


Scanned by CamScanner

# Préface

Dans ce 21$^{e}$ siècle, le développement d'une Nation passe nécessairement par l'épanouissement et l'application de la science en général. Il urge d'en tenir compte dans le processus de conception des cours et dans l'encadrement des élèves.

Du point de vue formation, toutes connaissances scientifiques, en l'occurrence, la physique et la chimie ne peuvent s'acquérir que par une bonne et riche documentation, pouvant préparer les apprenants au travail personnel, à la recherche et à l'exploitation documentaire.

Ce livre de sciences physique et Chimie est le fruit d'un travail cherchant à répondre aux besoins évidents des candidats de terminales sciences exactes et expérimentales et à les pousser vers l'auto-formation qui leur manque cruellement.

Ce document aussi sera également d'une grande utilité pour les collègues professeurs en ce qu'il leur offre un large éventail d'exercices ainsi que des éléments pertinents pour leurs cours

Ce document est divisé en trois (3) volets :

- Des cours intégralement et soigneusement détaillés pour une bonne assimilation du candidat.
- Des exercices d'entrainement ou d'application directe du cours, suivis des exercices de pointes ou de recherches relativement corsés, permettant aux candidats de braver les sujets-types du Baccalauréat.
- Des sujets de BAC et leurs corrigés

Aucune œuvre humaine n'étant parfaite, je reste ouvert à toutes les critiques et remarques permettant d'améliorer la qualité de ce travail au bénéfice des élèves et de leurs professeurs. Je vous en remercie d'avance.

Scanned by CamScanner

## Remerciements :

Mes vifs et francs remerciements

- Aux directeurs et directrices de toutes les Académies d'enseignement secondaire au Mali ;
- A tous les inspecteurs et inspectrices de Physique /Chimie partout au Mali notamment **M.BADIÈ DIOURTÉ, M.BAKARY COULIBALY** pour leur disponibilité;
- A tous mes collègues des établissements publics et privés partout au Mali et dans le monde ;
- A **M. KALIDOU MARICO** professeur de sciences physique au Lycée Technique (L.T) de Bamako pour sa franche collaboration ;
- Aux administrateurs et corps professoraux de tous les Lycées à Bamako et partout au Mali notamment :
  - *Le Lycée Askia Mohamed (L.A.M)*
  - *Le Lycée Baminata Coulibaly (L.BA.C)*
  - *Le lycée Mabilé (L.Mabilé)*
  - *Le Lycée Béydi Konandji (L.B.K.A)*

Scanned by CamScanner

# Sommaire


## Cours-Exercices de Physique ----------01--93

Mouvement du projectile-Champ de pesanteur ----------01--09

Mouvement des particules chargées-Champ électrique ----------10--16

Mouvement des particules chargées-Champ magnétique ----------17--24

Mouvement des satellites ----------25--29

Induction électromagnétique ----------30--36

Auto-induction ou self induction ----------37--38

Applications de l'induction électromagnétique ----------39--41

Interférences lumineuses ----------42--45

Rayonnement laser ----------46--46

Oscillateurs mécaniques libres ----------47--57

Oscillateurs électriques libres ----------58--64

Oscillateurs électriques forcés ----------65--77

Puissances----------78--78

Ondes électromagnétiques ----------79--81

Effet photoélectrique ----------82--85

Radioactivité ----------86--90

Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène----------91--93

## Cours –Exercices de Chimie----------01--76

Stéréochimie----------01--06

Isomérie----------07--10

Alcools----------11--17

Amines----------18--21

Acides carboxyliques----------22--29

Acides $\alpha$-aminés ----------30--34


Chimie organique

Scanned by CamScanner

Chimie organique

Polymères synthétiques ---------- 35--38
Glucose ---------- 39--42

Chimie minérale

Cinétique chimique ---------- 43--57
Equilibres chimiques ---------- 58--63
Acides et bases en solution aqueuse ---------- 64--66
Couples acide-bases ---------- 67--69
Réactions acido-basiques ---------- 70--75
Engrais ---------- 76--76

