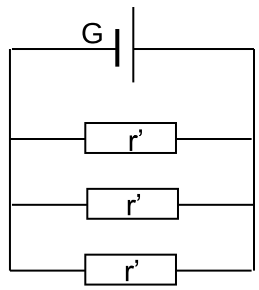
L'intensité du courant qui traverse un circuit constitué par des générateurs et des conducteurs ohmiques montés tous en série est donnée par la relation :
Où $\sum E$ représente la somme de toutes les f.é.m en (V) et $\sum R$ est la somme des résistances de tous les dipôles actifs et passifs en (Ω).

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

Exercices d'applications

Exercice 1

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



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

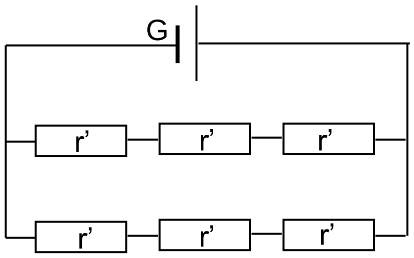
Résolution détaillée

Re = 10Ω; $I = \frac{E}{R_e+r} = \frac{12}{10+2}$ = 1 A et U_{PN} = E-rI = 12-2×1 = 10 V

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

Exercice 2

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



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

Résolution détaillée

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

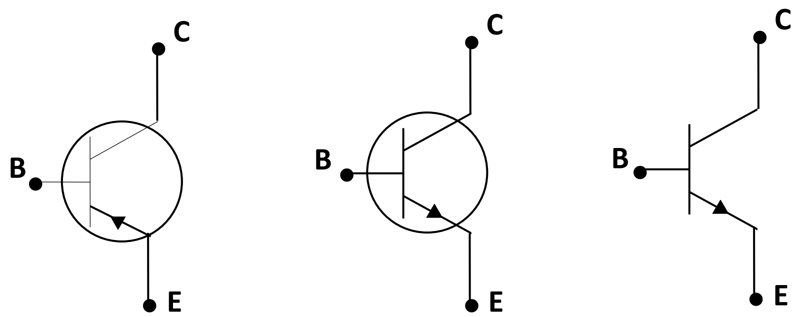
U = r'I' ; $I' = \frac{U}{3r'} = \frac{11,5}{90}$ = 0,128 A soit I'= 128 mA

LE TRANSISTOR : UN AMPLIFICATEUR DE COURANT LA CHAINE ELECTRONIQUE

I. LE TRANSISTOR

1. Description

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

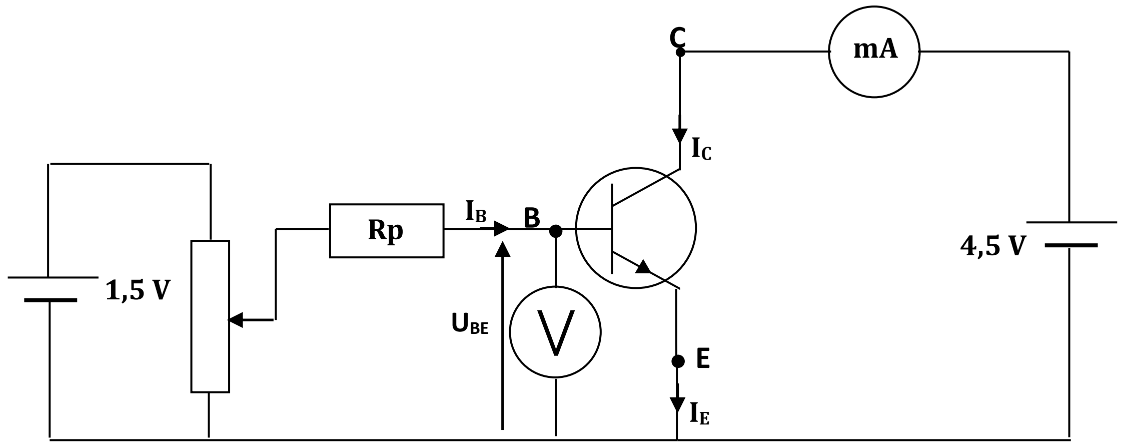


Transistor PNP **Transistor NPN**

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

2. Domaines de fonctionnement d'un transistor

a. Schéma du dispositif expérimental

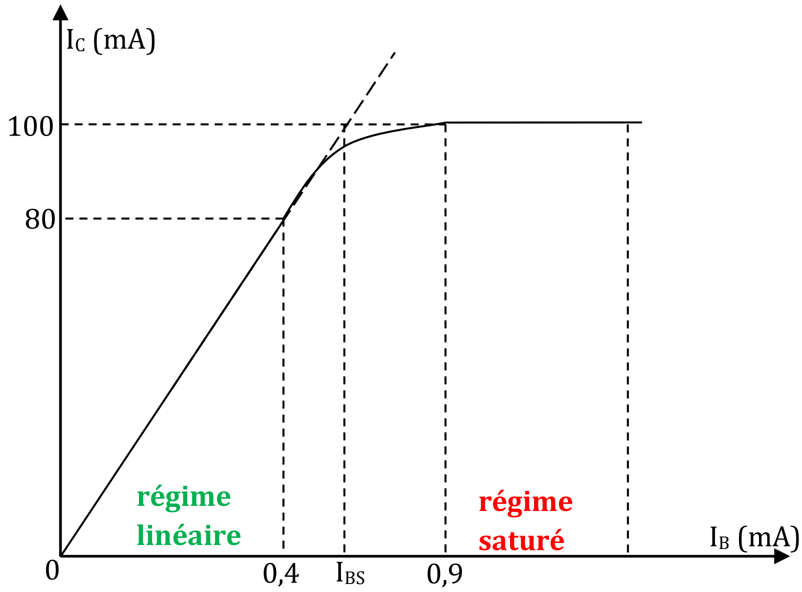


b. Résultats des mesures

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 : 1cm ↔ 10mA
Pour I_B : 1cm ↔ 0,2 mA



d. exploitation du tableau et de la courbe

- **Si $U_{BE} < 0,6$ V** ; **$I_B = I_C = 0$**, **le transistor est bloqué**. Il se comporte comme un interrupteur ouvert.
- **Si $U_{BE} > 0,6$ 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 =0,6V.
- **Si 0,6v <U_{BE}< 0,8 V**, l'intensité I_C dans le collecteur est proportionnelle à celle dans la base **$I_C = \beta I_B$** avec β >>1 β est le **gain** d'amplification.

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

$\beta = \frac{\Delta IC}{\Delta IB} = 200$

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

Si U_{BE} **>0,8 V,** I_C = cte =100mA. 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 CHAINE 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

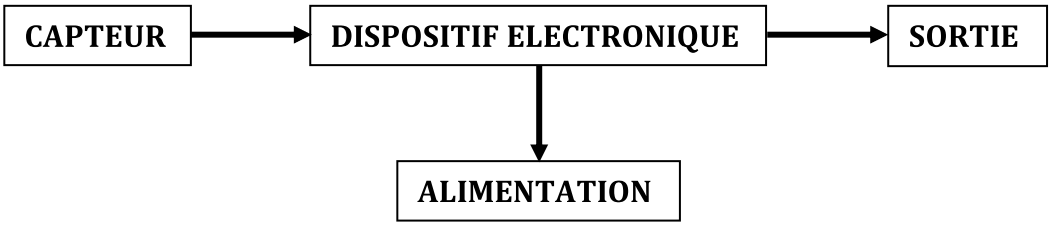
Elle fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement de la chaîne.

4. <u>Sortie</u>

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

Exemple : sonnerie, haut parleur, etc.

Une chaine électronique peut donc être schématisée sous la forme :



<u>Exercices d'applications</u>

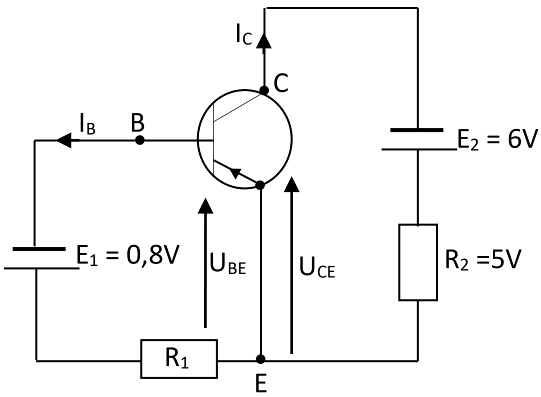
<u>Exercice</u> 1

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 pole + est l'émetteur E et le pole – est le collecteur C. On a donc : $U_{EC} = E_2 - R_2I_C = -U_{CE}$

  $I_C = \frac{E_2+U_{CE}}{R_2} = \frac{6-5}{25} = 4.10^{-4}$ A = 0,4 mA

- De même :

  $U_{BE} = E_1 - R_1I_B = -U_{BE}$

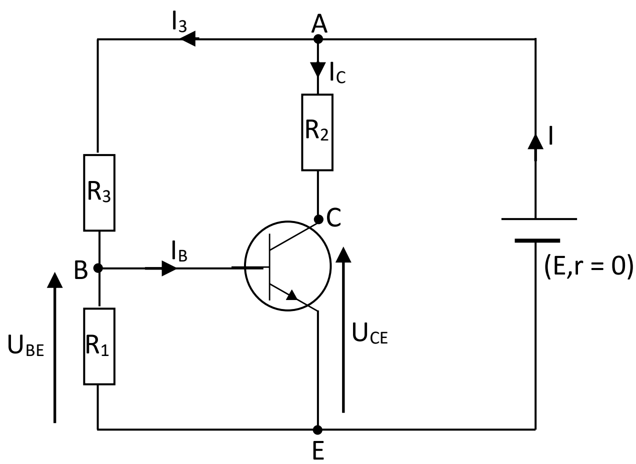
  $R_1 = \frac{E_1+U_{BE}}{I_B} = \frac{0,8-0,65}{4.10^{-4}} = \frac{1500}{4} = 375\Omega$

