Fiche de séquence N° 1

MOUVEMENT DU CENTRE D'INERTIE D'UN SOLIDE
T.S.E & T.S.Exp

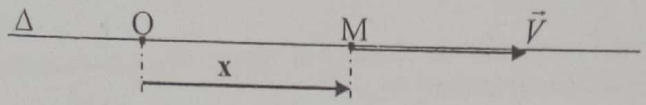
Activité 1 : Rappel cinématique de quelques mouvements :

1) Mouvements rectilignes :

Le mouvement d'un point mobile M est rectiligne lorsque sa trajectoire est une droite.

Les vecteurs : position $\vec{OM}$, vitesse $\vec{V}$ et accélération $\vec{a}$ s'écrivent :

$$\vec{OM} = x\vec{i}\ ,\vec{V} = V\vec{i}\ ,\vec{a} = a\vec{i}$$



1-1) Mouvement rectiligne uniforme :

1-1-1) Définition :

Un mouvement rectiligne est uniforme si son vecteur vitesse est constant : $\vec{V} = \vec{V}_0$

L'accélération est alors nulle : $\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d\vec{V}_0}{dt} = \vec{0}$

1-1-2) Equations horaires :

Dans un mouvement rectiligne uniforme, l'abscisse est une fonction affine du temps.

$x = V_0.t + x_0$, $V = V_0$ et $a = 0$.

1-2) Mouvement rectiligne uniformément varié :

1-2-1) Définition :

Un point mobile est dit animé d'un mouvement rectiligne uniformément varié si sa trajectoire est une droite et son vecteur accélération est constante : $\vec{a} = \vec{a}_0$.

1-2-2) Equations horaires :

Choisissons un repère $(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ dont l'axe $(O,\vec{i})$ est confondu avec la trajectoire rectiligne.

A l'instant initial t = 0 :

- L'accélération constante est : $\vec{a} = \frac{d^2x}{dt^2}\vec{i} = a_0\vec{i} = \ddot{x}\vec{i}$ soit $a = a_0 = \ddot{x}$

- Le vecteur vitesse est : $\vec{V} = \frac{dx}{dt}\vec{i} = \dot{x}\vec{i}$ avec $\dot{x} = V = at + V_0$

- Le vecteur position est : $\vec{OM} = x\vec{i}$ où $x = \frac{1}{2}at^2 + V_0t + x_0$

En éliminant t entre x et v, on obtient : $V^2 - V_0^2 = 2a\,(x - x_0)$

Remarque :

- Si $a > 0$, V augmente, le produit $aV > 0$: le mouvement est dit rectiligne uniformément accéléré.

- Si $a < 0$, V diminue, le produit $aV < 0$: le mouvement est dit rectiligne uniformément retardé.

1-3) Mouvement rectiligne sinusoïdal :

1-3-1) Définition :

Un mouvement rectiligne est dit sinusoïdal quand l'abscisse est une fonction sinusoïdale du temps.

Scanned by CamScanner

1-3-2) Equation horaire :

Elle est de la forme $x = X_m \cos(\omega t + \varphi)$.

x : Abscisse ou élongation du mouvement en mètre (m)

X_m : Amplitude ou élongation maximale (en m)

$\omega t + \varphi$: Phase à l'instant $t \neq 0$

φ : Phase à l'instant t = 0 (en rad)

Remarque :

Puisque $-1 \leq \cos(\omega t + \varphi) \leq 1$, l'élongation varie de $-X_m$ à $+X_m$. Le mobile ne se déplace qu'entre deux limites distantes de l'origine.

1-3-3) Période et fréquence :

- La période notée T(en s) est l'intervalle de temps qui sépare deux passages successifs au même point du mobile allant dans le même sens.

$$T = 2\pi / \omega$$

- La fréquence notée f ou N est l'inverse de la période.

Elle s'exprime en hertz (Hz).

$$N = f = 1 / T.$$

La pulsation est liée à la période et la fréquence par la relation : $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

L'équation horaire peut s'écrire : $x = A.\cos(\omega t + \varphi) = A.\cos(\frac{2\pi}{T} t + \varphi)$

1-3-4) Vitesse et accélération instantanées :

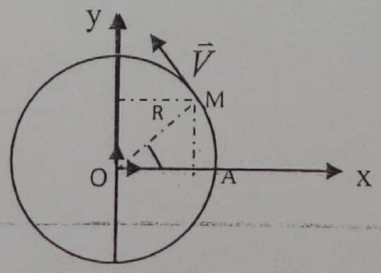
$$V = \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi) \; ; a = \frac{dV}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi) = -\omega^2 x$$

2) Mouvement circulaire uniforme :

2-1) Définition :

Un mouvement est circulaire uniforme si sa trajectoire est une circonférence fixe et sa vitesse constante.

2-2) Repérage de la position du mobile :



- Repérage par l'abscisse curviligne S de M : S = $\overline{AM}$ = f(t) = S_0 + V.t
- Repérage par l'abscisse angulaire θ de M : $\theta = A\hat{O}M$ = φ(t) = $\theta_0 + w.t$

Relation entre S et θ : $S = R.\theta$ S et R en mètre (m), θ en rad.

- Repérage par les coordonnées cartésiennes de M :

Dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$ les coordonnées de M sont : M(x = $R\cos\theta$; y = $R\sin\theta$)

Scanned by CamScanner

2-3) Vitesses :

- Vitesse linéaire : $V = \frac{dS}{dt} = C^{ste}$

Elle est tangente en M au cercle de rayon R, son sens est celui du mouvement.

- Vitesse angulaire : $\omega = \frac{d\theta}{dt}$

- Relation entre V et w :

$$V = \frac{dS}{dt} = \frac{d(R\theta)}{dt} = R\frac{d\theta}{dt} = R.\omega$$

2-4) Accélération :

Dans un mouvement circulaire uniforme, le vecteur accélération est portée par le rayon et dirigé vers le centre. On dit qu'il est centripète.

La norme du vecteur accélération a pour valeur : $a = a_N = R.\omega^2 = \frac{V^2}{R}$

2-5) Période et fréquence :

- La période T d'un mouvement circulaire uniforme est la durée pendant laquelle le mobile effectue un tour. $T = 2\pi/\omega$
- La fréquence N ou f d'un mouvement circulaire uniforme est le nombre de tours effectués par seconde. $N = 1/T = \omega/2\pi$.

Activité 2 : Rappel de la relation fondamentale de la dynamique :

1) Enoncé :

Dans un référentiel galiléen, la variation temporelle de la quantité de mouvement d'un solide ponctuel est égale à la somme des forces extérieures qui lui sont appliquées.

$$\sum \vec{F}_{ext} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\frac{d\vec{V}}{dt} = m\vec{a}$$

2) Conséquences :

On peut tirer trois conséquences immédiates du principe fondamental de la dynamique :

a) $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \frac{d\vec{V}}{dt} = 0 \Rightarrow V = C^{ste}$.

b) Si $\sum \vec{F}_{ext} \neq \vec{0} \Rightarrow \vec{V} \neq C^{ste}$

c) Si le solide est repos ; on a : $\vec{V} = \vec{0} \Rightarrow \vec{a} = \vec{0} \Rightarrow \sum \vec{F}_{est} = \vec{0}$

3) Principe de l'inertie :

Dans un repère galiléen, le centre d'inertie G d'un solide isolé ou pseudo – isolé a un mouvement rectiligne uniforme.

4) Théorème du centre d'inertie :

Dans un référentiel galiléen, la somme des forces appliquées à un solide est égale au produit de sa masse m par le vecteur accélération $\vec{a}_G$ de son centre d'inertie.

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G .$$

Scanned by CamScanner

Activité 3 : Rappel du théorème des énergies :

1) Energie cinétique :

Dans un repère galiléen, la variation d'énergie cinétique d'un solide, est égale à la somme algébrique des travaux effectués par les forces extérieures s'exerçant sur le solide, pendant la durée de la variation.

$$\Delta E_C = E_{C2} - E_{C1} = \sum W\ \vec{F}_{ext(1\to 2)}$$

- L'énergie cinétique d'un solide de masse m animé d'un mouvement de translation est :

$$E_C = \frac{1}{2}mV^2$$

- L'énergie cinétique d'un solide animé d'un mouvement de rotation est :

$$E_C = \frac{1}{2}J.\omega^2$$

J (en $Kg.m^2$) est le moment d'inertie, ω (en rad/s) est la vitesse angulaire.

2) Energie potentielle

2)1) Energie potentielle de pesanteur :

Lorsque le centre d'inertie G d'un solide de masse m passe de A à B, la variation d'énergie potentielle est telle que :

$$\Delta E_P = E_P(B) - E_P(A) = mgZ_B - mgZ_A = -(mgZ_A - mgZ_B)$$

- **Enoncé :** Le travail du poids d'un corps est égal à la diminution de son énergie potentielle de pesanteur au cours du mouvement considéré.

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

2)2) Energie potentielle électrostatique :

$$E_P(A) = qV_A \ ; \ E_P(B) = qV_B \text{ et } W_{AB}(\vec{f}_e) = E_P(A) - E_P(B)$$

La variation de l'énergie potentielle entre A et B est :

$$\Delta E_P = E_P(B) - E_P(A)$$

- **Enoncé :**

Le travail de la force électrostatique est égal à la diminution de l'énergie potentielle électrostatique.

$$W_{AB}(\vec{f}_e) = -\Delta E_P .$$

3) Energie mécanique

Dans un référentiel galiléen, la variation d'énergie mécanique d'un système est égale à la somme des travaux des forces extérieures non conservatives.

$$\mathbf{E = E_C + E_P.}$$

Scanned by CamScanner

Fiche de séquence N° 2

APPLICATION DU PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA DYNAMIQUE AU PROJECTILE DANS UN CHAMP DE PESANTEUR

Activité 1 : Etude du mouvement d'un projectile.

Consigne 1 :

1. Définis un projectile ;
2. établis les équations horaires ;
3. établis l'équation cartésienne et en déduire la nature du mouvement.

Synthèse 1 :

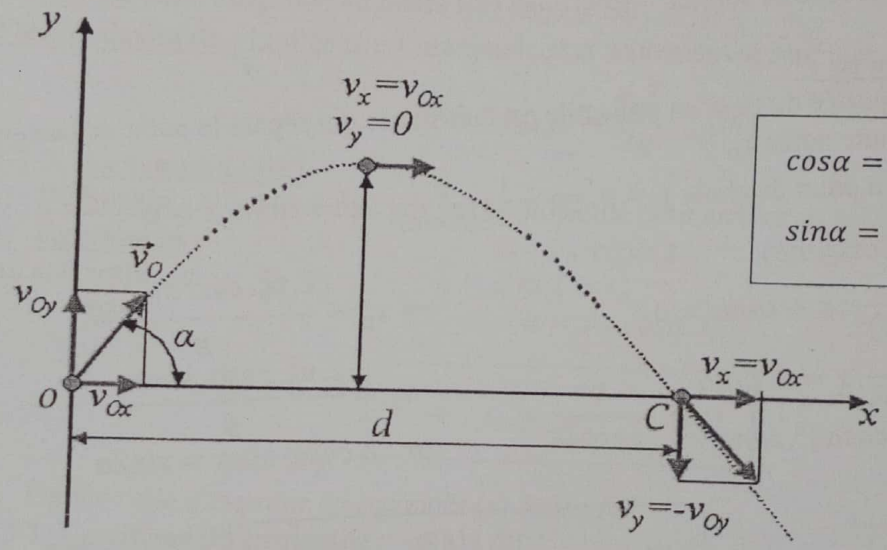
1-1. Définition :

Un projectile est tout corps pourvu de masse lancé dans le champ de pesanteur avec une vitesse initiale non nulle.

Cette vitesse initiale peut prendre plusieurs direction et sens.

1-2. Etude du mouvement :

Considérons un projectile de masse m lancé dans un repère (o, i, j) avec une vitesse v_0 faisant un angle α avec l'horizontale. Le projectile est lancé à partir de l'origine du repère.



$$cos\alpha = \frac{v_{0x}}{v_0} \Rightarrow v_{0x} = v_0.cos\alpha$$

$$sin\alpha = \frac{v_{0y}}{v_0} \Rightarrow v_{0y} = v_0.sin\alpha$$

1-3. a) Les équations horaires :

Dans le référentiel, le système utilisé est le projectile. La seule force appliquée est le poids.

D'après la relation fondamentale de la dynamique (**R.F.D**) :

$\rangle\ \vec{F}_{ext} = m.\vec{a}$

$\Leftrightarrow \vec{P} = m.\vec{a}$ or $\vec{P} = m.\vec{g}$

$\Rightarrow m.\vec{g} = m.\vec{a}$

$\Rightarrow \vec{g} = \vec{a}$

à $t = 0$; $\overrightarrow{OM_0}\begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{cases}$

et $\overrightarrow{v_0}\begin{cases} v_{0x} = v_0.cos\alpha \\ v_{0y} = v_0.sin\alpha \end{cases}$

à $t \neq 0$; $\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$

Suivant: $\overrightarrow{ox}$: $a_x = 0$ et $v_{0x} \neq 0$ (M.R.U)

$x = v_{0x}.t + x_0 \Rightarrow x = v_0.cos\alpha.t$

- **Suivant $\overrightarrow{oy}$:** $a_y = -g$ (M.R.U.V).

$$y = \frac{1}{2}a_y t^2 + v_{0y}t + y_0$$

$$\Leftrightarrow y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 sin\alpha t.$$

Scanned by CamScanner

1-2. b. L'équation cartésienne ou l'équation de la trajectoire :
Elle consiste à exprimer $y = f(x)$.

$$\begin{cases} x = v_0.cos\alpha.t & 1 \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 sin\alpha t & 2 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow y = -\frac{1}{2}g.\frac{x^2}{(v_0.cos\alpha)^2} + v_0.sin\alpha.\frac{x}{v_0.cos\alpha}$$

$$(1) \rightarrow \quad t = \frac{x}{v_0.cos\alpha}$$

$$\Leftrightarrow y = -\frac{1}{2}\frac{g}{(v_0.cos\alpha)^2}.x^2 + \frac{v_0.sin\alpha}{v_0.cos\alpha}.x$$

$$(2) \rightarrow y = -\frac{1}{2}g.\left(\frac{x}{v_0.cos\alpha}\right)^2 + v_0.sin\alpha.\left(\frac{x}{v_0.cos\alpha}\right)$$

$$\Rightarrow y = -\frac{1}{2}\frac{g}{(v_0.cos\alpha)^2}.x^2 + tan\alpha.x$$

Nature : Cette équation est de la forme $y = a.x^2 + b.x + c$ d'où la nature de la trajectoire est une parabole ou mouvement parabolique.

Activité 2 : Caractéristiques de la trajectoire.

Consigne 2 :

1. définis la portée, la flèche, le temps de tir et établir leurs expressions.
2. Détermine la vitesse du projectile et les angles de tir possibles qui permettent d'atteindre une portée donnée.
3. définis la parabole de sûreté.

Synthèse 2 :

2-1-1. La portée du tir :

a) **Définition :** la portée du tir d'un projectile est la distance qui sépare le point de lancement et le point de chute notée x_p.

b) **Expression :** Au point de chute $y = o \Rightarrow -\frac{1}{2}\frac{g}{(v_0.cos\alpha)^2}.x^2 + tan\alpha.x = 0$

$$\Leftrightarrow x = 0\ (l'origine)$$

$$ou\ -\frac{1}{2}\frac{g}{(v_0.cos\alpha)^2}.x + tan\alpha = 0$$

$$\Rightarrow \frac{g}{(v_0.cos\alpha)^2}.x = 2.tan\alpha$$

$$\Leftrightarrow g.x = 2(v_0.cos\alpha)^2.tan\alpha$$

$$\Rightarrow x_p = \frac{2.v_0^2.cos^2\alpha.\frac{sin\alpha}{cos\alpha}}{g}$$

$$x_p = \frac{2.v_0^2.cos\alpha.sin\alpha}{g}$$

$$or\ \ 2.cos\alpha.sin\alpha = sin2\alpha$$

$$D'où\ x_p = \frac{v_0^2.sin2\alpha}{g} \qquad (m)$$

c) **Unités :** dans le SI la portée s'exprime en mètres (m)

Porté maximale : La portée est maximale si et seulement-si $sin2\alpha = 1$

$$\Leftrightarrow 2\alpha = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \alpha = \frac{\pi}{4}$$

D'où la valeur de $x_{pmax} = \frac{v_0^2}{g}$ (m)

2-1-2. La flèche :

a) **Définition :** La flèche est la hauteur maximale atteinte par le projectile, notée y_s.

Scanned by CamScanner

b) **Expression :** Au sommet, $v_y = 0$ *or* $v_y = \frac{dy}{dt}$

$$\left.\begin{matrix} x = v_0.cos\alpha.t \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 sin\alpha t \end{matrix}\right\}$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = -gt + v_0 sin\alpha = 0$$

On tir t dans v_y : $gt = v_0 sin\alpha \implies t = \frac{v_0 sin\alpha}{g}$ durée de la montée

On remplaçant t dans y_s ; $y_s = h = -\frac{1}{2}g\left(\frac{v_0 sin\alpha}{g}\right)^2 + v_0 sin\alpha.\frac{v_0 sin\alpha}{g}$

$$y_s = h = \frac{-(v_0 sin\alpha)^2 + 2.(v_0 sin\alpha)^2}{2g}$$

$$\boxed{\Rightarrow y_s = h = \frac{(v_0 sin\alpha)^2}{2g} \quad (m)}$$

c) **unités :** elle s'exprime en mètre (m) dans le SI.

Fleche maximale : La flèche est maximale si et seulement-si $sin^2\alpha = 1 \implies \alpha = \frac{\pi}{2}$

$$\text{D'où} \quad y_{smax} = \frac{{v_0}^2}{2g} \quad (m)$$

2-1-3. Le temps de tir :

a) **Définition :** C'est le temps mis par le projectile pour arriver au sol.

b) **Expression :**

$$x = v_0.cos\alpha.t$$

Au sol : $x = d \; et \; t = t_c$

$$d = v_0.cos\alpha.t_c$$

$$\boxed{\Rightarrow \quad t_c = \frac{d}{v_0 cos\alpha} \quad (s)}$$

c) Unités : elle s'exprime en secondes (s) dans le SI.

2-2-1. La vitesse du projectile :

a) **Au sommet S :** $\overrightarrow{v_s} = \overrightarrow{v_{sx}} + \overrightarrow{v_{sy}}$ or $v_{sy} = 0$

$$v_s = v_{sx} = \frac{dx}{dt} = v_0 \cos\alpha$$

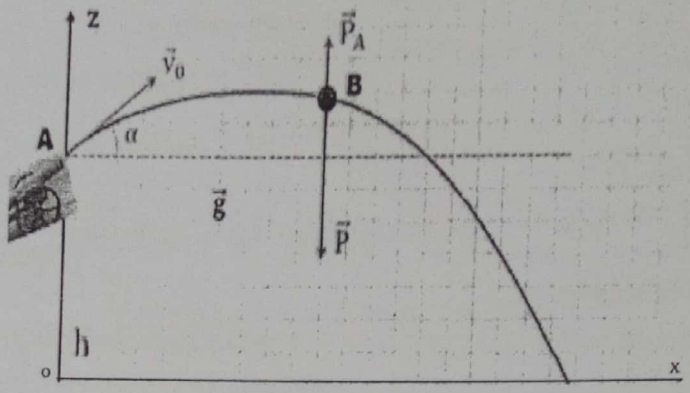
$$v_s = v_0 \cos\alpha$$

b) **Au point de chute :** Deux cas sont possibles.

- **Cas 1 :** si le point de lancement et le point de chute sont situés sur la même droite horizontale, alors $v_0 = v_C$.

Scanned by CamScanner

- **Cas 2 :** si les deux points ne sont pas sur la même droite horizontale, alors calculons $v_C = ?$



$$\Delta E_c = \rangle\ W(\vec{P}) \qquad \frac{1}{2}mv_c^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = mgh$$

$$\Leftrightarrow \Delta Ec_c - \Delta Ec_A = W(\vec{P}) \qquad v_c^2 - v_0^2 = 2gh$$

$$\Rightarrow v_c = \sqrt{2gh + {v_0}^2}$$

c) En un point quelconque :

$$v_M = \sqrt{v_{Mx}^2 + v_{My}^2} \quad or \qquad v_{My} = \frac{dy}{dt} = -gt_M + v_0 \sin\alpha$$

$$v_{Mx} = \frac{dx}{dt} = v_0 \cos\alpha \qquad D'où \quad v_M = \sqrt{(v_0 \cos\alpha)^2 + (-gt_M + v_0 \sin\alpha)^2}$$

2-2-2. Les angles de tir : C'est l'angle que fait la vitesse initiale v_0 avec l'horizontale. Pour ça, deux méthodes sont possibles.

a) **1ère Méthode :** Connaissant la portée, on peut déterminer les angles de tir possibles :

$$d = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha_1}{g} \qquad \Rightarrow 2\alpha_1 = \sin^{-1}\frac{d.g}{v_0^2}$$

$$\Rightarrow v_0^2 \sin 2\alpha_1 = d.g$$

$$\Leftrightarrow \sin 2\alpha_1 = \frac{d.g}{v_0^2} \qquad \Rightarrow \alpha_1 = \frac{\sin^{-1}\left(\frac{d.g}{v_0^2}\right)}{2} \quad (°)$$

α_1 *et* α_2 Sont des angles complémentaires, alors $\alpha_1 + \alpha_2 = 90° \Rightarrow \alpha_2 = 90° - \alpha_1$

- Pour la plus petite valeur de α : le tir est tendu ;
- Pour la plus grande valeur de α : le tir en cloche.

Scanned by CamScanner

b) **2ème Méthode :** Avec une vitesse v_0 donnée, si le projectile passe par un point $A(x_A; y_A)$, on peut calculer les angles de tir possibles.
Comme le projectile passe par A, alors les coordonnées de A vérifient l'équation de la trajectoire :

$$y = -\frac{1}{2}\frac{g}{(v_0.cos\alpha)^2}.x^2 + tan\alpha.x$$

$$\Leftrightarrow y_A = -\frac{1}{2}\frac{g}{(v_0.cos\alpha)^2}.{x_A}^2 + tan\alpha.x_A \qquad \Rightarrow y_A = -\frac{g.{x_A}^2}{2.{v_0}^2}.(1+\tan^2\alpha) + tan\alpha.x_A$$

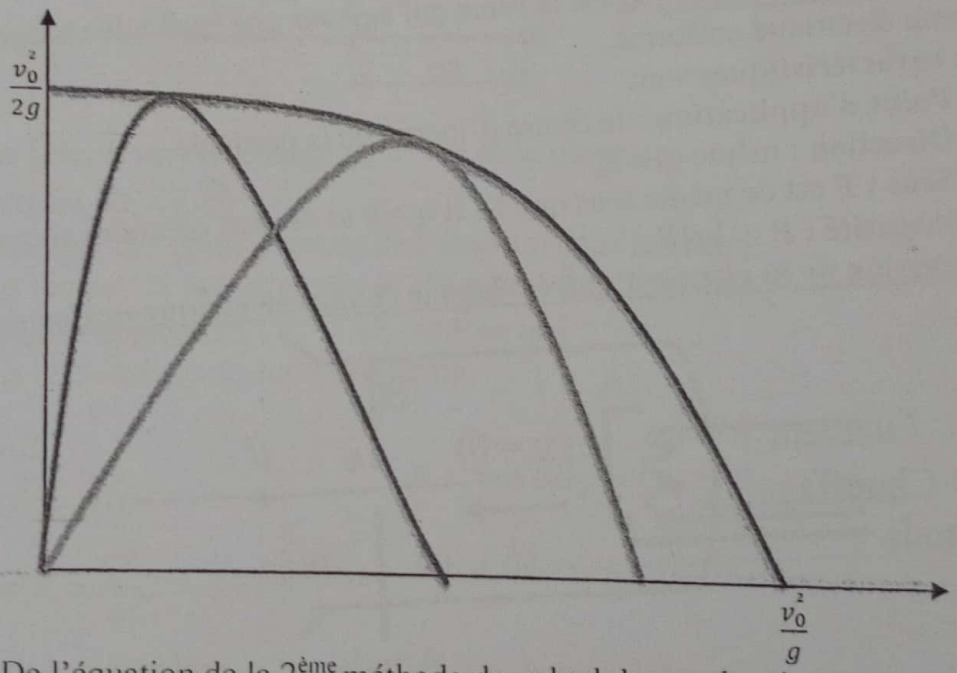
$$\Leftrightarrow y_A = -\frac{g.{x_A}^2}{2.{v_0}^2}.\frac{1}{cos^2\alpha} + tan\alpha.x_A \qquad \Leftrightarrow y_A = -\frac{g.{x_A}^2}{2.{v_0}^2}.\tan^2\alpha + tan\alpha.x_A - \frac{g.{x_A}^2}{2.{v_0}^2}$$

$$Or\ \frac{1}{cos^2\alpha} = 1+\tan^2\alpha \qquad -\frac{g.{x_A}^2}{2.{v_0}^2}.\tan^2\alpha + x_A.tan\alpha - (\frac{g.{x_A}^2}{2.{v_0}^2} + y_A) = 0$$

Cette équation est de la forme $ax^2 + bx + c = 0$ dont sa résolution nous donne deux angles de tir possibles si $\Delta > 0$ et un angle de tir possible si $\Delta < 0$.

2-3. La parabole de sureté :

Définition : C'est la parabole qui enveloppe toutes les trajectoires possibles pour une vitesse v_0 donnée



Expression : De l'équation de la 2ème méthode du calcul des angles tir :
$-\frac{g.{x_A}^2}{2.{v_0}^2}.\tan^2\alpha + x_A.tan\alpha - (\frac{g.{x_A}^2}{2.{v_0}^2} + y_A) = 0$
On pose : $\Delta = 0 \Leftrightarrow b^2 - 4ac = 0$

$$\Rightarrow x_A^2 - 4\left|\left(\frac{g.{x_A}^2}{2.{v_0}^2}\right).\left(\frac{g.{x_A}^2}{2.{v_0}^2} + y_A\right)\right| = 0 \qquad \Rightarrow -\frac{g^2.{x_A}^2}{{v_0}^4} - \frac{2.g}{{v_0}^2}.y_A + 1 = 0$$

$$\Rightarrow x_A^2\left(-\frac{g^2.{x_A}^2}{{v_0}^4} - \frac{2.g}{{v_0}^2}.y_A + 1\right) = 0$$

$$y_A = -\frac{g}{2{v_0}^2}.{x_A}^2 + \frac{{v_0}^2}{2g}$$

Scanned by CamScanner

Fiche de séquence N° 3

APPLICATION DU PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA DYNAMIQUE AU MOUVEMENT DE L'ELECTRON DANS UN CHAMP ELECTRIQUE UNIFORME

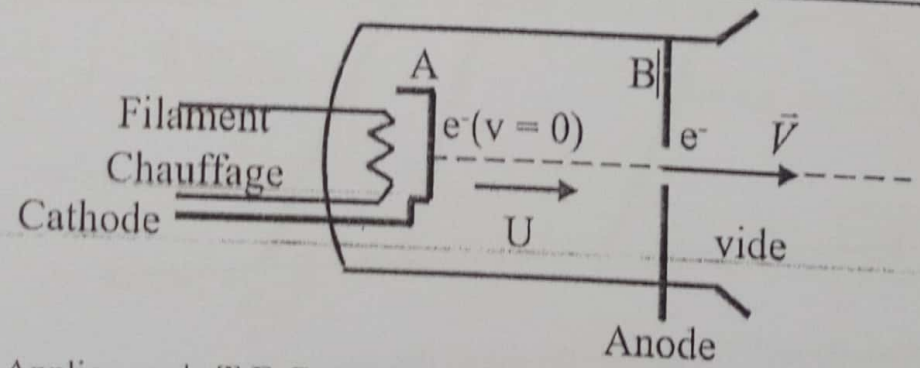
Activité 1 : Rappels

Consigne 1 :

1) Définis un champ électrique puis donne ses caractéristiques.
2) Définis une force électrostatique ; donne ses caractéristiques.
3) Etablis l'expression de la vitesse d'entrée dans le champ électrique uniforme.

Synthèse 1 :

1) **champ électrique :**
Le champ électrique **E** existant entre les armatures (**A** et **B**) d'un condensateur chargé est uniforme. Les lignes de champ sont des segments de droites parallèles qui vont de l'armature positive à l'armature négative.
   a) **Dentition :** un champ électrique est toute portion de l'espace où une particule chargée est soumise à des forces électrostatiques.
   b) **Caractéristiques du vecteur champ E :**
   - **Point d'application :** tous point entre **A** et **B**,
   - **Direction :** perpendiculaire aux armatures,
   - **Sens :** de l'armature (+) vers l'armature(-)
   - **Intensité :** $E = \frac{V_A - V_B}{d} = \frac{U_{AB}}{d}$
2) **Force électrostatique :** C'est la force qui agit sur une particule chargée dans un champ électrique uniforme.
Ses caractéristiques sont :
   - **Point d'application :** le centre d'inertie de la particule,
   - **Direction :** même que **E**,
   - **Sens :** **F** est de même sens que **E**, si $q > 0$ et de sens contraire si $q < 0$,
   - **Intensité :** $F = |q|E$.
3) **Expression de la vitesse d'entrée dans le champ électrique uniforme :**



Appliquons le **T.E.C** : $\Delta E_c = \sum W_{\overrightarrow{Fex}}$

$E_{C_B} - E_{C_A} = W_{\overrightarrow{Fe}}$

$\Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = |q|U$

$\Rightarrow v_B^2 - v_A^2 = \frac{2|q|U}{m}$

$\Rightarrow v_B = \sqrt{\frac{2|q|U}{m} + v_A^2}$

- Si $v_A = 0$ alors $v_B = \sqrt{\frac{2|q|U}{m}}$

Scanned by CamScanner

Activité 2 : Nature du mouvement de la particule.

Consigne 2 :

1) Etablis les équations horaires et l'équation cartésienne puis en déduire la nature du mouvement dans le cas où le vecteur vitesse initiale est perpendiculaire au champ électrique et dans le cas où ces deux sont parallèles.
2) Etablis les coordonnées du point de sortie du champ et du vecteur vitesse en ce point.
3) Donne les conditions de sortie du champ électrique.

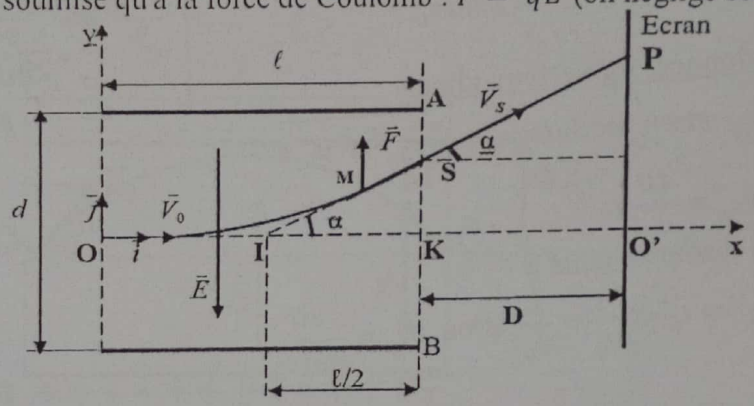
Synthèse 2 :

1) a) **Equations horaires :**

A) Cas où les vecteurs- vitesse et champ sont perpendiculaires :

On considère une particule ponctuelle, de masse m et de charge q, plongée dans un champ électrique uniforme, créé entre deux plaques A et B, parallèles, distantes de d et entre lesquelles on applique une tension $U_{AB} = V_A - V_B$, donc $E = \frac{|U_{AB}|}{d}$.

La particule n'est soumise qu'à la force de Coulomb : $\vec{F} = q\vec{E}$ (on néglige son poids).



- Le système $\{électron\}$ de charge $q_e = -e$ et de masse m
- Repère terrestre $(O, \vec{\imath}, \vec{J}, \vec{k})$
- Origine des espaces : point d'entrée de l'électron dans le champ
- Origine des temps : la date d'entrée de l'électron dans le champ
- Bilan des forces appliquées : $\vec{F}_e = q\vec{E}$ et $\vec{P} = m\vec{g}$
- Appliquons le théorème du centre d'inertie

$\rangle\ \vec{F}_{ext} = m\vec{a}$

$m\vec{a} = \vec{F}_e \quad (\vec{P} \ll \vec{F}_e)$

$m\vec{a} = q\vec{E} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$

à $t = 0$ $\overrightarrow{OG_0} \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \\ z_0 = 0 \end{cases}$; $\vec{v}_0 \begin{cases} v_{0_x} = v_0 \\ v_{0_y} = 0 \\ v_{0_z} = 0 \end{cases}$

à $t \neq 0$

- Le vecteur- accélération

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 & \text{M.R.U} \\ a_y = \frac{q(-E)}{m} = \frac{eE}{m} & \text{M.R.U.V} \\ a_z = 0 & \text{M.R.U} \end{cases}$$

- Le vecteur- vitesse

$$\vec{v} \begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = \frac{eE}{m}t \\ v_z = 0 \end{cases}$$

- Le vecteur-position

$$\overrightarrow{OG} \begin{cases} x = v_0 t & (1) \\ y = \frac{eE}{2m}t^2 & (2) \\ z = 0 & (3) \end{cases}$$

Scanned by CamScanner

$x \neq 0$, $y \neq 0$, $z = 0$: le mouvement est plan et s'effectue dans le plan $(OX; OY)$

b) Equation cartésienne de la trajectoire

On obtient l'équation cartésienne de la trajectoire en éliminant le temps t entre les équations horaires

$$(1) \Rightarrow \quad t = \frac{x}{v_0}$$

$$(2) \Rightarrow \quad y = \frac{eE}{2m}\left(\frac{x}{v_0}\right)^2$$

$$y = \frac{eE}{2mv_0^2}x^2 \; avec \; E = \frac{U}{d}; on\ a$$

$$y = \frac{eU}{2mdv_0^2}x^2$$

L'équation est de la forme $y = Ax^2 + Bx + c$: la trajectoire est une parabole.

2) Les coordonnées du point de sortie et du vecteur-vitesse

a) Coordonnées du point de sortie

$A\ la\ sortie\ x_S = l \quad \Rightarrow y_S = \frac{eU}{2mdv_0^2}l^2$

S	$\begin{matrix} l \\ \frac{eU}{2mdv_0^2}l^2 \end{matrix}$

b) Coordonnées du vecteur-vitesse

$\vec{v}_S = \vec{v}_{S_x} + \vec{v}_{S_y}$ $et\ en\ module\ v_S = \sqrt{{v_{S_x}}^2 + {v_{S_y}}^2}$

$v_{S_x} = v_0\ et\ v_{S_y} = \frac{eU}{md}t_S$

A la sortie du champ au point S

$x_S = l = v_0 t_S \Rightarrow t_S = \frac{x_S}{v_0} = \frac{l}{v_0}$ $d'où\ v_{S_y} = \frac{eU}{mdv_0}l$

$$\begin{matrix} v_0 \\ v_S \\ \frac{eU}{mdv_0}l \end{matrix} \quad en\ module\ v_S = \sqrt{{v_0}^2 + \left(\frac{eU}{mdv_0}l\right)^2}$$

A la sortie du champ $E = 0 \Rightarrow F_e = 0 \Rightarrow a = 0$: le mouvement de la particule est rectiligne uniforme jusqu'à l'écran.

3) Condition de sortie

Pour que la particule sorte du champ, il faut que :

$$|y_S| < \frac{d}{2} \Leftrightarrow \frac{eU}{2mdv_0^2}l < \frac{d}{2}$$

$$U < U_m = \frac{md^2{v_0}^2}{el^2}$$

U_m : Tension maximale de sortie.