**Sujet BAC 2014 et corrigé** ----------

**Sujet BAC 2015 et corrigé** ----------

Scanned by CamScanner

# APPLICATION DE LA R.F.D AU MOUVEMENT DES PROJECTILES DANS UN CHAMP DE PESANTEUR

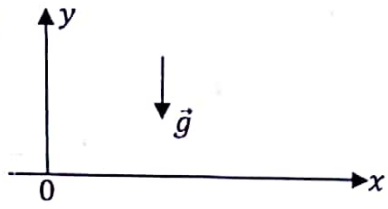
## 1) Champ de pesanteur :

- **Définition** : Le champ de pesanteur est le champ gravitationnel $\vec{g}$ créé par la terre en son voisinage.

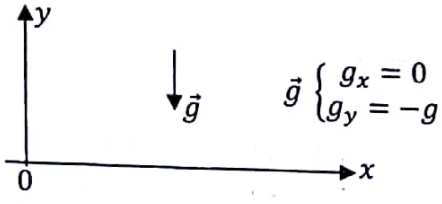
  **N.B** : Tout corps lancé dans un champ de pesanteur est appelé projectile et n'est soumis qu'à son poids $\vec{P}$ avec $\vec{P} = m\vec{g}$.

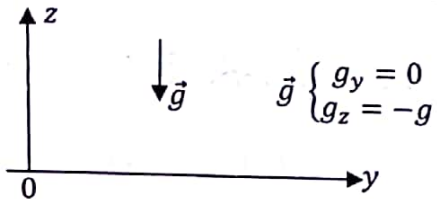
- **Les caractéristiques du champ de pesanteur $\vec{g}$** :

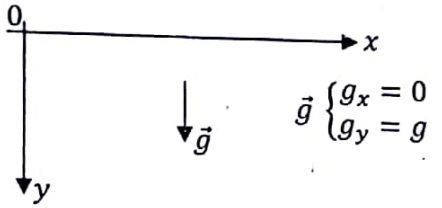
  $\vec{g}$ { Point d'application : tout point de l'espace
  Direction : verticale
  Sens : toujours dirigé vers le bas
  Intensité : g ou $g_o$=9,81N/Kg

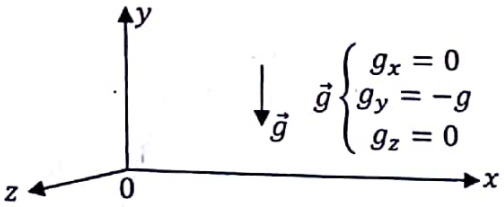



- **Les coordonnées du champ $\vec{g}$ dans un repère** :

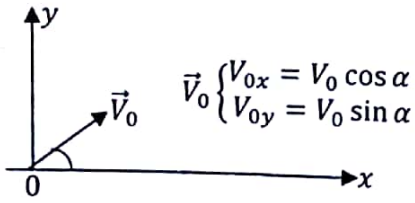


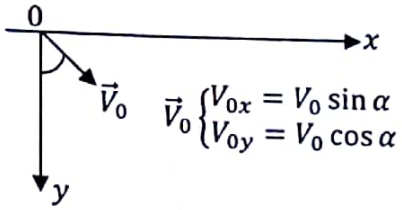



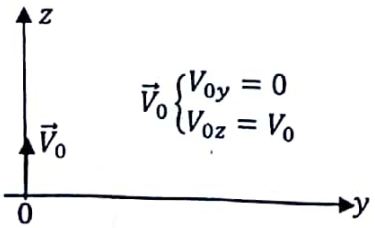



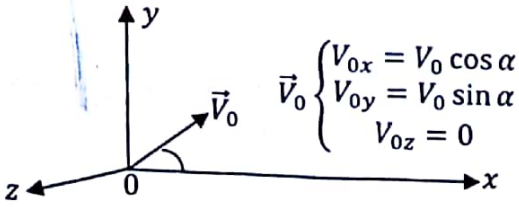




- **Les coordonnées du vecteur-vitesse $\vec{V}_o$ dans un repère** :




## 2) Cinématique :

La cinématique est l'étude du mouvement d'un corps indépendamment des causes qui produisent ce mouvement.