<u>Exercice</u> 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 β=140. On impose les conditions de fonctionnement suivantes :

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

$I_1 = 8I_B$



a. Déterminer le sens du courant I_1.

b. Quelles valeurs faut-il adopter pour les résistances R_1; R_2 et R_3 ?

c. 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}

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

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

A.N : $R_2 = \frac{10-5}{5.10^{-3}} = 10^3 = 1k\Omega$

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

$R_1 = \frac{\beta.U_{BE}}{8I_C} = \frac{140\times0{,}2}{8\times5.10^{-3}} = 700\Omega$

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

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

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

$R_3 = \frac{(E-U_{BE}).\beta}{9I_C} = \frac{(10-0{,}2)\times140}{9\times5.10^{-3}}$; $R_3 = 3{,}05.10^4\Omega = 30{,}5$ kΩ

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

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

Exercice 3

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

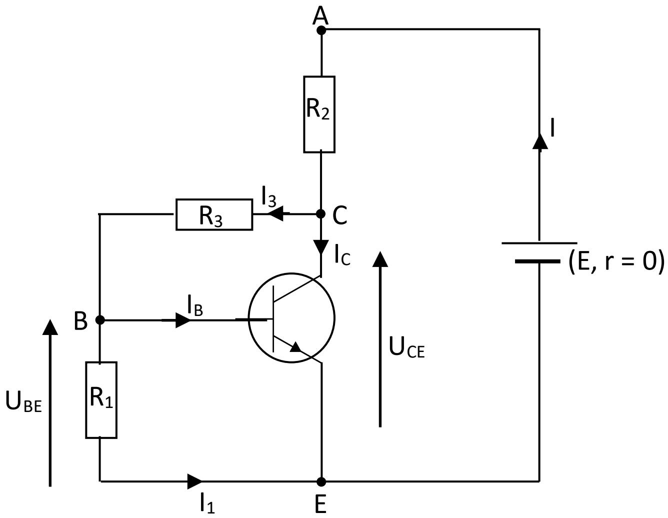
$E = 10V$; $I_C = 5$ mA

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

$\beta = 140$ 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

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

$I = \frac{9I_C}{\beta} + I_C = I_C.\frac{\beta+9}{\beta}$; A.N $I = 5\times\frac{149}{140} = 5{,}3$ 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 700Ω d'où ***R_1 = 700Ω***
- $R_2 = \frac{U_{AC}}{I}$; $U_{AC} = U_{AE}+U_{EC} = U_{AE} - U_{EC} = E - U_{CE}$

  $I = \frac{(E-U_{CE}).\beta}{I_C(\beta+9)}$; d'où $R_2 = \frac{(10-5)\times140}{5.10^{-3}\times140}$ = 940Ω ; ***R_3 = 940 Ω***
- $R_3 = \frac{U_{CB}}{I_3}$; $U_{CB} = U_{CE}+U_{EB} = U_{CE} - U_{EB}$

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

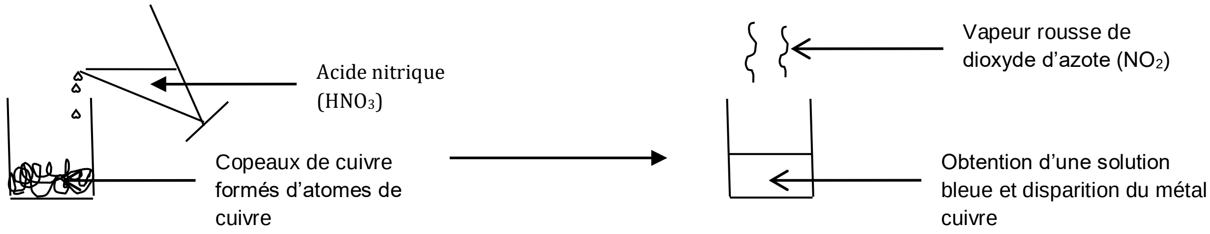
  $R_3 = \frac{(U_{CE}-U_{BE}).\beta}{9I_C} = \frac{(5-0,2)\times140}{9\times510^{-3}}$ = $1,49.10^{-4}$Ω ; ***R_3 = 14,9 kΩ***

NOTION D'ÉLÉMENTS CHIMIQUES

I. L'ELEMENT CUIVRE

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

a. Expérience et observations

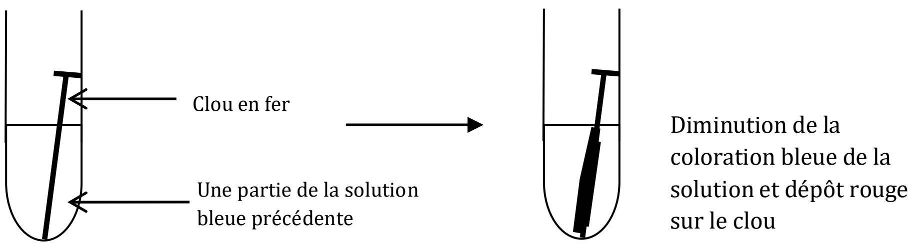


b. Conclusion

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

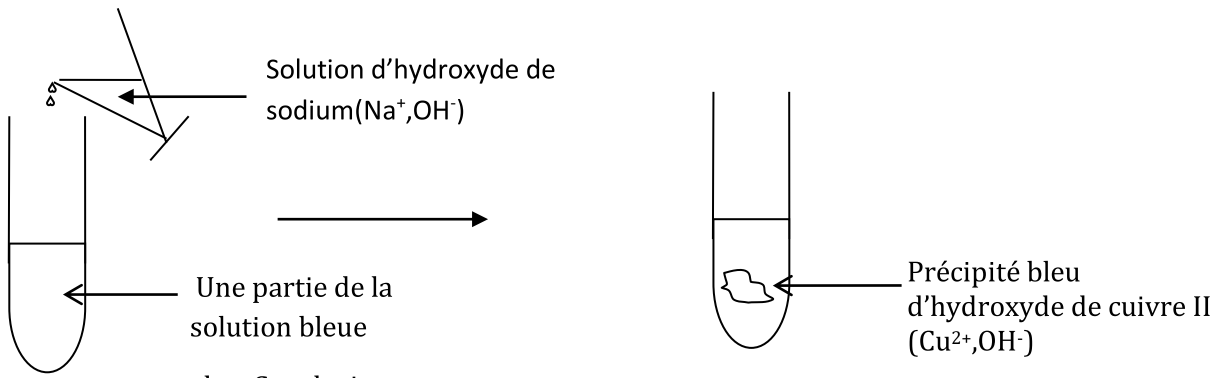


b. Conclusion

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.

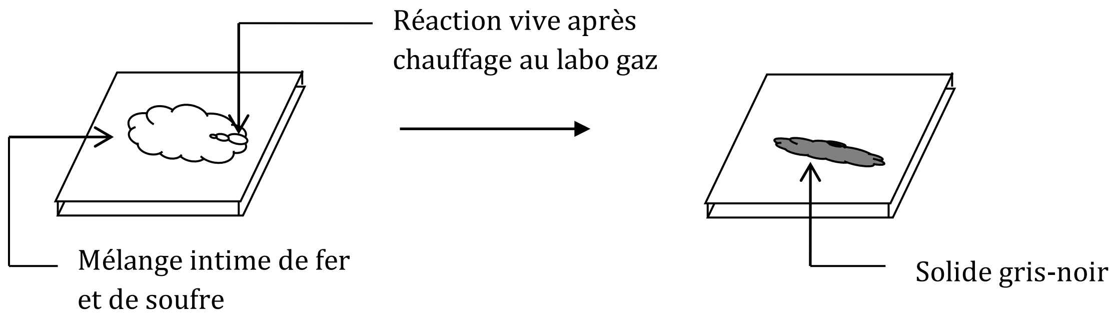
4. L'élément cuivre

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

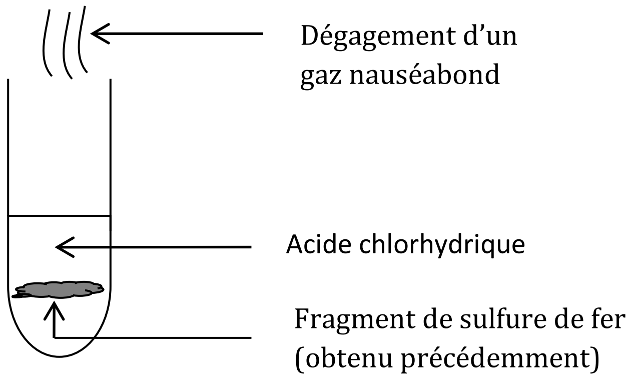


b. Conclusion

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 :

1- 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 $CO(NH_2)_2$.
2- Quel est l'élément chimique commun à tous ses composés ?