4) Déflexion électrique et déviation angulaire :

a) Déviation angulaire

i- Définition

L'angle α entre les tangentes en O et S à la trajectoire détermine la déviation angulaire subie par la particule chargée.

ii- Expression

Considérons le triangle $\widehat{SIK}$

$$\tan\alpha = \frac{\frac{y_S}{\frac{l}{2}}}{} = \frac{2y_S}{l} = \frac{2\frac{eU}{2mdv_0^2}l^2}{l} \Rightarrow \tan\alpha = \frac{eU}{mdv_0^2}l$$

Scanned by CamScanner

b) Déflexion électrique

i- Définition

La déflexion électrique est distance entre le point d'impact de la particule sur l'écran et l'axe horizontale.

ii- Expression

Considérons le triangle $\widehat{MIO'}$

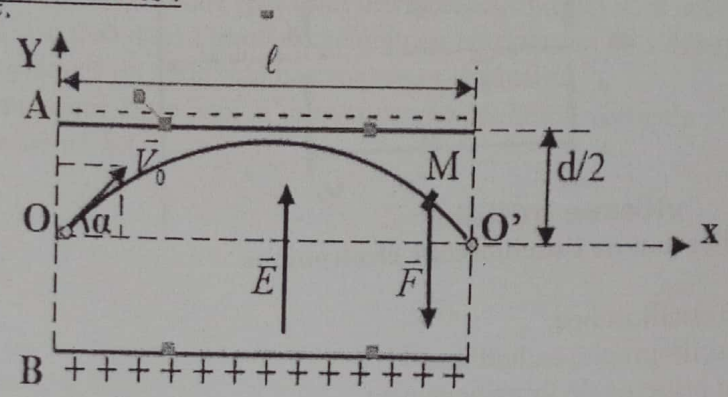
$$\tan\alpha = \frac{Y_E}{O'I} \quad ; \quad O'I = D$$

$$\tan\alpha = \frac{Y_E}{D} \Longrightarrow Y_E = D\tan\alpha$$

$$d'où \quad \boldsymbol{Y_E = D\frac{eU}{mdv_0^2}l}$$

B) Cas où les vecteurs-vitesse et champ font un angle α entre eux

a) Equations horaires :



Théorème du centre d'inertie

$\rangle\ \vec{F}_{ext} = m\vec{a}$

$m\vec{a} = \vec{F}_e \quad (\vec{P} \ll \vec{F}_e)$

$m\vec{a} = q\vec{E} \Longrightarrow \vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$

à $t = 0$

$$\overrightarrow{OG_0} = \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \\ z_0 = 0 \end{cases} ;$$

$$\vec{v}_0 = \begin{cases} v_{0_x} = v_0\cos\alpha \\ v_{0_y} = v_0\sin\alpha \\ v_{0_z} = 0 \end{cases}$$

à $t \neq 0$

- Le vecteur-accélération

$$\vec{a} = \begin{cases} a_x = 0 \quad M.R.U \\ a_y = \frac{(-e)E}{m} = -\frac{eE}{m} \quad M.R.U.V \\ a_z = 0 \quad M.R.U \end{cases}$$

- Le vecteur-vitesse

$$\vec{v} = \begin{cases} v_x = v_0\cos\alpha \\ v_y = -\frac{eE}{m}t + v_0\sin\alpha \\ v_z = 0 \end{cases}$$

- Le vecteur-position

$$\overrightarrow{OG} = \begin{cases} x = (v_0\cos\alpha)t & (1) \\ y = -\frac{eE}{2m}t^2 + (v_0\sin\alpha)t & (2) \\ z = 0 & (3) \end{cases}$$

b) Equation cartésienne

$$(1) \Longrightarrow t = \frac{x}{v_0\cos\alpha}$$

$$(2) \Longrightarrow y = -\frac{eE}{2mv_0{}^2cos^2\alpha}x^2 + x\tan\alpha$$

Scanned by CamScanner

C) **Cas où E est parallèle à V_0:**

L'accélération de la particule chargée est : $\vec{a} = q\frac{\vec{E}}{m}$ avec $E = \frac{U}{d}$

L'accélération est dirigée uniquement suivant l'axe des x. On a $a_x = q\frac{E}{m}$.

Pour trouver la vitesse, on cherche une primitive de l'accélération : on a

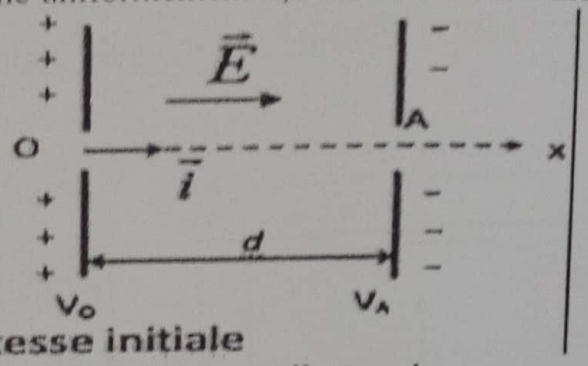
$$V_x = q\frac{E}{m}.t + C_1 = q\frac{E}{m}.t + V_{0x}.$$

La position de la particule en fonction du temps : $x = q\frac{E}{2.m}.t^2 + V_{0x}.t + x_0$

Avec $E = \frac{U}{d}$

$$\Rightarrow x = q\frac{U}{2.dm}.t^2.$$

Nature du mouvement : Dans le cas où V_0 est parallèle à E, la particule chargée a un mouvement rectiligne uniformément açcéléré entre les 2 armatures du condensateur plan.



vitesse initiale

Activité 3 : Application de l'oscilloscope électronique

Consigne 3 :

1) Définis un oscilloscope.
2) Décris l'oscillographe cathodique.
3) Donne son principe de fonctionnement.

Synthèse 3 :

1) **Définition :** l'oscilloscope est un appareil à faisceau d'électron qui permet de visualiser la trajectoire des électrons dans le champ électrostatique uniforme.
2) **Description :**

Un oscilloscope comporte un tube cathodique qui se divise en quatre parties :

- un canon à électrons où le faisceau d'électrons est créé et les électrons accélérés,
- un condensateur plan C_1 d'armatures (ou plaques) verticales, à l'intérieur duquel les électrons sont déviés horizontalement.
- un condensateur plan C_2 d'armatures (ou plaques) horizontales, à l'intérieur duquel les électrons sont déviés verticalement.
- un écran fluorescent, sur lequel l'impact du faisceau laisse une trace lumineuse : le spot.

Scanned by CamScanner

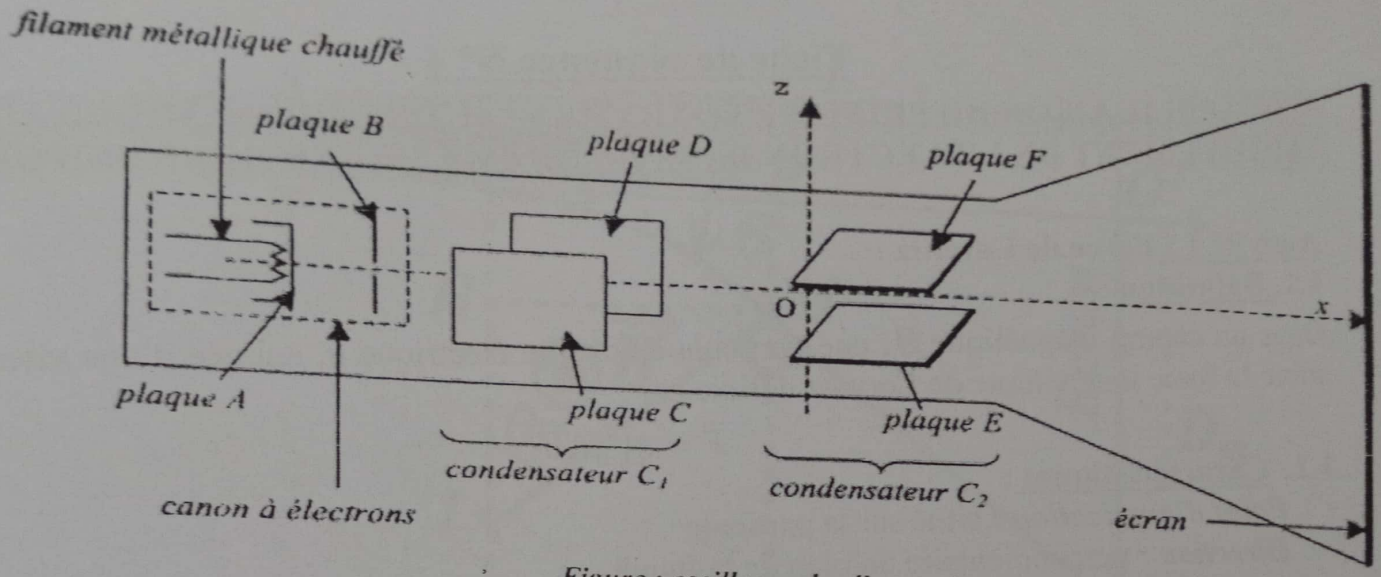


Figure : oscillographe électronique

3) Principe de Fonctionnement :

Les électrons émis par la cathode (par effet thermoélectronique) sont accélérés par un champ électrique élevé. Un trou dans l'anode accélératrice leur permet de s'échapper du canon et de passer entre les plaques de déflexion horizontale et verticale.

Toute tension appliquée entre X et X' provoque une déviation verticale ; le spot se déplace sur Y'Y d'une quantité $y = k.U$.

Scanned by CamScanner

Fiche de séquence N° 4

APPLICATION DU PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA DYNAMIQUE AU MOUVEMENT DE L'ELECTRON DANS UN CHAMP MAGNETIQUE UNIFORME

Activité 1 : Force de Lorentz :

1.1. Définition :

Dans un champ magnétique $\vec{B}$, une particule de charge électrique q, animée d'une vitesse $\vec{v}$, subie la force magnétique de Lorentz définie par :

$$\vec{F} = q\vec{V}_0 \Lambda \vec{B}$$

1.2. Caractéristiques :

- ***Point d'application :*** situé sur la particule
- ***Direction :*** perpendiculaire au plan de la figure
- ***Sens :*** tel que le trièdre $(q\vec{V}_0, \vec{B}, \vec{F})$ soit direct.
- ***Intensité :*** $F = |q|.V_0.\mathrm{B}.\sin\alpha$ où $\alpha = (\widehat{\vec{V}_0, \vec{B}})$

1.3. Règle de la main droite et règle de la main gauche :

La règle de la main droite est appliquée si la particule est chargée positivement, dans le cas contraire, on utiliserait la règle de la main gaùche.

La paume est placée suivant la direction et le sens de $\vec{B}$, le pouce tendu indique la direction et le sens de $\vec{F}$, les autres doigts étant placés suivant la direction et le sens de $\vec{V}_0$.

2. Etude théorique du mouvement :

2.1. Cas de la vitesse initiale perpendiculaire au vecteur champ :

2.1.1. Etude dynamique :

Système : particule de charge q

Référentiel : référentiel terrestre supposé galiléen.

Bilan des forces : Le poids de la particule est négligé devant la force magnétique $\vec{F}_m$

D'après la **R.F.D.** : $\vec{F}_m = m\vec{a} \Rightarrow |q|.V_0.\mathrm{B}.\sin\alpha = m.a \Rightarrow \boldsymbol{a = \frac{|q|.V_0.\mathrm{B}.\sin\alpha}{m}}$

2.1.2. Etude cinématique :

- **Nature du mouvement :**

Dans la base de Frenet : $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t$

$\vec{F}_m \perp \vec{V}_0 \Rightarrow \vec{a}_t = \vec{0} \Rightarrow \frac{dV}{dt} = 0 \Rightarrow V = constante$; ***le mouvement est donc uniforme.***

- **Rayon de la trajectoire R :**

Considérons une particule chargée négativement.

Puisque $\vec{a}_t = \vec{0}$; $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t = \vec{a}_n \Rightarrow a_n = \frac{{V_0}^2}{R}$

$a = \frac{|q|.V_0.\mathrm{B}.\sin\alpha}{m}$ d'où $\alpha = \frac{\pi}{2}\ rad$, alors $a = \frac{|q|.V_0.\mathrm{B}}{m} = \frac{{V_0}^2}{R}$

Par suite : $\boxed{R = \frac{m.V_0}{|q|\mathrm{B}}}$

R = constante, donc ***la trajectoire est un arc de cercle.***

Scanned by CamScanner

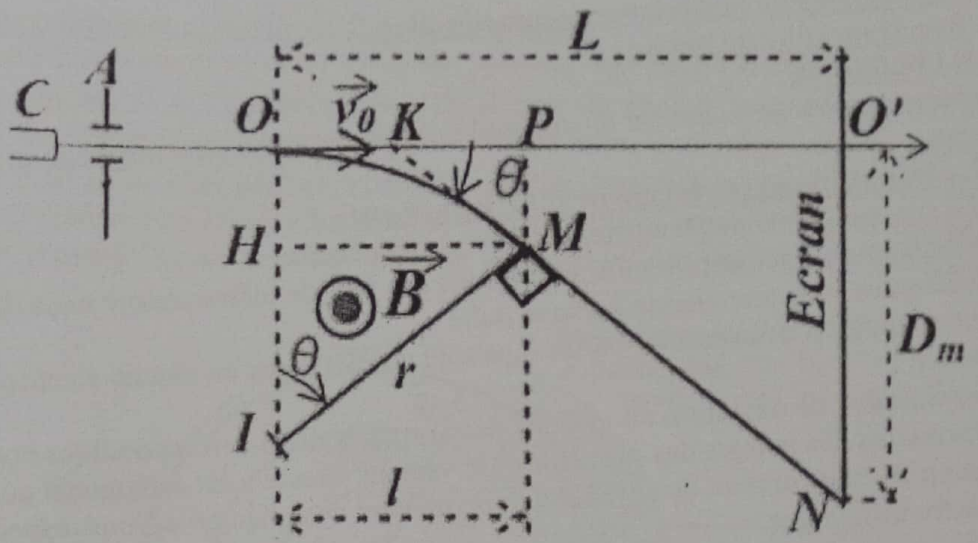


Figure 1 : trajectoire d'une particule dans un champ magnétique uniforme :

- **Période et fréquence :**

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ où } \omega = \frac{V_0}{R} \text{ alors } T = \frac{2\pi R}{V_0} = \frac{2\pi m}{|q|B} \; ; f = \frac{|q|B}{2\pi m}$$

- **Déviation angulaire magnétique :**

La déviation angulaire magnétique est l'angle formé par le vecteur vitesse initiale et le vecteur vitesse à la sortie du champ des particules.

Considérons le triangle MKP : $\sin\alpha = \frac{l}{R}$

Pour les petites déviations, $\sin\alpha = \alpha\ (rad)$

$$\alpha = \frac{l}{R} = \frac{|q|B.l}{mV_0}$$

- **Déflexion magnétique :**

La déflexion magnifique est la distance qui sépare, sur l'écran, le point de la particule sous l'action du champ et celui en absence du champ.

Considérons le triangle NO'K :

$\tan\alpha = \frac{D_m}{L-\frac{l}{2}} \Rightarrow \alpha\ petit,\ \alpha < 10° \Rightarrow tan\alpha = \alpha$ et $\ell \ll$ L ; alors : $D_m = \alpha.L$

$$D_m = \frac{|q|B.l}{mV_0}.L$$

- **Coordonnées du point de sortie M :**

$x_M = l$

Considérons le triangle SIH : $\tan\alpha = \frac{Y_M}{\frac{l}{2}} = \alpha.\frac{l}{2}$ $\quad Y_M = \frac{|q|B.l^2}{2mV_0}$

- **Coordonnées du point d'impact N :**

$$x_P = L\ ;\ y_P = D_m$$

- **Nature du mouvement en dehors du champ magnétique :**

En dehors du champ, $B = 0 \Rightarrow a = \frac{|q|.V_0.B}{m} = 0$, ***le mouvement est donc rectiligne uniforme.***

2.2. Cas de la vitesse initiale parallèle au vecteur champ :

Si $\vec{V}_0$ est colinéaire à $\vec{B}$, alors $\alpha = 0$, par conséquent a = 0, ***le mouvement est donc rectiligne uniforme.***

Scanned by CamScanner

3. Applications de la déviation magnétique :

3.1. Spectrographe de masse :

3.1.1. Définition :

Un spectrographe de masse est un appareil qui utilise la déviation magnétique pour séparer les isotopes.

3.1.2. Description et principe de fonctionnement :

a.) Le spectrographe de Dempster comprend (voir figure) :

- une chambre d'ionisation où sont produits des ions de même charge mais de masses différentes avec une vitesse presque nulle ;
- une chambre d'accélération où les ions sont accélérés par un champ électrique vers la fente F ;
- une chambre de déviation où les ions décrivent des demi-cercles dont les rayons dépendants des masses des particules. Le vecteur vitesse **v** est orthogonal au vecteur champ **B**. Elle contient des collecteurs permettant de collecter les ions respectifs de masses différentes.

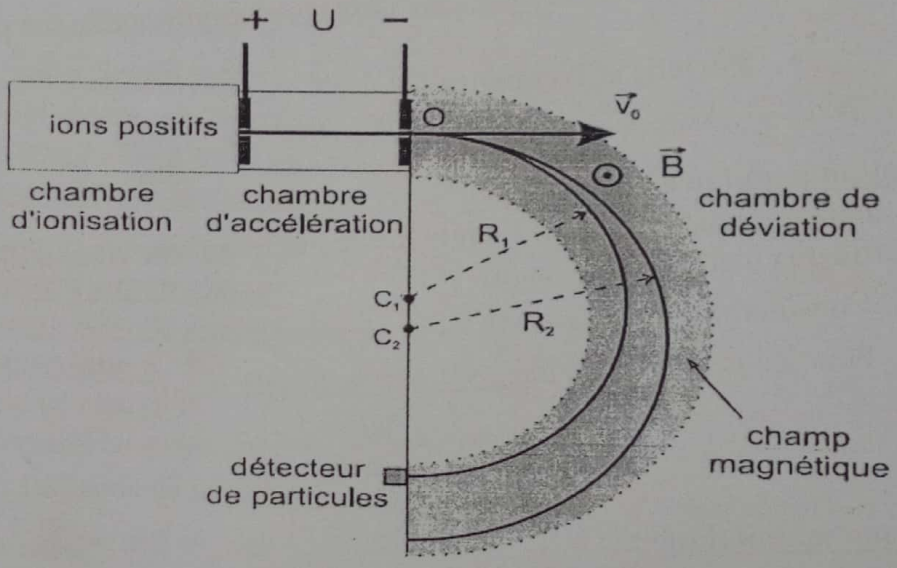


Figure 2 : spectrographe de masse

Les ions sont produits dans la chambre d'ionisation. Etant des isotopes de masses respectives m_1 et m_2 et de même charge q, ces ions sont introduits avec une vitesse quasi nulle. Dans la chambre d'accélération, il règne un champ électrique $\vec{E}$ qui permet d'accélérer les ions isotopes de O_1 à O_2.

Arrivés dans la chambre de déviation, grâce à un champ magnétique uniforme $\vec{B}$, les ions décrivent des demi-cercles de rayons respectifs R_1 et R_2 avant de tomber dans les collecteurs.

3.1.3. Expressions des rayons de courbures :

$$R_1 = \frac{m_1.V_1}{|q|B} \qquad R_2 = \frac{m_2.V_2}{|q|B}$$

3.1.4. Expressions des vitesses :

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, on retrouve que les vitesses V_1 et V_2 des ions sont exprimées par :

$$V_1^{\,2} = \frac{2|q|U}{m_1} \qquad V_2^{\,2} = \frac{2|q|U}{m_1}$$

3.2. Cyclotron :

3.2.1. Définition :

Un cyclotron est un appareil qui utilise les actions combinées d'un champ électrique et d'un champ magnétique pour accélérer les particules électriques.

Scanned by CamScanner

3.2.2. Description et principe de fonctionnement :

Le dispositif comporte deux demi-cylindres appelés ''D'', entre lesquels on établit un champ électrique alternatif. A l'intérieur des ''D'' règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$. Les particules de charge q sont introduites en O. Elles sont accélérées vers A_1 grâce au champ électrique $\vec{E}$. Ensuite, elles pénètrent dans D_1 où elles décrivent un demi-cercle. Elles seront de nouveau accélérées vers D_2 où elles décrivent un autre demi-cercle de rayon un peu plus grand et le cycle reprend. Ainsi, le cycle continue jusqu'au jet des particules à l'extérieur par une ouverture.

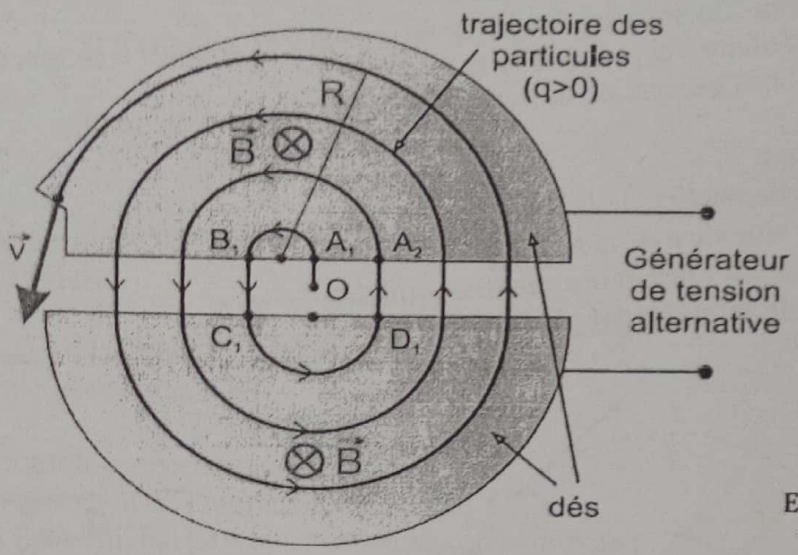


Figure 3 : cyclotron

$E = E_m \cos \omega t$

$U = U_m \cos \omega t$

3.2.3. Utilisation :

Le cyclotron est utilisé dans la physique nucléaire pour le bombardement neutronique.

3.2.4. Vitesse angulaire, vitesse maximale énergie cinétique maximale acquise par une particule :

Vitesse angulaire : $\omega = \frac{V}{R} = \frac{V}{\frac{m.V}{|q|B}} = \frac{|q|B}{m}$

Vitesse maximale : $V_{max} = \omega R_{max} = \frac{|q|B.R_{max}}{m}$

Energie cinétique maximale : $E_{C_{max}} = \frac{1}{2} m {V_{max}}^2$

3.2.5. Nombre de tours *n* effectués par une particule :

L'énergie transmise à une particule pendant un tour est : $\omega = 2|q|U_m$.

Pour n tours : $\omega_{max} = n\omega_1 = 2n|q|U_m$

Le théorème de l'énergie cinétique donne : $\frac{1}{2} m {V_{max}}^2 = 2n|q|U_m$

Alors : $$n = \frac{m{V_{max}}^2}{4|q|U_m} = \frac{E_{C_{max}}}{2|q|U_m}$$

Scanned by CamScanner

Fiche de séquence N° 5

APPLICATION DU PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA DYNAMIQUE AU MOUVEMENT DE SATELLITE TERRESTRE

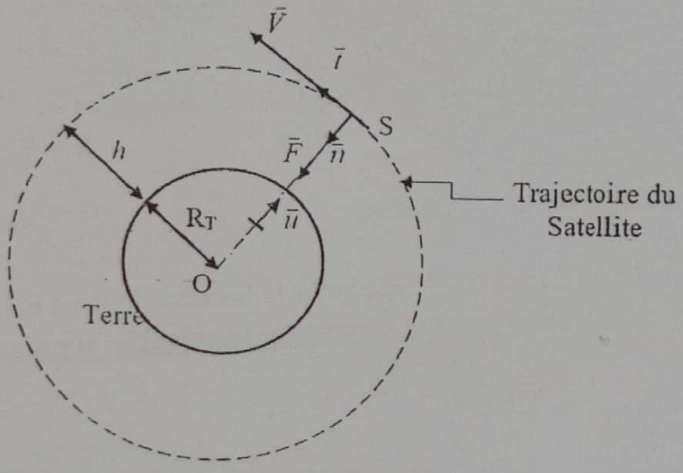
Activité 1 : mouvement des satellites

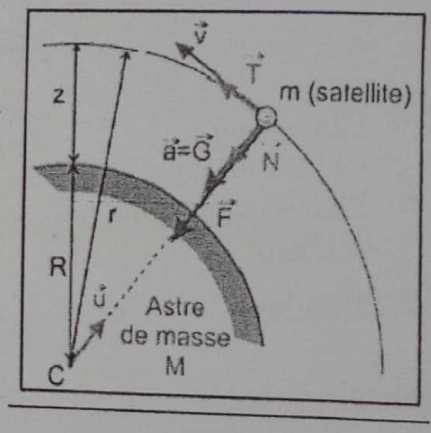
Consigne 1 :

1) Définis un satellite.
2) Donne la nature du mouvement.
3) Donne l'expression du champ de gravité g à l'altitude h en fonction de (g_0 ; h et R_t) et en déduire l'expression de la vitesse v.
4) Etablis l'expression de la période de révolution d'un satellite.

Synthèse 1 :

1) **Définition :**
On appelle satellite de la terre tout corps de masse m non négligeable évoluant à une certaine altitude h de la terre.
Exemples : la Lune et les satellites artificiels
2) **Nature du mouvement :** Soit un satellite de masse m tournant autour de la terre à une altitude h.





Le satellite est soumis à la force gravitationnelle

$\vec{F}_{T/S} = -G\frac{M_T m}{r^2}\vec{u}$

D'après le Théorème du centre d'inertie

$\rangle\ \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{F} = \vec{F}_{T/S} = -G\frac{M_T m}{r^2}\vec{u} = m\vec{a}$

$\Rightarrow \vec{a} = -G\frac{M_T}{r^2}\vec{u}$ alors $\vec{a} = G\frac{M_T}{r^2}\vec{N}$ et $(\vec{N} = -\vec{u})$

$\vec{a}$ est centripète, donc le mouvement est circulaire et uniforme de centre confondu avec ce de la terre. L'accélération est indépendante de la masse du satellite et ne dépend que du rayon de l'orbite.

3) L'expression du champ de gravité g à une altitude h :

Comme $\vec{a} = \overrightarrow{a_N} = \vec{g} \Rightarrow \vec{g} = G\frac{M_T}{r^2}\vec{N}$ d'où $g = G\frac{M_T}{(R_T+h)^2}$ avec $r = R_T + h$

g en fonction de (g_0 ; h et R_T). Or à la surface de la terre $g_0 = G\frac{M_T}{{R_T}^2}$

En faisant le rapport de g/g_0 ; on trouve : $g = g_0\frac{{R_T}^2}{(R_T+h)^2}$

Scanned by CamScanner

La vitesse du satellite

Puisque $a = \frac{v^2}{r}$ et a = g alors $g = \frac{v^2}{r}$

4) **Période de révolution**

a) **Définition :**

C'est temps T mis par le satellite pour effectuer un tour complet.

$T = \frac{2\pi}{\omega}$ avec $\omega = \frac{v}{r} \Rightarrow T = \frac{2\pi r}{v}$

D'où $v = \sqrt{G\frac{M_T}{R_T+h}}$ ou $v = \sqrt{\frac{g_0 R_T^2}{R_T+h}}$

$\Rightarrow T = 2\pi r \sqrt{\frac{r}{GM_T}}$ ou $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM_T}}$

D'où $T = 2\pi \sqrt{\frac{(R_T+h)^3}{GM_T}}$ ou $T = 2\pi \sqrt{\frac{(R_T+h)^3}{g_0 R_T^2}}$

b) **Vitesse angulaire**

$v = r\omega \Rightarrow \omega = \frac{v}{r}$ d'où $\omega = \sqrt{G\frac{M_T}{(R_T+h)^3}}$ ou $\omega = \sqrt{\frac{g_0 R_T}{(R_T+h)^3}}$

Activité 2 : satellite géostationnaire.

Consigne 2 :

1) Définis le satellite géostationnaire.
2) Etablis l'expression de l'altitude h.
3) Enonce la troisième loi de Kepler et établis son expression.

Synthèse 2 :

1) **Définition**

Un satellite géostationnaire est un satellite qui tourne sur une orbite circulaire dans le même sens (Ouest vers Est) que la terre, avec la même vitesse angulaire qu'elle, autour du même axe puisque le plan de sa trajectoire est équatorial.

Sa période est 1 jour sidéral : T =23h56'4'' ≈ 24h.

2) **L'altitude d'un satellite géostationnaire**

On tir h dans l'expression de la période T.

$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM_T}} \Rightarrow T^2 = 4\pi^2 \frac{r^3}{GM_T}$ $\quad R_T + h = \sqrt[3]{\frac{T^2 GM_T}{4\pi^2}}$

$r^3 = \frac{T^2 GM_T}{4\pi^2} \Rightarrow r = \sqrt[3]{\frac{T^2 GM_T}{4\pi^2}}$ $\quad \Rightarrow h = \sqrt[3]{\frac{T^2 GM_T}{4\pi^2}} - R_T$

$$h = \sqrt[3]{\frac{(86164)^2 \times 6{,}67 * 10^{-11} \times 5{,}98 * 10^{24}}{4\pi^2}} - 6380 * 10^3$$

$h = 3{,}5810^7 m = 35810 km \simeq 36000\ km$

Donc un satellite géostationnaire évolue en orbite circulaire à une altitude proche de 36000 km.

Scanned by CamScanner

3) **Troisième loi de Kepler**

Enoncé : quel que soit le corps de masse m qui gravite autour d'un corps de masse M≫m le carré de la période est proportionnel au cube du rayon de son orbite.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM_T}} \Rightarrow T^2 = 4\pi^2 \frac{r^3}{GM_T}$$

$$alors \quad \frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM_T} = cte$$

$$d'où \ \frac{T^2}{r^3} = cte.$$

Cette formule peut être utilisée pour déterminer la masse de certains corps célestes.

4) **Energie mécanique :**

Dans le champ de gravitation, l'énergie mécanique d'un satellite est :

$$E = Ec + Ep = \frac{1}{2}mV^2 - \frac{mg_0R_T^2}{(R_T+h)} = \frac{mg_0R_T^2}{2(R_T+h)} - \frac{mg_0R_T^2}{(R_T+h)} = -\frac{mg_0R_T^2}{2(R_T+h)}$$

Scanned by CamScanner

Fiche de séquence N° 6

ENERGIE INTERNE D'UN SYSTEME

T.S.E

Activité 1 : Energie interne.

1) Définition :

L'énergie interne est la somme des énergies microscopiques cinétique et potentielle de toutes les particules constituant un système.

2) Premier principe de la thermodynamique :

Enoncé :

La variation d'énergie interne d'un système ne dépend que de l'état initial et de l'état final.

$$\Delta U = W + Q$$

W et Q sont respectivement le travail et la quantité de chaleur reçus par le système.

Activité 2 : Calorimétrie :

La calorimétrie est la mesure des quantités de chaleur.

1) Transformation de l'énergie mécanique en chaleur :

Par l'intermédiaire de frottements ou au cours d'un choc, il y a transformation de travail ou d'énergie mécanique en chaleur.

Exemples :

- Un projectile tiré par une arme qui vient s'encastrer dans une cible perd toute son énergie cinétique. On observe un échauffement de la partie où s'est produit l'impact.
- Si un cycliste freine brusquement, on observe un échauffement des freins et de la jante. L'énergie potentielle restant constante, l'énergie cinétique est transformée en chaleur.
- Une balle qui rebondit perd à chacun des chocs une partie de son énergie mécanique. On pourrait observer un échauffement.

2) Transformation de chaleur en l'énergie mécanique :

Une partie de la chaleur produite par la combustion du carburant dans les moteurs est transformés en énergie mécanique.

3) Grandeurs calorimétriques :

3-1) Chaleur massique :

- **Définition :** La chaleur massique C d'un corps est la quantité de chaleur qu'il faut fournir, à pression constante, à l'unité de masse du corps pour élever sa température de 1°C sans changement d'état physique.
- **Expression :**

Si un corps reçoit de la quantité de chaleur Q en s'échauffant de la température initiale Θ_i à la température finale Θ_f sans changer d'état physique, on a : $C = \frac{Q}{m(\theta_f - \theta_i)}$

Q en J, m en Kg, $(\Theta_f - \Theta_i)$ en °C en K et C en J. $Kg^{-1}°C^{-1}$ ou $J.Kg^{-1}.K^{-1}$.

3-2) capacité calorifique :

- **Définition :** La capacité calorifique ou thermique d'un corps notée μ est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à ce corps pour élever sa température de 1°C.
- **Expression :**

Si un corps reçoit de la quantité de chaleur Q et s'échauffe de la température initiale Θ_i à la température finale Θ_f sans changer d'état physique, on a : $\mu = \frac{Q}{\theta_f - \theta_i}$

Q en J, $(\Theta_f - \Theta_i)$ en °C en K et μ en J. $°C^{-1}$ ou $J.K^{-1}$.

Scanned by CamScanner

- **Relation entre μ et C :**

$$C = \frac{Q}{m(\theta_f - \theta_i)} = \frac{1}{m}\left(\frac{Q}{\theta_f - \theta_i}\right) = \frac{1}{m}(\mu) \Rightarrow \mu = m.C$$

3-3) Valeur en eau d'un calorimètre :

L'équivalent en eau (ou valeur en eau) d'un système est la masse d'eau μ_e échangeant la même quantité de chaleur avec l'extérieur quand il subit la même variation de température :

$$mCT = \mu_e C_e T \Rightarrow \mu_e = \frac{mC}{C_e}$$

3-4) Chaleur latente de changement d'état :

La chaleur latente d'un changement d'état est la quantité de chaleur reçue ou cédée par l'unité de masse d'un corps pur lors de ce changement d'état.

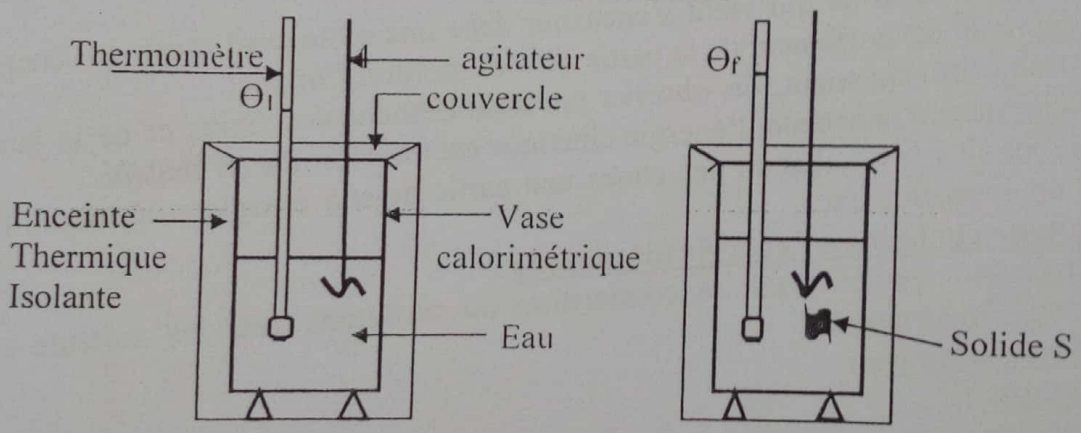
$$L = \frac{Q}{m} \; ; \quad \text{Q en J, m en Kg et L en J.Kg}^{-1}.$$

N.B : Pour un corps pur donné sous une pression donnée, les chaleurs latentes de deux changements d'états inverses sont égales.

Exemple : pour l'eau pure, $L_f = L_s \approx 335\ KJ.Kg^{-1}$

4) Mesures calorimétriques :

4-1) Mesure de la chaleur massique d'un solide :



(a) (b)

Considérons un calorimètre de capacité thermique μ, contenant une masse M d'eau de chaleur massique Ce.

Le vase calorimétrique, ses accessoires (thermomètre et agitateur) et l'eau étant à la température Θ_1, introduisons dans le calorimètre un solide de masse m connue et de chaleur massique inconnue C porté à une température Θ_2 telle que $\Theta_2 > \Theta_1$

Après agitation, soit Θ_f la température d'équilibre du mélange.

- En s'échauffant de Θ_1 à Θ_f, l'eau et le calorimètre ont reçu une quantité de chaleur :

$Q_a = (M\,Ce + \mu)(\theta_f - \theta_1)$

- En se refroidissant de Θ_2 à Θ_f, le solide cède une quantité de chaleur :

$Q_c = mC\,(\theta_2 - \theta_f)$

En supposant les parois du calorimètre parfaitement adiabatiques, à l'équilibre, on a :

$$Q_a = Q_c \Rightarrow (M\,Ce + \mu)(\theta_f - \theta_1) = mC\,(\theta_2 - \theta_f)$$

$$C = \frac{(M\,Ce + \mu)(\theta_f - \theta_1)}{m(\theta_2 - \theta_f)}$$

Scanned by CamScanner

4-2) <u>Chaleur latente de fusion de la glace</u> :

Dans le calorimètre précédent de capacité calorifique μ contenant une masse M d'eau à la température Θ_1, introduisons un morceau de glace de masse m en cours de fusion à la température $\Theta_2 = 0°C$.

Après fusion totale de la glace et agitation, soit Θ_e la température d'équilibre.

- Le vase calorimétrique, ses accessoires et l'eau de masse M ont cédés une quantité de chaleur Q_1 en se refroidissant Θ_1 à Θ_e.

$$Q_1 = (MCe + \mu)(\theta_1 - \theta_e)$$

- Calcul des quantités de chaleur reçues :

• par la glace pour fondre : $Q_2 = m L_f$

• par la glace fondue pour être à Θ_e : $Q_3 = mCe(\theta_e - \theta_2)$

- A l'équilibre thermique on a :

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \Rightarrow (MCe + \mu)(\theta_1 - \theta_e) = mL_f + mCe(\theta_e - \theta_2)$$

La chaleur latente de fusion de la glace à 0°C est :

$$L = \frac{(MCe + \mu)(\theta_1 - \theta_e)}{m} - Ce(\theta_e - \theta_2)$$

Scanned by CamScanner

Fiche de séquence N° 7

L'INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE

Activité 1 : Flux magnétique

1. Définition :

On appelle flux magnétique à travers un circuit fermé, le nombre de lignes de champ par section de ce circuit.

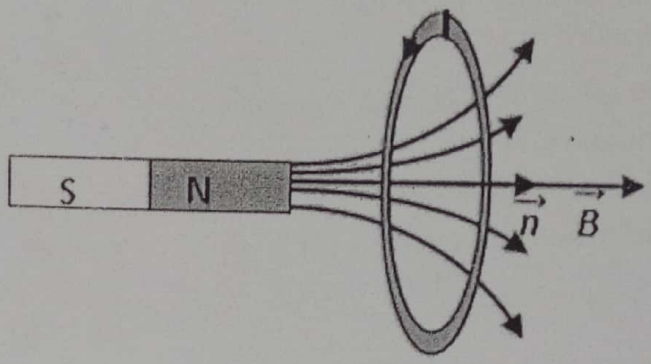


Figure 1: Le flux Magnétique

2. Expressions :

Considérons un circuit plan formé d'une boucle (spire) de surface S placé dans un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme. On oriente cette surface en choisissant un sens positif arbitraire de circulation puis on empoigne la surface dans ce sens.