Scanned by CamScanner

- **Abscisse ou élongation** : L'abscisse d'un mobile caractérise la position de ce mobile dans un repère. Soit un point $M$ de coordonnée $x, y, z$ dans un repère $(o, \vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k})$

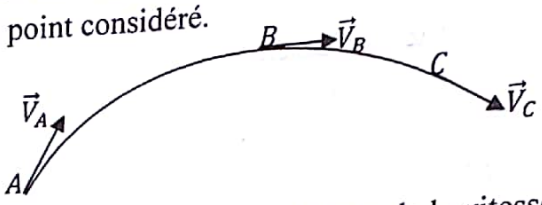
  $\overrightarrow{OM}\begin{cases} x \\ y \\ z \end{cases}$ alors le vecteur position s'ecrit : $\overrightarrow{OM} = x\vec{\imath} + y\vec{\jmath} + z\vec{k}$

- **Vitesse** : La vitesse est la dérivée de l'abscisse par rapport au temps $V = \frac{d(OM)}{dt}$

  Le vecteur vitesse du mobile est: $\vec{V} = V_x\vec{\imath} + V_y\vec{\jmath} + V_z\vec{k}$ ou $\vec{V} = \vec{V}_x + \vec{V}_y + \vec{V}_z$

  Avec $\begin{cases} V_x = \frac{dx}{dt} \\ V_y = \frac{dy}{dt} \\ V_z = \frac{dz}{dt} \end{cases}$ alors en module on a : $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$ en $^m/_s$ ou $m.s^{-1}$

  **N.B** : Pour un mouvement parabolique, le vecteur-vitesse est toujours tangent à la trajectoire au point considéré.



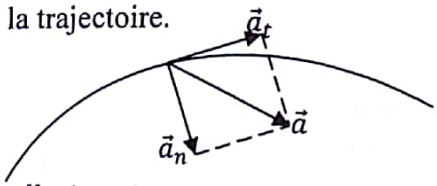

- **Accélération** : L'accélération est la dérivée de la vitesse par rapport au temps. C'est aussi la dérivée seconde de l'abscisse par rapport au temps $a = \frac{dV}{dt}$

  Le vecteur accélération est : $\vec{a} = a_x\vec{\imath} + a_y\vec{\jmath} + a_z\vec{k}$ ou $\vec{a} = \vec{a}_x + \vec{a}_y + \vec{a}_z$

  Avec $\begin{cases} a_x = \frac{dV_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt} \\ a_y = \frac{dV_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt} \\ a_z = \frac{dV_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt} \end{cases}$ En module on a : $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$ en $^m/_{s^2}$ ou $m.s^{-2}$

  **N.B** : Dans la base de Frénét le vecteur-accélération est donné par $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t$ et est dirigé vers la concavité de la trajectoire.

$a_n = \frac{V^2}{R}$




- **Equation horaire** : On appelle équation horaire toute équation qui s'écrit en fonction du temps. Elle est donnée par $x = f(t)$ ou $y = f(t)$ ou par $z = f(t)$

  **Exemple** : $\overrightarrow{OG}\begin{cases} x = t + 1 \\ y = t^2 + 3t + 4 \end{cases}$

- **Trajectoire** : On appelle trajectoire les différentes positions successives occupées par un mobile au cours du temps.
- **Equation de la trajectoire** : C'est une équation qui s'obtient en éliminant le temps t entre les variables x et y. C'est la relation cartésienne $y = f(x)$ ou $z = f(x)$.

  **Remarque** : Si cette équation est de la forme :

  - $y = ax^2 + bx + c$ alors la trajectoire est parabolique
  - $y = ax + b$ alors la trajectoire est une droite
  - $(x - a)^2 + (y - b)^2 = R^2$ alors la trajectoire est un cercle de centre $A(a, b)$et de rayon $R$.



Scanned by CamScanner

**Exemple** : $\overrightarrow{OG}\begin{cases} x = t+1 \\ y = t^2+3t+4 \end{cases}$

Dans 1 : $x = t+1 \rightarrow t = x-1$

$t$ dans 2 $\rightarrow y = (x-1)^2+3(x-1)+4 = x^2-2x+1+3x-3+4$

$\rightarrow y = x^2+x+2$ équation de la trajectoire.