Résolution détaillée

1- Tableau récapitulatif

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

2- L'élément chimiques commun à tous ses composes 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	$m_p = 1{,}67.10^{-27}$kg	$m_n = 1{,}67.10^{-27}$kg
Charge	$e = 1{,}6.10^{-19}$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^-)	$m_{e^-} = 9{,}1.10^{-31}$Kg	$-e = -\ 1{,}6.10^{-19}$ C	Z

Remarque : Le nombre de prtons est égale au nombre de neutrons on ecrit :
Z (protons) = Z (électrons)

3. L'électroneutralité de l'atome

Il ya Z protons et Z électrons dans un atome.

ATOME
- **Noyau**
  - Z protons et N Neutrons
  - Charge = (+Z.e)
- **Electrons**
  - Z électrons
  - Charge = (-Z.e)

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

$m_{noyau} = Z.m_p + N.m_n$ or $m_p = m_n$

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

b. masse de l'atome

$m_{at} = Z.m_p + N.m_n + Z.m_{e-} = A.m_p + Z.m_{e-}$

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

$$\boxed{M_{atome} = A.m_p = m_{noy}}$$

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 : $R_{atomique} = 54.10^{-12}$m = 54 pm

rayon de son noyau : $R_{noyau} = 2.10^{-15}$m = 2.10^{-3}pm

avec pm = picomètre : 1pm = 10^{-12}m

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

Conclusion

Si le noyau avait un rayon de 1m, l'atome en aurait un rayon de 27000m = 27 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 : $^{A}_{Z}\mathbf{X}$

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 $^{1}_{1}H$; nucléide carbone $^{12}_{6}C$

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 $^{12}_{6}C$, $^{13}_{6}C$, $^{14}_{6}C$; et isotope d'hydrogène : $^{1}_{1}H$, $^{2}_{1}H$, $^{3}_{1}H$.

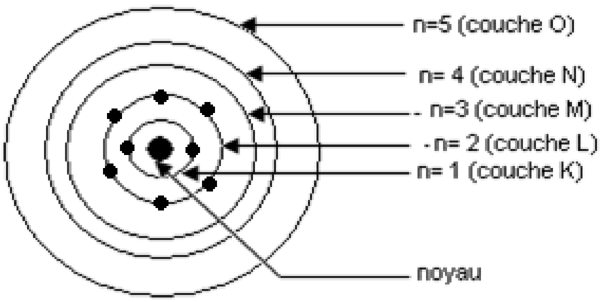
Remarque : L'ensemble des nucléides qui ont le même numéro atomique Z constitue un élément chimique.

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** (1ère couche), **L(**2ème couche)**,** **M(**3ème couche)**,** **N(**4ème couche)**,** **O (**4ème 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 : $K^2 L^8 M^8 N^1$; $_{20}$Ca : $K^2 L^8 M^8 N^2$
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 élections 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	${}^{1}_{1}H$	K^1	$\overset{\bullet}{H}$
Carbone	${}^{12}_{6}C$	K^2L^4	$\bullet\overset{\bullet}{\underset{\bullet}{C}}\bullet$
Oxygène	${}^{16}_{8}O$	K^2L^6	$\bullet\overset{-}{\underset{-}{O}}\bullet$
Magnésium	${}^{24}_{12}Mg$	$K^2L^8M^2$	$\bullet Mg\bullet$
Phosphore	${}^{31}_{15}P$	$K^2L^8M^5$	$\bullet\overset{-}{\underset{\bullet}{P}}\bullet$
Chlore	${}^{35}_{17}Cl$	$K^2L^8M^7$	$\vert\overset{-}{\underset{-}{Cl}}\bullet$

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	$9m_p$	$4m_{e-}$	$9m_p+4m_{e-}$
S	32	16	16	16	$32m_p$	$16m_{e-}$	$32m_p+16m_{e-}$
Al^{3+}	27	13	14	10	$27m_p$	$10m_{e-}$	$27m_p+10m_{e-}$
F^-	19	9	10	10	$19m_p$	$10m_{e-}$	$19m_p+10m_{e-}$

Exercice 2

1. Un corps pur simple de masse m = 10g contient $3{,}74.10^{23}$ 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 $Q = -1{,}92.10^{-18}$ 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.

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

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

Z = A – N = 16 – 8 = 8 ; **Z = 8**

K^2L^6 donc O (oxygène) donc O^{2-}

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

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

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	$_1H$ Hydrogène							$_2He$ Hélium
2	$_3Li$ Lithium	$_4Be$ Béryllium	$_5B$ Bore	$_6C$ Carbone	$_7N$ Azote	$_8O$ Oxygène	$_9F$ Fluor	$_{10}Ne$ Néon
3	$_{11}Na$ Sodium	$_{12}Mg$ Magnésium	$_{13}Al$ Aluminium	$_{14}Si$ Silicium	$_{15}P$ Phosphore	$_{16}S$ Soufre	$_{17}Cl$ Chlore	$_{18}Ar$ Argon
4	$_{19}K$ Potassium	$_{20}Ca$ 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 connaitre 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 = 13) : $K^2L^8M^1$ ont la même colonne.

II. LES PRINCIPALES FAMILLES ET LEURS PROPRIETES

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 : $\mathbf{K^2L^8M^2}$

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 2ème colonne.
3ème ligne et 2ème colonne d'où le magnésium (Mg)

Exercice 2

Un élément chimique X appartenant à la troisième période possède la structure de Lewis suivantes : $|\overline{\underline{X}}\bullet$

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^+ : ion sodium Mg^{2+} : ion magnesium Al^{3+}: ion aluminum	K^2L^8 K^2L^3 K^2L^8
ANIONS	Cl^-: ion chlorure F^-: ion fluorure S^{2-}: ion sulfure	$K^2L^8M^8$ K^2L^8 $K^2L^8M^8$

3. Ions polyatomiques

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

Formule chimique	OH^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	NH_4^+	H_3O^+	$Cr_2O_7^{2-}$	$M_nO^-_4$
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^+	Cl^-	$(Na^+ ; Cl^-)$	NaCl
Sulfate d'aluminium	Al^{3+}	SO_4^{2-}	$(2\ Al^{3+} ; 3SO_4^{2-})$	$Al_2(SO_4)_3$
Sulfate de fer II	F_e^{2+}	SO_4^{2-}	$(Fe^{2+} ; SO_4^{2-})$	$FeSO_4$
Hydroxyde de calcium	Ca^{2+}	OH^-	$(Ca^{2+} ; 2OH^-)$	$Ca(OH)_2$

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 :

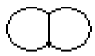
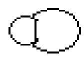
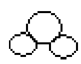
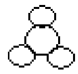
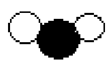
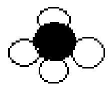
L'hydrogène est monovalent (valence(H)=1)
L'oxygène est divalente (val(O)=2)
L'azote est trivalent (val(N)=3)
Le carbone est tétravalent (val(C)=4)

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_2	H:H	H—H	Liaison de covalence simple
O_2	O::O	O=O	Liaison de covalence double
N_2	IN:::NI	IN≡NI	Liaison de covalence triple
$HC\ell$	H:Cl	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_2	H —0,074— H	H:H	H—H	
Dichlore	Cl_2	Cl —0,199— Cl	:Cl::Cl:	Cl—Cl	
Chlorure d'hydrogène	HCl	H —0,127— Cl	H:Cl:	H—Cl	
Dioxygène	O_2	O —0,121— O	O::O	O=O	
Eau	H_2O	H —0,096— O — H ; 105°	H:O:H	H—O—H	
Ammoniac	NH_3	H —0,101— N ; 107° ; H	H:N:H, H	H—N(—H)—H	
Dioxyde de carbone	CO_2	O —0,116— C — O	O::C::O	O=C=O	
Méthane	CH_4	H, H, C —0,109— H ; 109° ; H	H, H:C:H, H	H, H—C—H, H	

III. CORPS PURS ET MELANGE

1. Corps pur

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

Exemple

Cu ; Fe ; H_2, O_2 ; Cl_2

2. Corps composé

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

Exemple

CH_4, H_2O, CO_2

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 $6{,}02.10^{23}$ 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 $N_A = N = 6{,}02.10^{23} mol^{-1}$.

Exemples

1 mol d'atomes de cuivre renferme $6{,}02.10^{23}$ atomes de cuivre.

1 mol de molécules d'eau renferme $6{,}02.10^{23}$ molécules d'eau.

1 mol d'ions sodium renferme $6{,}02.10^{23}$ 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 **$g.mol^{-1}$**.

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

b. La mase 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

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

$M(C_6H_{12}O_6) = 6M(C) + 12M(H) + 6M(O) = 180\ g/mol$

2. Expression de la quantité de matière

La quantité de matière ou nombre de moles noté n d'un échantillon de matière dont on connait la masse est :

$$\boxed{n = \frac{m}{M}}$$

masse (m) en kg

masse molaire (M) en $g.mol^{-1}$

mole (n) en mol

Remarque :

Si N désigne le nombre d'entités élémentaires alors n se détermine :

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

n : mol

$\mathcal{N}$: sans unité

N_A : en 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 $3{,}5.10^{21}$ atomes de fer Fe, quelle est la quantité de matière contenue dans ce clou ?

Résolution détaillée

1. $n\,(C_{12}H_{22}O_{11}) = \frac{m}{M} = \frac{3{,}0}{342} = 8{,}8.10^{-3}$ mol
2. $n(\,Fe) = \frac{N}{N_A} = \frac{3{,}5.10^{21}}{6{,}02.10^{23}}$ donc $n(Fe) = 5{,}8.10^{-3}$ 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° ; $1{,}013.10^5$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 :

$$\underset{\text{(mol)}}{n} = \frac{V \;\text{(L)}}{V_m \;\text{(L/mol)}}$$

Application

Un gaz occupe dans les CNTP un volume V = 0,3 cm³. Calculer la quantité de matière n contenu dans ce gaz.