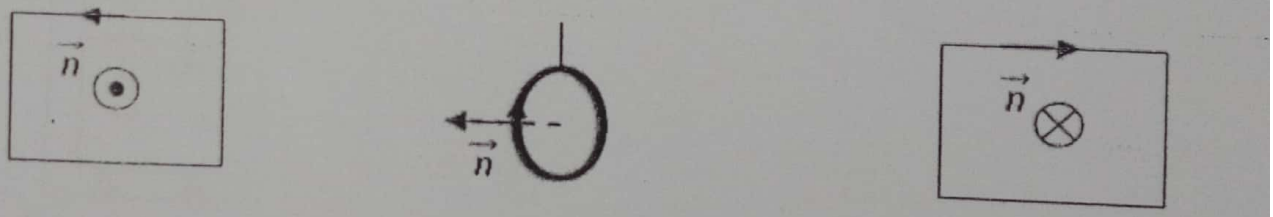


Figure 1 : Orientation d'une surface

- Si le sens choisi est horaire, la normale à la surface est rentrante ;
- Mais si le sens choisi est antihoraire, la normale à la surface est sortante.

Le flux magnétique à travers la surface plane S, est défini par Φ: le produit scalaire du vecteur champ magnétique $\vec{B}$ par le vecteur surface $\vec{S}$:

$$\Phi = \vec{B}.\vec{S} = BScoc\theta$$

Φ en Weber (Wb)
B en Teslat (T)
S en (m^2)

Où θ est l'angle formé par les vecteurs $\vec{B}$ et $\vec{S}$.

Scanned by CamScanner

Activité 2 : Induction électromagnétique

1. Mise en évidence :

Considérons une bobine reliée à un galvanomètre à zéro central (ou un milliampéremètre) et un aimant droit en mouvement relatif :

- Approchons le pôle Nord de l'aiment droit de la bobine, on constate que l'aiguille du galvanomètre dévie : preuve de passage d'un courant dans le sens indiqué.

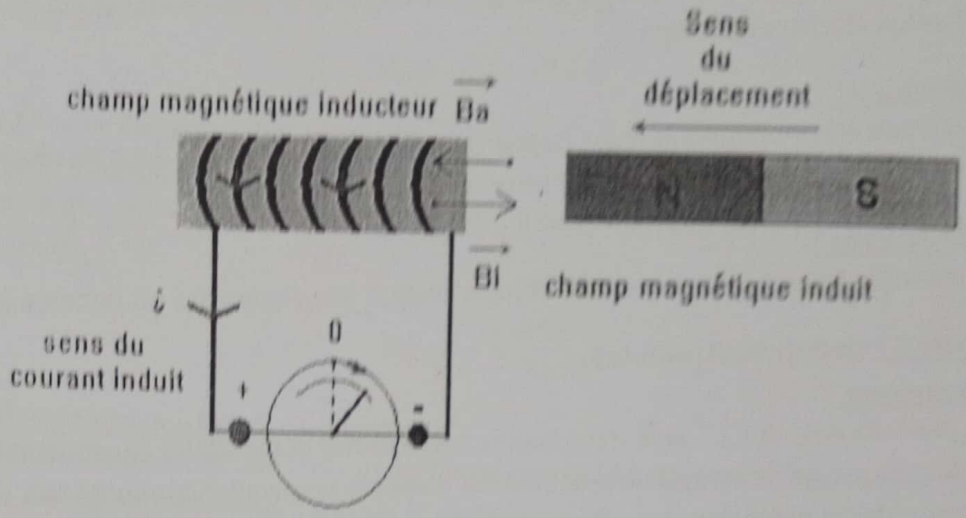


Figure 2 : Bobine mobile, aiment fixe.

- Éloignons l'aimant de la bobine, l'aiguille dévie dans le sens inverse.

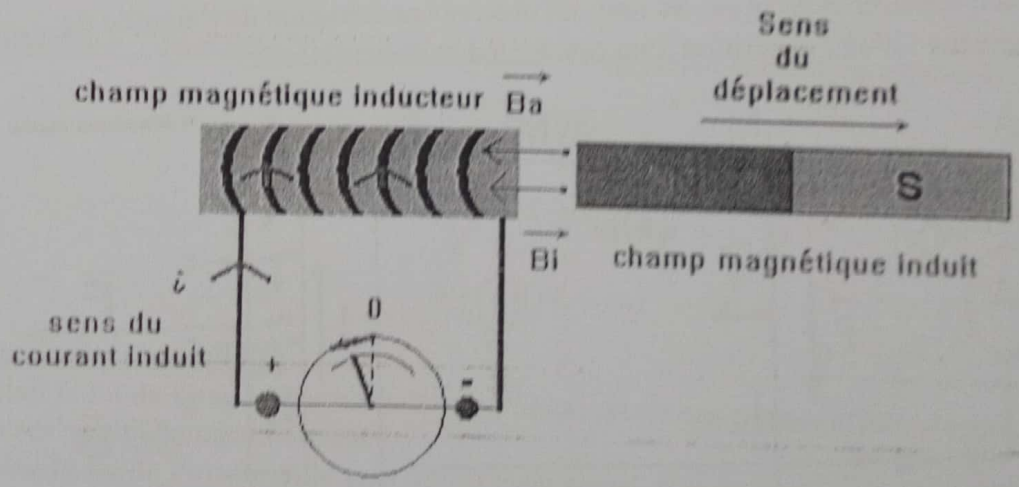


Figure 3 : Bobine mobile, aiment fixe.

Le même phénomène est observé lorsque la bobine est en mouvement au voisinage de l'aiment.

- S'il n'y a pas de mouvement relatif entre l'aimant et la bobine, on n'observe aucune déviation de l'aiguille.

Scanned by CamScanner

2. Interprétation :

Le rapprochement et l'éloignement de l'aimant de la bobine (ou inversement) provoque la variation du champ, qui à son tour provoque la variation du flux à travers la bobine. Cette variation du flux engendre la création d'une force électromotrice (e) dans la bobine, qui à son tour crée un courant appelé courant induit (i).

L'aimant est appelé l'inducteur, la bobine est l'induit et le phénomène physique observé est l'induction électromagnétique.

3. Définition :

L'induction électromagnétique est l'apparition d'un courant induit dans un circuit fermé lors de la variation du flux magnétique à travers ce circuit.

4. Loi de Lenz :

Le courant induit est tel que par ses effets, s'oppose aux causes qui lui donnent naissance.

Activité 3 : champ électromoteur

1. Expérience :

Les portions AA' et CC' sont deux barres horizontales et parallèles constituant les rails conducteurs. Une barre cylindrique NM est disposée perpendiculairement aux rails. L'ensemble est placé dans un champ magnétique B uniforme perpendiculaire au plan des rails. Un galvanomètre branché aux extrémités des rails, ferme le circuit ANMCA.

En faisant déplacer la barre sur les rails, on observe une déviation de l'aiguille du galvanomètre ; d'où l'apparition d'un courant induit dans le circuit.

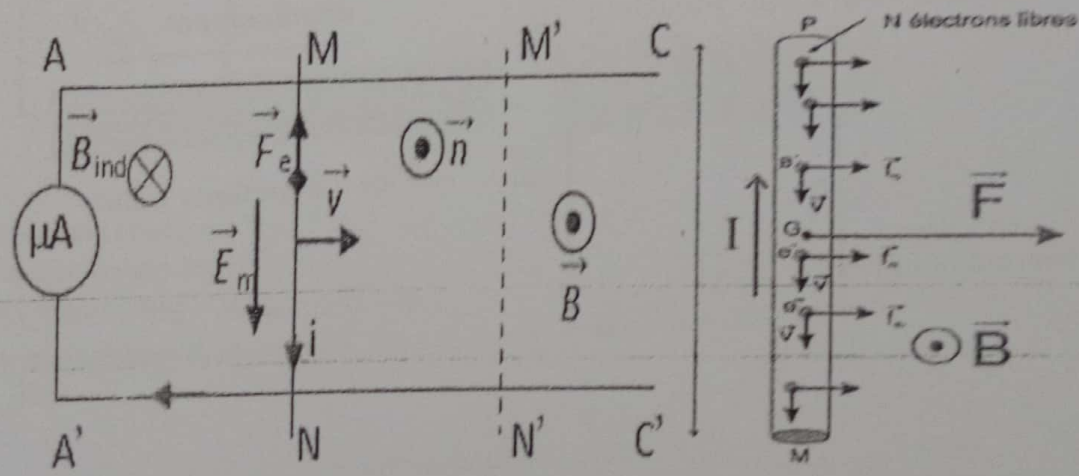


Figure 4 2: rails de Laplace

2. Définition :

On appelle champ électromoteur le vecteur $\vec{E}_m$, le champ électrique qui produit le déplacement des électrons à travers la barre NM.

Scanned by CamScanner

3. Expression :

La charge $q = -e$ de la barre en mouvement est soumise à une force de Lorentz (force magnétique) :

$$\overrightarrow{F_m} = q.\vec{v} \wedge \vec{B}$$

Tout se passe comme si les charges étaient soumises à un champ électrique tendant à les mettre en mouvement, que nous appellerons champ électromoteur d'induction $\vec{E}_m$. Nous pouvons alors écrire :

$$\overrightarrow{F_e} = q.\vec{E}_m$$

$$\text{D'où } \vec{E}_m = \vec{v} \wedge \vec{B}$$

Activité 4 : Force électromotrice induite

1. Force électromotrice induite moyenne :

On appelle f.é.m. induite moyenne dans un circuit fermé, l'opposé de la variation du flux par rapport au temps.

$$e_{moy} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

2. Force électromotrice induite instantanée :

La f.é.m. induite instantanée dans un circuit fermé est égale à l'opposé de la dérivée du flux magnétique par rapport au temps à travers le circuit.

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}$$

REMARQUE : dans le cas des rails de Laplace, l'expression la f.é.m. se résume à :

$$e = -Blv$$

$$Avec \quad \Phi = \vec{B}.\vec{S} \; ; \begin{cases} S = lx \\ x = vt + x_0 \end{cases}$$

$$\Phi = Bl(vt + x_0)$$

3. Sens du courant induit :

- **Selon la loi de Lenz :** Le sens du courant induit est tel que par ses effets, s'oppose aux causes qui lui donnent naissance.
- **Selon la loi de Faraday :** le sens positif étant choisi, le sens du courant induit est :
  - Si $e > 0$, le courant circule dans le sens positif choisi $i > 0$.
  - Si $e < 0$, le courant circule dans le sens inverse du sens positif choisi $i < 0$.

Scanned by CamScanner

4. Expression :

- **Valeur moyenne du courant induit :**

Si R est la résistance du circuit, i l'intensité moyenne du courant induit : alors la loi de Pouillet s'écrit : $e_{moy} = Ri_{moy}$

$$\Rightarrow \quad i_{moy} = \frac{e_{moy}}{R} \quad \text{or} \quad e_{moy} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$D'où \qquad i_{moy} = -\frac{1}{R}.\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

- **Valeur instantanée du courant induit :**

Si R est la résistance du circuit, i l'intensité du courant instantané induit : alors la loi de Pouillet s'écrit : $e = Ri \quad \Rightarrow \quad i = \frac{e}{R} \quad \text{or } e = -\frac{d\Phi}{dt}$

$$D'où \quad i = -\frac{1}{R}.\frac{d\Phi}{dt}$$

5. Expression de la quantité d'électricité :

Le passage du courant induit, correspond à la circulation d'une charge tel que : $i = \frac{q}{t}$

Avec $q = i.t$

$$\Rightarrow dq = i.dt$$

$$dq = -\frac{1}{R}.\frac{d\Phi}{dt}.dt$$

$$dq = -\frac{1}{R}.d\Phi$$

$$\int_0^q q = -\frac{1}{R}\int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi$$

$$q = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R}.$$

Activité 5 : Application des transformateurs

1. Définition :

Un transformateur est une machine qui permet de modifier les valeurs de la tension et de l'intensité du courant alternatif, en d'autres valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme.

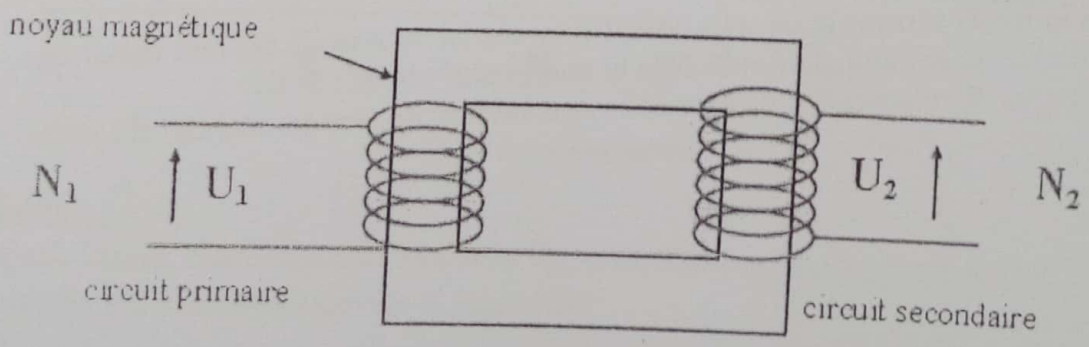


Figure 5 : Transformateur.

Scanned by CamScanner

2. Description :

Un transformateur est constitué de deux bobines de fils conducteurs enroulés autour d'un noyau de fer doux (c'est un métal ferromagnétique très sensible au champ magnétique environnant).

- Le premier enroulement (bobine primaire) est branché à une source de tension alternative U_1. Il comporte N_1 spires et est parcouru par un courant i_1 variable (sinusoïdal)

$i = Isin(wt + \varphi)$.

- Le second enroulement (bobine secondaire) comporte N_2 spires. À ses bornes existe une tension U_2 et circule un courant i_2 non nul s'il est fermé et nul s'il est ouvert.

3. Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement repose sur le transfert d'énergie par induction électromagnétique.

La bobine primaire reçoit de l'énergie électrique et la transforme en énergie magnétique par induction. Le secondaire traversé par le champ magnétique variable produit, fournit un courant alternatif de même fréquence mais de tension différente.

- **Fonctionnement à vide :** le secondaire est ouvert $i_2 = 0$.
  L'expérience montre que : $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$

  Le quotient $\frac{N_2}{N_1}$ est appelé rapport de transformation.

  - Si $\frac{N_2}{N_1} > 1$ le transformateur est dit éleveur de tension (Survolteur).

  - Si $\frac{N_2}{N_1} < 1$ le transformateur est dit abaisseur de tension (sousvolteur).

- **Fonctionnement à charge :** Le secondaire est fermé $i_2 \neq 0$.
  L'expérience montre que : $\frac{N_2}{N_1} = \frac{i_1}{i_2}$

Activité 6 : Application des alternateurs

1. Définition :

Un alternateur est une machine qui utilise le phénomène d'induction électromagnétique pour produire des tensions et des courants alternatifs.

2. Description :

Un alternateur comprend deux principales parties :

- Une partie fixe contenant la bobine joue le rôle de l'induit, appelé Stator.

- Une partie mobile autour d'un axe Δ, qui joue le rôle de l'inducteur appelé Rotor.

Scanned by CamScanner

3. Principe de fonctionnement :

Devant une bobine branchée à un oscillographe, faisons tourner un aimant droit autour d'un axe Δ à vitesse constante (ω = cste). On observe sur l'écran une tension U_{AC} sinusoïdale. La bobine porte le nom de l'induit et l'aimant droit l'inducteur. L'ensemble constitue un alternateur simple à deux pôles.

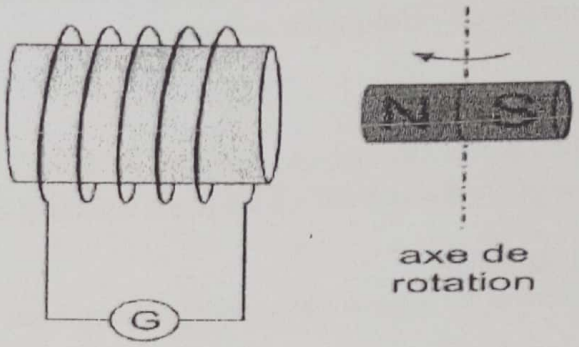


Figure 6 : Alternateur dipolaire

Par calcul : $\Phi = NBS\cos\theta$

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -NBS[-\omega sin(\omega t + \varphi)]$$

Avec $\theta = \omega t + \varphi$

$$e = \omega NBS\sin(\omega t + \varphi)$$

Donc $\Phi = NBScos(\omega t + \varphi)$

Avec $e_{max} = \omega NBS$ la valeur maximale.

Soit $e = e_{max}\sin(\omega t + \varphi)$

4. Alternateur industriel :

Un alternateur industriel comporte un induit fixe (Stator) constitué de plusieurs bobines connectées. L'inducteur mobile (rotor) est constitué de bobines à noyau de fer doux appelées pôles, alimentées en courant continu. Les sens des enroulements de fils de ces bobines font que les pôles sont alternativement Nord et sud et sont toujours en nombres paire (2p pôles). Les bobines induites sont en même nombre que les pôles inducteurs.

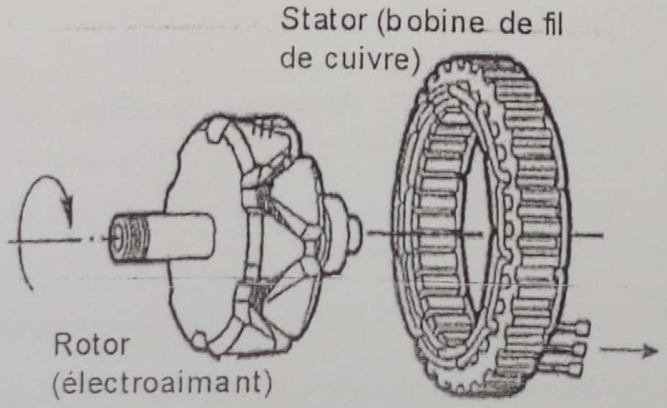


Figure 7 : Alternateur multipolaires

Scanned by CamScanner

Fiche de séquence N° 8

AUTO-INDUCTION

Activité 1 : Les phénomènes d'auto-inductions.

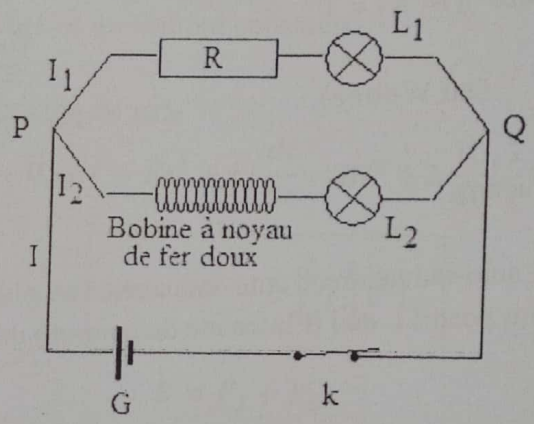
Consigne 1 :

1. Décris une expérience de mise en évidence du phénomène d'auto – induction.
2. Interprètes le phénomène d'auto – induction.

Synthèse 1 :

1. Mise en évidence.

Montons, entre deux points P et Q d'un circuit, deux branches en dérivation l'une par rapport à l'autre. La branche ① comporte un résistor R et une lampe L_1 pendant que la branche ② est constituée d'une bobine à noyau de fer doux de même résistance que le résistor et d'une lampe L_2 identique à L_1.



Fermons le circuit ; nous remarquons que L_1 s'allume immédiatement pendant que L_2 prend du retard avant de s'allumer.

En ouvrant le circuit on rencontre le même retard dans l'instinct ion de L_2 par rapport à celle de L_1. Le tout se passe comme si un autre courant s'oppose à l'établissement ou à la rupture du courant dans la branche②. Ce phénomène où l'induit et l'inducteur sont confondus est appelé phénomène d'auto-induction.

2. Interprétation.

En fait le flux magnétique créé par le champ propre de la bobine à travers celle-ci est fonction de l'intensité du courant qui y circule. Lors de l'établissement ou de la rupture ce courant varie en faisant varier du coup le flux. Cette variation du flux crée un courant induit dans le même circuit. Ce courant est appelé courant d'auto-induction et la f.é.m correspondante est auto-induite.

Scanned by CamScanner

Activité 2 : Flux propre à travers une bobine.

Consigne 2 :

1. Définis le flux magnétique propre à travers une bobine et donner son expression.
2. Définir le coefficient d'auto-induction et donner son expression.
3. Donner l'expression de la f.e.m d'auto-induction.
4. Ecris l'expression de la d.d.p aux bornes d'une bobine.
5. Ecris l'expression de l'énergie de l'énergie magnétique aux bornes d'une bobine.

Synthèse 2 : Flux propre.

1.1. Définition.

On appelle flux à travers un circuit le flux magnétique envoyé, à travers ce circuit, le champ magnétique du courant qui y circule.

1.2. Expression.

Dans le cas d'un solénoïde long de section S, de longueur *l*, comportant N spires et parcouru par un courant i, on a :

$\emptyset_P = N\vec{B}.\vec{S} = NBS \ car \ (\vec{B},\vec{S}) = 0°$ $\qquad$ $\emptyset_P = \mu_0 \frac{N^2}{l} Si$

$\emptyset_P = 4\pi 10^{-7} niNS$ (en Weber). $\qquad$ $car \quad \mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ SI et $n = \frac{N}{l}$

Coefficient d'auto – induction :

2.1. Définition :

On appelle coefficient d'auto-induction ou auto-inductance ou plus simplement l'inductance du solénoïde le coefficient positif L de i (l'intensité du courant) dans l'expression du flux propre : $\emptyset_P = L\,i$.

2.2. Expression :

Dans les deux expressions

$$\emptyset_P = \mu_0 \frac{N^2}{l} Si \quad \text{et} \quad \emptyset_P = L\,i$$

On tire : $\boxed{L = \mu_0 \frac{N^2}{l} S}$

Son unité est le **Henry (H).**

2.3. F.é.m auto-induite.

Par définition

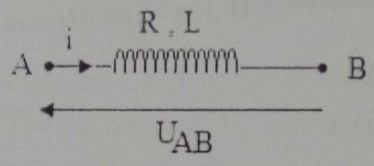
$$e = -\frac{d\emptyset}{dt} = -L\frac{di}{dt}$$

$$\boxed{\Rightarrow e = -L\frac{di}{dt}}$$

Scanned by CamScanner

2.4. D. d. p. aux bornes d'une bobine.

Soit une bobine AB d'inductance L et de résistance R.



La tension aux bornes de cette bobine est :

$$U_{AB} = Ri - e = Ri - (-L\frac{di}{dt})$$

$$\boxed{\Rightarrow U_{AB} = Ri + L\frac{di}{dt}}$$

* Si R est négligeable $U_{AB} = L\frac{di}{dt}$ (Cas de l'inductance pure).

* Si $i = Cste$; $U_{AB} = Ri$ (Cas du courant constant).

2.5. Energie emmagasinée.

La puissance reçue par la bobine est :

$$P = U_{AB}.i = Ri^2 + Li\frac{di}{dt} = Ri^2 + L\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}i^2\right)$$

$$\boxed{P = Ri^2 + L\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}i^2\right)}$$

$$P = P_j + P_L$$

$$avec \quad P_j = Ri^2 \quad et \quad P_L = L\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}i^2\right)$$

P_j est la puissance dissipée par effet joule.

P_L est la puissance emmagasinée ou libérée par la bobine.

Soit E_m l'énergie emmagasinée ou libérée.

$$P_L = \frac{dE_m}{dt} = L\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}i^2\right)$$

$$\Rightarrow dE_m = Ld\left(\frac{1}{2}i^2\right)$$

$$\int_0^{E_m} dE_m = \int_0^{i} Ld\left(\frac{1}{2}i^2\right)$$

$$\Rightarrow E_m = L\left|\frac{1}{2}i^2\right|_0^{i}$$

$$\boxed{\Rightarrow E_m = \frac{1}{2}Li^2}$$

Scanned by CamScanner

Fiche de séquence N° 9

Généralités sur les vibrations

Activité 1 : Définitions

1. Mouvement périodique :

Un mouvement périodique est un mouvement qui se répète identique à lui-même, à des intervalles de temps successifs de même duré **T** appelée périodique.

2. Période :

La période **T** est l'intervalle de temps constant qui sépare deux passages successifs d'un mobile par la même position. Elle s'exprime en **second (s).**

La fréquence d'un mouvement vibratoire noté **f** est le nombre de période effectuées en une seconde. Elle s'exprime en **Hertz (Hz).** $f = \frac{1}{T}$.

L'amplitude est la valeur absolue de l'élongation maximale. Elle s'exprime en **mètre (m).**

3. Ondes progressives :

3.1. Définition :

On appelle onde progressive ou onde l'ensemble des perturbations imposées au milieu matériel par la propagation d'un signale périodique.

3.2. Exemples :

- **Onde transversale :** une onde est transversale si les déformations du milieu sont perpendiculaires à la direction de propagation.
- **Onde longitudinale :** une onde est longitudinale si les déformations sont parallèles à la direction de propagation.

4. Milieu de propagation :

Un milieu de propagation est un milieu élastique capable de transmettre un signal. Il est solide, liquide ou gazeux.

La diffraction est le comportement d'une onde lorsqu'elle rencontre un obstacle.

Elle se manifeste par le fait qu'après la rencontre, d'un objet, la densité de l'onde n'est pas conservée contrairement aux lois de l'optique géométrique.

La diffraction s'observe avec le **son,** la **lumière,** les **vagues,...**

La réfraction est le changement de direction subit par une onde à la traversée de la surface de séparation de deux milieux différents.

La célérité **C** ou vitesse de la lumière est la distance parcourue par unité de temps.

Elle ne dépend pas de l'amplitude de la déformation, est caractéristique du milieu.

Scanned by CamScanner

Dans un milieu homogène et isotrope, la célérité d'un signal est constante.

Exemples :

La célérité du son dans l'air : à 20°C est $v = 340\ m/s$; à la température ambiante 0°C, $v = 331m/s$. Dans l'eau $v = 1{,}5.10^3 m/s$.

La longueur d'onde notée λ (lambda) est la distance parcourue par un mouvement vibratoire pendant une période. $\lambda = v.T = \frac{v}{f}$

Activité 2 : Le son.

1. Nature vibratoire :

1.1. Expérience :

Faisons vibrer un diapason en frappant légèrement l'une de ses branches : nous percevons un son. Si nous immobilisons les branches du diapason en les touchant du doigt, la sensation sonore cesse immédiatement, preuve que la vibration du diapason est la cause du son perçu.

1.2. Production :

Le son est produit par un mouvement vibratoire.

Un générateur de son, ou source sonore est :

- Un solide, tel qu'une corde tendue, une plaque métallique, une cloche, une membrane de haut-parleur ou d'écouteur téléphonique.
- Une masse d'air, soufflée sur le biseau d'un soufflet ou à travers les orifices d'une sirène.

1.3. Définition du son :

Le son est une impression subjective produit sur le sens de l'ouïe par des vibrations de pression, due à un mouvement vibratoire de fréquence et d'amplitude comprises entre certaines limites, et transmises à l'oreille par une suite de milieu élastiques.

2. Propriétés du son :

- Le son est une onde longitudinale.
- Le son ne se propage pas dans le vide.
- Le son transporte l'énergie de l'émetteur (haut-parleur, cordes vocales,…) vers le récepteur (oreille, microphone).

3. Célérité du son dans un gaz :

3.1. Formule de Laplace :

La célérité du son dans un gaz est donnée par la relation dite formule de Laplace :

$$v = \sqrt{\gamma\left(\frac{P}{\rho}\right)}.$$

Scanned by CamScanner

Le rapport $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ est le même pour les gaz de même atomicité (molécules possédant le même nombre d'atomes).

P est la pression du gaz, ρ sa masse volumique ; C_P et C_V sont respectivement les chaleurs massiques du gaz pour un échauffement à pression constante et pour un échauffement à volume constant.

- Pour les gaz monoatomiques (Argon, Néon) : $\gamma = 1{,}67$.
- Pour les gaz diatomiques (O_2, N_2, H_2, l'air) : $\gamma = 1{,}4$.
- Pour CO_2 $\gamma = 1{,}33$

Avec $\rho = a_0 d . \frac{P}{P_0} . \frac{273}{T}$, la célérité est : $v = \sqrt{\frac{C_P}{C_V} . \frac{P_0}{a_0 d} . \frac{T}{273}}$

$P_0 = 1{,}013.10^5 \approx 10^5$ N/m^2 est la pression atmosphérique normale.

$a_0 \approx 1{,}293$ Kg/m^3 est la masse volumique de l'air dans les conditions normales.

T = t + 273 K est la température absolue du gaz et d : densité du gaz par rapport à l'air.

3.2. Facteur de la célérité du son :

La célérité du son est indépendante de la pression du gaz. Elle ne dépend ni de la fréquence, ni de l'amplitude, ni de la forme des ondes sonores.

La célérité du son dépend de l'atomicité du gaz, de sa température et de sa densité par rapport à l'air.

3.3. Conséquences :

- **Influence de la température :**

Pour un même gaz, pris aux températures **T** et **T'**, la célérité est proportionnelle à la racine carrée de la température absolue du gaz.

$$\frac{V'}{V} = \sqrt{\frac{T'}{T}}$$

- **Influence de la densité :**

Pour des gaz différents, de même atomicité, pris à la même température, la célérité du son est inversement proportionnelle à la racine carrée de la densité.

$$\frac{V'}{V} = \sqrt{\frac{d}{d'}}$$

Scanned by CamScanner

COURS PHYSIQUE

2ème PARTIE

Scanned by CamScanner

Activité 1 : Généralités.

Définitions :

1. **Oscillateur mécanique :**

C'est un système mécanique qui effectue un mouvement d'aller-retour de part et d'autre de sa position d'équilibre. Une **oscillation** est un aller-retour autour de la position d'équilibre.

2. **Oscillateur libre :**

C'est un oscillateur abandonné à lui-même après excitation extérieure.

Exemples : pendule simple, pendule élastique, ...

3. **Oscillateur harmonique :**

C'est un oscillateur dont l'évolution dans le temps suit une loi sinusoïdale du temps.

Exemples : pendule élastique sans frottement

4. **Oscillateur forcé :**

C'est un oscillateur excité par un dispositif extérieur imposant le rythme d'oscillation.

Exemples : mouvement des marées, haut-parleurs, ...

5. **Oscillateur amorti :**

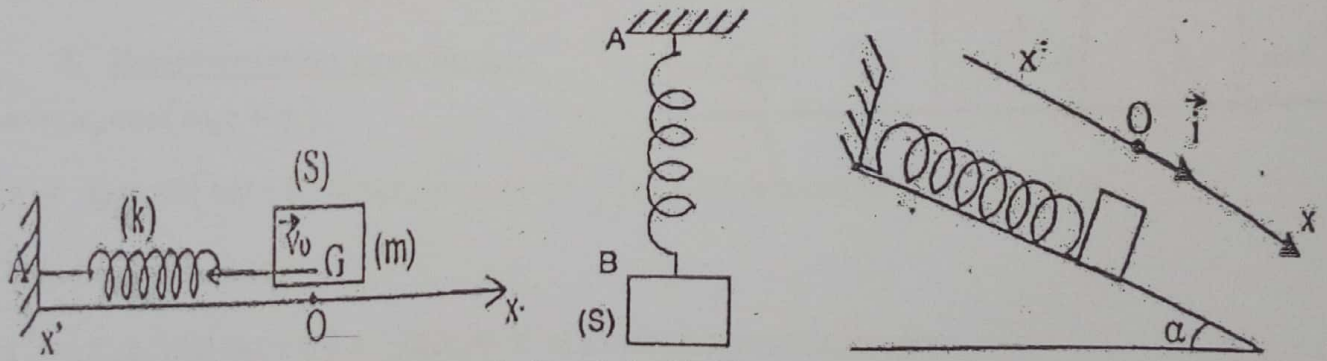
C'est un oscillateur dont les oscillations s'affaiblissent au cours du temps.

Exemples : pendule élastique réel, mouvement d'une corde de piano, ...

Activité 2 : Oscillateur mécanique de translation (Pendules élastiques).

Les différents pendules élastiques

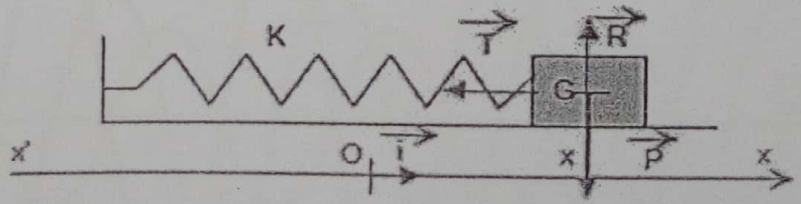
a. Pendule élastique horizontal **c. Pendule élastique Incliné**



b. Pendule élastique vertical

A- Pendule élastique horizontal

On suppose que la masse m glissant sans frottement sur un plan horizontal est reliée à l'une des extrémités d'un ressort de raideur k, l'autre extrémité étant fixe. Soit le repère $(G_o, \vec{i})$.



1. **Equation différentielle :**

Le bilan des forces : R, P et T

D'après le théorème du centre d'inertie : $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}$

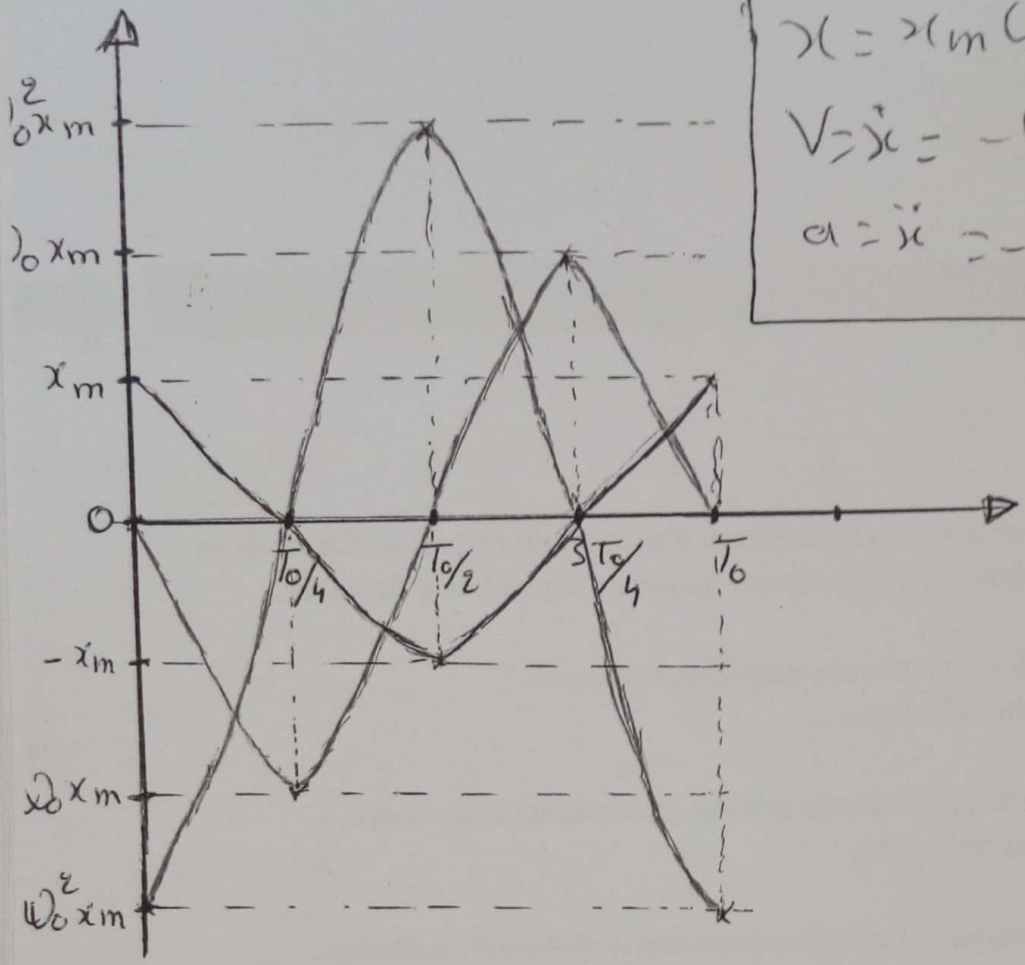
$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} = m\vec{a}$$

Scanned by CamScanner

$$x = x_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right)$$

$$V = \dot{x} = -\omega_0 x_m \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right)$$

$$a = \ddot{x} = -\omega_0^2 x_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right)$$



t	0	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{3T_0}{4}$	T_0
x	x_m	0	$-x_m$	0	x_m
$\dot{x}$	0	$-\omega_0 x_m$	0	$\omega_0 x_m$	0
$\ddot{x}$	$-\omega_0^2 x_m$	0	$\omega_0^2 x_m$	0	$-\omega_0^2 x_m$

Scanned by CamScanner

Projetons suivant $\vec{i}$ sur l'axe xx' : $P + R - T = m\ddot{x} \quad \Leftrightarrow \quad 0 + 0 - T = m\ddot{x}$

$$avec\ T = kx \quad alors \quad -kx = m\ddot{x}$$

$$m\ddot{x} + kx = 0$$

D'où l'équation différentielle d'un mouvement harmonique est :

$$\boxed{\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0}$$

2. Equation horaire :

Posons $\omega_0^2 = \frac{k}{m} \Rightarrow \ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$. Cette équation a pour solution : $x = x_m\cos(\omega_0 + \varphi)$; x_m et φ sont des constantes déterminées à partir des conditions initiales. ω_0 est la pulsation propre de l'oscillateur.