Cette équation est de la forme $y = ax^2+bx+c$ alors la trajectoire est parabolique.

- **Mouvement plan** : Un mouvement plan est un mouvement qui s'effectue simultanément suivant deux (2) axes.

**Exemple** : $\begin{cases} x = t-1 \\ y = t^2+3t+4 \\ z = 0 \end{cases}$

**N.B** : Pour démontrer qu'un mouvement est plan, on suppose un troisième axe et puis on démontre qu'il n'y a pas de mouvement suivant cet axe.

- **Mouvement rectiligne uniforme** : C'est un mouvement dont la trajectoire est une droite et le vecteur-vitesse a une valeur constante $(V = C^{te})$.

D'une manière générale son équation horaire est : $x = Vt + x_o$

Suivant $(Ox)$ : $x = V_x t + x_o$ en m

Suivant $(Oy)$ : $y = V_y t + y_o$ en m

Suivant $(Oz)$ : $z = V_z t + z_o$ en m

**N.B**:

- Un mouvement uniforme est un mouvement dont la vitesse est constante.
- Dans un mouvement rectiligne uniforme, la vitesse est constante donc l'accélération est nulle.

- **Mouvement rectiligne uniformément varié** : C'est un mouvement dont la trajectoire est une droite et le vecteur-accélérateur a une valeur constante $(a = C^{te})$.

d'une manière générale ses équations horaires sont : $\begin{cases} x = \frac{1}{2}at^2 + V_o t + x_o \text{ en m} \\ V = at + V_o \text{ en ms}^{-1} \end{cases}$

Suivant $(0x)$ : $x = \frac{1}{2}a_x t^2 + V_{ox} t + x_o$

Suivant $(0y)$ : $y = \frac{1}{2}a_y t^2 + V_{oy} t + y_o$

Suivant $(0z)$ : $z = \frac{1}{2}a_z t^2 + V_{oz} t + z_o$

**Remarque** : Un mouvement rectiligne peut être accéléré ou décéléré.

- **Mouvement accéléré** : c'est un mouvement dont la vitesse augmente progressivement au cours du temps. Dans cette phase le produit de l'accélération et la vitesse est supérieur à zéro $(a \times V > 0)$.
- **Mouvement décéléré ou retardé** : c'est un mouvement dont la vitesse diminue progressivement au cours du temps jusqu'à s'annuler à$t = -\frac{V_o}{a}$. Dans cette phase le produit de l'accélération et la vitesse est inférieur à zéro $(a \times V < 0)$.

- **Relation des vitesses indépendante du temps** :

Suivant $ox$: $V_x^2 - {V_o}^2 = 2a_x(x - x_o)$

Suivant $oy$: $V_y^2 - {V_o}^2 = 2a_y(y - y_o)$

3) **Dynamique** :



Scanned by CamScanner

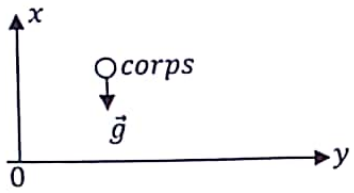
La dynamique est l'étude du mouvement d'un corps en relation avec les causes qui produisent ce mouvement.

- **Relation fondamentale de la dynamique (R.F.D) ou deuxième loi de Newton** :

C'est la relation entre les forces extérieures appliquées à un corps et son accélération.

Elle s'écrit : $\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

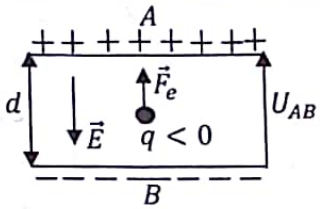
**Exemple 1** : Corps lancé dans le champ de pesanteur :




$\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

Or $\sum \vec{F}_{ex} = \vec{P} = m\vec{g} \rightarrow m\vec{a} = m\vec{g} \rightarrow \vec{a} = \vec{g}$ en module $a = g$