Réponse

$n = \frac{V}{V_M} = \frac{300\ l}{22{,}4} = 13{,}39$ 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.

$$\underset{\text{Sans unité}}{d} = \frac{M \;\text{g/mol}}{29}$$

Application

Calculer la densité du gaz butane

Réponse

$M(C_4H_{10}) = 4.M(C) + 10.M(H) = 58$ 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 :

$$4\,Fe + 3O_2 \longrightarrow 2\,Fe_2O_3$$

Les réactifs sont le fer Fe et le dioxygène O_2
Le produit est l'oxyde ferrique $\mathbf{Fe_2O_3}$

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 **α ; β ; δ ; γ,** les corps A, B, C et D sont solides, liquides, ou gaz.

$$\alpha\,A + \beta\,B \longrightarrow \delta\,C + \gamma\,D$$

bilan molaire :

$$\boxed{\frac{n_A}{\alpha} = \frac{n_B}{\beta} = \frac{n_C}{\gamma} = \frac{n_D}{\delta}}$$

exemple :

$$C_3H_8 + 5O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 4H_2O$$

$$\boxed{\frac{n(C_3H_8)}{1} = \frac{n(O_2)}{5} = \frac{n(CO_2)}{3} = \frac{n(H_2O)}{4}}$$

4. Proportions stœchiométriques

Deux réactifs sont pris dans les proportions stœchiométriques si ces réactifs réagissent dans les proportions comme suit :

Soit la réaction $\boldsymbol{\alpha\ A + \beta\ B \longrightarrow \delta\ C + \gamma\ D}$

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

$$\boxed{\frac{n_A}{n_B} \neq \frac{\alpha}{\beta}}$$

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 recueillit et la masse d'eau formée.

   Données : V_M = 24 L/mol ; M(H) = 1g/mol ; M(O) = 16g/mol

Résolution détaillée

1. Equation bilan : $4\ HCl + O_2 \rightarrow 2\ H_2O + 2\ Cl_2$
2. Bilan molaire :

$$\frac{n(HCl)}{4} = \frac{nO_2}{1} = \frac{nH_2O}{2} = \frac{nCL_2}{2}$$

$$\frac{n(HCl)}{n(O_2)} = \frac{4}{1} = 4$$

$$n(HCl) = \frac{V}{V_m} = \frac{120}{24} = 5 \text{ mol et } n(O_2) = \frac{V(O_2)}{V_m} = \frac{20}{24} = 0{,}83 \text{ mol}$$

$$\frac{n(HCl)}{n(O_2)} = \frac{5}{0{,}83} = 6{,}82 > 4$$

3. Le réactif en excès est HCl et le réactif limitant est le dioxygène.
4. nombre de moles de HCl ayant réagit :

$n(HCl) = 4.nO_2 = 4 \times 0{,}83 = 3{,}32$ mol

- nombre de mole de HCl initial

  $n(HCl) = \frac{V}{V_M} = \frac{120}{24} = 5$ mol

5. volume restant : $V_{restant} = (n_i - n_r)V_M = (V_i - V_r) = (5 - 3{,}32)\ V_M = 40{,}32$ L
6. volume de dichlore et masse d'eau

- Volume de Cl_2 :

$\frac{nCl_2}{2} = \frac{nO_2}{1}$ d'où $nCl_2 = 2\ nO_2$

$V(Cl_2) = n(Cl_2) . V_M = 2\ nO_2 \times 24 = 2 \times 0{,}83 \times 24 = 39{,}84$ L

- Masse d'eau formée :

$\frac{nO_2}{1} = \frac{nH_2O}{2}$ d'où $n(H_2O) = 2n(O_2)$

$m(H_2O) = n(H_2O) \times M(H_2O) = 2n(O_2) \times 18 = 29{,}88$ L

LE CHLORURE DE SODIUM SOLIDE

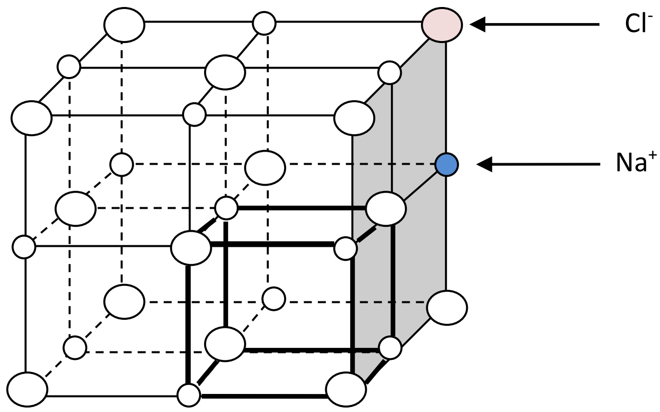
I. STRUCTURE DU CRISTAL DU CHLORURE DE SODIUM

1. Réseau cristallin

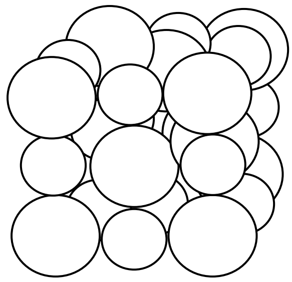
Le chlorure de sodium est le sel de cuisine. Il a une structure ordonnée appelée **réseau cristallin**. Son modèle éclaté est appelé : **maille**.

2. Schéma d'une maille

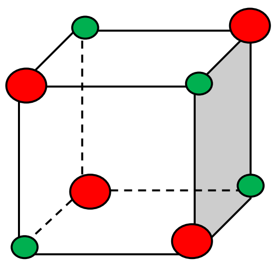
Une maille est composée de huit (8) motifs (cubes) et dans un motif il ya 4 ions Na^+ et 4 ions Cl^- disposés alternativement sur les sommets d'un cube.



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 forme statistique est 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 : $\mathbf{a = 2(R_{Na^+} + R_{Cl^-})}$.

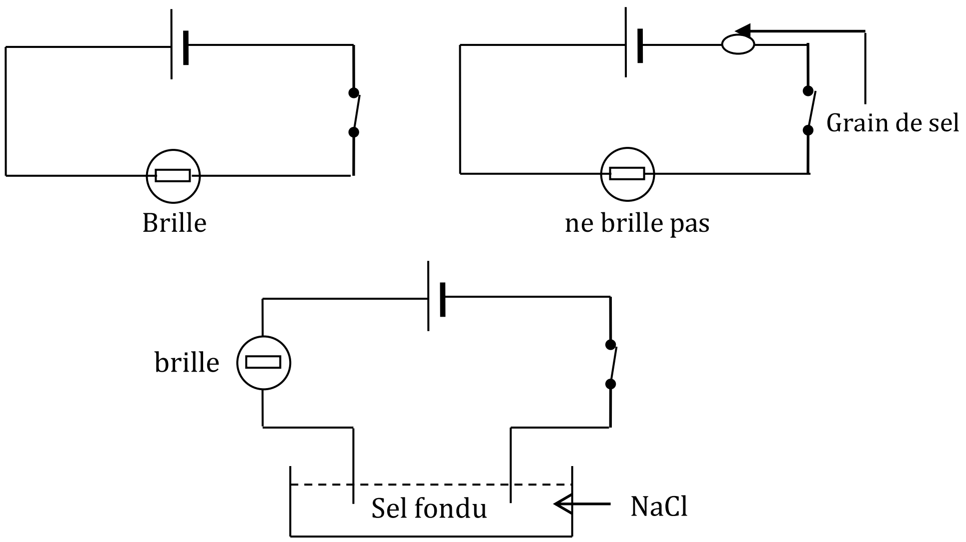
Le volume du cristal V est tel que $\mathbf{V = na^3}$

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 $\mathbf{Na^+}$ **;** $\mathbf{Cl^-}$ sont fixes c'est un isolant électrique.
- Le chlorure de sodium fondu (liquide) est une solution conductrice ; car les ions $\mathbf{Na^+}$ **;** $\mathbf{Cl^-}$ 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°C ; il faut donc beaucoup d'énergie pour le disloquer d'où sa stabilité thermique.