- preuve: On notera $\ddot{x} = x''$ et $\dot{x} = x'$

$x = x_m\cos(\omega_0 t + \varphi)$; $x' = -x_m\omega_0\sin(\omega_0 t + \varphi)$; $x'' = -x_m\omega_0^2\cos(\omega_0 t + \varphi)$

Calculons $x'' + \frac{k}{m}x = -x_m\omega_0^2\cos(\omega_0 t + \varphi) + \frac{k}{m}x_m\cos(\omega_0 t + \varphi) = 0$ car $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$

$x = x_m\cos(\omega_0 t + \varphi)$ est bien solution de l'équation différentielle.

$\boxed{\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}}$: pulsation propre; $\boxed{T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}}$: période propre; $\boxed{f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}}$: fréquence propre.

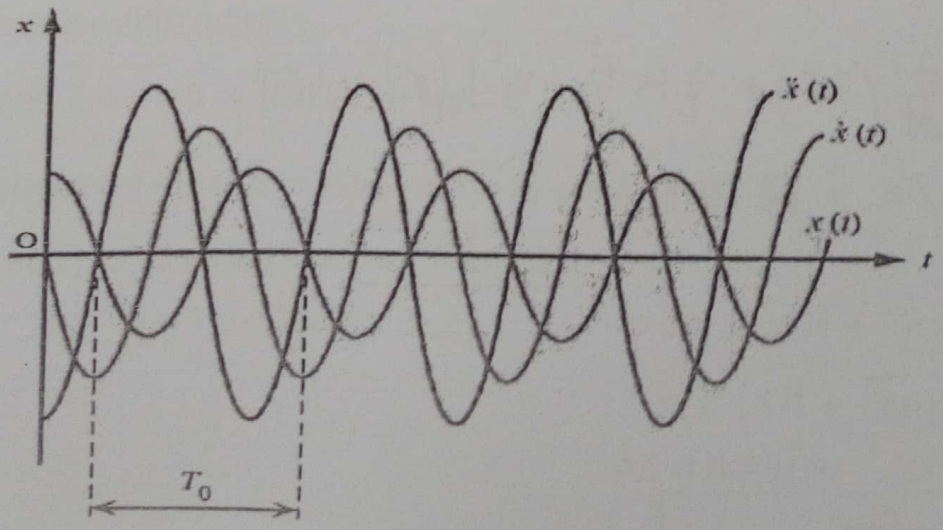
3. Représentation graphique :

$x = x_m\cos(\omega_0 t + \varphi)$;

$x' = -x_m\omega_0\sin(\omega_0 t + \varphi) = \omega_0 x_m\cos\left(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) \Rightarrow$ x' est en avance de $\frac{\pi}{2}$ par rapport à x

(quadratures de phase)

$x'' = -x_m\omega_0^2\cos(\omega_0 t + \varphi) = -\omega_0 x \Rightarrow$ x'' et x sont en opposition de phase.



Scanned by CamScanner

4/ Energie :

$x = x_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$

* $E_C = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m \dot{x}^2$

$\dot{x} = -\omega_0 x_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$

$E_C = \frac{1}{2} m [-\omega_0 x_m \sin(\omega_0 t + \varphi)]^2$

$= \frac{1}{2} m \omega_0^2 x_m^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi)$

$= \frac{1}{2} m \frac{k}{m} x_m^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi)$

$$\boxed{E_C = \frac{1}{2} k x_m^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi)}$$

* $E_p = \frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} k [x_m \cos(\omega_0 t + \varphi)]^2$

$$\boxed{E_p = \frac{1}{2} k x_m^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi)}$$

* $E_m = E_C + E_p$

$= \frac{1}{2} k x_m^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi) + \frac{1}{2} k x_m^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi)$

$= \frac{1}{2} k x_m^2 [\underbrace{\sin^2(\omega_0 t + \varphi) + \cos^2(\omega_0 t + \varphi)}_{1}]$

$$\boxed{E = \frac{1}{2} k x_m^2 = Cste} \qquad E = E_C + E_p = Cste.$$

Retrouvons l'équation différentielle à partir de l'énergie E :

$E = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2} k x^2 = Cste.$

Dérivons E/dt.

$\frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2} m \dot{x}^2\right) + \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2} k x^2\right)$

$= \frac{1}{2} m \frac{d}{dt}(\dot{x}^2) + \frac{1}{2} k \frac{d}{dt}(x^2)$ $\quad (u^n)' = n u' u^{n-1}$

$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} m (2\ddot{x}\dot{x}) + \frac{1}{2} k (2\dot{x} x).$

$\frac{dE}{dt} = m\ddot{x}\dot{x} + k\dot{x}x = 0$

$\Leftrightarrow \dot{x}(m\ddot{x} + kx) = 0$

$\dot{x} \neq 0 ; \; m\ddot{x} + kx = 0$

$$\boxed{\ddot{x} + \frac{k}{m} x = 0}$$

Scanned by CamScanner

4. **Etude énergétique :**

* Energie cinétique du solide: $E_c = \frac{1}{2}mv_x^2 = \frac{mX_m^2\omega_0^2}{2}\sin^2(\omega_0 t+\varphi)$

$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \Rightarrow E_c = \frac{X_m^2 k}{2}\sin^2(\omega_0 t+\varphi)$

* Energie potentielle élastique du ressort:

$$E_{p\,élastique} = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{kX_m^2}{2}\cos^2(\omega_0 t+\varphi)$$

* Energie mécanique de l'oscillateur:

$$E = E_c + E_{p\,élastique}$$
$$= \frac{kX_m^2}{2}\sin^2(\omega_0 t+\varphi) + \frac{kX_m^2}{2}\cos^2(\omega_0 t+\varphi)$$
$$= \frac{kX_m^2}{2}(\sin^2(\omega_0 t+\varphi) + \cos^2(\omega_0 t+\varphi))$$
$$\boxed{E = \frac{1}{2}kX_m^2}$$

5. **Conservation de l'énergie mécanique :**

Comme l'énergie mécanique est conservée :

$$E = \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv_x^2 = \text{constant}$$

Dérivons par rapport au temps cette expression :

$\frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt}(\frac{1}{2}kx^2) + \frac{d}{dt}(\frac{1}{2}mv_x^2) = 0$ (la dérivée d'une constante est nulle)

On obtient en appliquons les règles de dérivation établies en mathématiques:

$$kx + m\frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

Finalement, on retrouve l'équation différentielle du mouvement: $\boxed{\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x}$

B- Pendule élastique verticale :

1. **Equation différentielle :**

A l'équilibre: $\vec{T_0} + \vec{P} = \vec{0} \Rightarrow (Ox): -kx_0 + mg = 0$ (1)

En mouvement: $\vec{T} + \vec{P} = m\vec{a} \Rightarrow (Ox): -k(x_0+x) + mg = mx''$ (2)

(1) et (2) $\Rightarrow -kx = mx'' \Rightarrow \boxed{mx'' + kx = 0}$

Scanned by CamScanner

B) Pendule élastique Verticale:

1) Equat° différentielle:

* Condition d'équilibre:

$\vec{P} + \vec{T_0} = 0 = \vec{0}$ ou $T_0 = K\Delta l$

$\Rightarrow P - T_0 = 0 \Rightarrow P = T_0 = K\Delta l$

$\Rightarrow mg = K\Delta l$

* D'après la RFD:

$\vec{P} + \vec{T} = m\vec{a}$

$P - T = ma = m\ddot{x}$

$P - K(\Delta l + x) = m\ddot{x}$

$P - K\Delta l - Kx = m\ddot{x}$ ou $P - K\Delta l = 0$

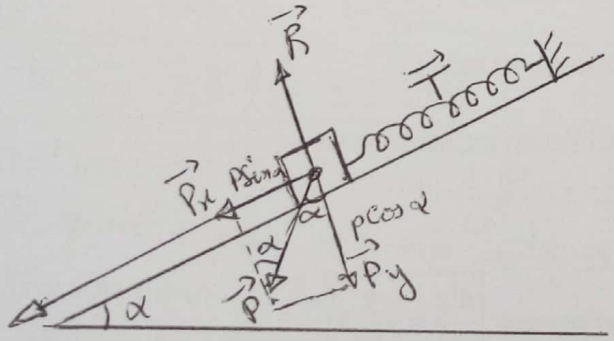
$\Rightarrow -Kx = m\ddot{x} \Rightarrow m\ddot{x} + Kx = 0$

$$\ddot{x} + \frac{K}{m}x = 0$$

$x = x_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$

$x = x_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$

C) Pendule sur un plan incliné:



1) Equat° différentielle:

$\vec{P} + \vec{R} + \vec{T_0} = \vec{0}$

$\vec{P_x} + \vec{P_y} + \vec{R} + \vec{T_0} = \vec{0}$

$P_x + P_y - R - T_0 = 0$

$\begin{cases} P_x - T_0 = 0 \\ P_y - T_0 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P\sin\alpha - K\Delta l = 0 \\ P\cos\alpha - R = 0 \end{cases}$

D'après la RFD:

$P_x - \vec{T} + \vec{P_y} - R = m\vec{a} = m\ddot{x}$

$P_y - R = 0$

$\Rightarrow P_x - T = m\ddot{x}$

$P_x - T = m\ddot{x}$ $\sin\alpha = \frac{P_x}{P}$

$\Rightarrow P\sin\alpha - T = m\ddot{x}$

$P\sin\alpha - K(\Delta l + x) = m\ddot{x}$

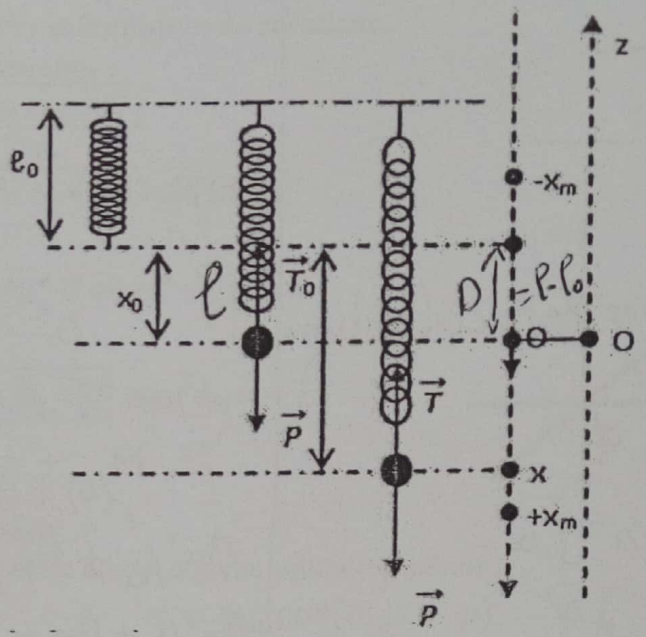
$P\sin\alpha - K\Delta l - Kx = m\ddot{x}$

ou $P\sin\alpha - K\Delta l = 0$

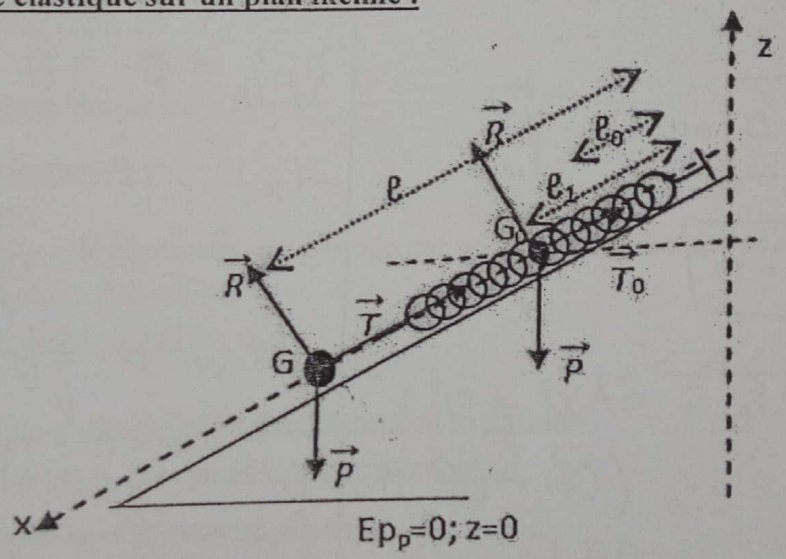
$-Kx = m\ddot{x} \Rightarrow m\ddot{x} + Kx = 0$

$$\ddot{x} + \frac{K}{m}x = 0$$

Scanned by CamScanner



C- Pendule élastique sur un plan incliné :



A l'équilibre: $\vec{R}+\vec{P}+\vec{T}_0=\vec{0} \Rightarrow G_0x: 0+mg\sin\alpha-k(\ell_1-\ell_0)=0$ (1)

En mouvement: $\vec{R}+\vec{P}+\vec{T}=m\vec{a} \Rightarrow (G_0x): 0+mg\sin\alpha-k(\ell-\ell_0)=mx''$ (2)

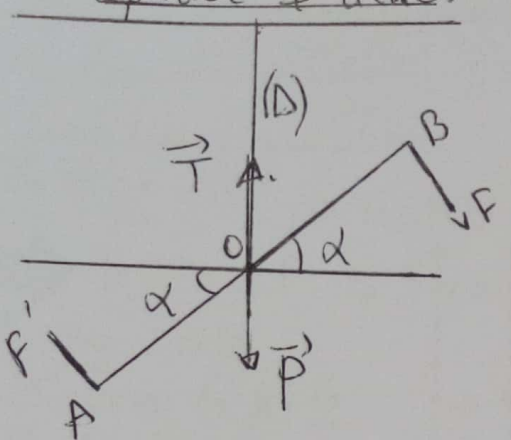
Introduisons ℓ_1 dans l'expression (2):

$$mg\sin\alpha-k(\ell+\ell_1-\ell_1-\ell_0)=mx'' \Rightarrow mg\sin\alpha-k(\ell_1-\ell_0)-k(\ell-\ell_1)=mx'' \Rightarrow mx''+k(\ell-\ell_1)=0$$

car $mg\sin\alpha-k(\ell_1-\ell_0)=0$ d'après (1) d'où en posant $x=(\ell-\ell_1)$, on a: $\boxed{mx''+kx=0}$

Scanned by CamScanner

Equation de Torsion :



D'après le le theoreme des accelerations angulaires.

$$\sum M_{\Delta}(\vec{F}_{ext}) = J\ddot{\alpha}$$

$$M_{\vec{P}/\Delta} + M_{\vec{T}/\Delta} + M_{C/\Delta} = J\ddot{\alpha}$$

$$0 + 0 - C\alpha = J\ddot{\alpha}$$

$$J\ddot{\alpha} + C\alpha = 0$$

$$\boxed{\ddot{\alpha} + \frac{C}{J}\alpha = 0} \quad \text{on } \omega_0 = \sqrt{\frac{C}{J}}$$

$$\Rightarrow \boxed{\ddot{\alpha} + \omega_0 \alpha = 0}$$

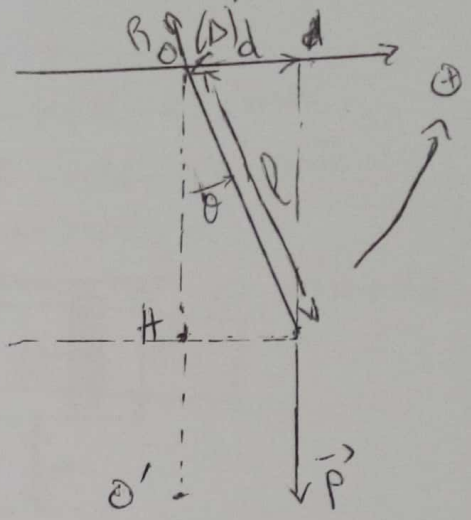
$$M(F_1)_{\Delta} = M_{\Delta F} + M_{F'_{\Delta}} = \overline{OA} \wedge F + \overline{OB} F' = (\overline{OA} + \overline{OB}) F_1 = AB F$$

Equation horaire

$$\alpha = \alpha_m \cos(\omega_0 t + \varphi) = \alpha_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$$

- $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{C}{J}}$
- $f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C}{J}}$

Pendule simple :



Ou T.A.A

$$\sum M_{(\Delta)} = J\ddot{\theta}$$

$$M_{\vec{P}/\Delta} + M_{\vec{R}/\Delta} = J\ddot{\theta}$$

$$M_{\vec{P}/\Delta} + M_{\vec{R}/\Delta} = J\ddot{\theta}$$

$$M_{\vec{P}/\Delta} + 0 = J\ddot{\theta}$$

$$-P \times d = J\ddot{\theta}$$

$$\sin\theta = \frac{AH}{OA} = \frac{AH}{l} \Rightarrow AH = l\sin\theta = d$$

$$-Pl\sin\theta = J\ddot{\theta}$$

$$-mgl\sin\theta = J\ddot{\theta} \Rightarrow J\ddot{\theta} + mgl\sin\theta = 0$$

$$\ddot{\theta} + \frac{mgl}{J}\sin\theta = 0$$

Si $\theta \leq 10°$ $\sin\theta \simeq \theta$ rad

$$\ddot{\theta} + \frac{mgl}{J}\theta = 0$$

$$\ddot{\theta} + \frac{mgl}{mgl^2}\theta = 0 \quad \text{avec } J = ml^2$$

$$\ddot{\theta} + \frac{mg}{ml}\theta = 0 \Rightarrow \ddot{\theta} + \frac{g}{l}\theta = 0$$

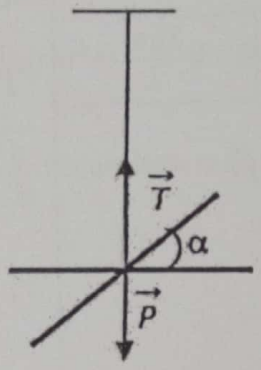
$$\boxed{\ddot{\theta} + \frac{g}{l}\theta = 0}$$

Scanned by CamScanner

Activité 3 : Oscillateurs mécaniques de rotations.

A- Pendule de torsion :

1. Equation différentielle :



$$TAA: \mathcal{M}(\vec{P}) + \mathcal{M}(\vec{T}) + \mathcal{M}(\mathcal{G}) = J\alpha''$$

$$\Rightarrow 0 + 0 - C\alpha = J\alpha'' \text{ d'où } \alpha'' + \frac{C}{J}\alpha = 0$$

$$\boxed{\alpha'' + \omega_0^2\alpha = 0} \text{ avec } \omega_0 = \sqrt{\frac{C}{J}}$$

2. Equation horaire:

Cette équation différentielle admet comme solution générale :

$$\alpha = \alpha_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

- Sa période propre est : $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{J}{C}}$
- Sa fréquence propre est : $f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C}{J}}$

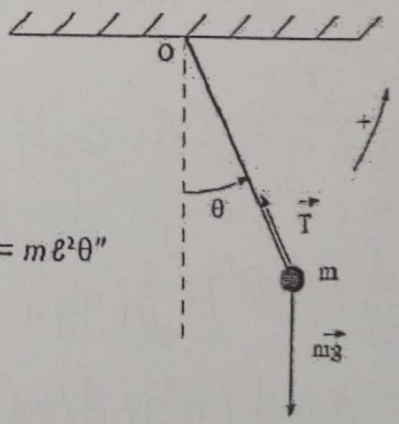
B- Pendule simple :

1. Définition :

Un pendule simple est point matériel suspendu par un fil et qui effectue des oscillations si on l''écarte de sa position d'équilibre.

2. Equation différentielle :

Un pendule simple d'une longueur ℓ est écarté de sa position d'équilibre d'un angle θ_0 puis abandonné à lui-même.



du théorème de l'accélération angulaire

$$TAA: \sum \mathcal{M}(\vec{F}) = J\theta'' \Rightarrow \mathcal{M}(\vec{T}) + \mathcal{M}(\vec{P}) = m\ell^2\theta'' \Rightarrow 0 - mg\ell\sin\theta = m\ell^2\theta''$$

Pour $\theta \leqslant 10°$ $\boxed{\theta'' + \frac{g}{\ell}\theta = 0}$

3. Energie mécanique et solution générale :

La position de (m) sur la verticale est prise pour origine: Ep=0 et z=0 (l'axe z est supposé ascendant).

La masse m est repérée à un instant t par son abscisse angulaire θ ou élongation.

$$E = Ec + Ep = \frac{1}{2}J\omega^2 + mg\ell(1-\cos\theta) = \frac{1}{2}J\frac{v^2}{\ell^2} + mg\ell(1-\cos\theta)$$

$$v = \pm\ell\omega = \pm\ell\frac{d\theta}{dt} \Rightarrow v^2 = \ell^2\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2$$

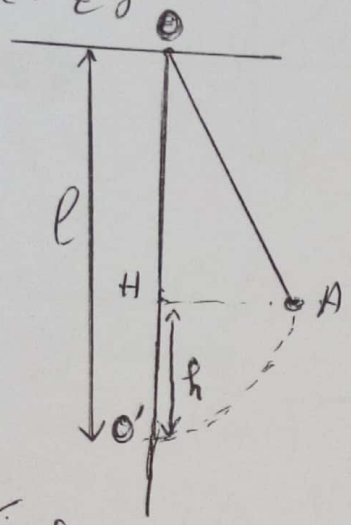
$$E = \frac{1}{2}\frac{J}{\ell^2}\ell^2\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 + mg\ell(1-\cos\theta) \Rightarrow E = \frac{1}{2}J\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 + mg\ell(1-\cos\theta)$$

Scanned by CamScanner

$E = E_c + E_p$

$E_c = \frac{1}{2} J \omega^2$ avec $\frac{d\theta}{dt} = \dot{\theta} = \omega$

$E_c = \frac{1}{2} J \dot{\theta}^2$



$\cos\theta = \frac{OH}{l} \Rightarrow OH = l\cos\theta$

on $OO' = OH + HO'$

$l = l\cos\theta + h'$

$\Rightarrow h = l - l\cos\theta$

$h = l(1 - \cos\theta)$

$E_p = mgh = mgl(1 - \cos\theta)$

$E = E_c + E_p$

$= \frac{1}{2} J \dot{\theta}^2 + mgl(1 - \cos\theta)$

Dérivons l'énergie dE/dt

$\frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2} J \dot{\theta}^2\right) + \frac{d}{dt}(mgl(1 - \cos\theta))$

$\Rightarrow \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} J \frac{d}{dt}(\dot{\theta}^2) + \frac{d}{dt}(mgl) - \frac{d}{dt}(mgl\cos\theta)$

$= \frac{1}{2} J (2\ddot{\theta}\dot{\theta}) + 0 + mgl\dot{\theta}\sin\theta = 0$

$J\ddot{\theta}\dot{\theta} + mgl\dot{\theta}\sin\theta = 0$

$\dot{\theta}(J\ddot{\theta} + mgl\sin\theta) = 0$

$\dot{\theta} \neq 0 ; J\ddot{\theta} + mgl\sin\theta = 0$

$\Leftrightarrow \ddot{\theta} + \frac{mgl}{J}\sin\theta = 0$

avec $J = ml^2$

$\boxed{\ddot{\theta} + \frac{g}{l}\sin\theta = 0}$

c) Pendule pesant:

T.A.A:

$\Sigma M_\Delta = J\ddot{\theta} = ml^2\ddot{\theta}$

$M_{\vec{P}/\Delta} = m d^2 \ddot{\theta}$

$-mg(\vec{OG})\sin\theta = ml^2\ddot{\theta}$

$-gd\sin\theta = d^2\ddot{\theta}$

$d\ddot{\theta} + g\sin\theta = 0$

$\Rightarrow \ddot{\theta} + g/d \sin\theta = 0$

$\ddot{\theta} + \frac{g}{l}\theta = 0$

$\ddot{\theta} = -\frac{g}{l}\theta$

Scanned by CamScanner

4. **Conservation de l'énergie mécanique :**

E est une constante $\frac{dE}{dt} = J\theta''\theta' + mg\ell\theta'\sin\theta = \theta'(J\theta'' + mg\ell\sin\theta) = 0 \Rightarrow J\theta'' + mg\ell\sin\theta = 0$

Pour de faible oscillations ($\theta<10°$): $\sin\theta \approx \tan\theta \approx \theta$ (en radian) d'où $\boxed{\theta'' + \frac{mg\ell}{J}\theta = 0}$

On a: $J = m\ell^2 \Rightarrow \theta'' + \frac{g}{\ell}\theta = 0 \Rightarrow \boxed{\theta'' + \omega_0^2\theta = 0}$ avec $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$ .Par analogie cette équation a pour solution: $\boxed{\theta = \theta_m \cos\left(\sqrt{\frac{g}{\ell}}t + \varphi\right)}$

C- Pendule pesant :

1. **Définition :**

Un pendule pesant ou pendule composé, est un solide qui oscille autour d'un axe fixe Δ ne passant pas par son centre d'inertie G, sous la seule action de la pesanteur.

2. **Energie mécanique et conservation de l'énergie :**

G: centre d'inertie du solide

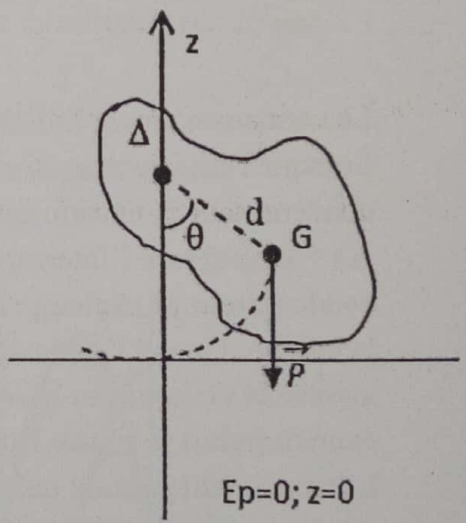
$$E = Ec + Ep = \frac{1}{2}J\omega^2 + mgd(1-\cos\theta) = \frac{1}{2}J\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 + mgd(1-\cos\theta)$$

E est une constante $\frac{dE}{dt} = J\theta''\theta' + mgd\theta'\sin\theta = \theta'(J\theta'' + mgd\sin\theta) = 0$

$$\Rightarrow J\theta'' + mgd\sin\theta = 0$$

Pour de faible oscillations ($\theta<10°$): $\sin\theta \approx \tan\theta \approx \theta$ (en radian)

$$\text{d'où } \theta'' + \omega_0^2\theta = 0 \text{ avec } \omega_0^2 = \frac{mgd}{J}$$



Scanned by CamScanner

OSCILLATEURS ELECTRIQUES LIBRES

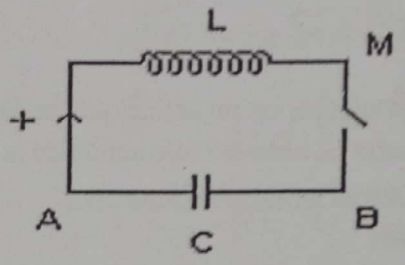
Les oscillateurs mécaniques sont animés de mouvement vibratoire qui selon les cas s'amortissent plus ou moins. Il en est de même dans certaines conditions pour les électrons libres des conducteurs des circuits électriques

Activité 1 : Décharge d'un condensateur dans une inductance pure ($r = 0$)

1°) Expérience :

Montage de la décharge :

Légende : L : Bobine d'inductance L C : condensateur de capacité C K : interrupteur



Le condensateur est initialement chargé sous une tension électrique U.
Lorsque l'interrupteur K est ouvert il n'y a aucun courant dans le circuit et aux bornes du condensateur la tension est U.
A t = 0 on ferme l'interrupteur K. Un courant i circule dans le circuit : on dit que le condensateur se décharge dans l'inductance. Le courant crée une f.é.m. d'auto-induction dans la bobine. Quand l'intensité du courant diminue et s'annule ; un courant induit en sens inverse et de nouveau le condensateur. La décharge du condensateur et sa charge par le courant induit se répète l'une après l'autre continuellement : on dit que le circuit oscille.
L'intensité du courant qui change de signe est une fonction sinusoïdale du temps.

2°) Equation différentielle de décharge

D'après la loi des mailles : $\sum U = 0$; $U_c + U_L = 0$

- Tension aux bornes du condensateur

  $U_C = \frac{q}{C}$ avec q la charge accumulée par le condensateur

- Tension aux bornes de la bobine

$$U_b = L\frac{di}{dt}$$

$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dq}{dt}\right) = \frac{d\,q}{dt} = \ddot{q}$$

$$U_C + U_L = L\frac{di}{dt} + \frac{dq}{dt} = 0$$

$$L\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{C} = 0$$

Divisons par L ; on aura :

$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{L.C} = 0$ Alors $\boxed{\ddot{q} + \frac{1}{L.C}q = 0}$ $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L.C}}$ la pulsation propre

Scanned by CamScanner

3°) **Equation horaire**

La solution de cette équation différentielle est de la forme :

$$\boxed{q(t) = Q_{max}.\cos(\omega t + \varphi)}$$

En effet l'intensité du courant est la dérivée de la quantité d'électricité dans le circuit

$$i = \dot{q} = -\omega Q_{max}.\sin(\omega t + \varphi)$$

- ***La période :***

Par définition : la période propre des oscillations électriques est :

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\frac{1}{\sqrt{L.C}}}$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{L.C}$$

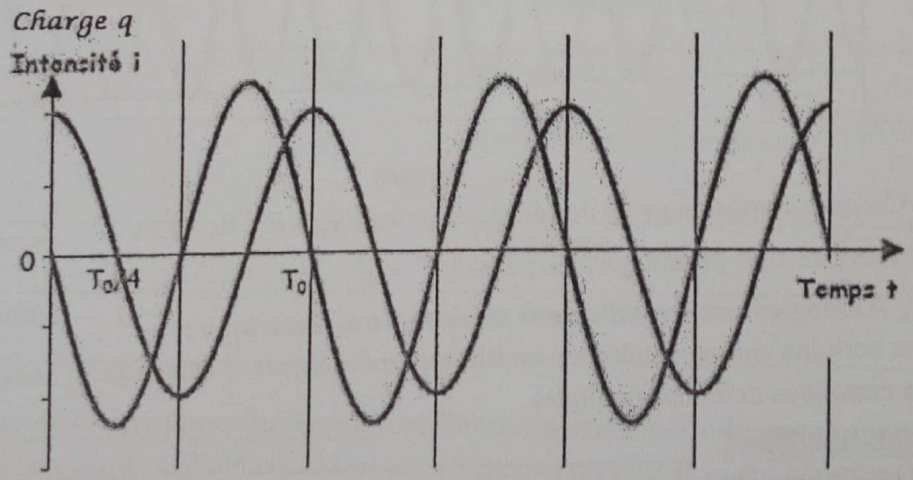
- ***La fréquence :*** la fréquence des oscillations est

$$N_0 = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}}$$

La quantité d'électricité q(t) et l'intensité du courant dans le circuit oscillent avec la même période T_0

4°) **Représentation de q et i en fonction du temps**

La représentation graphique de q(t) ou i(t) en fonction du temps donne une courbe sinusoïdale de période T_0 précédamment exprimée



Activité 2 : Etude énergétique

1°) Energie électrique :

L'énergie électrique E_b emmagasinée dans le condensateur est proportionnelle au carré de sa charge q.

$$E_c = \frac{1}{2.C}q^2 \ avec \ q = Q_m.\cos(\omega t + \varphi)$$

$$E_c = \frac{1}{2C}[Qm.\cos(\omega t + \varphi)]^2$$

$$E_c = \frac{1}{2C}Q^2m\ Cos^2(\omega t + \varphi)$$

Scanned by CamScanner

2°) Energie magnétique :

L'énergie magnétique E_m emmagasinée dans la bobine est proportionnelle au carré de l'intensité du courant dans le circuit.

$$E_c = \frac{1}{2} L.i^2 \quad avec \quad i = -\omega Q_m . Sin\,(\omega t + \varphi)$$

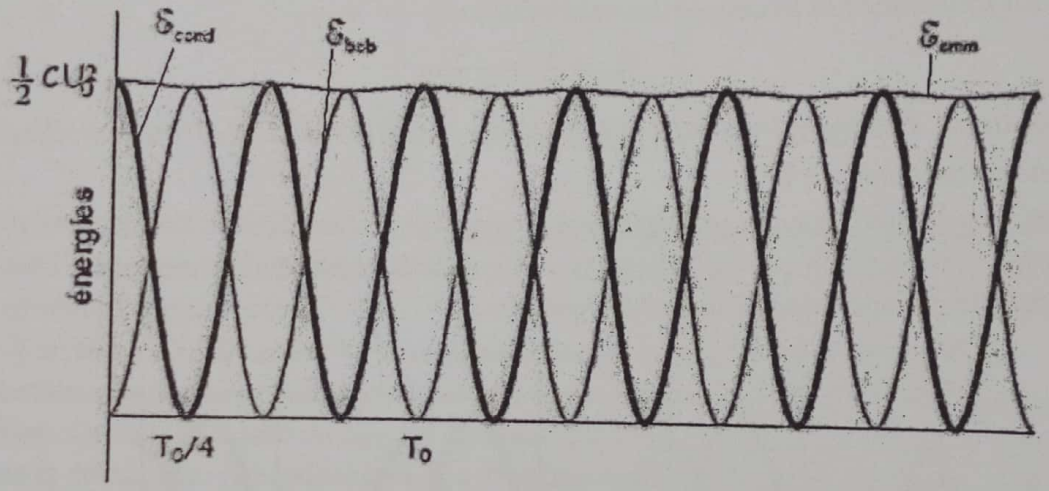
$$E_b = \frac{1}{2} L[-\omega Q_m . Sin(\omega t + \varphi)]^2$$

3°) Energie électrique totale :

L'énergie électrique totale **E** d'un circuit oscillant est la somme des énergies magnétique et électrostatique

A chaque instant, on a $E = \frac{1}{2} Li^2 + \frac{1}{2.C} q^2$

L'énergie électrique totale d'un circuit comportant un condensateur et une bobine non résistive est constante



Courbes représentatives des énergies mécaniques **E** ; E_C et E_b

Les énergies sont périodiques de période $T = \frac{T_0}{2}$

Activité 3 : Analogies entre oscillateurs mécanique et électrique :

Il existe une certaine analogie entre les oscillateurs mécaniques et éclectiques. Les deux oscillateurs étant tous deux harmoniques

1°) Relations analogues

Oscillateur électrique idéal	Oscillateur mécanique idéal
$L\ddot{q} + \frac{1}{C} q = 0$	$m\ddot{x} + Kx = 0$
$T_0 = 2\pi\sqrt{L.C}$	$T_0 = 2\pi . \sqrt{\frac{m}{K}}$
$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L.C}}$	$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}}$

Scanned by CamScanner

$q = Q_m.cos(\omega t + \varphi)$	$x = X_m cos(\omega t + \varphi)$
$\dot{q}=i=-\omega Q_m \text{ Sin } (\omega t + \varphi)$	$\dot{x} = v = -\omega cos(\omega t + \varphi)$
Oscillateur électrique idéal	**Oscillateur mécanique idéal**
$E = \frac{1}{2}L.i^2 + \frac{1}{2.C}q^2 = \frac{1}{2}\frac{Q_m^2}{C}$	$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Kx^2 = \frac{1}{2}KX_m^2$
$E_b = \frac{1}{2}L.i^2$	$E_C = \frac{1}{2}mv^2$
$E_{C0} = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$	$E_P = \frac{1}{2}Kx^2$
$\ddot{q} = -\omega_0^2 q$	$a = \ddot{x} = \omega_0^2 x$

2°) Grandeurs analogues

Grandeurs électriques	Grandeurs mécaniques
q: Charge électrique	x = élongation
L: inductance	m = masse
$\frac{1}{C}$	k = Constante de raideur
i = intensité	V = vitesse
U = tension	F = force

3°) Influence de la résistance du circuit (oscillations pseudo-périodiques et apériodiques)

Considérons un circuit oscillant possédant une résistance variable et examinons les oscillations électriques pour les différentes valeurs de R de la résistance.

Ainsi la loi des tensions électriques est :

$$\frac{q}{C} + L\frac{di}{dt} + Ri = 0$$

$$\ddot{q} + \frac{R}{L}\dot{q} + \frac{1}{L.C}q = 0 \quad car \quad i = \frac{dq}{dt} = \dot{q}$$

Un facteur Ri dû à la chute de tension provoquée par la résistance s'ajoute.

a- Si $R = 0$ (cas idéal) les oscillations ont une amplitude constante : on dit que les oscillations ne sont pas amorties.

$$\frac{q}{C} + L\frac{di}{dt} = 0$$

Scanned by CamScanner

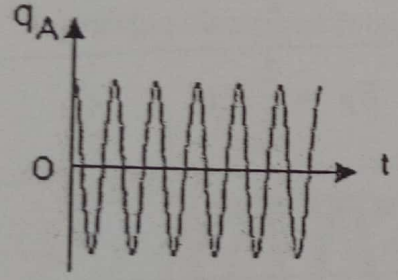
b- Si R très faible, les oscillations sont pseudo - périodiques (peu amorties) dont la pseudo-période est proche de la période propre et l'amplitude des oscillations diminue progressivement jusqu'à s'annuler : la décharge est ***pseudo - périodique*** **(R≈0)**

$$\ddot{q} + \frac{R}{L}\dot{q} + \frac{1}{L.C}q = 0$$

c- Si R est grand, les oscillations sont apériodiques (très amorties) : la décharge est ***apériodique*** (sans oscillation) ($R \gg 0$)

Conclusion :

En mécanique comme l'électricité les oscillateurs sont plus ou moins amortis. Ces amortissements jouent beaucoup sur la qualité des oscillations.