**Exemple 2** : Électron dans le champ électrique uniforme :

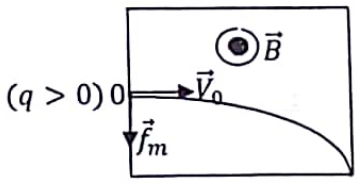



$\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

Or $\sum \vec{F}_{ex} = \vec{F}_e \rightarrow m\vec{a} = \vec{F}_e \leftrightarrow m\vec{a} = q\vec{E} \rightarrow \vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$ en module $a = \frac{|q|E}{m}$

$q = -e \rightarrow |q| = e$ et $E = \frac{U}{d} \rightarrow a = \frac{eU}{md}$

**Exemple 3** : Proton dans le champ magnétique uniforme :




Scalaire $\vec{u}.\vec{v} = uv\cos(\vec{u},\vec{v})$

vectoriel $\vec{u} \wedge \vec{v} = uv\sin(\vec{u},\vec{v})$

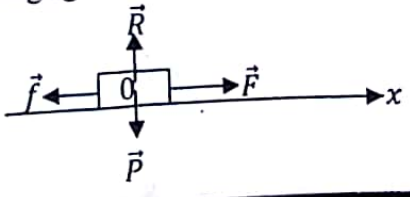
$\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

Or $\sum \vec{F}_{ex} = \vec{f}_m \rightarrow m\vec{a} = \vec{f}_m \leftrightarrow m\vec{a} = q\vec{V}_0 \wedge \vec{B} \rightarrow \vec{a} = \frac{q\vec{V}_0 \wedge \vec{B}}{m}$

en module $a = \frac{|q|VB\sin(\vec{V}_0,\vec{B})}{m}$

$q = -e \rightarrow |q| = e$ et $(\vec{V}_0,\vec{B}) = \frac{\pi}{2} \rightarrow \sin(\vec{V}_0,\vec{B}) = 1 \rightarrow a = \frac{eV_0B}{m}$

**Exemple 4** : Skieur tiré à l'aide d'une corde : les forces de frottement n'étant pas négligeables alors on a :






Scanned by CamScanner

$\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

Or $\sum \vec{F}_{ex} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{F} + \vec{f} \rightarrow m\vec{a} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{F} + \vec{f}$

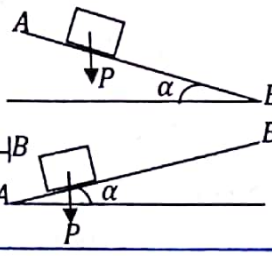
En projetant les forces suivant $ox$ on trouve $ma = 0 + 0 + F - f \rightarrow a = \frac{F-f}{m}$

- **Energie** : L'énergie est le travail d'une force. Elle s'exprime en Joule (J).
  On distingue l'énergie mécanique, l'énergie électrique ($E = W = RI^2t$), l'énergie chimique, l'énergie nucléaire (ou énergie atomique).
- **Energie mécanique** : L'énergie mécanique d'un système est la somme des énergies cinétique et potentielle. $E_m = E_C + E_P$
- **Energie cinétique** : L'énergie cinétique est l'énergie due à la vitesse.
- Pour un solide en translation : $E_C = \frac{1}{2}mV^2$ en J
- Pour un solide en rotation : avec $V = R\omega^2$ et $J = mR^2 \rightarrow E_C = \frac{1}{2}J\omega^2$ ou $E_C = \frac{1}{2}J\dot{\theta}^2$
  ($J$ est le moment d'inertie en Kg m$^2$) avec $J = mR^2$
- Pour un solide en translation et rotation combinées on a : $E_C = \frac{1}{2}mV^2 + \frac{1}{2}J\dot{\theta}^2$ en J
- **Théorème de l'énergie cinétique** :
  **Enoncé** : La variation de l'énergie cinétique entre deux (2) points A et B est égale à la somme des travaux de toutes les forces extérieures appliquées à ce corps entre ces points. $\Delta E_{C_{(A,B)}} = \sum W_{\vec{F}_{ex(A,B)}}$