SOLUTIONS AQUEUSES IONIQUES

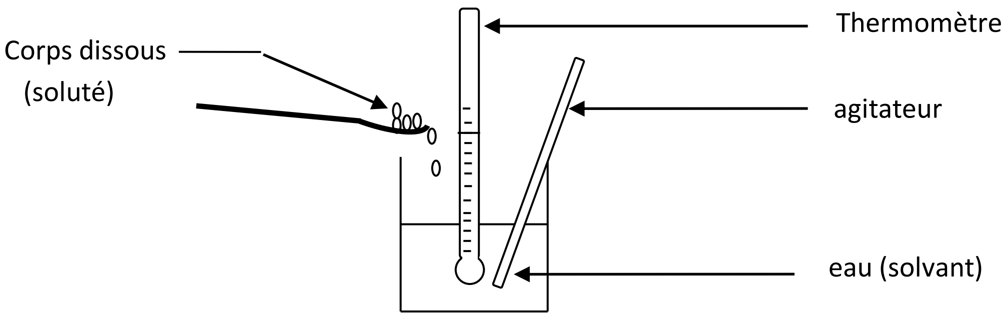
I. DISSOLUTION DANS L'EAU D'UN COMPOSE IONIQUE

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_4Cl
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_4Cl 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 solution

a. 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.

$$\text{mol/L} \longrightarrow \boxed{[A]=\frac{n_A}{V}} \begin{array}{l}\longleftarrow \text{mol}\\ \longleftarrow \text{L}\end{array}$$

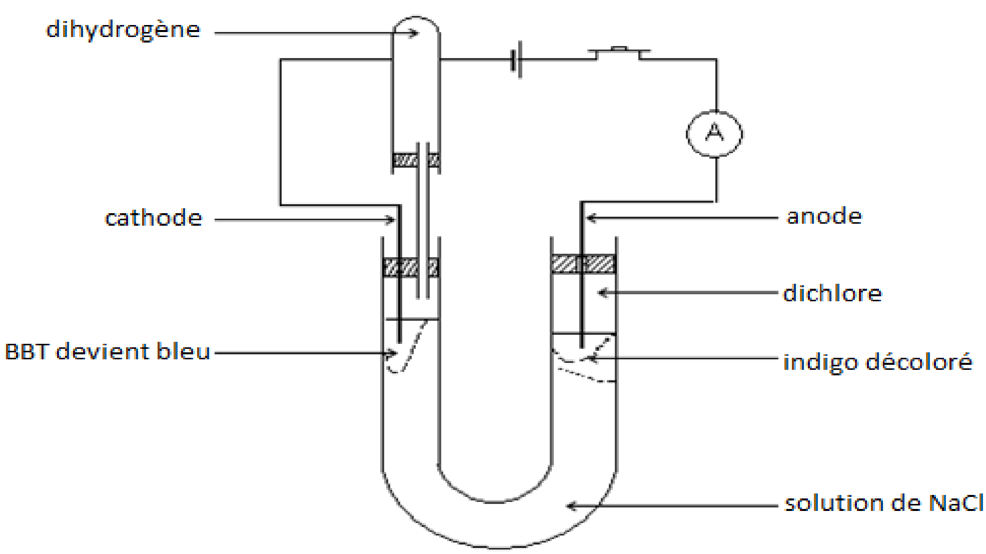
b. Concentration massique

La concentration massique d'une espèce chimique B dans une solution est la masse (g) de B dissoute dans un 1L de cette solution.

$$\text{g/L} \longrightarrow \left[\, c=\frac{m_B}{V} \,\right] \begin{array}{l}\longleftarrow \text{g}\\ \longleftarrow \text{L}\end{array}$$

II. ELECTROLYSE DU CHLORURE DE SODIUM EN SOLUTION AQUEUSE

1. Expérience et observation



2. Interprétation des réactions chimiques aux électrodes

- **A l'anode** :

La décoloration de l'indigo caractérise la présence du gaz dichlore (Cl_2). Les ions Cl^- sont oxydés en Cl_2 selon l'équation :
L'équation de la réaction est :

$$2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2\,e^-$$

- **A la cathode** :

Le BBT vire au bleu donc la solution contient des ions hydroxyde. L'eau est décomposée en dihydrogène (H_2) et en ion hydroxyde (OH^-) selon l'équation :

$$2H_2O + 2\,e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$$

La coloration rose violacée de la phénolphtaléine (φφ) montre la présence de ces ions OH^-.

3. Conclusion

L'électrolyse de la solution aqueuse de chlorure de sodium se fait selon l'équation bilan suivante :

$$2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2\,e^-$$
$$2H_2O + 2\,e^- \longrightarrow H_2 + 2OH$$
$$\overline{2H_2O + 2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + H_2 + 2OH^-}$$

4. Rôle du solvant dans l'électrolyte

Au cours de l'électrolyse le nombre d'ions Na^+ n'est pas modifié alors que les ions Cl^- disparaissent. Pour assurer l'électroneutralité de la solution, le solvant ici l'eau se décompose pour donner des ions OH^-. En ajoutant l'ion Na^+ aux deux membres de l'équation bilan on obtient :

$$2H_2O + 2(Na^+ + Cl^-) \longrightarrow H_2 + Cl_2 + 2(Na^+ + OH^-)$$

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 : Vm = 22,4L/mol
Le nombre d'Avogadro : $N_A = 6{,}02.10^{23}$ /mol ; $e = 1{,}6.10^{-19}$ C

Résolution détaillée

1. Schéma de l'électrolyse (voir schéma de l'électrolyse du cours)
2. équation aux électrodes :

à l'anode : $2\ Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$

à la cathode : $2\ H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2\ OH^-$

équation-bilan : $2\ Cl^- + 2\ H_2O \longrightarrow H_2 + 2\ OH^- + Cl_2$

ou $2(K^+;Cl^-) + 2\ H_2O \longrightarrow H_2 + 2(K^+; OH^-) + Cl_2$

3.

a. quantité de matière d'ions chlorure qui a réagit.

$C_{KCl} = \frac{m}{M.V} = \frac{40}{0,25\ \times(39,5+35,5)} = 2,15\ mol/L$

$n_{Cl^-} = C.V = 2,15 \times 0,25 = 0,54$ mol

b. Volume de dichlore obtenu dans les C.N.T.P

$V_{Cl_2} = n_{Cl_2} \times V_M = \frac{n_{Cl_2}}{2} \times V_M$

$V_{Cl_2} = \frac{0,54}{2} \times 22,4 = 6,048$ L

c. Quantité d'électricité mise en jeu

Une mole d'électron correspond à N_A Avogadro

$Q = n|q|.N_A = 2\times1,6.10^{-19}\times6,02.10^{23} = 192\ 640$ C

d. temps mis pour effectuer l'électrolyse pour I = 3A

$Q = I\times t$ d'où $t = \frac{Q}{I} = \frac{192.640}{3} = 64\ 213$ s ; soit 17 h 50 min

e. masse du corps solide recueilli après vaporisation.

$n_{KOH} = \frac{m(KOH)}{M(KOH)}$ alors $m_{KOH} = n_{KOH}\times M_{KOH}$

$\frac{n_{KCl}}{2} = \frac{n_{KOH}}{2}$ or $n_{Cl^-} = 0,54$ mol

$n_{KOH} = 0,54\times56 = 29,7$ g

TESTS D'IDENTIFICATION DE QUELQUES IONS

I. CARACTERISATION DES IONS

1. Couleurs des ions en solution

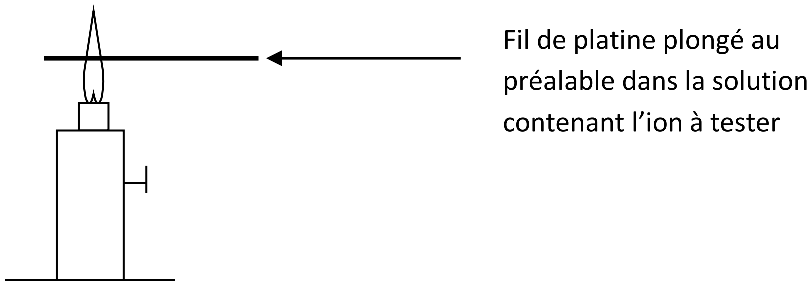
La couleur des solutions aqueuses ioniques est souvent due à celle des ions en solution.

Exemples

Ions	Cu^{2+}	Fe^{2+}	Fe^{3+}	MnO_4^-	$Cr_2O_7^{2-}$
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.