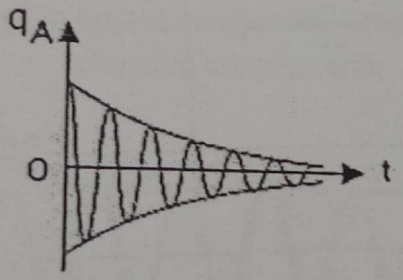


Résistance nulle

Régime périodique

$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$

(paragraphe 2)

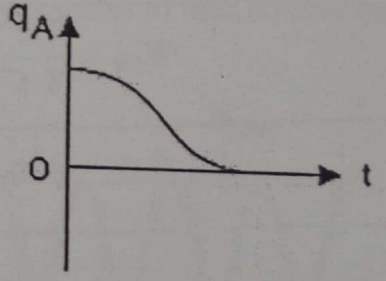


Résistance faible

Régime pseudo-périodique

T_1 voisin de T_0

En présence de résistance R, l'énergie électromagnétique est dissipée en chaleur. Les oscillations électriques diminuent d'amplitude ou même disparaissent.



Résistance importante

Régime apériodique

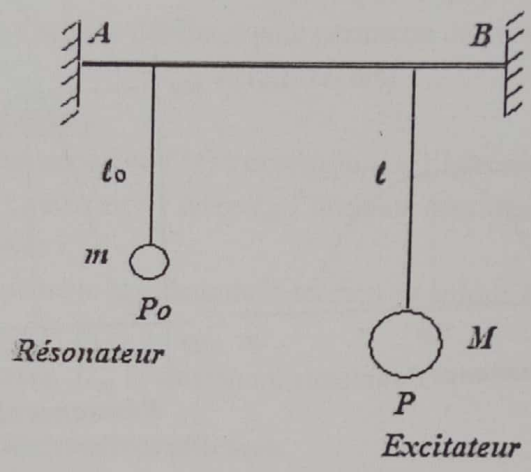
Scanned by CamScanner

Activité 1 : Etude expérimentale.

1. Oscillations forcées.

a. Expérience.

Soient Po et P deux pendules simples de longueurs respectives l_o et l suspendus tous à un gros fil élastique tendu entre deux points A et B. faisons osciller P à sa période T et observons Po.



b.) Observation.

Nous remarquons que Po amorce quelques faibles oscillations puis s'arrête ; puis recommence ; ainsi de suite. Lorsqu'on amortit le mouvement de Po en plongeant la masse m dans de l'eau nous remarquons que Po effectue des oscillations de faibles amplitudes mais de même période que celle des oscillations de P. On dit que P impose ses oscillations à Po par l'intermédiaire du couplage. Le pendule P qui impose son mouvement est appelé excitateur et le pendule Po, à qui le mouvement est imposé, est appelé résonateur. Les oscillations de Po qui sont des oscillations imposées sont dites forcées. Pour certaines longueurs de P relevons les amplitudes correspondantes de Po.

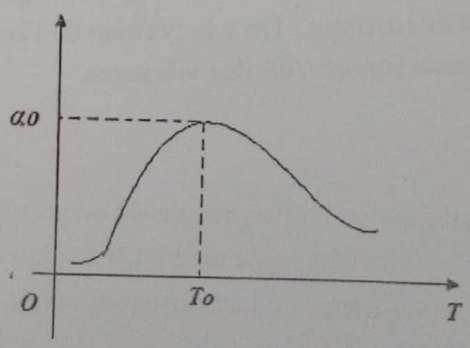
c.) Conclusion.

Lorsque deux oscillateurs sont couplés celui qui impose son mouvement à l'autre est appelé excitateur et celui à qui le mouvement est imposé est appelé résonateur. Ces oscillations imposées sont des oscillations forcées.

2. Phénomène de résonance :

a.) Courbe de résonance :

A partir des valeurs relevées de la longueur de p et les amplitudes correspondantes de Po traçons la courbe représentative de l'amplitude de Po en fonction de la période T de P. Nous obtenons l'allure suivante.

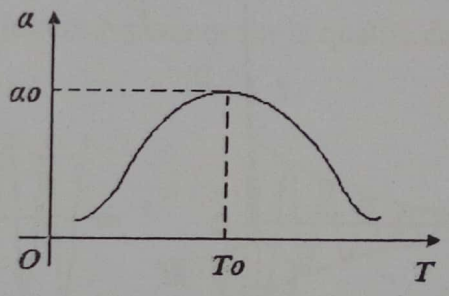


Scanned by CamScanner

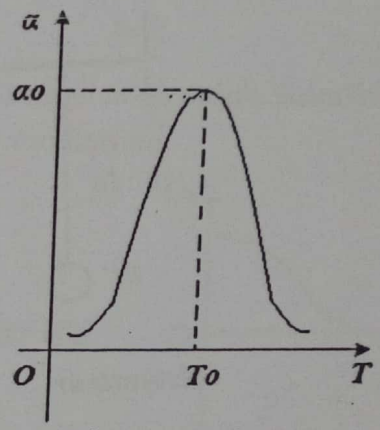
b.) Définition de l'état de résonance :

Selon l'allure de la courbe l'amplitude du résonateur passe par un maximum lorsque la période propre de l'excitateur est voisine de celle du résonateur. Cet état correspond à l'état de résonance du système. L'état de résonance du système est l'état dans lequel le résonateur évolue avec son amplitude maximale sous les impulsions de l'excitateur évoluant à la même période propre que lui. L'énergie du système y est maximale.

La résonance est aigue si le pic de la courbe est prolongé et dans le cas contraire elle est floue.



Résonance floue



Résonance aigue

c.) Bande passante.

On appelle bande passante l'intervalle de fréquences pour lesquelles l'amplitude du résonateur est supérieure à $\frac{a_o}{\sqrt{2}}$ où a_o est l'amplitude correspondante à la fréquence No.

3.) Facteur influant sur la résonance.

Lors de l'expérience précédente on constate que :

- Lorsque l'amortissement du résonateur est faible son amplitude est très élevée à la fréquence de résonance. Cette amplitude varie rapidement lorsque la période varie. La résonance est aigue.
- Lorsque l'amortissement du résonateur est important son amplitude αo est moins importante à la résonance. Elle varie lentement quand la période varie..

Activité 2 : Les Applications de la résonance.

1.) *En mécanique :* On peut citer le vibreur à lame, le diapason, vibrations des pièces d'automobile, oscillations d'ouvrages d'art (pont, bâtiment, …..).

2.) *En électroacoustique* : Le microphone, le haut-parleur sont des exemples.

3.) *En électricité* : On a les récepteurs radio et télévision.

4.) *En acoustique* : On a le tympan de l'oreille, la caisse de résonance (tamtam, guitare, …), tuyaux sonores, cordes vibrantes.

Scanned by CamScanner

Activité 1 : Grandeurs alternatives sinusoïdales

1. Définition d'un courant alternatif :

Un courant alternatif sinusoïdal est un courant dont l'intensité i est une fonction sinusoïdale du temps :

$$i = I_m Cos(\omega t + \varphi)$$

Un choix convenable de l'origine des dates peut permettre de prendre $\varphi = 0$

$$i = I_m Cos(\omega t)$$

2. Intensité instantanée :

On appelle intensité instantanée $i = f(t)$ l'expression de l'intensité du courant qui varie en fonction du temps : $i = I_m \cos(\omega t)$ Avec I_m l'intensité maximale

3. Tension instantanée :

On appelle tension instantané la grandeur de la tension électrique qui varie en fonction du temps. Elle est notée par $u = f(t)$

$u = U_m \cos(\omega t + \varphi)$ avec U_m la tension maximale

Activité 2 : Grandeurs alternatives efficaces

1. Intensité efficace :

L'intensité efficace d'un courant alternatif est égale à l'intensité I_e d'un courant continu qui, passant dans le conducteur ohmique, y provoquerait, pendant chaque période le même dégagement de chaleur.

$$\boxed{I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}}}$$

I_m : Intensité maximale

2. Tension efficace :

Soit $u = U_m \cos(\omega t + \varphi)$ (1)

Soit u la tension instantanée aux bornes d'une résistance

$u = Ri \Leftrightarrow u = RI_m \cos(\omega t + \varphi)$ (2)

$(1) = (2) \Leftrightarrow U_m \cos(\omega t + \varphi) = RI_m \cos(\omega t + \varphi)$

$$Or \quad I_m = I_e\sqrt{2} \Rightarrow U_m \cos(\omega t + \varphi) = RI_e\sqrt{2} \cos(\omega t + \varphi)$$

$$\Rightarrow U_m = U\sqrt{2} \quad d'où \quad \boxed{U_e = \frac{U_m}{\sqrt{2}}}$$

U_m : Tension maximale

Activité 3 : Oscillations électriques forcées

1. Etude expérimentales d'un circuit RLC :

Réalisons le schéma de la figure ci-dessous. Un oscillographe bi-courbe permet de visualiser à la fois U_{AE} imposée aux bornes d'un générateur (en rouge) et la tension U_{DE} (en bleu).

Or $U_{DE} = Ri$; nous observons donc, sur la voie 2, un signal proportionnel à l'intensité du courant dans le circuit.

Scanned by CamScanner

Sur l'écran apparaissent deux sinusoïdes, de même période et décalées l'une par à l'autre suivant l'horizontale: les deux courbes présentent le déphasage de la tension par rapport à l'intensité

Le générateur impose la pulsation ω, qui est différente en général de la pulsation propre ω_0 du circuit : on dit que le circuit est un circuit **oscillant forcé.** Il effectue des **oscillations forcées**

2. Etude théorique :

2. 1. Expression de la tension aux bornes du circuit (RLC) :

Selon la loi des mailles :

$u(t) = u_{AB} + u_{BC} + u_{CD}$

$u(t) = U_m Cos(\omega t + \varphi) \quad \Longrightarrow i(t) = I_m Cos(\omega t)$

Selon la loi d'Ohm :

- ***Tension aux bornes de la bobine***

$$u_{BC} = L\frac{di}{dt} + ri$$

$$\frac{di}{dt} = -I_m \omega Sin(\omega t + \varphi) = I_m \omega Cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad ; car\ (-Sin\alpha = Cos\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right))$$

$$u_{BC} = LI_m \omega Cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + rI_m Cos(\omega t)$$

- ***Tension aux bornes du condensateur***

$$u_{AB} = \frac{q}{c} \quad ; \quad i = \frac{dq}{dt} \quad \Longrightarrow q = \int i\, dt$$

$$u_{AB} = \frac{1}{C}\int i\, dt = \frac{1}{C}\int I_m\, Cos(\omega t) dt$$

$$u_{AB} = \frac{I_m}{C}\frac{1}{\omega} Sin(\omega t) = \frac{I_m}{C\omega} Cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$u_{AB} = \left(\frac{I_m}{C\omega}\right) Cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

- ***La tension aux bornes de la résistance :***

$$u = Ri = RI_m \cos(\omega t)$$

Alors l'expression de la tension aux bornes du circuit est :

$$u(t) = (R + r)I_m \cos(\omega t) + L\omega I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{I_m}{C\omega}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

2.2. Expression de l'impédance et de la phase

Utilisons la méthode de Fresnel, pour faire la somme des trois fonctions sinusoïdales.

Soit(O, x) l'axe des phases

à $U_m Cos(\omega t + \varphi)$ associons $\vec{V}$ $\begin{cases} \|\vec{V}\| = U_m \\ (Ox, \vec{V}) = \varphi \end{cases}$

à $(R + r)I_m \cos(\omega t)$ associons $\vec{V}$ $\begin{cases} \|\vec{V}\| = (R + r)I_m \\ (Ox, \vec{V}) = 0 \end{cases}$

à $L\omega I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ associons $\vec{V}_1$ $\begin{cases} \|\vec{V}_1\| = L\omega I_m \\ (Ox, \vec{V}) = +\frac{\pi}{2} \end{cases}$

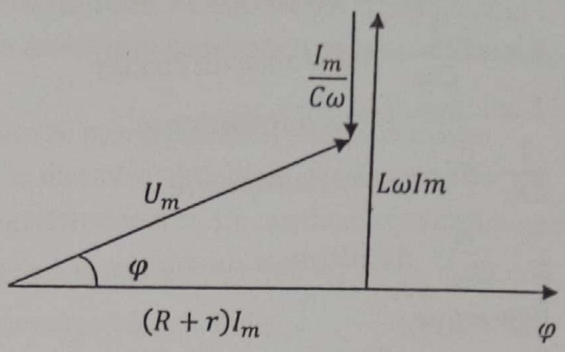
à $\frac{I_m}{C\omega}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ associons $\vec{V}_2$ $\begin{cases} \|\vec{V}\| = \frac{I_m}{C\omega} \\ (Ox, \vec{V}) = -\frac{\pi}{2} \end{cases}$

Trois (3) cas sont envisageables qui sont :

Scanned by CamScanner

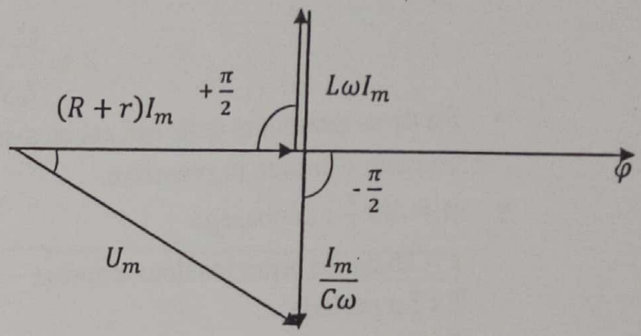
1^er Cas : $L\omega\, I_m > \frac{I_m}{C\omega}$ $\Rightarrow L\omega > \frac{1}{C\omega}$

$\omega > \omega_0 \Rightarrow \varphi > 0$ La tension est en avance de $|\varphi|$ sur l'intensité : on dit que le circuit est inductif.

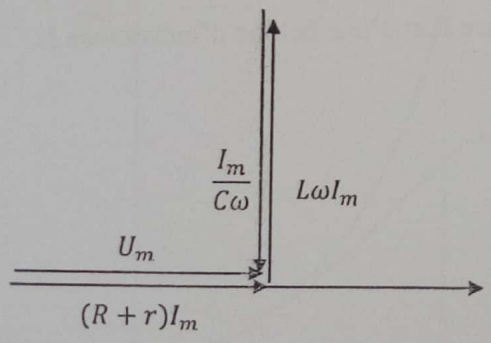


2^ème Cas : $L\omega I_m < \frac{I_m}{C\omega}$ $\Rightarrow L\omega < \frac{1}{C\omega}$

$\omega < \omega_0$; $\varphi < 0$ La tension est en retard de $|\varphi|$ sur l'intensité : on dit que le circuit est capacitif



3^ème Cas : $L\omega I_m = \frac{I_m}{C\omega}$



$\omega = \omega_0$, $\varphi = 0$ la tension et l'intensité sont en phase

D'après la figure du 1^er cas

$$U_m^2 = \left|((R+r)I_m)^2) + \left(L\omega I_m - \frac{I_m}{C\omega}\right)^2\right|$$

$$U_m^2 = \left|(I_m^2(R+r)^2) + I_m^2\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2\right|$$

$$U_m^2 = I_m^2\left|(R+r)^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2\right|$$

$$\frac{U_m^2}{I_m^2} = (R+r)^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2$$

$$\left(\frac{U_m}{I_m}\right)^2 \quad \varphi \quad :+r)^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2$$

$$\frac{U_m}{I_m} = \quad (R+r)^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2$$

Par définition le rapport $\frac{U_m}{I_m}$ noté Z est appelé impédance du circuit.

Donc $Z = \sqrt{(R+r)^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$ ou $Z = \sqrt{R_T{}^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$

$$Avec\ R_T = R + r$$

D'autre part : $\tan\varphi = I_m \frac{\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)}{(R+r)I_m} \Rightarrow \tan\varphi = \frac{\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)}{R_T}$

Scanned by CamScanner

Z : *impédance du circuit en* $Ohm(\Omega)$

$L\omega - \frac{1}{C\omega}$: *Réactance du circuit*

$L\omega$: *Réactance d'inductance*

$\frac{1}{C\omega}$: *Réactance de capacité*

$\frac{1}{Z} = \frac{I_m}{U_m}$: *Admittance du dipôle*

Remarque :

- $Z = \frac{U_m}{I_m}$ or $U_m = U_e\sqrt{2}$ et $I_m = I_e\sqrt{2}$

$$Z = \frac{U_e\sqrt{2}}{I_e\sqrt{2}} \Rightarrow Z = \frac{U_e}{I_e}$$

- De deux grandeurs celle qui est en avance est celle qui atteint son maximum la première ou celle s'annule la première.
- $\varphi = 2\pi\frac{\tau}{T}$: déphasage

  τ : Distance entre les deux courbes

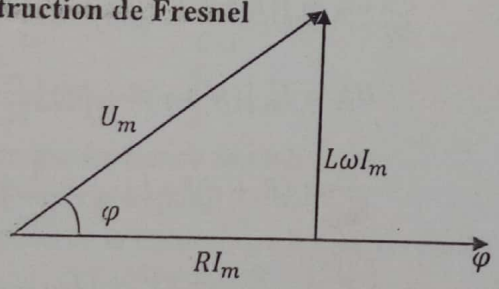
  T : La période

a- Cas particuliers

- **Circuit R L :**

Le circuit RL est constitué d'une résistance **R** et d'une bobine d'inductance **L.**

- **Construction de Fresnel**

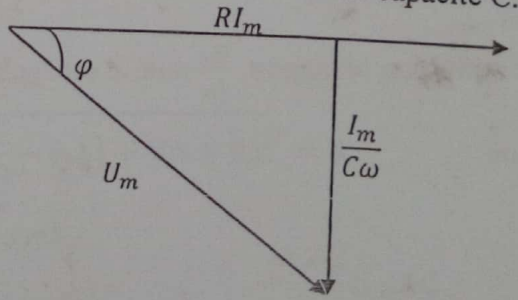


- **Impédance :** $Z = \sqrt{R^2 + L\omega^2}$
- **Phase :** $\tan\varphi = \frac{L\omega}{R}$

- **Circuit RC :**

Le circuit RC est constitué d'une résistance R et d'un condensateur de capacité C.

- **Construction de Fresnel**



- **Impédance :** $Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}$
- **Phase :** $\tan\varphi = \frac{\frac{-1}{C\omega}}{R}$

3. **Etude du cas de la résonnance :**

3.1. Etude expérimentale :

Scanned by CamScanner

Le générateur B.F délivre une tension dont la fréquence est variable et par conséquent sa pulsation est réglable. Faisons varier ω, tout en maintenant constante la tension efficace U_e délivrée par le générateur.

Lorsque ω croit, nous observons deux sinusoïdes de même pulsation dont le décalage horizontale varie. D'autre part, l'amplitude de la sinusoïde visualisant ***i*** croit, passe par un maximum puis décroit quand on augmente progressivement ω. Ce maximum est atteint quand la pulsation ω imposée par le générateur est égale à la pulsation propre $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ du circuit.

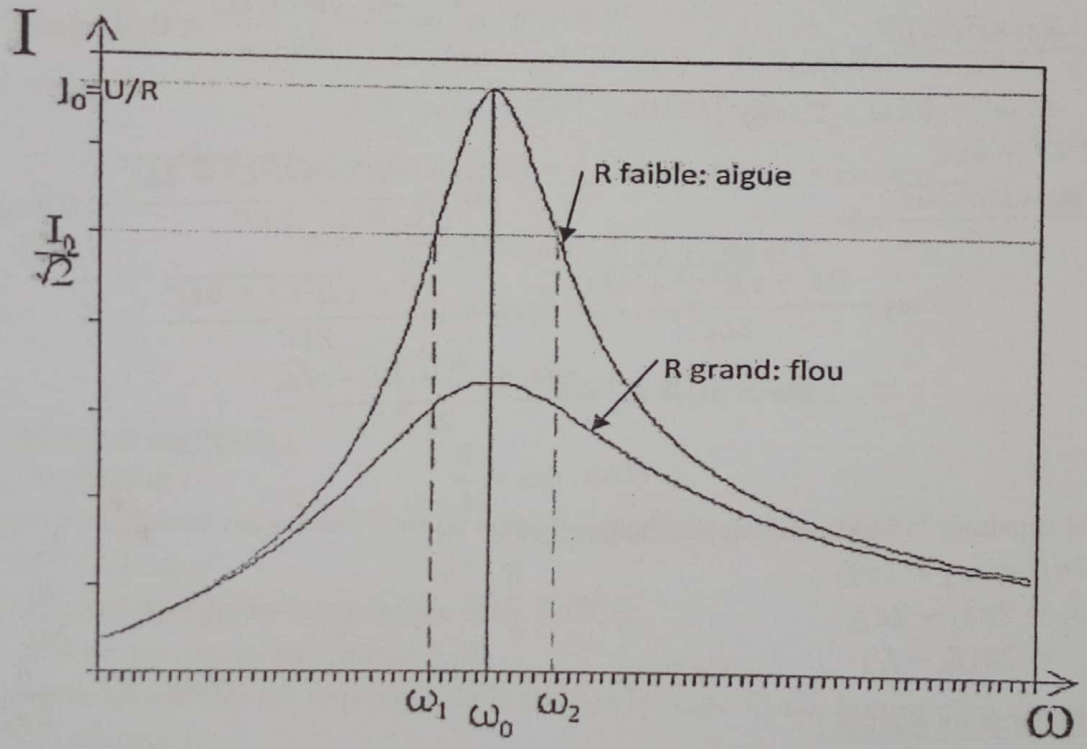
En ce moment-là, la différence de phase de i par rapport à u est nulle.

On dit qu'il y a résonnance d'intensité. Le circuit est le résonateur et le générateur est l'excitateur.

3.2. Courbe de résonnance :

Lorsque la résistance est :

- Faible, la résonnance est aigue
- Grande, la résonnance est floue



Cette courbe est appelé courbe de la résonance. $\omega_0 = 2\pi N_0$ est la pulsation de la résonance où I est à son maximum $I_0 = \frac{U}{R}$.

L'intensité du courant est nulle à la fréquence nulle (cause du condensateur) et à la fréquence infinie (cause de l'inducteur).

3.3. Valeur des grandeurs caractéristiques à la résonance :

A la résonnance

- $U_e = Z.I_{e_{max}}$
- $L\omega_0 = \frac{1}{C\omega_0}$
- $\varphi = 0$ $(u\ et\ i\ sont\ en\ phase)$
- $Z = R + r$
- $Z = \frac{U_e}{I_{e_{max}}} \Rightarrow I_{e_{max}} = \frac{U_e}{Z} = \frac{U_e}{R+r}$

3.4. Bande passante :

Scanned by CamScanner

On appelle bande passante la différence $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ des pulsations ω_2 et ω_1 qui provoquent pour une même tension des courants d'intensité efficace $I_{\omega_1} = I_{\omega_2} = \frac{I_{emax}}{\sqrt{2}}$

Cherchons l'impédance Z lorsque : $I_{\omega_1} = I_{\omega_2} = \frac{I_{emax}}{\sqrt{2}}$

On sait que : $I_{emax} = \frac{U_e}{R}$ soit $I_{\omega_1} = I_{\omega_2} = \frac{U_e}{R_T\sqrt{2}}$

Donc l'impédance est telle que :

$U_e = R\sqrt{2}\, I_{\omega_1} \Rightarrow Z = R\sqrt{2}$

Or $Z = \sqrt{(R+r)^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$

$R\sqrt{2} = \sqrt{(R+r)^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$

$2R^2 = (R+r)^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2$

$R^2 = \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2 \Rightarrow L\omega - \frac{1}{C\omega} = \pm R$

$LC\omega^2 - 1 = \pm R$

$\Rightarrow LC\omega^2 \pm RC\omega - 1 = 0$

- $LC\omega^2 + RC\omega - 1 = 0$

$\Delta = R^2C^2 + 4LC$

$\omega' = \frac{-RC+\sqrt{R^2C^2+4LC}}{2LC} > 0$

$\omega'' = \frac{-RC-\sqrt{R^2C^2+4LC}}{2LC} < 0$ à rejeter

- $LC\omega^2 - RC\omega - 1 = 0$

$\Delta = R^2C^2 + 4LC$

$\omega'' = \frac{RC+\sqrt{R^2C^2+4LC}}{2LC} > 0$

$\omega''' = \frac{RC-\sqrt{R^2C^2+4LC}}{2LC} < 0$ à *rejeter*

$\omega_1 \frac{-RC+\sqrt{R^2C^2+4LC}}{2LC}$ et $\omega_2 = \frac{RC+\sqrt{R^2C^2+4LC}}{2LC}$

$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{RC+\sqrt{\Delta}+RC-\sqrt{\Delta}}{2LC}$

$D'où \quad \Delta\omega = \frac{R}{L}$

On peut exprimer la bande en fonction de fréquence

$\omega_1 = 2\pi f_1$ et $\omega_2 = 2\pi f_2$

$\omega_2 - \omega_1 = 2\pi f_2 - 2\pi f_1$

$= 2\pi(f_2 - f_1)$

$\Delta\omega = \frac{R}{L}$

$\Rightarrow 2\pi(f_2 - f_1) = \frac{R}{L}$

$\Rightarrow (f_2 - f_1) = \frac{R}{2\pi L}$

D'où $\Delta f = \frac{R}{2\pi L}$

3. Facteur de qualité :

C'est le rapport de fréquence de résonnance sur la bande passante.

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} \text{ ou } Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{1}{RC\omega_0}$$

4. Facteur de Surtension :

Le facteur de surtension indique la tension aux bornes de la bobine et du condensateur par rapport à la tension d'alimentation à la résonance.

$$I_{e_{max}} = \frac{U_e}{R+r}$$

- La tension aux bornes du condensateur :

$U_c = Z_c . I_{e_{max}}$

$\Leftrightarrow U_c = \frac{1}{C\omega_0} I_{e_{max}}$

$\Rightarrow U_c = \frac{1}{C\omega_0}\frac{U_e}{R+r}$

Scanned by CamScanner

$$U_C = \frac{1}{(R+r)C\omega_0} U_e \qquad \Rightarrow U_C = QU_e$$

$$U_b = L\omega_0 \frac{U_e}{R+r}$$

- La tension aux bornes de la bobine

$$U_b = Z_C I_{e_{max}} \qquad U_b = \frac{L\omega_0}{R+r} U_e$$

$$U_b = L\omega_0 I_{e_{max}}$$

$$\Rightarrow U_b = QU_e$$

Conclusion : À la résonnance, $U_c = U_b = QU_e$. C'est une tension supérieure à la tension d'alimentation imposée par le secteur.

Activité 4 : Puissance électrique en régime sinusoïdal

1. Puissance instantanée :

La puissance instantanée échangée aux bornes d'un dipôle :

$$p = u.i$$

$$u(t) = U_m Cos(\omega t + \varphi) \;\; ; \;\; i(t) = I_m Cos(\omega t)$$

$$p = U_m I_m Cos(\omega t + \varphi) Cos(\omega t)$$

$$\text{Or } Cos(\omega t + \varphi)Cos(\omega t) = \frac{1}{2}[Cos(2\omega t + \varphi) + \cos\varphi\ ]$$

$$p = \frac{U_m I_m}{2}[Cos(2\omega t + \varphi) + \cos\varphi\ ]$$

$$U_m = U\sqrt{2}\,, I_m = I\sqrt{2}$$

$$p = \frac{U\sqrt{2}.I\sqrt{2}.}{2}[Cos(2\omega t + \varphi) + \cos\varphi\ ]$$

2. Puissance moyenne :

a- Définition :

On appelle puissance moyenne l'énergie échangée par unité de temps es

$$P = UI\cos\varphi$$

La puissance moyenne est le produit de deux facteurs

b- Puissance apparente : notée P_a

La puissance apparente est le produit de la tension efficace U aux bornes d'un dipôle et de l'intensité efficace I_e

$$P_a = U_e.I_e$$

3. Facteur de puissance :

Le facteur cos φ est appelé facteur de puissance. Il est toujours inférieur à 1.

D'après la figure 1

$$\cos\varphi = \frac{(R+r)I_m}{U_m} = \frac{(R+r)I_m}{ZI_m}$$

D'où $\cos\varphi = \frac{R+r}{Z}$ ou $\cos\varphi = \frac{R+r}{\sqrt{(R+r)^2+\left(L\omega-\frac{1}{C\omega}\right)^2}}$ avec $R + r = R_T$

on a $\cos\varphi = \frac{R_T}{Z}$ où $\cos\varphi = \frac{R_T}{\sqrt{{R_T}^2+\left(L\omega-\frac{1}{C\omega}\right)^2}}$

Scanned by CamScanner

Remarque : Importance du facteur de puissance

Dans l'expression $P = U_e I_e \cos\varphi$ P et U_e étant fixées, l'intensité est d'autant plus élevée que facteur de puissance est faible. Hors une intensité élevée implique une grande perte d'énergie par effet joule dans la ligne et cette perte est supportée par l'usine qui fournit le courant. Il en résulte qu'un faible facteur de puissance est couteux pour le fournisseur de courant.

4. **Puissance moyenne absorbée par un dipôle idéal :**

a. Conducteur ohmique :

L'intensité du courant dans un conducteur ohmique de résistance R et la tension U aux bornes du condensateur sont en phase

$\varphi = 0 \implies \cos\varphi = 1$

$P = UI\cos\varphi = UI = (RI)I$ D'où

$\boldsymbol{P = UI}$

b. Inductance pure :

$\varphi = \frac{\pi}{2} \Longrightarrow \cos\varphi = 0 \Longrightarrow P = 0$

c. Condensateur pur :

$\varphi = -\frac{\pi}{2} \Longrightarrow \cos\varphi = 0 \Longrightarrow P = 0$

d. Circuit RLC :

$P = UI\cos\varphi$; $\cos\varphi = \frac{R}{Z}$; $U = \cos\varphi = \frac{R}{Z}$

$$P = ZI\,.I.\frac{R}{Z} \quad d'ou \quad P = RI^2$$

Toute la puissance absorbée par un dipôle RLC est transformée sous forme de chaleur par effet joule dans la résistance.

Activité 5 : Energie consommée par un circuit RLC en série

Pendant la durée élémentaire dt la puissance consommée est :

$$P = \frac{dE}{dt} \Rightarrow dE = Pdt$$

Ainsi l'énergie absorbée entre les instants 0 et t serait :

$$E = \int_0^t U_e I_e \cos\cos\varphi dt \quad Alors \quad E = U_e I_e \cos\varphi * t = P * t$$

E en J ; U en volt ; I en A et t en s

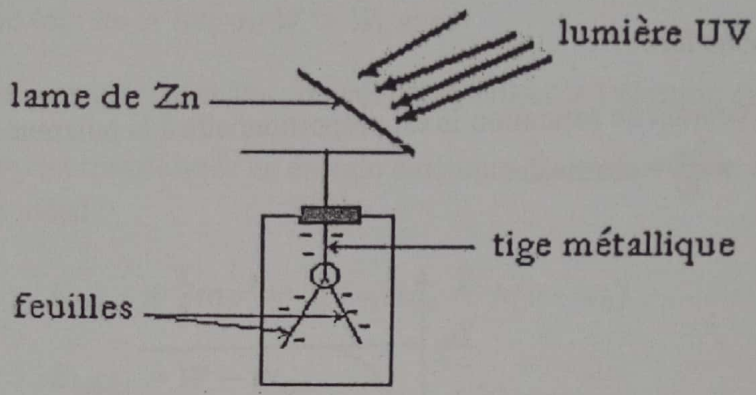
On voit ici l'énergie consommée est le produit de la puissance moyenne par le temps de consommation.

Scanned by CamScanner

EFFET PHOTO ELECTRIQUE

Activité1 : Expérience de mise en évidence de l'effet photo électrique et définition

1. **Expérience de Hertz :**



Electroscope à feuilles

- Si l'électroscope était positivement chargé, rien ne se produit
- s'il était négativement chargé, il se décharge lentement. La plaque de zinc a perdu des électrons. (fig)

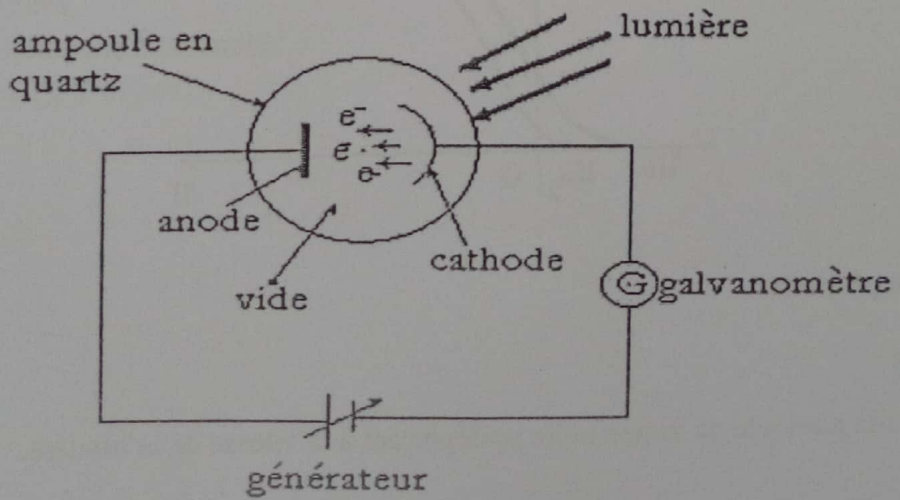
2. **Définition :**

L'effet photo électrique est l'émission d'électrons par un métal qui reçoit de la lumière.

Activité 2 : cellule photo électrique

1. **Description :**

Elle est constituée par une ampoule en verre transparent à l'U.V et dans laquelle on a fait un vide poussé. A l'intérieur se trouve une cathode C formé par une couche de métal pur et une anode A qui captent les électrons expulsés par la cathode. Il s'établit dans le circuit extérieur un courant très faible décelé par un galvanomètre G. La cathode est éclairée par une lumière monochromatique dont on peut faire varier la fréquence ν.



Scanned by CamScanner

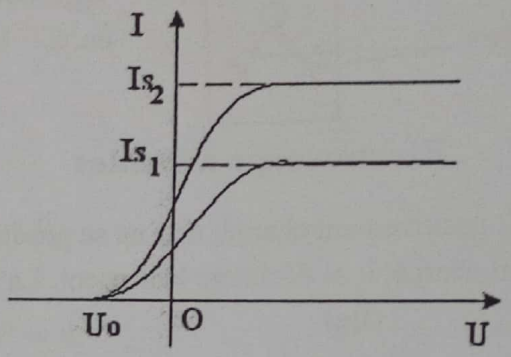
2. Lois de l'effet photo électrique :

a. *Première loi :*

L'émission de photon ne se produit que si la fréquence de la radiation monochromatique tombant sur le métal est supérieure à une valeur donnée appelée ν_o caractéristique du métal.

b. *Deuxième loi :*

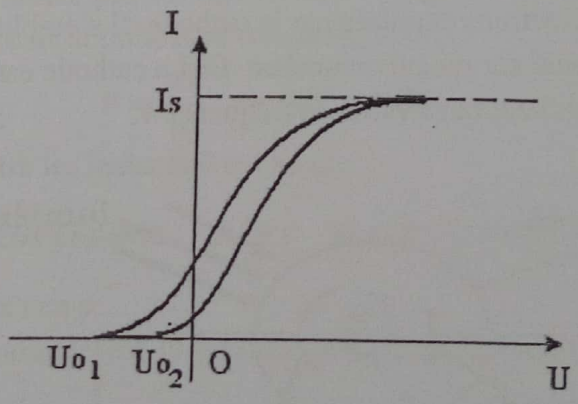
L'intensité du courant de saturation Is est proportionnelle à la puissance reçue sur la cathode :
$\frac{I_{s1}}{P_1} = \frac{I_{s2}}{P_2} = \ldots\ldots = \frac{I_{sn}}{P_n}$ = constante.



Troisième loi :

L'énergie électrique maximale des électrons émis par la cathode est indépendante de la puissance lumineuse mais croit avec la fréquence de la lumière monochromatique incidente.

3. Caractéristique :



Activité 3 : les photons

1. Définition :

Le photon est une particule de masse nulle se déplaçant à la vitesse de la lumière.

Scanned by CamScanner

2. **Interprétation de l'effet photo électrique :** (Einstein 1905)

Selon Einstein, la lumière se propage par grain d'énergie appelé photon ; chaque photon correspondant à une radiation monochromatique de fréquence ν possède une énergie

$W = h\nu$ où h est la constante de Planck ($h = 6{,}62.10^{-34}$ J.s). La condition d'existence de l'effet photo électrique est : $h\nu > h\nu_0$ *ou* $W > W_0$ avec

W : travail de la radiation incidente et W_0 : travail d'extraction de l'électron du métal.

La différence $h\nu - h\nu_0$ est transformée en énergie cinétique. Soit v la vitesse maximale de sortie de l'électron du métal :

$$E_{cmax} = \frac{1}{2}mv^2 = h\nu - h\nu_0 = h(\nu - \nu_0).$$

D'où l'expression $E_{cmax} = W - W_0$.