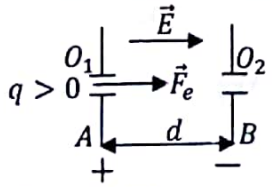
$$\begin{cases} \Delta E_{C_{(A,B)}} = EC_B - EC_A = \frac{1}{2}mV_B{}^2 - \frac{1}{2}mV_A{}^2 \\ \text{Et } \sum W_{\vec{F}_{ex(A,B)}} \text{ dépend du champ dans lequel le corps se trouve.} \end{cases}$$

- **Dans le champ de pesanteur** :

On a : $\sum W_{\vec{F}_{ex(A,B)}} = W_{\vec{P}_{(A,B)}} = \begin{cases} +Ph = +mgh \\ 0 \\ -Ph = -mgh \end{cases}$




- **Dans le champ électrique**:




On a: $\sum W_{\vec{F}_{ex(A,B)}} = W_{\vec{F}_{e(A,B)}} = F_e d$ avec $F_e = |q|E = \frac{|q|U}{d}$

$\rightarrow \sum W_{\vec{F}_{ex(A,B)}} = W_{\vec{F}_{e(A,B)}} = |q|U$

- **Dans le champ magnétique**:

On a: $\sum \vec{F}_{ex} = W_{\vec{f}_{m(0,s)}}$

On sait que : $P = \frac{W}{t}$ or $W = \vec{f}_m.\vec{l} \rightarrow P = \vec{f}_m \cdot \frac{\vec{l}}{t} = \vec{f}_m \cdot \vec{V} = f_m \times V\cos(\vec{f}_m, \vec{V})$

Or $(\vec{f}_m, \vec{V}) = \frac{\pi}{2} \rightarrow \cos(f_m, v) = 0 \rightarrow P = 0$

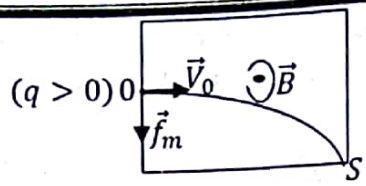
D'où $W_{\vec{f}_{m(0,s)}} = 0 \rightarrow \Delta E_{C(o,s)} = 0$

Energie potentielle
C'est l'énergie due à la position
Elle s'écrit :
$E_{pp} = \frac{1}{2}Kx^2$ (énergie potentielle élastique) ou
$E_{pp} = \frac{1}{2}C\theta^2$ (énergie potentielle de torsion). Énergie potentielle de pesanteur :
$E_{pp} = mgh$.

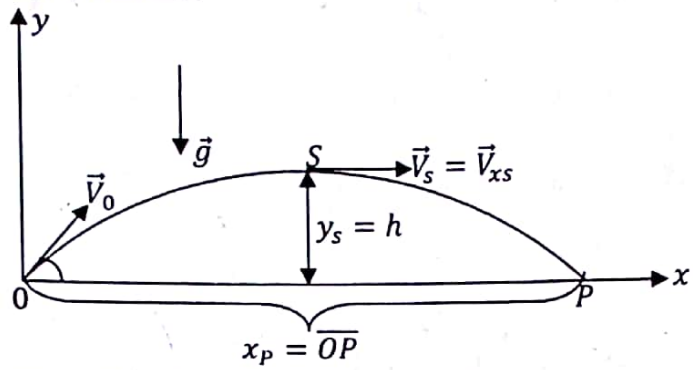
A
$E_{pp_A} = mgh$
$E_{pp} = 0$ car $h = 0$ (à la référence)
B
$E_{pp} = -mgh$



Scanned by CamScanner




4) **Projectiles dans le champ de pesanteur** : Soit un projectile de masse m lancé dans le champ de pesanteur avec un vecteur-vitesse initial $\vec{V}_o$ faisant un angle α avec l'horizontale.