Exemples

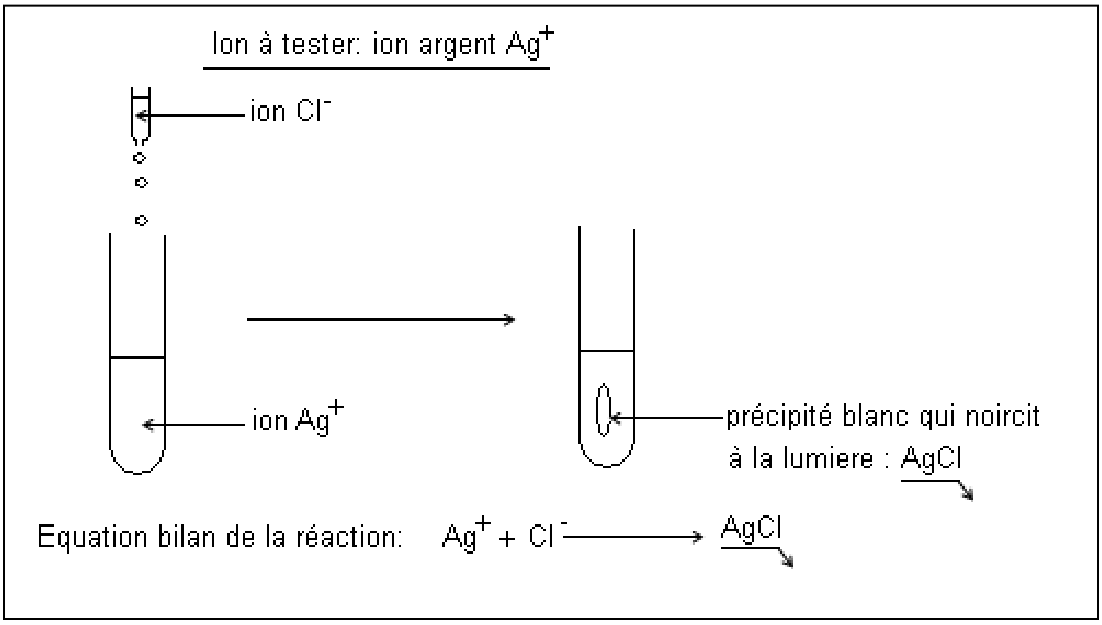
Pour l'ion Na^+ : flamme jaune

Pour l'ion Cu^{2+} : flamme verte

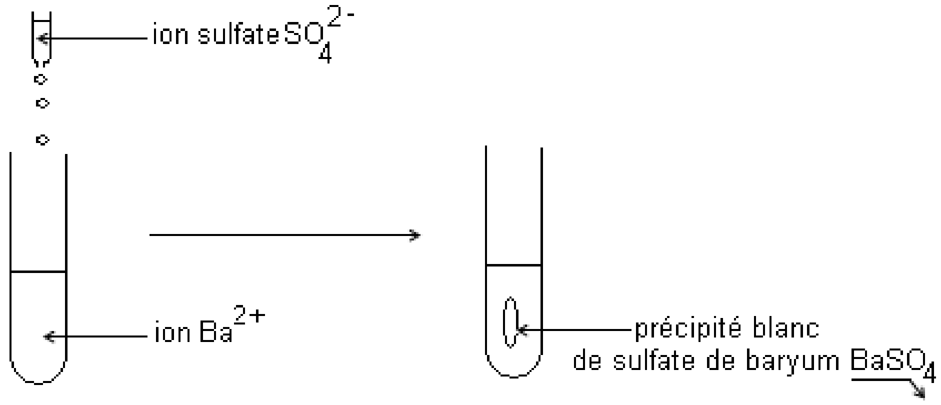
Pour l'ion Ca^{2+} : flamme rouge-orangé

3. Test des précipitations des ions

a. Identification de quelques cations

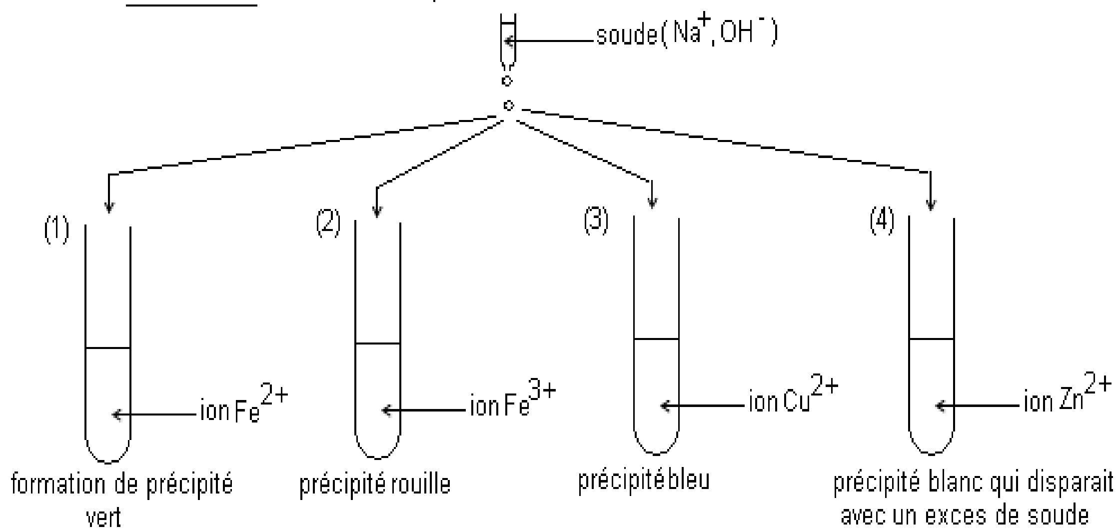


Ion à tester: ion baryum Ba^{2+}



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+})



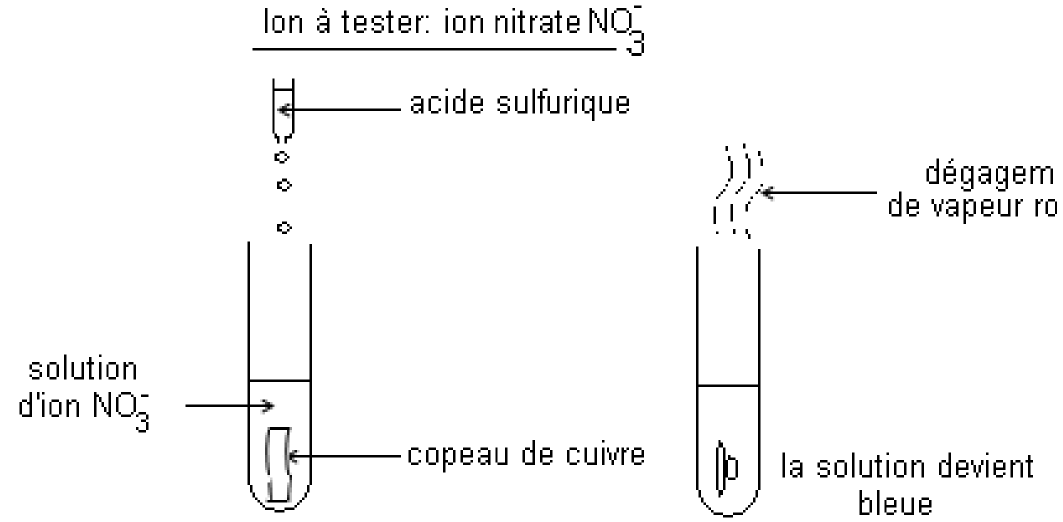
(1) $Fe^{2+} + 2\,OH^- \longrightarrow Fe(OH)_2$

(2) $Fe^{3+} + 3\,OH^- \longrightarrow Fe(OH)_3$

(3) $Cu^{2+} + 2\,OH^- \longrightarrow Cu(OH)_2$

(4) $Zn^{2+} + 2\,OH^- \longrightarrow Zn(OH)_2$

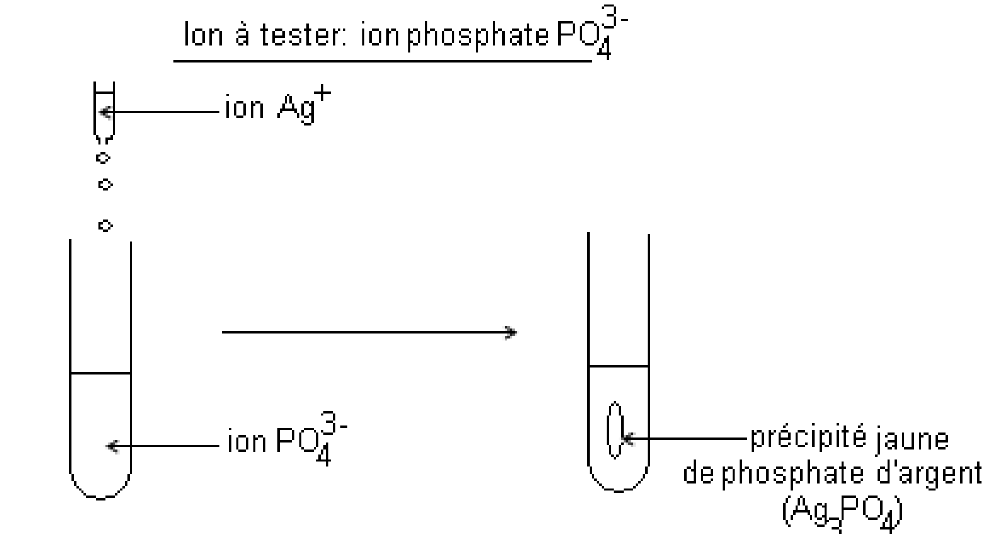
b. Identification de quelques anions



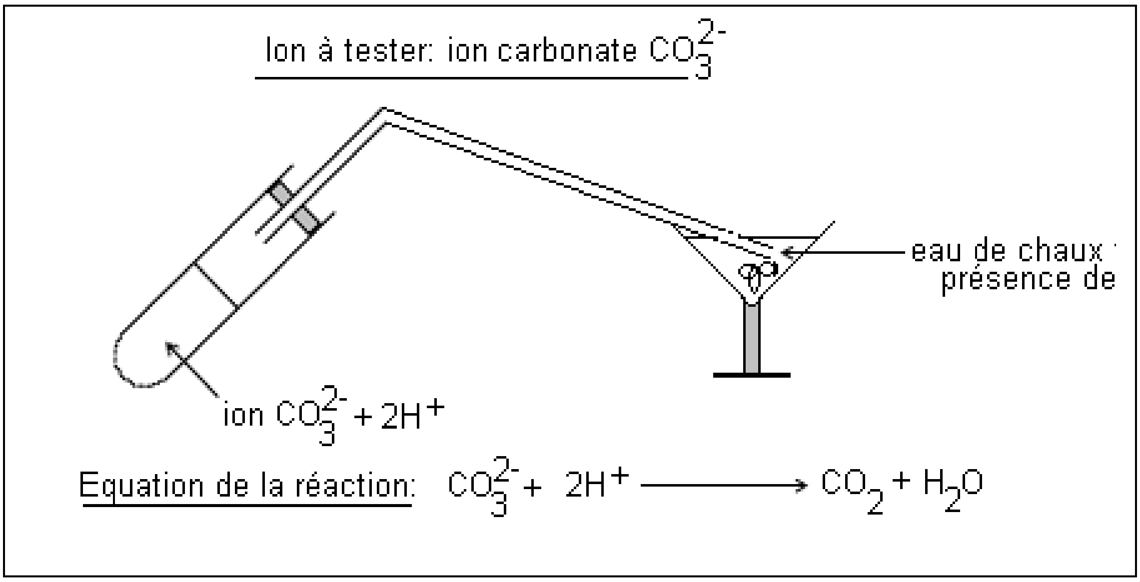
L'équation de la réaction est:

$$2NO_3^- + 3Cu + 8\,H^+ \longrightarrow 2\,NO + 3Cu^{2+} + 4\,H_2O$$

$$\text{puis } 2\,NO + O_2 \longrightarrow 2\,NO_2$$



Equation bilan de la réaction: $3Ag^+ + PO_4^{3-} \longrightarrow Ag_3PO_4$



Remarque : Les ions Cl^- et SO_4^{2-} sont aussi identifiés respectivement par les ions Ag^+ et Ba^{2+} avec formation de précipité blanc.