Cette relation nous permet de calculé le potentiel d'arrêt : $E_{cmax} = e.|U_0| = \Delta W$

3. **Rendement quantique :** c'est le rapport $\frac{n}{N} = r$ où **N** est le nombre de photon reçu par la cathode et **n** le nombre d'électrons émis en une seconde.

De l'expression $i = \frac{Q}{t} = \frac{n.e}{t}$ alors on a : $n = \frac{i.t}{e}$

D'autre part : $w = \frac{Nhc}{\lambda}$ *d'où* $N = \frac{w\lambda}{hc}$

Par ailleurs $w = Pt \implies N = \frac{Pt\lambda}{hc}$

Par définition : $r = \frac{n}{N} = \frac{ihc}{eP\lambda}$

4. **Applications :** Elles sont nombreuses et concernent :

- Mesures de l'intensité lumineuses,
- Photopiles,
- Avertissement d'incendie,
- Comptage d'objets.

Scanned by CamScanner

EFFET THERMOELECTRONIQUE

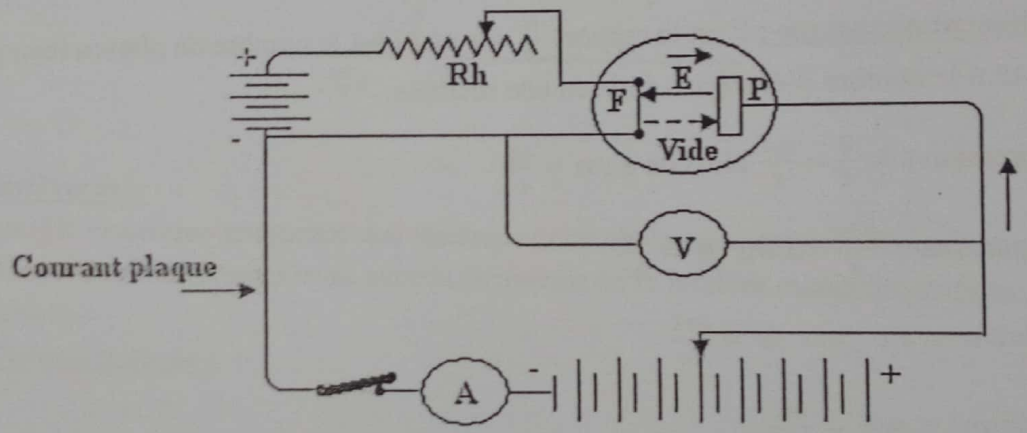
Activité 1 : Diode.

1. Description

Une diode thermoélectronique est constituée d'un tube où l'on a fait un vide très poussé (de l'ordre de 10^{-7}mmHg) autour :

- d'un filament F en tungstène pouvant être porté à l'incandescence par effet joule au moyen d'un petit circuit ;
- d'une plaque métallique P ayant, souvent, la forme d'un cylindre entourant le filament.

A l'extérieur la plaque est reliée au filament par un circuit comportant en série une batterie d'accumulateur et un ampèremètre. La batterie maintient une tension Vp-Vf entre la plaque et le filament dite tension plaque que l'on peut faire varier en faisant varier le nombre d'éléments de l'accumulateur.



2. Principe de fonctionnement.

a. L'ampèremètre n'indique rien le filament est à la température ambiante et quelle que soit la tension plaque.

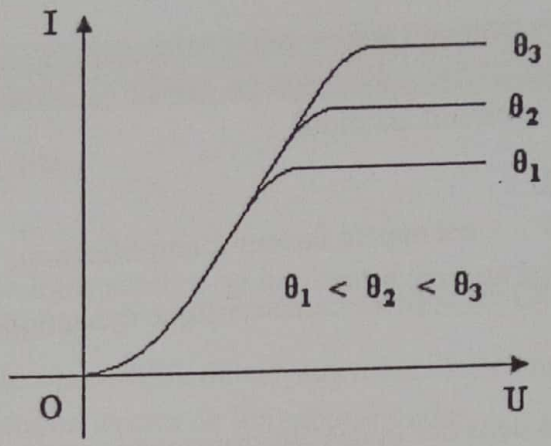
b. Le filament étant porté à l'incandescence on se rend compte que

- lorsque la tension plaque est nulle où négative aucun courant n'est décelé dans le circuit plaque ;
- lorsque la tension plaque est positive de quelques dizaines de volts on décèle le passage d'un courant dans le circuit plaque. Ainsi la diode n'est traversée par un courant que lorsque la tension plaque est positive.

c. Pour une température constante θ du filament l'intensité du courant dans le circuit plaque augmente rapidement, d'abord, puis devient pratiquement constante au fur et à mesure qu'on augmente la tension plaque. La valeur limite est appelée l'intensité de saturation correspondante au courant de saturation.

d. Avec plusieurs θ du filament on se rend compte que le courant de saturation est d'autant plus élevé que θ est élevé.

Scanned by CamScanner



e. Interprétation. Lorsque le tungstène est froid l'énergie cinétique d'agitation d'un électron libre n'est pas suffisante pour sortir du métal. Par contre lorsqu'il est chaud cette énergie est suffisante pour faire expulser les électrons libres. Plus le métal s'échauffe plus les électrons libres qui s'échappent vont croissant : c'est l'effet thermoélectronique.

- Si $V_p - V_f = U < 0$; **E** s'oppose au mouvement des électrons vers la plaque de sorte qu'il n'y ait de courant dans le circuit plaque.
- Si $V_p - V_f = U > 0$; **E** accélère le mouvement des électrons vers la plaque de telle sorte que la diode se trouve être traversée par un courant.

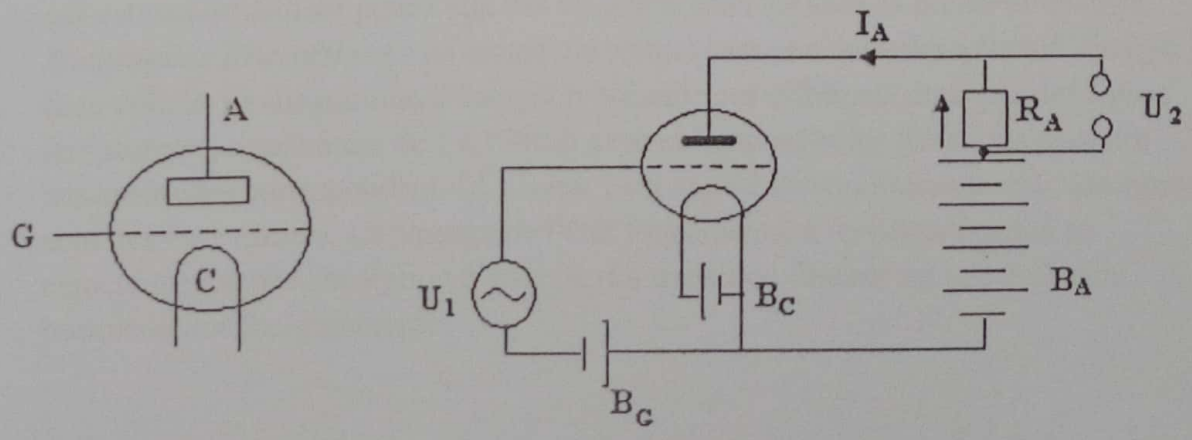
3. **Applications**

La diode thermoélectronique est utilisée dans le redressement du courant alternatif, les tubes électroniques à électrodes multiples (triode, tétrode, ….), canon à électron.

Activité 2 : Triode

1. **Description :**

La triode, à la différence de la diode, a une grille de commande G insérée entre la cathode C et l'anode A. Un générateur applique une tension entre la grille G et la cathode C, un autre applique une tension entre la cathode et l'anode et un troisième sert à l'échauffement de la cathode.



Scanned by CamScanner

2. Principe de fonctionnement :

Soit un amplificateur de tension variable schématisé sur la figure de 1). La tension U_1 est appliquée à la grille de la triode. La tension U_2 amplifiée est prélevée sur les extrémités de la résistance insérée dans le circuit anodique.

Le rapport $k = \frac{dU_2}{dU_1}$ est appelé facteur d'amplification.

La dépendance $I_A = f(U_G)$ est appelée caractéristique dynamique de la diode.

3. Applications :

Les triodes sont utilisées dans des ondes électromagnétiques et des courants variables (ce qui fait leur utilisation dans les chaînes électroniques).

Scanned by CamScanner

NIVEAU D'ENERGIE DANS L'ATOME D'HYDROGENE

Activité 1 : Spectre et Transition

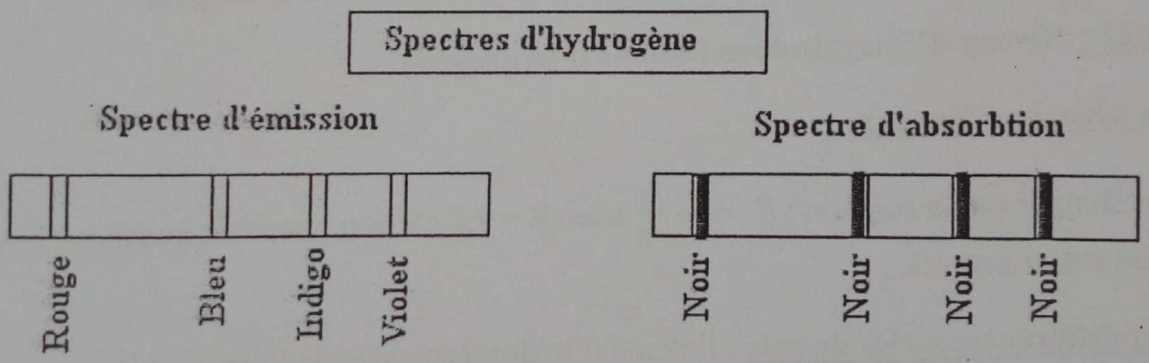
1. **La RAIE :**
   Une raie spectrale est une ligne sombre ou lumineuse dans un spectre électromagnétique.
2. **Le spectre :**

a. ***définition :*** C'est la décomposition du rayonnement électromagnétique selon ses différentes composantes en termes de longueur d'ondes.

b. ***Types de spectres :*** il existe :

× **Spectre d'émission :** le spectre d'émission d'un élément donné est constitué d'un ensemble de raies. A chaque raie correspond une radiation monochromatique de fréquence et de longueur d'onde bien déterminées.

× **Spectre d'absorption :** lorsque des atomes d'un élément reçoivent de la lumière blanche, ils peuvent absorber certaines radiations monochromatiques. On observe alors des raies noires sur un fond de spectre continu de lumière blanche. Les longueurs d'onde des radiations absorbées sont précisément égales à celles des raies d'émission.

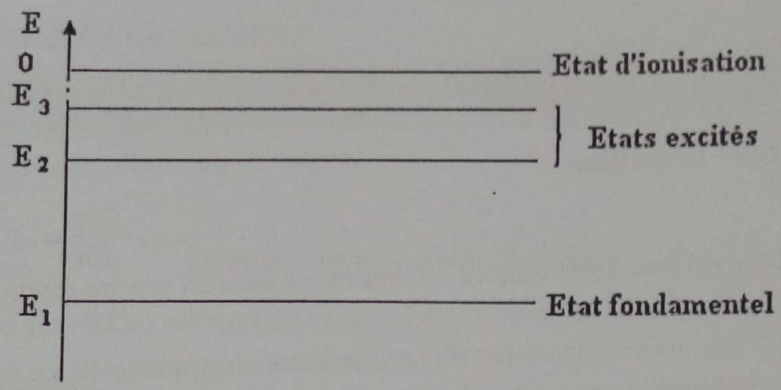


3. **Niveaux d'énergie :**

a. ***Définition :*** c'est une quantité précise d'énergie qu'un système physique peut avoir et qui est surtout utilisée pour l'état des électrons dans les atomes ou les molécules.

b. ***Diagramme Energétique :*** un atome ne peut exister que dans des «états d'énergie bien définis. Le diagramme d'énergie représente ces différents états par des lignes horizontales, numérotées de 1 à l'infini avec en ordonnées les différents niveaux auxquels elles correspondent. Le niveau 1 est appelé niveau fondamental ; les autres sont des états excités. Le passage de l'état fondamental à un niveau excité se caractérise par une absorption d'énergie. La transition inverse est une émission lumineuse monochromatique.

Scanned by CamScanner



$$E_n = -\frac{E_0}{n^2}$$

4. **Transition :**

a. ***Définition*** : la transition électronique est le passage d'un électron d'un niveau d'énergie à un autre.

b. ***Energie de Transition*** : une transition d'un état d'énergie Ep vers un état d'énergie inferieure En s'accompagne de l'énergie d'un photon hy telle que :

$$E_p - E_n = hy = E1\left(\frac{1}{p2} - \frac{1}{n2}\right) \text{ ; soit}$$

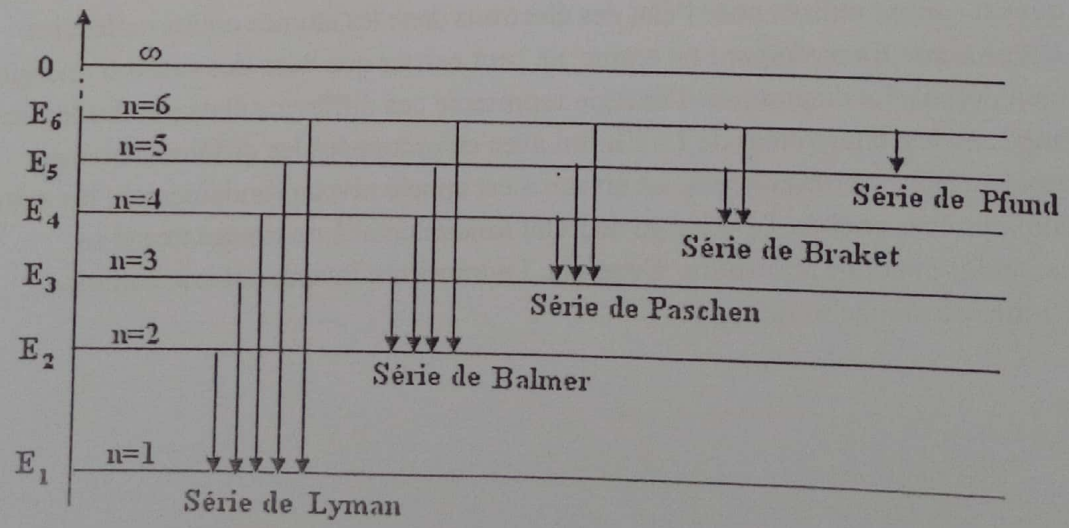
$\frac{hc}{\lambda} = E_1\left(\frac{1}{p2} - \frac{1}{n2}\right)$ et on tire la valeur de $\frac{1}{\lambda} = \frac{E1}{hc}\left(\frac{1}{p2} - \frac{1}{n2}\right)$. Cette relation permet de calculer la longueur d'onde du photon émis par l'atome d'hydrogène.

Actvité2 : Niveau d'Energie dans l'atome d'hydrogène

1. **les niveaux d'énergie** :

Ils sont donnés par la relation : $E = -\frac{E0}{n2}$ avec E = 3,6 eV et n : nombre quantique principal. C'est un entier naturel.

2. **Les différentes séries de raie** : l'atome d'hydrogène passe de l'état E_p à l'état fondamental E_1 en passant par des niveaux intermédiaires. Les transitions aboutissants sont.



Scanned by CamScanner

- Niveau fondamental n=1 : série de **LYMAN**
- Niveau excité n=2 : série de **BALMER**
- Niveau excité n=3 : série de **PASCHEN**
- Niveau excité n=4 : série de **BRACKETT**
- Niveau excité n=5 : série de **PFUND**

Energie d'ionisation : le potentiel ou l'énergie d'ionisation d'un atome ou d'une molécule est l'énergie nécessaire pour lui arracher un électron.

Le potentiel d'ionisation de l'atome d'hydrogène est +13,6 eV.

Scanned by CamScanner

LES RAYONS - X

Activité1 : production :

1. **description :** lorsqu'on établit une ddp entre l'anode et la cathode, la cathode émet un faisceau d'électrons convergent sur l'anticathode qui émet à son tour un rayon X. Il production de rayons X chaque fois que des électrons rapides rencontrent un obstacle.

(fig)

2. **Nature :** ce sont des radiations électromagnétiques de très courtes longueurs d'ondes (de l'ordre de l'Armstrong 1Amstron = 10^{-10} m).
3. **Le Mécanisme d'émission :** les électrons émis par la cathode arrivent sur l'anticathode avec une vitesse v sur cette dernière, ils perdent leur énergie cinétique dont une se transforme en chaleur et le reste sous forme de photons $E = h\nu$.

ν est la fréquence du rayonnent émis.

$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu = eU$ (si toute l'énergie de l'électron se trouve dans le photon).

La longueur d'onde $\lambda_0 = \frac{hc}{eU}$ est la longueur d'onde minimale du rayonnement X que peut donner le tube sous la tension U. la longueur d'onde $\lambda \geq \frac{hc}{eU}$

Activité 2 : Propriétés et applications :

1. **Principales Propriétés** : les plus pertinentes sont :
   - × **Ionisation des gaz** : les rayons X provoque l'ionisation des gaz,
   - × **Absorption :** l'absorption des rayons X par une substance dépend de l'épaisseur de la substance, augmente avec le numéro atomique et la longueur d'onde des rayons X utilisés.
   - × **Diffraction** : les atomes ou les ions d'un cristal diffractent les rayons X et chaque atome devient une source de rayons X,
2. **Les Applications** :
   - × **En médecine** : Ils sont utilisés dans la radioscopie et la destruction des cellules cancéreuses.
   - × **Dans l'industrie** : Ils sont utilisés dans la détection des défauts de certaines pièces métalliques.
   - × **Dans la recherche** : on peut découvrir par diffraction la structure cristalline de certains corps.

Scanned by CamScanner

Activité1 : Le noyau atomique

1. La Composition du noyau :

L'atome est constitué d'un noyau central et des électrons. Le noyau, encore appelé nucléide est composé des particules appelées des nucléons. On distingue deux types de nucléons : les protons et les neutrons. Le nombre de protons d'un noyau est désigné par **Z** et le nombre de neutrons de ce noyau par **N**.

On appelle nombre de charge (ou numéro atomique) d'un élément, le nombre **Z** de protons du noyau de cet élément et **A**, le nombre de masse de nucléons : **A= Z + N**. Par conséquent, le nombre de neutrons est : **N =A – Z**

Le noyau d'un élément chimique de symbole **X**, de numéro atomique **Z** et de nombre de masse **A** est représenté par le symbole ${}^{A}_{Z}X$; **(avec N = A – Z)**

Exemple : le nucléide ${}^{238}_{92}U$ à pour élément chimique associé à l'uranium de symbole **U** et de numéro atomique $Z = 92$, le nombre de protons de ce noyau est $Z = 92$. Le nombre de neutrons est :

$$N = A - Z = 238 - 92 = 146$$

2. **Les isotopes** : On appelle isotopes, des nucléides qui ont mêmes numéros atomiques mais, de nombres de masses différentes.

Exemples :

- ${}^{1}_{1}H$, ${}^{2}_{1}H$, ${}^{3}_{1}H$ Sont des isotopes d'hydrogène
- ${}^{234}_{92}U$, ${}^{235}_{92}U$, ${}^{238}_{92}U$ Sont des isotopes d'uranium

3. **Unité de masse atomique :** L'unité de masse atomique de symbole **u** est la douzième de la masse de l'isotope 12 du carbone.$1u = \frac{12.10^{-3}(kg)}{12 \times 6{,}022.10^{23}} = 1{,}66055.10^{-27}kg$

$$1u = 1,66.10^{-27}\ kg$$

Exemple : les masses du proton et du neutron sont respectivement en unité de masse atomique :

$$\begin{cases} m_p = 1,007276\ u \\ m_n = 1,008665\ u \end{cases}$$

Leurs valeurs en kilogramme sont :

$m_p = 1{,}007276 \times 1{,}66.10^{-27} = 1{,}6720.10^{-27}kg$

$m_n = 1{,}008665 \times 1{,}66.10^{-27} = 1{,}6743.10^{-27}kg$

Scanned by CamScanner

$$\begin{cases} m_P = 1,7220.10^{-27}kg \\ m_n = 1,6743.10^{-27}kg \end{cases}$$

4. Défaut de masse

La masse **m** d'un noyau est inférieure à la somme des masses de ses nucléons pris séparément. La différence de masse **Δm** d'un noyau est la somme des masses de ses nucléons appelée **défaut de masse.**

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_N - m$$

a. Équivalence de la masse et de l'énergie (formule d'Einstein

- ***Energie de liaison du noyau***

L'énergie de liaison d'un noyau au repos est l'énergie qu'il faut fournir pour séparer les nucléons qui le constituent, ceux-ci se trouvant au repos dans l'état final.

- ***Relation d'Einstein***

En **1905, Albert Einstein**, physicien allemand, proposa l'équation$E = m.c^2$.Cette équation, par les études ultérieures, révolutionne la physique nucléaire. Ainsi, l'énergie de liaison **E** d'un noyau est liée à son défaut de masse **Δm** et à la célérité **C** de la lumière dans le vide.

$E_l = \Delta m.c^2$; E_l l'énergiede liaison (en **Joule**)
Δm defaut de masse (en **kg**)
C la célérité de la lumière (en $m.s^{-1}$)

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_N - m$$

D'où : $E_l = [Zm_p + (A - Z)m_N - m]c^2$

Exemple : Quelle est l'énergie libérée lors de la transformation d'un noyau d'hélium au repos à partir de ses nucléons séparés, au repos ?

Données : $m(^4_2He) = 6,644.10^{-27}kg$; $m_P = 1,673.10^{-27}kg$; $m_n = 1,675.10^{-27}kg$.

Solution

- Calculons la somme des masses nucléons séparé, au repos. Le noyau d'hélium possède 4 nucléons (A = 4) dont 2 protons (Z = 2) et 2 neutrons (N = 4 − 2 = 2).

$$m_{nucléons\ séparé} = Zm_p + (A - Z).m_n$$

$$= (2 \times 1,673.10^{-27}) + (2 \times 1,675.10^{-27}) = 6,69610^{-27}kg$$

- Calculons le défaut de masse Δm et l'énergie libérée ΔE correspondante.

$\Delta m = m_{nucléons\ séparé} - m(^4_2He) = 6,696.10^{-27} - 6,644.10^{-27} = 0,052.10^{-27}kg$

$$\Delta E = \Delta m.c^2 = 0,052.10^{-27} \times (3.10^8)^2 = 0,468.10^{-11}J$$

Scanned by CamScanner

Cette énergie est ridiculement petite, mais pour 4 g d'hélium, l'énergie libérée serait d'environ : $0{,}468.10^{-11} \times 6{,}02.10^{23} = 2{,}8^{12}$ J.

A titre comparatif, la combustion de 1 L de fuel fournit $4{,}2.10^{7}$J ; il faudrait donc brûler $\frac{2{,}8.10^{12}}{4{,}210^{7}} = 6.10^{4}$Lde fuel pour obtenir une énergie équivalente.

Le quotient $\varepsilon = \frac{E_l}{A}$ est appelé énergie de liaison par nucléon.

Activité 2 : les Réactions Nucléaires

La radioactivité est un phénomène physique naturellement présent dans l'Univers. Elle est due à des noyaux atomiques instables qui se désintègrent et émettent des rayonnements divers plus ou moins pathogènes.

1. **Les réactions nucléaires spontanées**

a. **La radioactivité naturelle :** La radioactivité naturelle est un phénomène au cours de laquelle le noyau d'un élément se transforme spontanément en noyau d'un autre élément avec émission de particule. La transformation est appelée désintégration.

b. **Les particules radioactives Émission :** Les particules ont été identifiées par l'étude de leur déviation dans un champ électrique$\vec{E}$.

On distingue trois types de particules : alpha(α), beta moins (β^-), beta plus (β^+) et gamma(γ).

× **Particules α :** noyau $^4_2\mathbf{He}$; Particules β^- : électrons $^0_{-1}\mathbf{e}$; Particules β^+ : positons $^0_1\mathbf{e}$

× **Rayons γ :** rayonnement électromagnétique

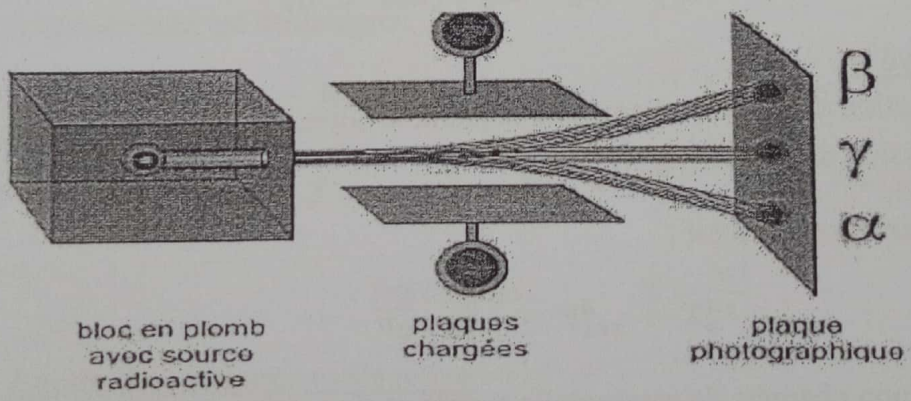


Fig. 1 : Action d'un champ électrique sur les particules émises

c. **Les lois de conservation**

La transformation d'un noyau instable en un noyau stable est une transmutation spontanée.

Dans toute transformation spontanée, un noyau père $(^A_Z X)$ se transforme en un noyau fils $(^{A'}_{Z'}Y)$ avec émission d'une particule $^{A''}_{Z''}R$ suivant l'équation bilan :

$$^A_Z X \longrightarrow {}^{A'}_{Z'}Y + {}^{A''}_{Z'}R$$

Scanned by CamScanner

Cette réaction nucléaire vérifie les lois de conservation suivantes :

- Conservation du nombre total des nucléons : $A = A' + A''$
- Conservation de la charge électrique : $Z = Z' + Z''$
- Conservation de quantité de mouvement et de l'énergie totale.

Si le noyau fils créé est instable, il se désintègre à son tour à un autre radioélément qui, lui aussi pourrait se transformer en un autre noyau.

d. Réactions nucléaires spontanée

Une réaction nucléaire est dite spontanée, lorsque les noyaux atomiques en jeu sont ceux de substances radioactives, naturelles ou artificielles. Il existe essentiellement trois types de désintégration radioactive.

- **La radioactivité α :**

C'est une transformation spontanée au cours de laquelle, le noyau père se transforme en noyau fils avec émission d'un noyau d'hélium ($^4_2He^{2+}$).

L'équation de cette désintégration est :

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$$

L'Energie libérée au cours d'une désintégration est : $\mathbf{E = \Delta m.\, c^2}$

Le défaut de masse Δm, est la différence de la somme des masses du noyau fils m_y et de la particule alpha m_α à la masse m_x du noyau père.

$$\Delta m = m_y + m_\alpha - m_x \; ; \; (\Delta m < 0)$$

- **La radioactivé β^-**

C'est une transformation spontanée au cours de laquelle le noyau père se transforme en noyau fils avec émission d'un électron $^0_{-1}e$.

L'équation de la désintégration β^- est :

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$$

$^0_0\overline{\nu}$, est une particule non chargée, de masse nulle appelé **antineutrino qui** intervient dans le bilan de l'équation de la réaction, de façon à assurer la conservation d'énergie et de la quantité de mouvement.

- **La radioactivité β^+**

C'est une transformation spontanée au cours de laquelle le noyau père se transforme en noyau fils avec émission d'un positon $^0_{+1}e$

L'équation bilan de la désintégration β^+ fait intervenir le neutrino $^0_0\upsilon$ pour assurer la conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement.

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e + {}^{0}_{0}\upsilon$$

Scanned by CamScanner

e. **Désexcitation γ :**

Certains noyaux créés sont dans un état excité. Leur retour à l'état fondamental fait avec émission d'un ou plusieurs photons de lumière (rayonnement γ).

La désexcitation γ s'accompagne donc souvent les radioactivités α, β^- ou β^+.

f. **Évolution temporelle d'une substance radioactive**

× **Loi de décroissance radioactive**

Considérons un échantillon comportant N_0 le nombre de noyau radioactifs à une date prise comme origine des dates. Si N est le nombre de noyau présents à une date **t** quelconque, le nombre de noyaux présents à la date $\mathbf{t + dt}$ est $\mathbf{N + dN}$ ($dN < 0$).Entre ces deux instants, le nombre **dN** de noyau désintégré est proportionnel au nombre **N** noyaux non désintégrés :

$$\mathbf{dN = -\lambda N dt} \qquad \Leftrightarrow \frac{\mathbf{dN}}{\mathbf{N}} = \mathbf{-\lambda dt}$$

(λ est une constante positive appelée constante **radioactive du nucléide**)

Par intégration de cette dernière équation, on obtient :

$$\frac{\mathbf{N}}{\mathbf{N_o}} = \mathbf{e^{-\lambda t}} \Rightarrow N = \mathbf{N_o e^{-\lambda t}}$$

$$N = \mathbf{N_o} e^{-\lambda t}[8]$$

× **Période radioactive:**

La période ou demi-vie **T** d'un radioélément est le temps au bout duquel la moitié des noyaux présents initialement est désintégrée.

Nous avons : $N = \mathbf{N_o} e^{-\lambda t}$

$$\text{Si } N = \frac{N_o}{2} \ , \quad t = T \ \Rightarrow \ \frac{\mathbf{N_o}}{2} = N_0 \mathbf{e^{-\lambda t}} \ \Rightarrow \ \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}} = \mathbf{e^{-\lambda T}} \Leftrightarrow \mathbf{\ln 2 = \lambda T}$$

Par la suite : $\mathbf{T = \frac{\ln 2}{\lambda}}$

× **Loi de décroissance radioactive**

Soit N_0 le nombre de radioactive initialement présents. Au bout de $\mathbf{n \times T}$ le nombre de noyau présents est donné par la relation :

$$\mathbf{N = \frac{N_o}{2^n}}$$

× **Décroissance de la radioactivité**

La courbe représentative de N en fonction du temps t est appelée courbe de **décroissance exponentielle.**

Scanned by CamScanner

Sa fonction mathématique est $N = N_o e^{-\lambda t}$ [8]

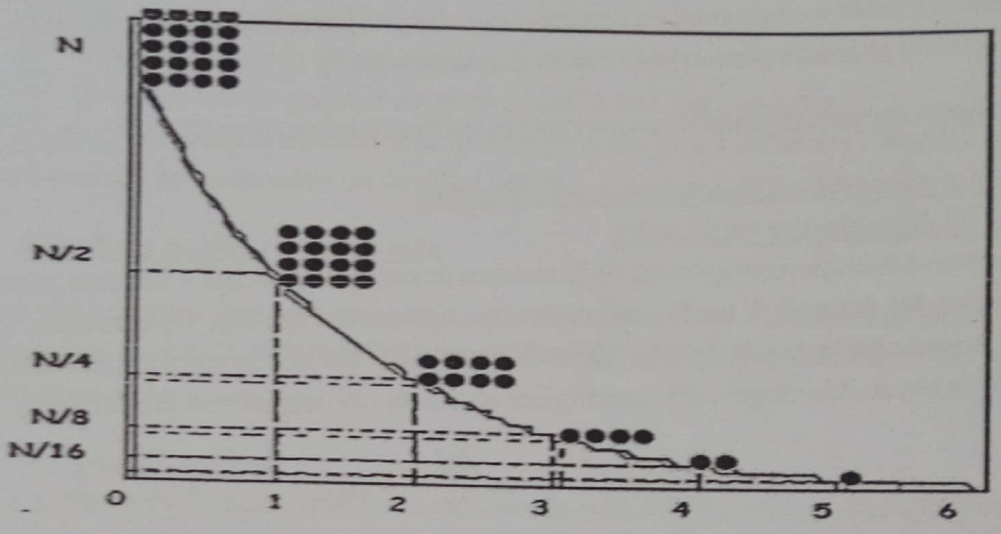


Fig. *Courbe de décroissance de la radioactivité* [6]

× **Activité d'une substance radioactive**

Définition : L'activité A d'une quantité donnée d'un élément radioactif est le nombre moyen de désintégration par seconde.

L'activité est exprimée en **Becquerels** dont le symbole est **Bq.**

Un **Becquerel** correspond à une désintégration par seconde.

On utilise aussi comme unité, le curie de symbole **Ci : 1Ci=3,7.10^{10}Bq**

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_o e^{-\lambda t} A = \lambda N_o e^{-\lambda t}$$

L'activité à l'instant initial est : $A_o = \lambda N_o$

Remarque : Une mole d'un radioélément contient $N_A = 6,02.10^{23}$ noyaux (N_A est le nombre d'Avogadro).

Si **n** est le nombre de moles d'un échantillon de masse **m** et de masse atomique **M**. Le nombre de noyaux présents dans cet échantillon est : $N_o = nN_A = \frac{m}{M} N_A$

× **Famille Radioactive** : la radioactivité entraine la transformation d'un nucléide en un autre. si ce dernier est lui-même radioactive, il se transforme à son tour et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il se forme un nucléide stable. L'ensemble des nucléides issus d'un même noyau constitue une famillc radioactive.

2. **Les réactions nucléaires provoquées : Fusion et Fission**

a. **Définition** : On appelle, réaction nucléaire (ou transmutation) provoquée, toute transformation du nucléide en un autre nucléide par bombardement d'un noyau (neutron, un proton) par une particule radioactive telle que la particule α.

Scanned by CamScanner

La première transmutation provoquée fut réalisée par Rutherford en bombardant un noyau d'azote 14 par une particule α.

$$^{4}_{2}He + ^{14}_{1}N \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

Dans toute réaction nucléaire provoquée, il y a conservation du nombre total de nucléons et conservation d'électricité.

b. La fusion nucléaire

La fusion nucléaire est une transformation au cours de laquelle deux noyaux légers s'assemblent pour former un noyau un peu plus lourd en éjectant une particule.

Exemple : $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$; ($^{1}_{0}n$ est le neutron)

c. La fission nucléaire :

La fission nucléaire est la coupure d'un noyau très lourd par un projectile nucléaire qui est en général un neutron.

$$^{235}_{192}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{94}_{38}Sr + ^{140}_{54}Xe + 2^{1}_{0}n$$

3. Applications de la radioactivité: elle a des nombreuses applications

- **Archéologie :** Datation par le carbone 14
- **Médecine :** Traitement des tumeurs cancéreuse par irradiation. Les radionucléides sont utilisés comme **traceurs.**
- **Domaines civils et militaires :** production d'électricité et fabrication d'armes nucléaire (la Bombe atomique et la Bombe H)

Scanned by CamScanner

COURS DE CHIMIE ORGANIQUE ET MINERALE

Chimie minérale

Scanned by CamScanner

Activité 1 : Généralités

4. **Définitions :**
   - Un polymère est une macromolécule formée de l'enchaînement covalent d'un très grand nombre d'unités de répétition qui dérivent d'un ou de plusieurs monomères (appelés motifs).
   - On appelle degré ou indice de polymérisation, le nombre (n) de motifs moyens par chaîne.

Si M_m est la masse molaire du monomère et M_P celle du polymère, on a : $M_p = n.M_m \Rightarrow n = \frac{M_p}{M_m}$

5. **Différents types de polymères :**

Il existe deux types de polymères, les homopolymères et les copolymères.
Les homopolymères sont des polymères qui ne possèdent qu'une seule unité : le polyéthylène.
Les copolymères sont des polymères qui possèdent plusieurs unités.

Activité 2 : Obtention d'un monomère le chlorure de vinyle : $CH_2 = CHCl$

La préparation du chlorure de vinyle ou chloroéthylène s'effectue industriellement à partir de l'éthylène. Elle comporte deux étapes :

1. **Chloration de l'éthylène :**

a. **Chloration directe :**

Elle correspond à l'addition de Cl_2 sur l'éthylène en présence du chlorure de fer III ($FeCl_3$), en milieu liquide entre 50°C et 90°C sous une pression de 3 à 5 bars.
On obtient le 1,2- dichloroéthane.

$$CH_2 = CH_2 + Cl_2 \xrightarrow{FeCl_3} CH_2Cl - CH_2Cl$$

b. **L'oxychloration :**

L'oxychloration de l'éthylène s'effectue en présence de $CuCl_2$ à 180°C sous une pression de 15 à 20 bars.

$$CH_2 = CH_2 + 2HCl + (1/2)\ O_2 \longrightarrow CH_2Cl - CH_2Cl + H_2O$$

2. **Craquage de 1, 2 – dichoroéthane:**

Chauffé entre 500°C à 550°C, sous une pression de 25 à 30 bars, le 1, 2 – dichloroéthane subit une réaction de craquage.

$$CH_2Cl - CH_2Cl \xrightarrow{500-550°C} CH_2 = CHCl + HCl$$

Le chlorure de vinyle obtenu est séparé du mélange par distillation.