- **Equations horaires et nature du mouvement** :
- **Equations horaires** :

-Système à étudier : le projectile

-Force appliquée : Avec la résistance de l'air négligeable, le poids $\vec{P}$ est la seule force appliquée

D'après la R.F.D : $\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

$$\sum \vec{F}_{ex} = \vec{P} = m\vec{g} \rightarrow m\vec{a} = m\vec{g} \rightarrow \vec{a} = \vec{g} \text{ en module } a = g$$

Dans le repère $(0, \vec{\imath}, \vec{\jmath})$

A $t = 0$, $\overrightarrow{OG}_0 \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{cases}$ ; $\vec{V}_0 \begin{cases} V_{0x} = V_0 \cos\alpha \\ V_{0y} = V_0 \sin\alpha \end{cases}$

A $t \neq 0$ $\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$ ; $\vec{V} \begin{cases} V_x = V_0 \cos\alpha \\ V_y = -gt + V_0 \sin\alpha \end{cases}$ ; $\overrightarrow{OG} \begin{cases} x = (V_0 \cos\alpha)t \ (1) \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + (V_0 \sin\alpha)t \ (2) \end{cases}$

- **Nature de la trajectoire** :

➢ **Equation de la trajectoire** :

Dans 1 on a : $t = \frac{x}{V_0 Cos\alpha}$

$t$ dans $2 \rightarrow y = \frac{-g}{2V_0^2 Cos^2\alpha}x^2 + xtag\alpha$ (équation de la trajectoire)

➢ **Nature** : Cette équation est de la forme $y = ax^2 + bx + c$ alors la trajectoire est parabolique.

Avec $\begin{cases} a = \frac{-g}{2V_0^2 Cos^2\alpha} \\ b = \tan\alpha \\ c = 0 \end{cases}$

- **La portée** :
- **Définition** : La portée est la distance séparant le point de tir et le point d'impact. C'est l'abscisse $x_P$ du point P.
- **Expression** :

Au point $P$ on a : $\overrightarrow{OG}_P \begin{cases} x_P = (V_0 \cos\alpha)\, t_P \\ y_P = -\frac{1}{2}gt_P^2 (V_0 \sin\alpha)t_P \end{cases}$



Scanned by CamScanner

$P$ est élément de la trajectoire alors ses coordonnées vérifient cette équation :

$y_P = \frac{-g}{2V_0^2 Cos^2\alpha} x_P{}^2 + x_P tag$

Or $y_P = 0 \rightarrow \frac{-g}{2V_0^2 Cos^2\alpha} x_P{}^2 + x_P tag\alpha = 0 \rightarrow \frac{-gx_P^2}{2V_0^2 Cos^2\alpha} = -x_P \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} \rightarrow \frac{gx_P}{2V_0^2 \cos\alpha} = \sin\alpha$

$\rightarrow x_P = \frac{2V_0^2 \cos\alpha \sin\alpha}{g} \rightarrow x_P = \frac{V_0{}^2 Sin2\alpha}{g}$ Avec $\sin 2\alpha = 2\cos\alpha \sin\alpha$

**N.B** : Cette portée est maximale si et seule ment si $x_{Pmax} = d_{max} = \frac{V_0{}^2}{g} \rightarrow \sin 2\alpha = 1$

$\rightarrow \alpha = \frac{\pi}{4}\ rad\ ou\ \alpha = 45°$

- Parabole de sureté :

* Définition : la parabole de Sureté est la courbe enveloppante contenant toutes les trajectoires d'un projectile lancé avec la même vitesse initiale $V_0$ mais des angles de tirs $\alpha$ différents.

- **La vitesse au point d'impact ou point de chute P** :

$\Delta Ec_{(O,P)} = \sum W_{\vec{F}_{ex(o,P)}} \rightarrow Ec_P - Ec_O = W_{\vec{P}(o,P)}$ Or $W_{\vec{P}(o,P)} = 0$ car $h = 0$

$Ec_P - Ec_O = 0 \rightarrow Ec_P = Ec_O \rightarrow \frac{1}{2}mV_P^2 = \frac{1}{2}mV_O^2 \rightarrow V_P^2 = V_O^2 \rightarrow V_P = V_O$

**Remarque**: On peut également trouver la vitesse en P en utilisant la relation : $V_P = \sqrt{V_{x_P}^2 + V_{y_P}^2}$

- **La vitesse au sommet S** : $V_S = \sqrt{V_{xs}^2 + V_{ys}^2}$

Les coordonnées de la vitesse au sommet sont :

$\vec{V}_S \begin{cases} V_{xs} = V_0 \cos\alpha \\ V_y = 0 \end{cases}$ Alors $V_S = \sqrt{(V_0 \cos\alpha)^2 + 0} \rightarrow V_S = V_O \cos\alpha$