II. TABLEAU RECAPITULATIF

1. Les cations

Ions testé	Réactif	Observations	Formule du précipité
Ag^+	Cl^-	Précipité blanc de chlorure d'argent qui noircit à la lumière	$AgCl \downarrow$
Ba^{2+}	SO_4^{2-}	Précipité blanc de sulfate de baryum	$BaSO_4 \downarrow$
Fe^{2+}	OH^-	Précipité vert d'hydroxyde de fer II, soluble dans un excès de soude	$Fe(OH)_2 \downarrow$
Fe^{3+}	OH^-	Précipité rouille d'hydroxyde de fer III, insoluble dans un excès de soude	$Fe(OH)_3 \downarrow$
Cu^{2+}	OH^-	Précipité bleu d'hydroxyde de cuivre II, insoluble dans un excès de soude	$Cu(OH)_2 \downarrow$
Zn^{2+}	OH^-	Précipité blanc d'hydroxyde de zinc, soluble dans un excès de soude	$Zn(OH)_2 \downarrow$

2. Les anions

Ion testé	Réactif	Observations	Formule du corps
Cl^-	Ag^+	Précipité blanc de chlorure d'argent	$AgCl \downarrow$
SO_4^{2-}	Ba^{2+}	Précipité blanc de sulfate de baryum	$BaSO_4 \downarrow$
CO_3^{2-}	H_3O^+	Dégagement de CO_2 trouble l'eau de chaux	$CO_2 \uparrow$
PO_4^{3-}	Ag^+	Précipité blanc de phosphate d'argent	$AgPO_4 \downarrow$
NO_3^-	H_3O^+	Dégagement de NO qui au contact de l'air donne des vapeurs rousses de NO_2	$NO_2 \uparrow$

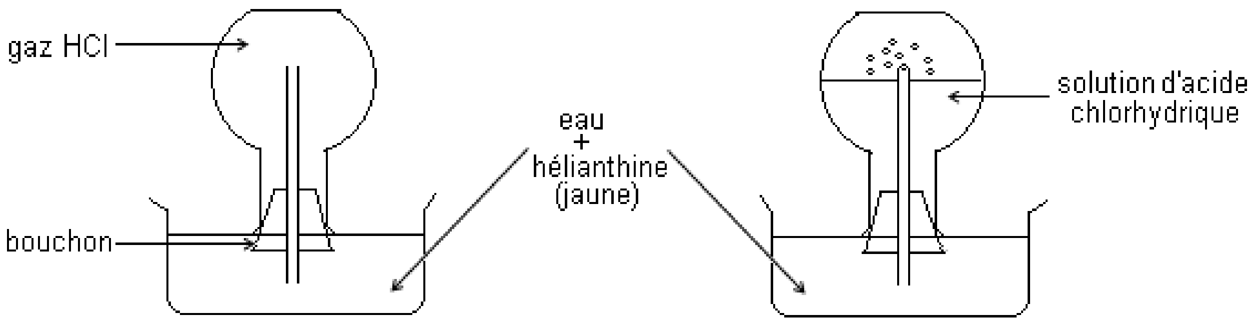
SOLUTION ACIDES ET BASIQUES
MESURE DE PH

I. SOLUTION ACIDE

1. Préparation de la solution aqueuse d'acide chlorhydrique

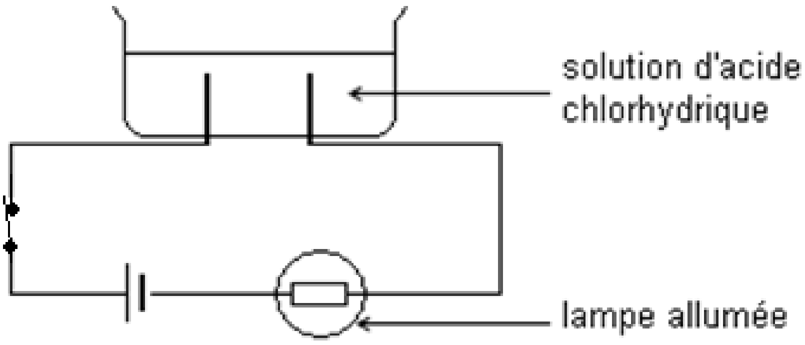
Le chlorure d'hydrogène de formule HCI est un gaz incolore, d'odeur piquante, soluble dans l'eau.

Expérience du jet d'eau



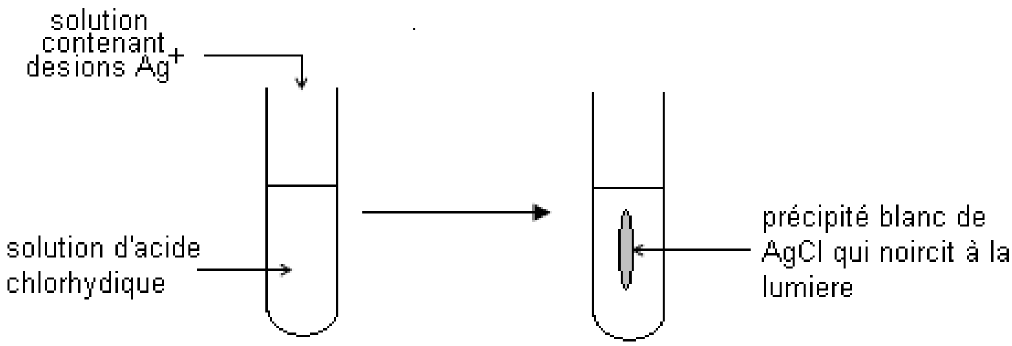
Le chlorure d'hydrogène est très soluble dans l'eau. La solution obtenue est appelée solution d'acide chlorhydrique.

2. Conductibilité électrique



La solution aqueuse d'acide chlorhydrique conduit le courant électrique : c'est-à-dire **un électrolyte**. Elle contient donc des ions H_3O^+ et Cl^-.

3. Mise en évidence de l'ion Cl^-



Ce test caractérise la présence des ions Cl^- dans la solution d'acide chlorhydrique.

4. Equation bilan de la réaction du chlorure d'hydrogène avec l'eau

$$HCl + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + Cl^-$$

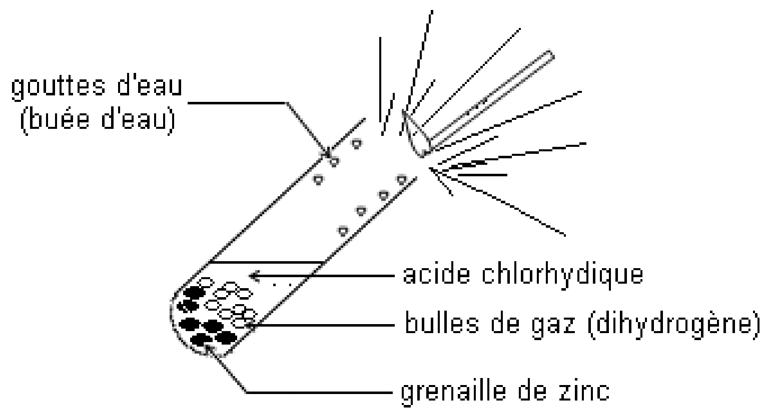
5. Propriété de l'ion hydronium (H_3O^+)

- Action sur les indications colorées

solution / Indication coloré	Eau pure	Acide chlorhydrique
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 H_3O^+ dans la solution.

- Action sur les métaux



Équation de la réaction

$$Zn + 2H_3O^+ + 2Cl^- \longrightarrow Zn^{2+} + 2Cl^- + H_2 + 2H_2O$$

Equation simplifiée : $Zn + 2H^+ \longrightarrow Zn^{2+} + H_2$

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

a. Calculer la concentration de la solution d'acide chlorhydrique
b. Calculer les concentrations des ions présents.

Données : $V_M = 22{,}4\ l.mol^{-1}$

Résolution

a. La concentration d'acide chlorhydrique.

$n_{HCl} = \frac{V_{HCl}}{V_M} = \frac{0{,}224}{22{,}4} = 10^{-2} mol$

$C_{HCl} = \frac{n_{HCl}}{V} = 0{,}01$ mol/l

$HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$ d'ou $[Cl^-] = [H_3O^+] = 0{,}01$ 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.