Activité 3 : Réactions de polymérisation :

1. **Réactions de polyaddition :**

a. **Définition :**

On appelle réaction de polyaddition, la réaction permettant l'addition de n molécules identiques.
Ces molécules comportent une double liaison.

b. **Le polyéthylène : P.E**

Il est obtenu par polyaddition de l'éthylène.
L'équation – bilan de la réaction est : $n\ CH_2 = CH_2 \longrightarrow -(CH_2 - CH_2)-_n$
Le polyéthylène est utilisé dans la fabrication des isolants de câbles électriques, de tuyaux, des bidons, des panneaux de signalisation…

c. **Le polychlorure de vinyle : P.C.V ou P.V.C**

Il est obtenu par polyaddition du chlorure de vinyle.

$$n(CH_2 = CHCl) \longrightarrow -(CH_2 - CHCl)-_n$$

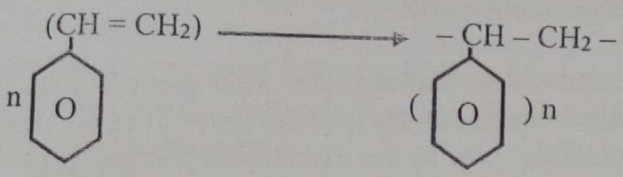
Le P.C.V est un polymère devenant fluide par chauffage et peut de se fait, être moulé : il est thermoplastique.

Scanned by CamScanner

Le P.C.V est utilisé dans la fabrication d'articles de bureau, de ménages, de vêtements sanitaires, de jouets…

d. Le polystyrène : P.S

Il est obtenu par polyaddition du styrène ($C_6H_5 - CH = CH_2$)



Le P.S est utilisé dans la fabrication des feux arrière, des enjoliveurs, des boitiers de T.V, de radio, de caméra…

2. Réactions de polycondensation :

Définition :

On appelle polycondensation, la réaction se produisant entre composés polyfonctionnels avec élimination d'eau ou de HCℓ.

A- Exemples de polyamide.

a. Le nylon 6,6 :

- Dans l'industrie, il est obtenu en faisant réagir l'hexane 1, 6 – diamine avec l'acide hexane dioïque ou acide adipique.

$$nH_2N-(CH_2)_6-NH_2 + nHOOC-(CH_2)_4-COOH \rightarrow$$
$$(-NH-(CH_2)_6-NH-CO-(CH_2)_4-CO-)n + 2nH_2O$$

- Au laboratoire, il est obtenu par action de l'hexane 1, 6 – diamine sur le dichlorure d'hexanedioyle.

$$(n+1)H_2N-(CH_2)_6-NH_2 + (n+1)C\ell OC-(CH_2)_4-COC\ell \rightarrow$$
$$(-CO-(CH_2)_4-CO-NH-(CH_2)_6-NH-)n + (2n+2)HC\ell$$

b. Le nylon 6,10 :

Il est obtenu par action de l'hexane 1,6 – diamine : $H_2N-(CH_2)_6-NH_2$ sur l'acide décane 1, 10 – dioïque $HOOC-(CH_2)_8-COOH$.

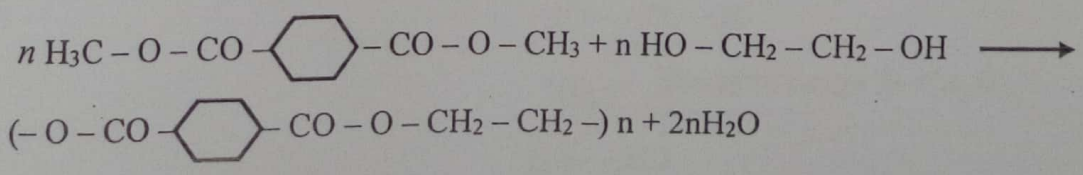
$$nH_2N-(CH_2)_6-NH_2 + nHOOC-(CH_2)_8-COOH \rightarrow$$
$$(-NH-(CH_2)_6-NH-CO-(CH_2)_8-CO-)n + 2nH_2O$$

B- Exemple de polyester : Le polytéréphtalate d'éthylène P.E.T.P

- La polyestérification du glycol (éthane 1,2- diol) par l'acide benzène 1,4- di carboxylique conduit à la formation du polytéréphtalate d'éthylène (P.E.T.P) ou tergal.

$$n(HO-CH_2-CH_2) + n(HOOC-C_6H_4-COOH \rightarrow$$
$$(-CH_2-CH_2-O-CO-C_6H_4-CO-O-)n + 2nH_2O$$

- Le P.E.T.P peut être préparé industriellement par condensation du téréphtalate de diméthyle (benzène di carboxylate 1,4 – de diméthyle) et du glycol (éthane 1, 2 – diol).



Le P.E.T.P est thermoplastique. Il est utilisé comme textile synthétique.

Scanned by CamScanner

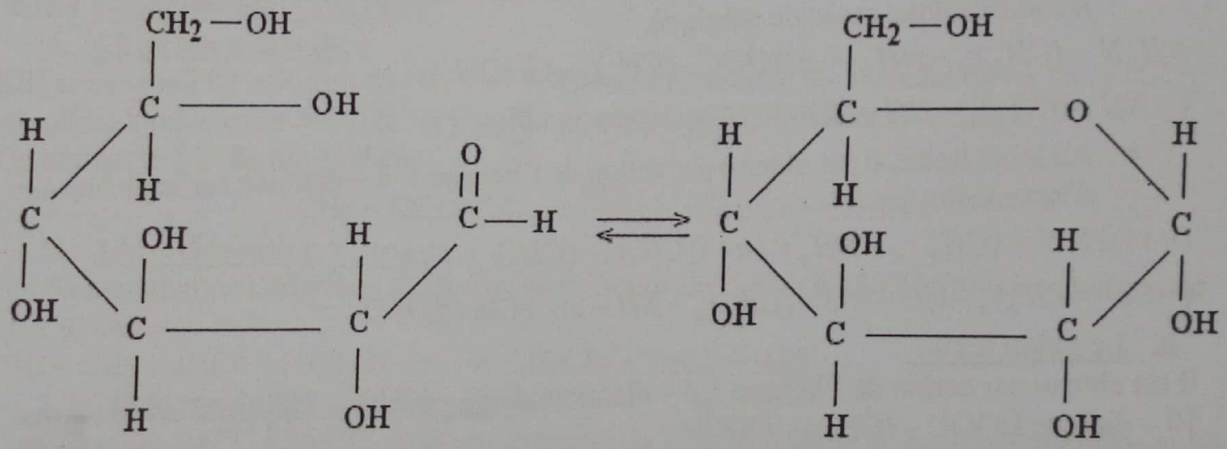
LE GLUCOSE-NOTION SUR LES GLUCIDES
TSExp

Activité 1 : Etat naturel et Structure de la molécule.

1. **Etat naturel :**
   Le glucose est un sucre que l'on retrouve dans la plupart des fruits particulièrement le raisin. Il apparaît sous forme de tache blanche sur des fruit desséchés Il existe dans le miel et le plasma sanguin en contient 1g/1000g. L'urine des diabétiques peut en contenir 200g à 800g par jour.
2. **Structure de la molécule :**
   Le glucose est un composé ternaire de formule moléculaire $C_6H_{12}O_6$. Sucre en C_6 c'est un hexose. L'étude de ses propriétés chimiques montre l'existence dans sa molécule d'une fonction aldéhyde et de cinq fonctions alcool dont quatre secondaires et une primaire. Sa formule est à priori la suivante : * * * *

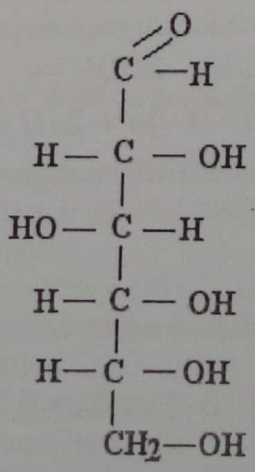
   CH_2OH-CHOH-CHOH-CHOH-CHOH-CHO.

   Sa molécule peut également existe sous forme cyclique ce qui explique le fait qu'il est sans action sur le réactif de schiff.



Forme pyranique

Dans le cas du glucose dextrogyre le groupe –OH du 5ème carbone se projette à droite et dans le cas contraire c'est lévogyre (Fischer).



Scanned by CamScanner

Activité 2 : Propriétés physiques et Propriétés chimiques.

1. **Propriétés physiques :**

Le glucose est un solide cristallisé de couleur gris jaunâtre. Sa saveur est sucrée mais 3 fois moins que le sucre ordinaire (saccharose). Très soluble dans l'eau (800g/L à la température ordinaire) il fond à 146°C. Cependant il est insoluble dans les solvants organiques usuels comme le benzène, l'acétone, l'éthanol et l'éther.

2. **Propriétés chimiques :**

2. 1. Stabilité :

Par chauffage le glucose fond, se caramélise, donne des vapeurs combustibles puis se transforme en charbon.

$$\text{Glucose} \xrightarrow{170°C} \text{Glucosal} \xrightarrow{200°C} \text{Caramel} \xrightarrow{\Delta} \text{Charbon.}$$

2. 2. Propriétés dues aux fonctions alcool :

a. Action des acides organiques :

A l'instar de l'acide acétique les acides organiques donnent des Esters avec le glucose.

$CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CHO + CH_3COOH \rightarrow CH_3COO\text{-}CH_2\text{-}(CHOOCCH_3)_4\text{-}CHO + 5H_2O$

Glycoside

b. Formation d'éther oxydes :

Un produit poly méthoxylé est obtenu à la suite de l'action du glucose sur l'iodure de méthyle.

$CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CHO + CH_3CH_2I \rightarrow CH_3CH_2\text{-}O\text{-}CH_2\text{-}(CHOCH_2CH_3)_4\text{-}CHO + 5HI.$

c. Action des acides minéraux (oxydation énergique) :

L'oxydation énergique par l'acide nitrique conduit à l'acide saccharique.

$CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CHO + 2[O] \rightarrow HOOC\text{-}(CHOH)_4\text{-}COOH$ acide saccharique.

2.3. Propriétés dues au groupement aldéhyde :

a. Propriétés réductrices :

*** Réaction avec la liqueur de Fehling :**

Chauffons une solution glucosée de liqueur de Fehling, il apparaît un précipité rouge brique d'oxyde de cuivre I (Cu_2O).

La liqueur de Fehling est la solution noire contenant les ions complexes $Cu^{2+}{}_L$ obtenue en faisant un mélange de $CuSO_4$ et de NaOH auquel on ajoute de l'acide tartrique **[HOO-(CHOH)$_2$-COOH]** pour empêcher la formation du précipité $Cu(OH)_2$.

$$\mathbf{(Cu^{2+}, SO_4^{-}) + 2(Na^{+},OH^{-}) \rightarrow Cu(OH)_2 + (2Na^{+},SO_4^{-})}$$

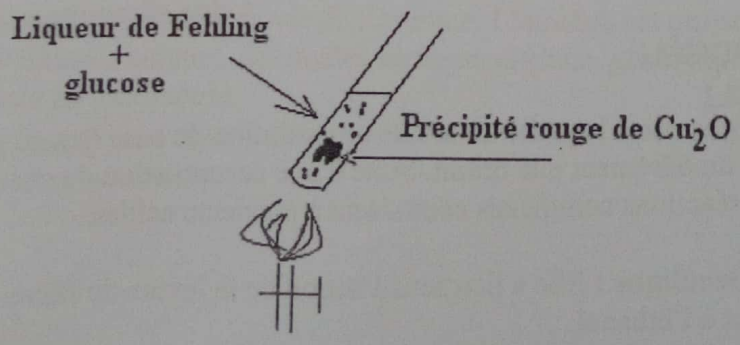
Par addition de l'acide tartrique **$Cu(OH)_2$** se décompose.

$$\mathbf{2(Cu^{2+},2OH^{-}) \rightarrow Cu_2O + 2H_2O + [O]}$$

$$\mathbf{CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CHO + [O] \rightarrow CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}COOH}$$

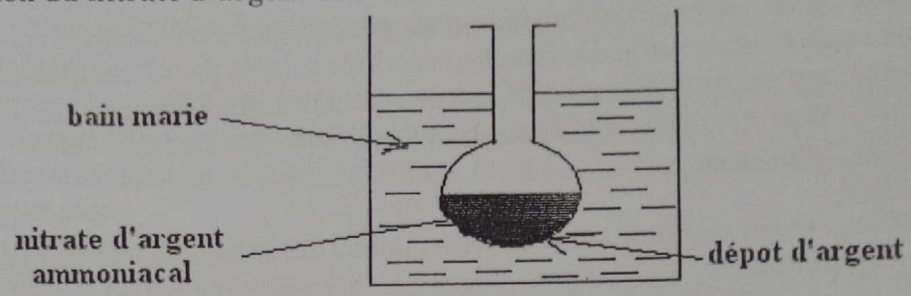
La somme des deux équations est la suivante :

$$\mathbf{2(Cu^{2+},2OH^{-}) + CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CHO \rightarrow Cu_2O + 2H_2O + CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}COOH}$$



Scanned by CamScanner

* Réduction du nitrate d'argent ammoniacal ou réactif de Tollens (N.A.A.).



Une solution de N.A.A. et de glucose chauffée dans un ballon bien propre dépose au fond du ballon une mince pellicule d'argent métallique très brillante. Le chauffage a eu lieu dans un bain marie. Le N.A.A. qui est une solution incolore contenant les ions complexes Ag^+ est obtenue en faisant une solution de $AgNO_3$ et de NH_4OH à la laquelle on ajoute un excès de NH_3 pour dissoudre le précipité AgOH.

$$(Ag^+, NO_3^-) \quad (NH_4^+, OH^-) \rightarrow \quad AgOH \; + \; (NH_4^+, NO_3^-)$$

Ensuite on ajoute un excès de NH_3.

$$2(Ag^+, OH^-) \rightarrow Ag_2O + H_2O$$

$$CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CHO + Ag_2O \rightarrow CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}COOH + 2Ag$$

Ce qui conduit à l'équation globale:

$$2(Ag^+, OH^-) + CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CHO \rightarrow CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}COOH + 2Ag$$

b. **Addition du di hydrogène :**

L'hydrogène naissant transforme le glucose es sorbitol ayant six fonction alcool

$$CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CHO + H\text{-}H \rightarrow CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CH_2OH.$$

c. **Action sur le cyanure d'hydrogène :**

Elle aboutit à un nitrile alcool appelé cyanhydrine dont l'hydrolyse donne un acide à sept Carbone.

$$CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CHO + H\text{-}C{\equiv}N \rightarrow CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CHOH\text{-}C{\equiv}N.$$

Hydrolyse

$$CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CHOH\text{-}C{\equiv}N \rightarrow CH_2OH\text{-}(CHOH)_5\text{-}COOH.$$

d. **Action de l'hydroxylamine NH_2-OH :**

Une oxime qui se fond à 138°C est formée.

$$CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CHO + NH_2\text{-}OH \rightarrow H_2O + CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CH{=}N\text{-}H.$$

e. **Oxydation ménagée :**

On obtient l'acide gluconique par oxydation ménagée du glucose par l'eau de brome.

$$CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CHO + [O] \rightarrow CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}COOH$$

Acide gluconique

3. **Autres propriétés :**

a. **Action des bases :**

Une solution de glucose à laquelle on ajoute une solution de base (soude par exemple) jaunit. Chauffée modérément elle brunit. Suite à une accentuation du chauffage le brun s'accentue. Des réactions complexes conduisent à plusieurs acides.

b. **Fermentation :**

* **Fermentation alcoolique :** Elle a lieu sous l'action de la levure de Bière et conduit au gaz carbonique et à l'éthanol.

Scanned by CamScanner

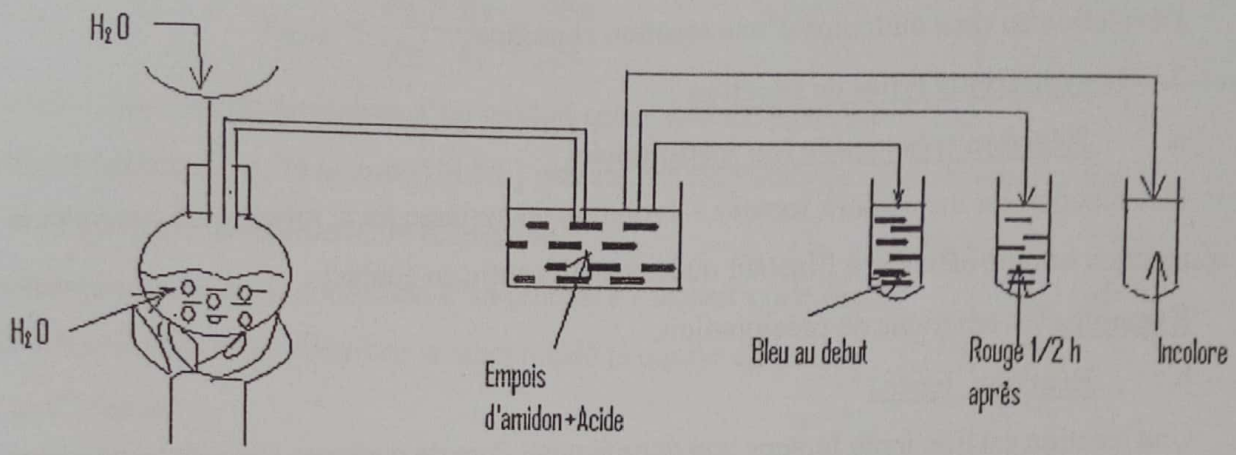
$CH_2OH\text{-}(CHOH)_4\text{-}CHO \xrightarrow{L.B} CO_2 + C_2H_5OH$

× **Fermentation glycérique** : En présence du sulfite ou de carbonate de sodium, du CO_2 et du C_2H_5OH du CH_3OH du glycérol ou glycérine qui est un tri alcool.

Activité 3 : Préparation.

1. **Hydrolyse de l'amidon :**

a. **Au laboratoire :**



Amidon → dextrine → glucose

$(C_6H_{10}O_6)n + nH_2O \rightarrow nC_6H_{12}O_6$

b. **Dans l'industrie :**

On chauffe l'amidon acidifié pendant 2 heures sous 4 atmosphères. A la fin de la réaction on ajoute du $CaCO_3$ qui en présence de H_2SO_4 précipite en $CaSO_4$ que l'on élimine par filtration. $H_2SO_4 + CaCO_3 \rightarrow CaSO_4 + (H_2O, CO_2)$ acide gluconique. On concentre la solution par évaporation et on obtient du sirop de glucose ou mêlasse, puis du glucose massé.

2. **Inversion du saccharose :**

Par ébullition prolongée avec de l'eau acidifiée le saccharose se dédouble en glucose et lévulose.

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow \underset{\text{Glucose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Lévulose}}{C_6H_{12}O_6}$$

Activité 4 : Notions sur les glycides.

1. **Définition et exemples :**
   Les glucides sont des composés de formule générale CnH2nOn. On les appelait les hydrates de carbone $[C(H_2O)]n$. Comme exemples on a l'amidon, le glucose, la cellulose.
2. **Classification** : Ils sont classés en :

× **monosaccharides (oses)** : érythrose $C_4H_8O_4$, arabinose $C_5H_{10}O_5$, glucose $C_6H_{12}O_6$;
× **disaccharides (diholosides):** saccharose $C_{12}H_{22}O_{11}$, lactose (idm), maltose (idm) ;
× **polysaccharides (polyosides)** : pentosanes $[(C_5H_{10}O_5)n]$, cellulose $[(C_6H_{10}O_5)n]$, amidon [idm].

3. **Importance :**
   Les glucides sont très utiles pour la vie de l'homme. L'amidon est utilisé dans la fabrication de l'éthanol, butanol, des acides lactique, citrique, gluconique, des colles, de l'indicateur coloré en iodométrie.

Scanned by CamScanner

Activité 1 : Définition et types de réaction

1. Définition de la cinétique chimique:

La cinétique chimique est l'étude de la vitesse des réactions chimiques ou l'étude de l'évolution au cour du temps d'une réaction chimique.

2. Les différents types de réaction :

a. Réaction très rapide (ou instantanée) :

Une réaction est instantanée lorsque l'évolution du système est si rapide qu'à nos yeux la réaction semble achevée à l'instant où les réactifs entre en contact.

Exemple : les réactions de précipitation.

b. Réaction lente :

Une réaction est dite lente lorsque son déroulement dure de quelques secondes a plusieurs minutes, voire plusieurs dizaines de minutes.

Exemple : Action des ions MnO_4^- sur l'acide oxalique $H_2C_2O_4$

c. Réaction très lente (ou infiniment lente) :

Une réaction est dite très lente lorsqu'elle ne s'achève qu'au bout de plusieurs heures voire plusieurs jours.

Exemple : les réactions d'estérification directe.

Activité 2 : vitesse d'une réaction

1. La vitesse d'une réaction chimique :

Soit la réaction : $nA + mB + \ldots \rightarrow pM + qN + \ldots$

A volume constant, on définit la vitesse v d'une réaction chimique par la dérivée de la concentration de l'un des produits par rapport au temps : $v = (\frac{d[M]}{dt})$

La vitesse de la réaction peut également être exprimée en fonction de l'un des réactifs. Cette fois, comme la concentration diminue au cours du temps, la dérivée est négative. Par convention, la vitesse d'une réaction étant toujours positive, un signe négatif doit être placé devant la dérivée : $v = -(d\frac{[A]}{dt})$; La vitesse s'exprime en mol/s.

2. Vitesse moyenne et vitesse instantanée

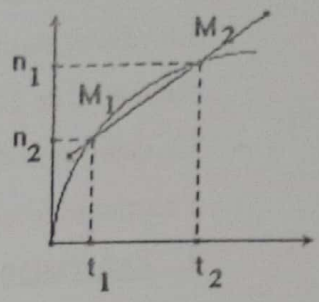
La vitesse définit jusqu'ici est la vitesse moyenne de la réaction entre deux temps (t_i et t_f) avec $\Delta t = t_f - t_i$. Si on rend cette différence très petite, on obtient une vitesse "instantanée".

Scanned by CamScanner

a. Vitesses de formation ou d'apparition :

× **Vitesse moyenne de formation : (définition et expression).**

La vitesse moyenne de formation d'un produit pendant la durée t_2-t_1 est donnée par la relation :

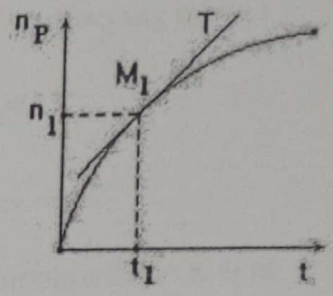


$$v_{moy} = \frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta n_p}{\Delta t}$$

La vitesse moyenne de formation d'un produit entre t_2-t_1 est égale au coefficient directeur de la sécante $[M_1M_2]$ passant par les points de φ d'abscisse t_2 et t_1.

× **La vitesse instantanée de formation :**

La vitesse instantanée de formation d'un produit à l'instant t_1 est égale au coefficient directeur (pente) de la tangente de la courbe au point M_1 φ d'abscisse t_1 :

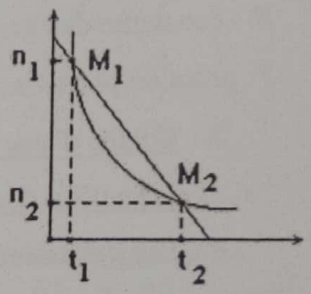


$$v = \left(\frac{dn}{dt}\right)_{t=t_1}$$

b. **La vitesse de disparition :**

× **La vitesse moyenne de disparition d'un réactif**

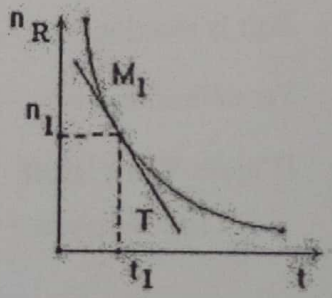
La vitesse moyenne de disparition d'un réactif pendant la durée $\Delta t = t_2 - t_1$ est donnée par la relation :



$$v = -\frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1}$$

× **La vitesse instantanée de disparition d'un réactif :**

La vitesse instantanée de disparition d'un réactif, à l'instant t_1 est égale à l'opposé de dérivée de la fonction à la date t_1 :



$$v = -\left(\frac{dn}{dt}\right)_{t=t_1}$$

Activité 3: Facteurs cinétiques, Ordre d'une réaction et molécularité

1. **Définition de facteurs cinétiques :**

On appelle facteurs cinétiques les différents paramètres qui agissent sur la vitesse d'une réaction. Parmi les facteurs cinétiques les plus importants on trouve la nature du solvant, **la concentration**, la présence de sels ou de **catalyseurs** dans le milieu, ou l'éclairement et **la température**.

Scanned by CamScanner

NB :

- La vitesse augmente avec la concentration des réactifs.
- La vitesse augmente avec la température. (souvent la vitesse double quand la température augmente de 10°C).
- Un catalyseur d'une réaction est une substance qui accélère (ou décélère) la réaction sans y participer comme réactif ou produit.

2. Expression de la vitesse selon Van t 'Hoff

Soit la réaction : $mA + nB \rightarrow pC + qD \quad \Rightarrow v = k.[A]^m.[B]^n$

Loi des gaz parfait : $P_A.V = R.n_A.T \Rightarrow P_A = R.[A].T \Rightarrow [A] = \frac{P_A}{R.T}$

$$P_B.V = R.n_B.T \Rightarrow P_B = R.[B].T \Rightarrow [B] = \frac{P_B}{R.T}$$

$$v = k.(\frac{P_A}{R.T})^m.(\frac{P_B}{R.T})^n \Rightarrow v = k.{P_A}^m.{P_B}^n.(RT)^{-(m+n)}$$

$m+n$: ordre global de la réaction ;

R : constante des gaz parfaits (8,314 J. $mol^{-1}.k^{-1}$); T : température absolue (en K ou °C)

P: pression partielle (atm ou Pa) ; n nombre (mol) et V : volume (L ou m^3).

3. Ordre d'une réaction :

a. La réaction d'ordre 1 :

× **Loi de transformation :**

Elle se comporte comme si une seule mole était mise en jeu au départ.

Soit la réaction : A → B +D

Par définition : $v = -\frac{d[A]}{dt}$ (1)

D'après **Van t 'Hoff** $v = k.[A]$ (2)

$$D'où\ (1)et\ (2) \Rightarrow -\frac{d[A]}{dt} = k.[A]$$

$$\int_{c_0}^{c} -\frac{d[A]}{[A]} = -\int_{c_0}^{c} \frac{d[A]}{[A]} \Rightarrow [\ln[A]]_{c_0}^{c} = -[k.t]_o^t \Rightarrow C = C_0.e^{-kt}$$

× **Le temps de demi-réaction :**

C'est le temps nécessaire pour que la moitié de la concentration initiale disparaisse :

$$t_{\frac{1}{2}} = t \text{ et } C = \frac{C_0}{2} \Rightarrow ln\frac{\frac{C_0}{2}}{C_0} = -K.t \Leftrightarrow t_{1/2} = \frac{ln2}{k}$$

NB : Le temps de demi-réaction est indépendant de la concentration initiale.

Scanned by CamScanner

b. La réaction d'ordre 2 :

× **Loi de transformation :**

C'est une réaction qui se fait à des proportions équimolaires :

Soit la réaction : $A + B \rightarrow C + D$

Par définition : $v = -\frac{d[A]}{dt}$ (1)

D'après Van t 'Hoff $v = k.[A].[B]$ or $[A]_0 = [B]_0 \Rightarrow V = k[A]^2$ (2)

$$d'où\ (1)\ et\ (2) \Rightarrow -\frac{d[A]}{[A]^2} = k.[A]$$

$$\int_{c_0}^{c} \frac{d[A]}{[A]^2} = \int_0^t k.dt \Rightarrow [\frac{1}{c_0}]_{c_0}^{c} = [k.t]_o^t$$

$$\frac{1}{c} - \frac{1}{c_0} = k.t$$

× **Le temps de demi-réaction :**

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{k.c_0}$$

NB: le temps de la demi-réaction est dépendant (inversement proportionnel) de la concentration initiale.

4. **La molécularité d'une réaction :**

La molécularité d'une réaction élémentaire est définie comme étant le nombre de particules (atomes, ions ou molécules) de réactifs qui participent à cette étape (à la réaction).

Soit la réaction :

$$iA + jB + \ldots \rightarrow mM + nN + \ldots$$

Activité 4 : la catalyse

1. **Définition :**

La catalyse est l'action des catalyseurs sur les réactions chimiques. C'est l'ensemble des phénomènes liés à l'utilisation d'un catalyseur.

2. **Propriétés de la catalyse :**

La définition donnée aux catalyseurs peut être complétés par les propriétés :

- × Un catalyseur ne modifie que la vitesse d'une réaction chimique ;
- × Il peut rendre possible des bloquées mais pas de réactions thermodynamiquement impossibles ;
- × Tout catalyseur d'une réaction l'est aussi pour la réaction inverse ;
- × Lorsque plusieurs réactions sont possibles à partir des mêmes réactifs, un catalyseur est souvent spécifique : il ne catalyse que l'une d'entre elles.

3. **Les types de catalyse :**

× **La catalyse hétérogène :** le catalyseur et le réactif sont de phase différente.

Exemple : $SO_2 + \frac{1}{2} O_2 \xrightarrow{V_2O_5} SO_3$

Généralement la réaction se passe à la surface du catalyseur.

× **La catalyse homogène :** le réactif et le catalyseur sont de la même phase.

Scanned by CamScanner

Exemple: $S_2O_8^{2-} + 2\,I^- \xrightarrow{Fe^{2+}} 2SO_4^{2-} + I_2$

$S_2O_8^{2-} + 2\,Fe^{2+} \longrightarrow 2SO_4^{2-} + I_2 + 2Fe^{2+}$
$2\,Fe^{2+} + 2I^- \longrightarrow I_2 + 2Fe^{2+}$
$S_2O_8^{2-} + 2\,I^- \xrightarrow{Fe^{2+}} 2SO_4^{2-} + I_2$

} Mécanisme

Lors d'une catalyse homogène, le catalyseur participe à la réaction puis régénère lors d'une étape ultérieure.
Le mécanisme d'une réaction catalysée est différent d'une réaction, non catalysée.

- **Autocatalyse :** elle est réalisée quand la réaction fabrique son propre catalyseur. Le catalyseur est donc un produit de la réaction.

Activité 5: Mécanisme d'une réaction en chaîne

1. Définition :

Une réaction en chaîne est une réaction comportant trois étapes : l'initiation, la propagation et la rupture (encore appelée terminaison).

2. Mécanisme de la synthèse du chlorure d'hydrogène: reaction photochimique

a. Phase d'initiation

Au cours de cette phase, les centres actifs sont créés par l'action de la lumière.

$$Cl_2 + h\nu \longrightarrow 2Cl^{\bullet}$$

b. Phase de propagation

Au cours de cette phase, la formation et la disparition des centres actifs assurent la formation des produits.

$$Cl^{\bullet} + H_2 \longrightarrow HCl + H^{\bullet}$$

$$H^{\bullet} + Cl_2 \longrightarrow HCl + Cl^{\bullet}$$

c. Phase de rupture (ou phase de terminaison ou d'arrêt)

Au cours de cette phase, les centres actifs disparaissent, ce qui bloque la propagation de la réaction.

$$Cl^{\bullet} + Cl^{\bullet} + M \longrightarrow Cl_2 + M^{*}$$

M désigne un partenaire de choc (par exemple les parois du récipient) qui absorbera une partie de l'énergie disponible au moment du choc produisant le dichlore. M^{*} désigne une particule M possédant un surplus d'énergie.

2. Synthèse du bromure d'hydrogène: reaction thermique

Porté à 300°C, un mélange de dibrome et de dihydrogène réagit pour former du bromure d'hydrogène suivant l'équation :

$$H_2 + Br_2 \longrightarrow 2HBr$$

Le mécanisme proposé comporte les actes élémentaires suivant :

a. Initiation thermique

La réaction n'étant pas photochimique mais thermique, ceci permet l'initiation suivante :

$$Br_2 + M^{*} \longrightarrow 2Br^{\bullet} + M$$

b. Phase de propagation

Au cours de cette phase, la formation et la disparition des centres actifs assurent la formation des produits.

Scanned by CamScanner

$$Br^{\bullet} + H_2 \longrightarrow HBr + H^{\bullet}$$

$$H^{\bullet} + Br_2 \longrightarrow HBr + Br^{\bullet}$$

c. Phase de rupture (ou phase de terminaison ou d'arrêt)

Au cours de cette phase, les centres actifs disparaissent, ce qui bloque la propagation de la réaction.

$$2Br^{\bullet} + M \longrightarrow Br_2 + M^{\bullet}$$

Scanned by CamScanner

Activité 1 : Réaction d'estérification et d'hydrolyse

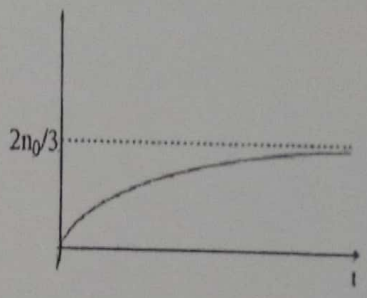
1. Réaction d'estérification :

La réaction d'estérification est la réaction entre un acide carboxylique et un alcool conduisant à un ester et à de l'eau.

× **Méthode expérimentale :**

Lorsqu'on réalise un mélange équimolaire d'acide et d'alcool, on obtient le résultat suivant :

	acide	+	alcool	⟶	esther	+	eau
t = 0	n_0		n_0		0		0
t ∓ 0	$n_0 - x$		$n_0 - x$		x		x



A l'équilibre : $n_{acide} = \frac{n_0}{3}$; $n_{alcool} = \frac{n_0}{3}$; $n_{ester} = n_{eau} = \frac{2n_0}{3}$

× **Influence des facteurs sur la vitesse et la limite :**

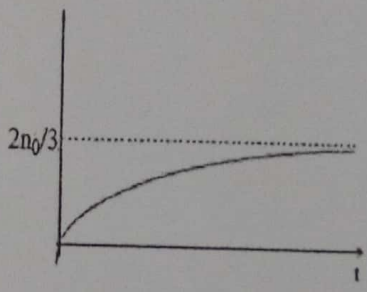
Une augmentation de la température ou l'utilisation d'un catalyseur ne modifie pas la limite d'estérification mais permit d'y parvenir rapidement.

2. Réaction d'hydrolyse :

C'est la réaction d'un ester avec l'eau conduit acide carboxylique et l'alcool.

Lorsqu'on a un mélange de l'ester et l'eau, on obtient le résultat suivant :

	esther	+	eau	⟶	acide	+	alcool
t = 0	n_0		n_0		0		0
éq	$2n_0/3$		$2n_0/3$		$n_0/3$		$n_0/3$



× **Influence des facteurs sur la vitesse et la limite** : une augmentation de la température ou l'utilisation ne modifie la limite d'hydrolyse mais permet d'y accédé rapidement.

Remarque : les réactions d'estérification et d'hydrolyse sont inverse l'une de l'autre et se de compose parfaitement dit qu'il y a équilibre chimie.

Activité 2 : Notion d'équilibre chimique (lois de déplacement)

1. Définition :

L'équilibre chimique c'est l'état d'un système chimique dans lequel la vitesse de la réaction directe (sens 1) est égale à celle de la réaction inverse (sens 2).

L'équilibre chimique c'est l'état d'un système physique dans lequel coexiste réactif et de produit sans qu'aucune évolution ne soit observable au niveau macroscopique.

C'est l'état où deux réactions inverses se limitent mutuellement.

Constante d'équilibre : considérons l'équation générale d'un équilibre chimique en phase gazeuse : $nA + mB \overset{1}{\underset{2}{\rightleftharpoons}} pC + qD$

$$v_1 = k_1 = [A]^m.[B]^n \quad (1) \; ; \; v_2 = k_2 = [C]^p.[D]^q \quad (2) \Rightarrow (1) \text{ et } (2) \; v_1 = v_2$$

$$k_c = \frac{k_2}{k_1} = \frac{[C]^p}{[A]^n}\frac{.[D]^q}{[B]^m}$$

K_c : est la constant d'équilibre relatif à la concentration molaire.

2. Différent types d'équilibres :

× **Notion de phase :** C'est toute partie homogène d'un système.

- Un mélange gazeux complexe soit-il constitue une seule phase.

Scanned by CamScanner

- Deux liquides totalement miscibles constituent une seule phase.

Il y a autant de phases que de liquide non miscible. Il y a autant de phase que de solide.

× **Equilibre homogène** : l'équilibre est dit homogène lorsqu'il ne comporte qu'une phase.

Exemples : $N_2\,(g) + 3H_2\,(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$; $NO\,(g) + \frac{1}{2}\,O_2\,(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

× **Equilibre hétérogène**: C'est un équilibre qui comporte plusieurs phases.

Exemples : $3Fe\,(s) + 4H_2O\,(g) \rightleftharpoons Fe_3O_4\,(s) + H_2$; $CaCO_3\,(s) \rightleftharpoons CaO\,(s) + CO_2(g)$

3. Facteur d'équilibre :

On appelle facteur d'équilibre, les paramètres dont la variation peut entrainer la modification de l'état d'équilibre ; ces facteurs d'équilibre sont : la température, pression, la concentration molaire du constituant, la pression partielle etc.

4. Loi qualitative :

a. Loi générale ou loi Lenz :

Toute modification de l'état d'équilibre d'un système provoque la réaction qui tend par ses effets à s'opposer à cette modification.

× **Influence de la température : loi de Van t'Hoff.**

A volume constant et sous pression constante une élévation de la températion déplace l'équilibre dans le sens de la réaction endothermique. Un abaissement de la températion déplace l'équilibre dans le sens de la réaction exothermique.