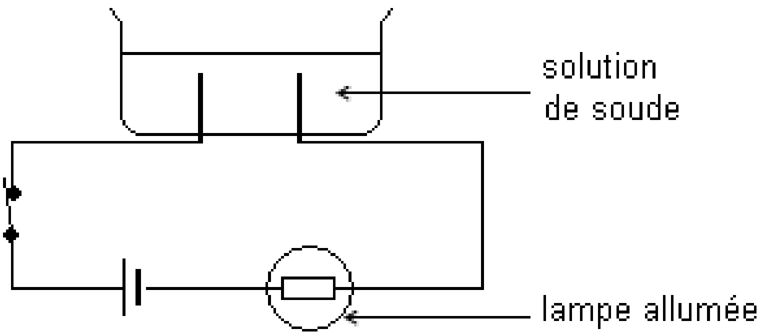
$$NaOH \xrightarrow{H_2O} Na^+ + OH^-$$

2. Application

On désire préparer une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration 10^{-2}mol.L^{-1}.

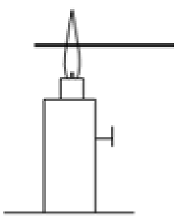
a. Déterminer la masse de NaOH à dissoudre dans 1 L d'eau distillée
b. Donner le mode opératoire

3. Conductibilité électrique



La solution aqueuse d'hydroxyde de sodium conduit le courant électrique c'est un électrolyte : elle contient des ions (Na^+,OH^-)

4. Identification de l'ion 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 Na^+ dans la solution d'hydroxyde de sodium.

5. Propriété de l'ion OH^-

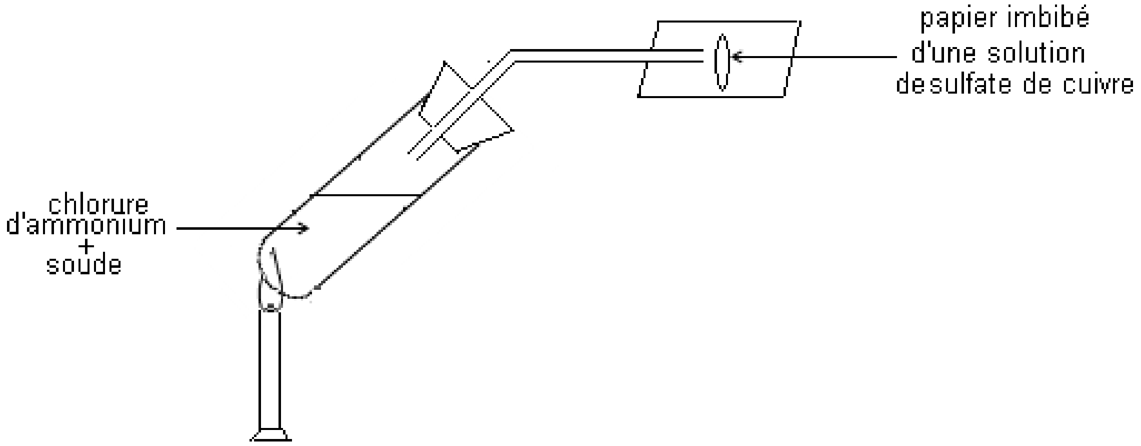
- Action sur les indications colorées

Les changements de couleur du bleu de bromothymol et de la phénolphtaléine sont dus aux ions hydroxydes OH^-.

- **Action sur les ions métalliques**

Solution contenant les ions métalliques	Observation après action de l'ion OH^- sur la solution	Equation de la réaction
Cu^{2+}	Précipité bleu hydroxyde de cuivre II	$Cu^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Cu(OH)_2$
Fe^{2+}	Précipité vert hydroxyde de fer II	$Fe^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Fe(OH)_2$
Zn^{2+}	Précipité blanc hydroxyde de Zinc	$Zn^{2+}\ 2OH^- \longrightarrow Zn(OH)_2$

- **Action sur l'ion ammonium NH_4^+**



Le gaz qui se dégage et qui bleuit un papier imbibé d'une solution de $CuSO_4$ est le gaz d'ammoniac NH_3.

$$NH_4^+ + OH^- \longrightarrow NH_3 + H_2O$$

<u>Remarque</u> : On détecte aussi la présence de NH_3 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 :

- $[H_3O^+] = 10^{-pH}$
- 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

$H_2O + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + OH^-$ **appelée réaction d'autoprotolyse de l'eau.**

4. Effet de la dilution sur le pH

4.1. Solution acide : solution chlorhydrique

C (mol.L^{-1})	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
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

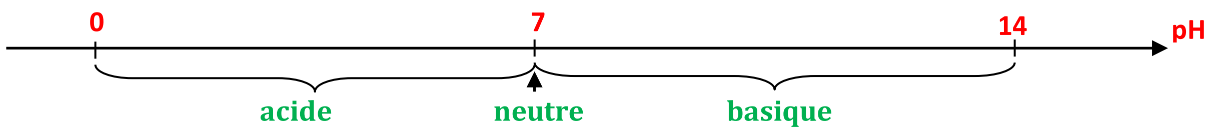
C (mol.L^{-1})	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
pH	12	11	10	9

Lorsqu'on dilue une solution basique, son pH diminue et tend vers celui de l'eau

<u>Remarque</u> : 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 a14 (à 25°C)

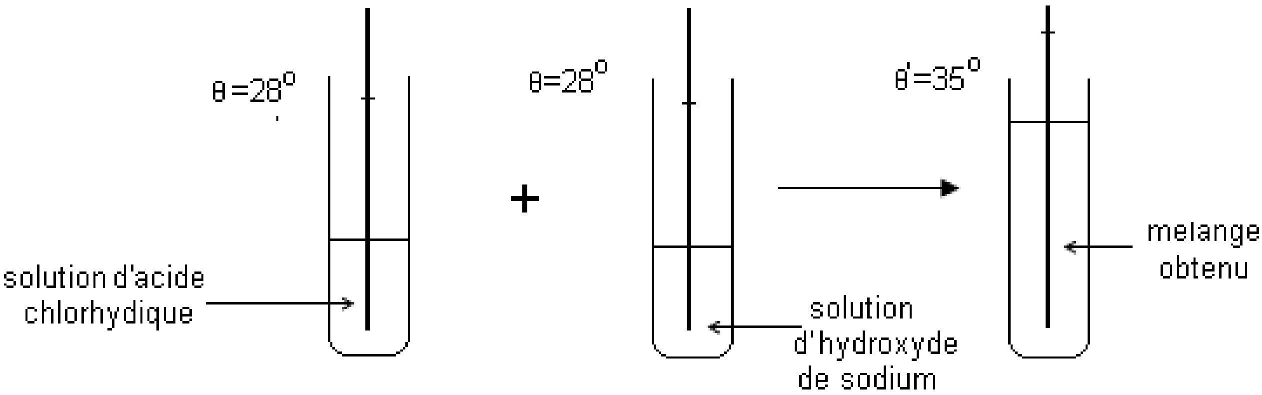


RÉACTION ACIDO-BASIQUE
DOSAGE

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

$$(H_3O^+, Cl^-) + (Na^+, OH^-) \longrightarrow 2H_2O + (Na^+, Cl^-)$$

L'équation simplifiée est : $H_3O^+ + OH^- \longrightarrow 2H_2O$

II. DOSAGE

1. Définition

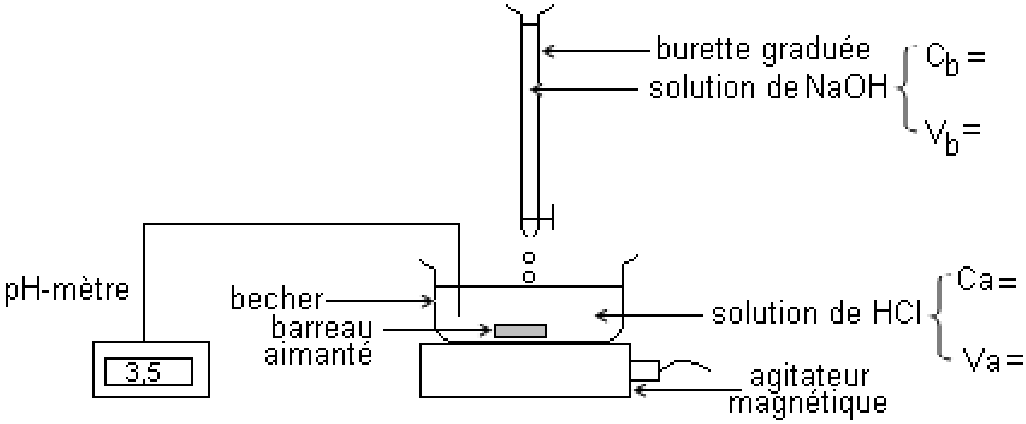
Doser une solution contenant une espèce chimique A c'est déterminer la concentration molaire volumique de cette espèce.
Pour cela on utilise un réactif dont on connait la concentration qui avec A donne une réaction rapide et totale.

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 : $H_3O^+ + OH^- \longrightarrow 2H_2O$

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}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_bV_b								
C_aV_a								

4. Exploitation

Pour un volume V_b = 20mL de base versé ;

- L'indicateur coloré passe du jaune au vert
- Le pH du mélange est alors 7
- On constate que $C_a V_a = C_b V_b$

$C_a V_a = n(H_3O^+)$: **quantité de matière d'ions hydronium présente dans l'acide chlorhydrique.**

$C_b V_b = n(OH^-)$: **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 (OH^-) apportée par la soude est égale à quantité d'ions hydronium (H_3O^+) initialement présente dans la solution d'acide chlorhydrique.

$$\boxed{n(OH^-)_{\text{apportée}} = n(H_3O^+)_{\text{Présente}} \Rightarrow C_bV_b = C_aV_a}$$