Exemple : $2NH_3 \overset{\rightarrow}{\underset{2}{\leftarrow}} N_2 + 3H_2 + 91{,}8Kj$

- Une élévation de la température déplace l'équilibre dans le sens (2) qui correspond à une consommation de la chaleur.
- Un abaissement de la température déplace l'équilibre dans le sens (1) qui correspond à un dégagement de la chaleur.

× **Influence de la pression : loi de Le Chatelier.**

La température ; une augmentation de la pression déplace l'équilibre dans le sens de la réaction qui correspond à une diminution du volume donc du nombre de mole gazeux.
Une diminution de la pression l'équilibre dans le sens de la réaction qui s'effectue avec un accroissement du volume donc du nombre de mole totale gazeux.

Exemple : $N_{2\,(g)} + 3H_{2(g)} \overset{\rightarrow}{\underset{2}{\leftarrow}} 2NH_{3(g)}$

- Une élévation de la pression déplace l'équilibre dans le sens (1) qui correspond à une diminution du nombre de mole de la phase gazeuse.
- Une diminution de la pression déplace l'équilibre dans le sens (2) qui correspond à une augmentation du nombre de mole de la phase gazeuse.

b. Loi quantitative :

× **Loi d'action de masse relative aux concentrations molaire :**

Soit le système homogène: $\mathbf{mA + nB \overset{\rightarrow}{\underset{2}{\leftarrow}} pC + qD}$

$v_1 = k_1 = [A]^m.[B]^n$ (1) ; $v_2 = k_2 = [C]^p.[D]^q$ (2) => (1) et (2) $v_1 = v_2$

$k_c = \frac{k_2}{k_1} = \frac{[C]^p}{[A]^n}\frac{.[D]^q}{[B]^m}$; K_c ne dépend que de la température.

Exemple : $H_2 + Cl_2 \overset{\rightarrow}{\underset{2}{\leftarrow}} 2HCl$; $k_c = \frac{[HCl]^2}{[H_2][Cl_2]}$

$2NH_{3(g)} \overset{\rightarrow}{\underset{2}{\leftarrow}} N_2\,(g) + 3H_{2(g)}$; $k_c = \frac{[N_2][HCl]^2}{[NH_3]^2}$

× **Loi d'action masse relatives aux pressions partielle :**

Soit l'équilibre précèdent $K_p = \frac{P_C^p.P_D^q}{P_A^n.P_B^m}$; K_p constant d'équilibre relative à la pression partielle (dépend de la température).

Scanned by CamScanner

5. **Relation entre Kc et Kp :**

$$P_A.V = R.n_A.T \implies P_A = R.[A].T \implies [A] = \frac{P_A}{R.T} \; ; \; [C] = \frac{P_C}{R.T}$$

$$P_B.V = R.n_B.T \implies P_B = R.[B].T \implies [B] = \frac{P_B}{R.T} \; ; \; [D] = \frac{P_D}{R.T}$$

$$Kc = \frac{(\frac{P_C}{R.T})^p.(\frac{P_D}{R.T})^q}{(\frac{P_A}{R.T})^m.(\frac{P_B}{R.T})^n} \implies K_C = K_P.(RT)^{(m+n)-(q+p)} \; ; \; posons \;\; \Delta n = (m+n)-(q+p)$$

$$\implies Kc = Kp.(RT)^{\Delta n}$$

Exemples :

$$2H_2O \overset{\frac{1}{2}}{\rightarrow} 2H_2 + O_2 \; ; \; k_c \implies Kp = Kc.(RT)^{3-2} \implies Kp = Kc.(RT)$$

$$2NH_{3\,(g)} \overset{\frac{1}{2}}{\rightarrow} N_2\,(g) + 3H_{2(g)} \; ; \; Kp = Kc.(RT)^{4-2} \implies Kp = Kc.(RT)^2$$

a. **Cas d'un système hétérogène :**

Dans le cas de l'application de la loi d'action de masse équilibre hétérogène, On ne fait intervenir que les constituants de la phase gazeuse ou liquide.

$$3Fe\,(s) + 4H_2O\,(g) \overset{\frac{1}{2}}{\rightarrow} Fe_3O_4(s) + H_{2\,(g)} \; ; \; Kc = \frac{P_{H_2}}{P_{H_2O}}$$

Remarque: relation entre pression partielle ; pression total et le nombre de mole.

$$n_T = \rangle\, n_i \implies P_T = \frac{R.T.n_T}{V}$$

$$P_T = \rangle\, P_i \implies Pi = \frac{R.T.n_i}{V} \implies \frac{P_T}{P_i} = \frac{n_T}{n_i}$$

6. **Degré de dissociation (coefficient de dissociation) :**

Le coefficient de dissociation représente la fraction de mole dissocié ou le degré d'avancement. Il est rapport du nombre de mole dissocié le nombre de mole initiale.

$$\propto = \frac{x}{n_o}$$

Activité 3 : la variance d'un système

1. **Définition :**

On appelle variance d'un système le nombre de paramètre que l'on peut faire varier indépendamment sans changer de phase ou c'est nombre de facteur permettant de définir l'équilibre.

2. **Calcule de variance : règle de GIBBS**

La variance d'un système notée à pour expression : $V = C + n - \varphi$

C : nombre de coefficient indépendant égale de nombre d'espèce chimique ;

n : nombre de facteur qui influe sur l'équilibre (n = 2 ; pression, température facteur d'équilibre)

$$n = 1, \; T = 0, \; P \neq 0 \; ou \; T \neq 0 \; ; \; P = 0$$
$$n = 0, \quad T = 0 \; et \; P = 0$$

φ : Nombre de phase

Scanned by CamScanner

ACIDE ET BASE EN SOLUTION AQUEUSE : PRODUIT IONIQUE DE L'EAU – NOTION DE pH

Activité1 : le produit ionique de l'eau

1. **Définition de l'électrolyte :**

On appelle électrolyte une solution liquide conduisant le courant électrique. Elle contient des ions qui assurent le passage du courant électrique. Comme exemples on peut citer les solutions aqueuses de NaOH, de HCl, de H_2SO_4, de CH_3COOH,…..

2. **Equilibre ionique de l'eau :**

a. **Conductivité de l'eau pure :**

En envoyant un courant dans un électrolyseur contenant de l'eau pure un ampèremètre ordinaire ne décèle pratiquement pas le passage d'un courant. Seul un microampèremètre permet de déceler un faible courant.

b. **Autoprotolyse de l'eau :**

On appelle autoprotolyse de l'eau le transfert d'un proton d'une molécule d'eau à une autre. La réaction est réversible.

$$2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+aq + OH^-aq$$

N.B. A 25°C $[H_3O^+] = [OH^-] = 10^{-7}mol/L$. Elle varie légèrement avec la température.

3. **Produit ionique de l'eau :**

La quantité $Ke = [H_3O^+].[OH^-]$ est appelée produit ionique de l'eau.

A 25°C $ke = 10^{-14}$.

Activité 2 : pH d'une solution aqueuse.

1. **Définition :** Le pH d'une solution est le cologarithme de sa concentration en ions hydronium pour les solutions ni trop diluées ni trop concentrées.

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

2. **Limite de validité :**

La relation ci-dessus reste valable lorsque $10^{-12}mol/L < [H_3O^+] < 10^{-2}mol/L$ à condition que dans la solution il n'y ait pas d'autres ions à concentration totale supérieure à 10^{-2} *mol/L*.

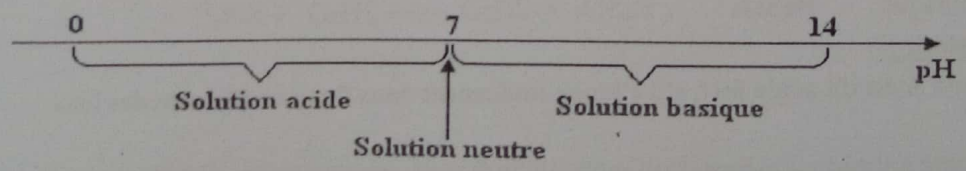
3. **Classification des solutions :**

a.) **Solution neutre :** Le pH d'une solution neutre est égal à 7.

b.) **Solution acide :** Le pH d'une solution acide est inférieur à 7.

c.) **Solution basique** : Le pH d'une solution basique est supérieur à 7.

d.) **Echelle de pH :**



4. **Mesure de pH :**

a. **Papier pH :** Le papier pH est un mélange d'indicateurs colorés. Il est sous forme de ruban et prend une coloration donnée dans une solution donnée La détermination du pH se fait par comparaison de cette coloration à celles de l'échelle inscrites sur la boîte du ruban.

Scanned by CamScanner

b. **Le pH – mètre :** Il est un appareil électronique à affichage numérique. Lorsqu'on plonge les deux électrodes de l'appareil dans la solution étudiée le pH s'affiche sur l'écran.

Activité 3 : Solution aqueuse de chlorure d'hydrogène.

1. **Etude qualitative :** Lorsqu'on barbote du gaz chlorhydrique dans une fiole contenant de l'eau distillée on obtient une solution faisant virer au rouge l'hélianthine initialement jaune. La solution est alors acide. Cette solution donne un précipité avec Ag^+; elle contient alors des ions Cl^-. En fait la dissolution de HCl dans l'eau est une réaction chimique.

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

2. **Etude quantitative :**

a. **Définition :** Une espèce est majoritaire lorsqu'elle a la plus grande concentration dans la solution et minoritaire lorsque sa concentration est faible par rapport à celle de l'espèce majoritaire. La concentration de l'espèce ultra minoritaire est négligeable par rapport à celle de l'espèce majoritaire.

b. **Calcul des concentrations :**

La mesure du pH, à **25°C**, d'une solution d'acide chlorhydrique centi molaire nous donne un pH = 2, 0. Calculons les concentrations des espèces présentes.

× $pH = 2 \Longrightarrow [H_3O^+] = 10^{-2} mol/L$

× $Ke = [H_3O^+]_x[OH^-] \Rightarrow [OH^-] = \frac{ke}{[H_3O^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-2}} mol/L = 10^{-12} mol/L$

× *Electroneutralité*: $[H_3O^+] = [OH^-] + [Cl^-] \Rightarrow [H_3O^+] \approx [Cl^-] = 10^{-2} mol/L$ car OH^- est ultra minoritaire.

× *Conservation de la matière* : **[HCℓ] initiale = [HCℓ] disparue + [HCℓ] restante**

avec **[HCℓ] initiale = C et [HCℓ] disparue = [Cℓ⁻]**

L'acide chlorhydrique est, donc, un acide fort car sa réaction avec de l'eau est totale.

c. **pH d'une solution d'acide chlorhydrique et domaine de validité :**

D'une manière générale lorsqu'on a une solution de chlorure d'hydrogène de concentration C on peut écrire :

$$[H_3O^+] = C \Rightarrow pH = -\log C$$

Ce qui est valable pour $10^{-6} mol/L < C < 10^{-2} mol/L$.

d. **Autres acides forts :**

× **Monoacides :**

Acide Nitrique **HNO_3** : $HNO_3 + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + NO_3^-$

Acide Bromhydrique **HBr** : $HBr + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + Br^-$

Acide Iodhydrique **H I**: $HI + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + I^-$

× **Diacide :**

Acide Sulfurique **H_2SO_4** : $H_2SO_4 + 2H_2O \longrightarrow 2H_3O^+ + SO_4^{2-}$

e. **Généralisation :**

× **Un soluté A est dit acide fort, s'il s'ionise totalement dans l'eau en libérant des ions H_3O^+.**

× Pour toute solution aqueuse d'un monoacide fort de concentration C telle que $10^{-6} \leq C \leq 10^{-2}$ mol.L^{-1}, on a : **$[H_3O^+] = C$** et **$pH = -\text{Log}(C)$**

× Pour un diacide fort : **$[H_3O^+] = 2C$** **$pH = -\text{Log}(2C)$.**

Scanned by CamScanner

Activité 4 : Solution aqueuse d'hydroxyde de sodium.

1. **Etude qualitative :**

L'hydroxyde de sodium ou soude caustique ou encore soude est un solide blanc cristallisé très soluble dans l'eau. Un litre d'eau peut en dissoudre 27 moles à 25°C. Cette dissolution est exothermique du fait de l'énergie de cohésion du cristal.

$$NaOH \longrightarrow Na^+aq + OH^-aq$$

2. **Etude quantitative :**

a. **Calcul des concentrations des espèces présentes :**

Déterminons les concentrations des espèces dans une solution de soude de concentration 10^{-3} mol/L et dont le pH vaut 11 à 25°C.

$$[H_3O^+] = 10^{-11} mol/L.$$

$$[OH^-] = \frac{10^{-14}}{10^{-11}} = 10^{-3} mol/L$$

$[OH^-] = [H_3O^+] + [Na^+] \implies [OH^-] \approx [Na^+] = 10^{-3} mol/L$ car H_3O^+ est ultra minoritaire La réaction est totale.

b. **pH d'une solution d'hydroxyde de sodium :**

La réaction étant totale

$$[OH^-] = C \implies [H_3O^+] = \frac{ke}{[OH^-]} \implies pH = 14 + \log C$$

c. **Autres bases fortes.**

× **Monobases :**

Hydroxyde de potassium **KOH** : $KOH \xrightarrow{H_2O} K^+ + OH^-$

Ion éthanolate $C_2H_5O^-$: $C_2H_5O^- + H_2O \longrightarrow C_2H_5OH + OH^-$

× **Dibase :**

Hydroxyde de calcium $Ca(OH)_2$: $Ca(OH)_2 \xrightarrow{H_2O} Ca^{2+} + 2\ OH^-$

d. **Généralisation :**

× Une base forte est un soluté qui se dissout totalement dans l'eau en libérant des ions OH^-.

× On a : $[OH^-] = C$ et $pH = -Log(Ke) + Log(C) \rightarrow pH = 14 + Log(C)$ à 25°C valable pour 10^{-6} mol/L $< C < 10^{-2}$ mol/L.

× Pour une dibase forte : $[OH^-] = 2C$ $pH = 14 + Log(2C)$.

Scanned by CamScanner

ACIDE ET BASE EN SOLUTION AQUEUSE :
COUPLE ACIDES/BASES

Activité 1 :

1. **Définition de l'acide et de la base selon Bronsted :**

Selon Bronsted un acide est un corps capable de libérer des protons pendant qu'une base en est un capable de capter des protons.

$HCl \longrightarrow H^+ + Cl^-$. **HCl est un acide.**

$OH^- + H^+ \longrightarrow H_2O$. **$OH^-$ est une base.**

Exemple de couple acide /base.

Lorsqu'on dissout de l'acide éthanoïque dans de l'eau nous obtenons une solution qui est le siège d'un équilibre entre les molécules CH_3COOH et les ions CH_3COO^- suivant l'équation :

$$CH_3COOH + H_2O \underset{②}{\overset{①}{\rightleftharpoons}} CH_3COO^- + H_3O^+.$$

CH_3COOH qui libère un proton suivant la réaction ① est un acide et **CH_3COO^-** qui capte un proton suivant la réaction ② est sa base conjuguée. Le couple acide – base est noté, ici, par **CH_3COOH / CH_3COO^-.**

Comme exemples de couples acide – base on peut citer : **NH_4^+/NH_3, H_2O/OH^-, H_3O^+/H_2O, $HCOOH/HCOO^-$, $CH_2ClCOOH/CH_2ClCOO^-$, ...**

2. **Constante d'acidité :**

Soit une solution aqueuse d'acide A et de sa base conjuguée B.

$$A + H_2O \rightleftharpoons B + H_3O^+$$

On appelle constante d'acidité ka ou constante d'ionisation dans l'eau la constante

$$ka = \frac{[H_3O^+][B]}{[A]}$$

Elle est indépendante de la température.

Exemples :

$$ka = \frac{[H_3O^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$ **est la constante d'acidité de CH_3COOH/CH_3COO^-**

$$ka = \frac{[H_3O^+][NH_3]}{[NH_4^+]}$$ **est la constante d'acidité de NH_4^+/NH_3**

Remarque: La constante d'acidité dépend de la température.

3. **Le pka d'un couple :**

Le cologarithme à base 10 de la constante d'acidité d'un couple est appelé le pka du couple.

$$pka = -\log ka$$

Scanned by CamScanner

× pH à partir de ka :

$$pka = -\log\frac{[H_3O^+][B]}{[A]} = -\log[H_3O^+] - \log\frac{[B]}{[A]}$$

D'où $$\boxed{pH = pka + \log\frac{[B]}{[A]}}$$

Activité 2 : Application.

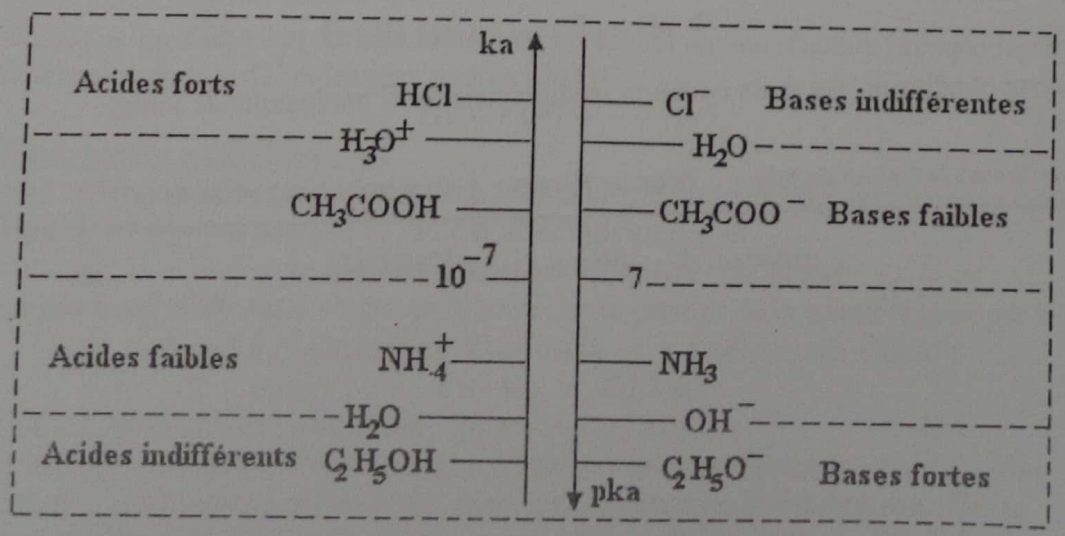
1. **Classification des couples acide/base :**
   - × Un acide est d'autant plus fort qu'il cède plus facilement de proton tout comme une base est d'autant plus forte qu'elle capte plus facilement les protons.
   - × La force d'un acide faible croît avec le ka et décroît avec le **pka** tout comme la force d'une base faible décroît avec le ka et croît avec le **pka.**
   - × Dans un couple acide – base plus l'acide est fort plus la base est faible.
   - Tous les acides forts sont plus forts que H_3O^+ et toutes les bases fortes sont plus fortes que OH^-.
   - Tous les acides faibles sont plus faibles que H_3O^+ et plus forts que H_2O tout comme toutes les bases faibles sont plus faibles que OH^- et plus fortes que H_2O.

NB : Les bases conjuguées des acides forts et les acides conjugués des bases fortes sont des ions indifférents.

Le coefficient d'ionisation :

On appelle **coefficient d'ionisation** d'un acide **AH** dans une solution aqueuse le rapport de la quantité A^- ionisées par la quantité **AH**.

$$\alpha = \frac{n_{A^-}}{n_{AH\ introduite}} \Rightarrow \alpha = \frac{[A^-]}{[A^-]+[AH]} \Rightarrow \alpha = \frac{[A^-]}{C_{AH}}$$



Scanned by CamScanner

2. Domaine de prédominance de la forme acide et de la forme basque :

Soit l'équilibre $A + H_2O \rightleftharpoons B + H_3O^+$

$$pH = pka + \log \frac{[B]}{[A]}$$

Cette relation permet de déterminer trois zones de prédominance.

× $pH = pka$; alors l'acide et la base ont la même concentration (milieu **neutre**)

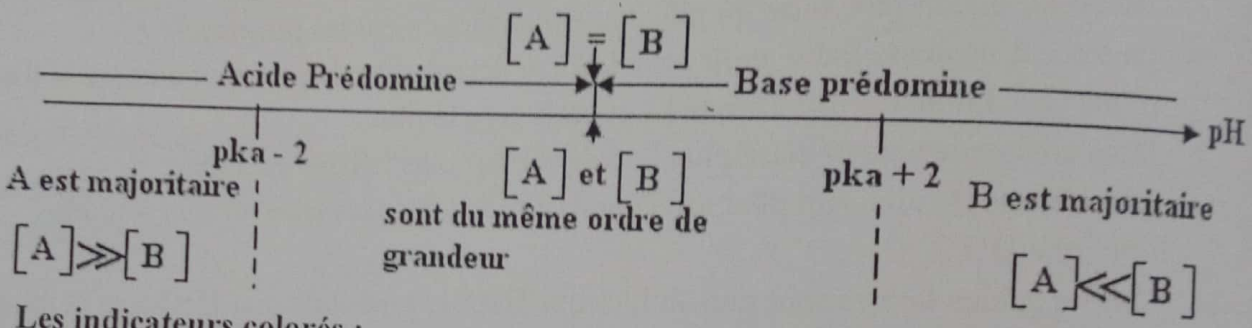
$$[A] = [B]$$

× $pH < pka$; alors l'acide prédomine (milieu **acide**)

$$[A] > [B]$$

× $pH > pka$; alors la base prédomine (milieu **basique**)

$$[A] < [B]$$



3. **Les indicateurs colorés :**

a. **Définition :**

Un indicateur coloré est un couple acide-base InH/In^- , avec InH et In^- ayant des couleurs différentes en solution aqueuse.

a. **Zone de virage :**

Le pH de la solution est $pH = pKa_{ind} + Log([In^-] / [InH])$.

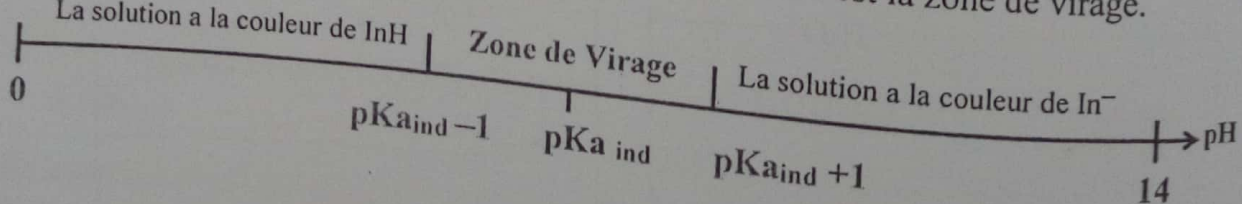
Lorsque $[InH] > 10_x[In^-]$ → la forme acide impose sa couleur.

→ $pH < pKa_{ind} + Log(0,1)$ → $pH < pKa_{ind} - 1$

Lorsque $[In^-] > 10_x[InH]$ → la forme basique impose sa couleur.

→ $pH > pKa_{ind} + Log(10)$ → $pH < pKa_{ind} + 1$

Entre les deux conditions, les deux couleurs se superposent : C'est la zone de virage.



Scanned by CamScanner

ACIDE ET BASE EN SOLUTION AQUEUSE : LES REACTIONS ACIDO-BASIQUES

Activité1 : réaction entre un acide fort et une base forte

1. Etude expérimentale :

Dosons 50 ml d'une solution d'acide chlorhydrique en le neutralisant avec une solution D'hydroxyde de sodium de concentration $C_B = 0,1$ M.

La réaction du dosage est la suivante :

$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$$

Cette réaction correspond à l'ajout de l'ion OH^-, provenant de la base forte, qui vont réagir quantitativement avec les ions H_3O^+ de l'acide pour déplacer l'équilibre suivant vers la droite:

$$H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2\,H_2O, \quad Kc = 10^{-14} \text{ (à 25°C)}$$

Voilà ci-dessous le dispositif simplifié permettant de suivre la variation du pH au cours du dosage.

Pour doser l'acide, on ajoute progressivement l'hydroxyde de sodium dans la solution d'acide chlorhydrique et on mesure le pH après chaque addition de base.

La courbe de la variation du pH au cours du dosage est donnée dans le graphique ci-dessous.

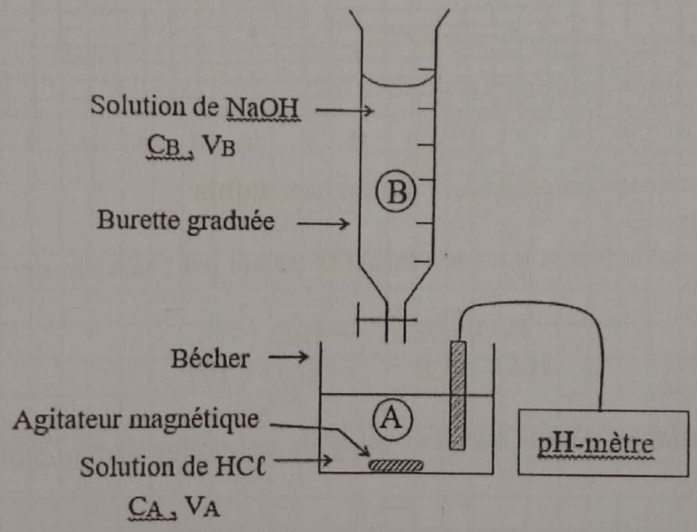


Figure : dispositif expérimentale permettant d'étudier la variation du pH au cour d'une réaction acide fort-base fort

2. Equation-bilan :

La réaction d'un acide fort sur une base forte se résume en une réaction presque totale entre les ions hydronium H_3O^+ et les ions hydroxyde OH^- .

$$H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2\,H_2O$$

3°) Equivalence acido-basique :

On peut affirmer, qu'au point équivalent, le nombre de mole de base ajoutée pour neutraliser tout l'acide est égal au nombre de mole d'acide mis au départ.

$$n(NaOH)\ ajouté = n(acide) \text{ au départ}$$

Comme le nombre de mole n'est rien d'autre que le produit de la concentration par le volume,

$$n = CV, \text{ on a } n(NaOH)\ ajouté = n\,(acide)\ au\ départ$$

$$Cb \cdot Vb = Ca.Va$$

Comme V_B est le volume équivalent : $Cb.Ve = Ca \cdot Va$

Cette formule peut servir indifféremment à calculer une des 4 données, C_{A0}, V_A, C_{B0}, V_B Présentes, si les 3 autres sont connues, mais lors des dosages pH-métriques, elle est Généralement utilisée pour calculer la concentration de la solution que l'on a dosée.

Scanned by CamScanner

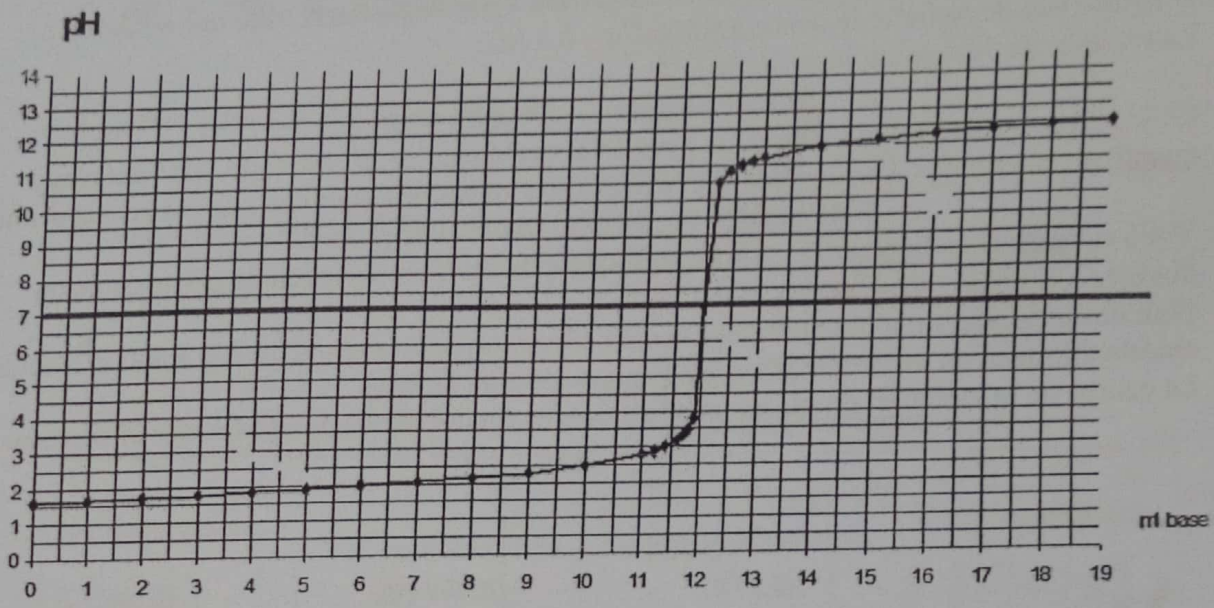
Dans notre exemple, l'espèce dosée est l'acide. On va donc calculer sa **concentration**. A l'**équivalence** la solution obtenu est neutre de pH= 7 et de concentration $C = C_A B_A$

Exemple :

$C_B = 0.1$ M, Ve = 12 ml = 12.10^{-2} l, $V_A = 50$ ml = 5.10^{-2} l

$C_A = C_B \cdot Ve/V_A = 2$

4°) Tracé de La courbe pH=f(C_b) :



Activité 2 : réaction entre un acide fort et une base faible

1. Equation bilan :

La réaction entre un acide fort et une base faible se traduit par l'une des deux équations bilans :

$$H_3O^+ + A^- \rightarrow H_2O + HA$$
$$\mathbf{H_3O^+ + B \rightarrow H_2O + BH^+}$$

2. Equivalence :

A l'équivalence le **nombre** initiale introduit est égale au nombre de mol ajouté à l'équivalence.

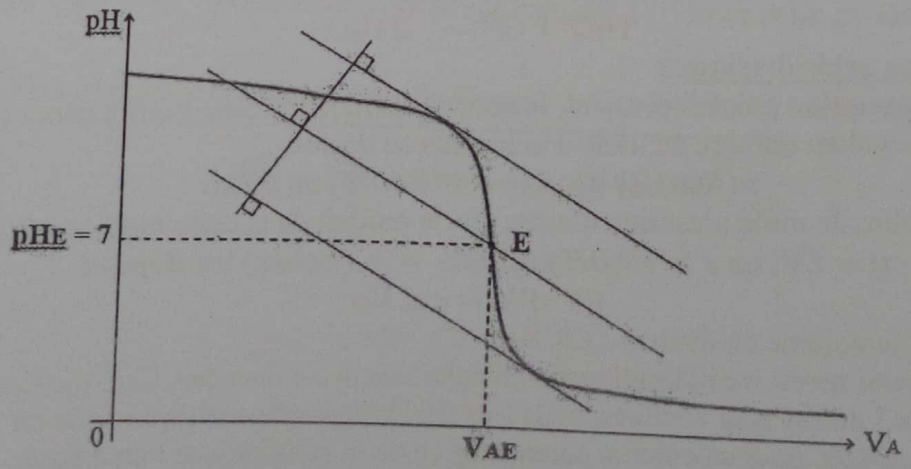
Donc à l'équilibre :

$$\mathbf{C_b \cdot V_b = C_a \cdot V_a}$$

A l'équivalence on obtient une solution basique de concentration $C = \frac{C_b \cdot V_b}{V_a + V_b}$

Exemple : $\mathbf{NH_3 + H_3O^+ \rightarrow NH_4 + H_2O}$

- **Tracé de la courbe :**



Scanned by CamScanner

Activité 3 : réaction entre un acide faible et une base forte

1. **Étude expérimentale :**

Identique à celle de l'acide fort-base forte mais l'acide est remplacé par la solution d'acide éthanoïque (qui est un acide faible) de molarité 10^{-1} mol.L^{-1}.

2. **Equation bilan :**

La réaction entre un acide faible et une base forte est une réaction pratiquement totale se traduisant par :

$$\underset{\text{Acide1}}{CH_3COOH} + \underset{\text{base2}}{OH^-} \rightarrow \underset{\text{base1}}{CH_3COO^-} + \underset{\text{acide2}}{H_2O}$$

- Plus généralement on a :

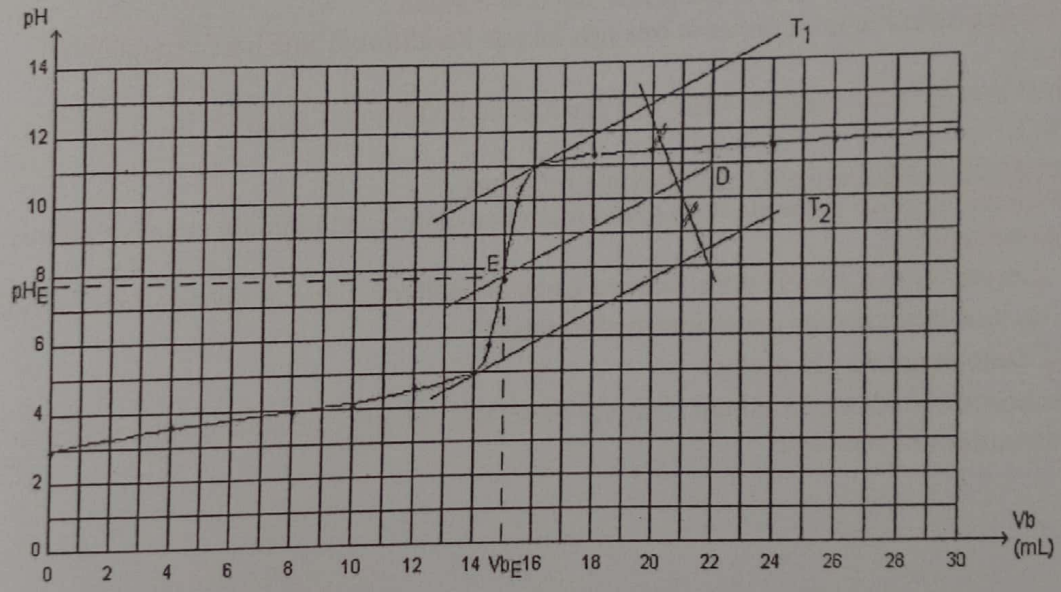
$$\underset{\text{Acide1}}{HA} + \underset{\text{base2}}{OH^-} \rightarrow \underset{\text{base1}}{A^-} + \underset{\text{acide2}}{H_2O}$$

3. **Equivalence:**

Soit la réaction $CH_3COOH + OH^- \rightarrow CH_3COO^- + H_2O$ l'équivalence obtenu lorsque le nombre de mol $n_E(OH^-) = n_O(CH_3COOH)$.

Cette réaction peut aussi se traduire par un pH correspondant à celui d'une solution de la base conjugué de l'acide faible dans l'eau pur.

4. **Tracé de la courbe :**



Activité 4 : Dosage pH-métrique

1. **Dosage d'une solution acide** :

Dosé une solution acide c'est déterminé sa concentration. On dose généralement une solution acide par une solution de di hydroxyde de sodium NaOH ou une autre base de concentration connu. On parle ainsi de dosage acido-basique. L'équation de dosage s'écrit :

$$H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2H_2O \quad ou \quad acide + OH^- \rightarrow base + H_2O$$

L'équivalence permet de déterminer la concentration de l'acide :

$$n(OH^-) = n(H_3O^+)$$

$$Or\ n(OH^-) = C_b \,.\, V_{bE}\ et\ n(H_3O^+) = C_a.V_a \ \Rightarrow\ C_b \,.\, V_{bE} = C_a.V_a \quad soit \quad C_a = \frac{C_b \,.\, V_{bE}}{V_a}$$

Le volume à l'équivalence peut être déterminé grâce au tracé de la courbe $pH = f(V_{bE})$.

Scanned by CamScanner

2. Dosage d'une solution basique :

Dosé une solution basique, c'est déterminé sa concentration. On utilise généralement une solution acide forte de concentration connu pour doser une solution basique. Le principe de l'équivalence permet de déterminé la concentration de la base.

Activité 5 : Les solutions tampons

1. **Définition des solutions tampons** : ce sont des solutions ayant des compositions égales ou voisines de celle obtenu à la demi-équivalence dans les cas :
   - d'un acide faible réagissant avec une base forte,
   - d'une base faible réagissant avec un acide fort.
2. **Obtentions de solutions tampons :**
   On obtient une solution tampon :
   - Soit en ajoutant une solution d'acide faible, (ou, de base faible) une base forte (ou un acide fort) en quantité égale correspondant à la demi-équivalence ;
   - Soit en préparant un mélange d'acide faible et de sa base conjuguée (ou d'une base faible et de son acide conjugué)
3. **Exemple des solutions tampons** : le mélange obtenu en vessant 5ml de solution NaOH 10^{-1}M dans 10ml de solution CH_3COOH 10^{-1}M est un tampon de pH = 4,8.
4. **Propriétés des solutions tampons :**

- la dilution est sans effet sur le pH d'une solution tampon ;
- le pH d'une solution tampon varie très peu lors de l'addition d'une base (en quantité modérée).
- le pH d'une solution tampon varié très peu lors de l'addition d'un acide (en quantité modérée).

5. **Domaines d'application des solutions tampons :**

Les solutions tampons présentent un grand intérêt en chimie, en biologie et en bio chimie. Elles permettent :

- conservation d'un pH pratiquement constant malgré un apport volontaire ou accidenté en ions hydroniums ou en ions hydroxydes ;
- l'étalonnage du pH-mètre.

Des nombreuses études nécessitent l'emploi de solutions à pH constants, pour ce faire on utilise des solutions tampons.

Scanned by CamScanner