NB : $\alpha_1$ : angle de tir tendu avec $\alpha_1 < \alpha_2$.
$\alpha_2$ : angle de tir en cloche

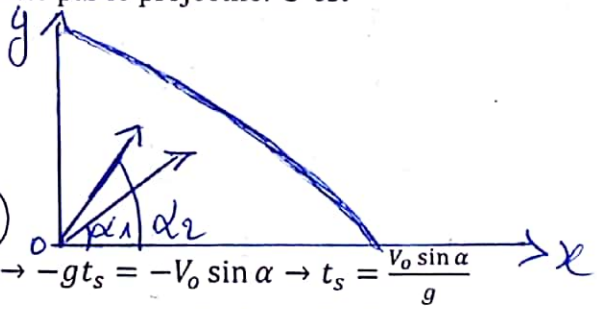
- **La flèche** :

- **Définition** : La flèche est la hauteur maximale atteinte par le projectile. C'est l'ordonnée $y_S$ du point S.

- **Expression** :

**Première méthode**:

Au point S on a : $\overrightarrow{OG_S} \begin{cases} x_S = (V_0 \cos\alpha)\, t_S \ (1) \\ y_S = -\frac{1}{2}gt_S^2 (V_o \sin\alpha) t_S \ (2) \end{cases}$




Or en $S$, $V_{yS} = 0$ Or $V_{yS} = \frac{dy_S}{dt} = -gt_S + V_o \sin\alpha \rightarrow -gt_S = -V_o \sin\alpha \rightarrow t_S = \frac{V_o \sin\alpha}{g}$

$t_S$ dans $2 \rightarrow y_S = -\frac{1}{2}g(\frac{V_o \sin\alpha}{g})^2 + (V_o \sin\alpha)(\frac{V_o \sin\alpha}{g}) \rightarrow y_S = \frac{-V_o^2 sin^2\alpha + 2V_o^2 sin^2\alpha}{2g} \rightarrow$

$y_S = \frac{V_o^2 Sin^2\alpha}{2g}$

* Equat° de la parabole de sureté :

On sait que $y = \frac{-gx^2}{2V_0^2 \cos^2\alpha} + x tg\alpha$

$y = \frac{-gx^2}{2V_0^2} \times \frac{1}{\cos^2\alpha} + x tg\alpha$

Or $\frac{1}{\cos^2\alpha} = 1 + tg^2\alpha$

$y = \frac{-gx^2}{2V_0^2}(1 + tg^2\alpha) + x tg\alpha$

**Deuxième méthode** : On peut utiliser la relation : $V_{yS}^2 - V_{oy}^2 = 2a_y(y_S - y_o)$

$\rightarrow 0 - (V_o \sin\alpha)^2 = -2g(y_S - 0) \rightarrow V_o^2 sin^2\alpha = 2gy_S \rightarrow y_S = \frac{V_o^2 Sin^2\alpha}{2g}$

**N.B** : Cette flèche est maximale si et seulement si $y_{Smax} = h_{max} = \frac{V_0^2}{2g}$

$\rightarrow Sin^2\alpha = 1 \rightarrow \alpha = \frac{\pi}{2} rad\ ou\ \alpha = 90°$

**Remarque** : $\frac{d_{max}}{h_{max}} = \frac{\frac{V_0{}^2}{g}}{\frac{V_0{}^2}{2g}} = \frac{V_0{}^2}{g} \times \frac{2g}{V_o^2} = 2 \rightarrow \frac{d_{max}}{h_{max}} = 2 \rightarrow d_{max} = 2h_{max}$.



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LE PROJECTILE DANS UN CHAMP DE PESANTEUR

**Exercice 1** : Un projectile est lancé vers le haut d'un point $A$ d'altitude $h = 100m$, dans une direction faisant un angle $\alpha = 30°$ avec le sol horizontal, sa vitesse initiale est $V_o = 45m.s^{-1}$. On néglige la résistance de l'air et on prendra $g = 10m.s^{-2}$.

Calculer :

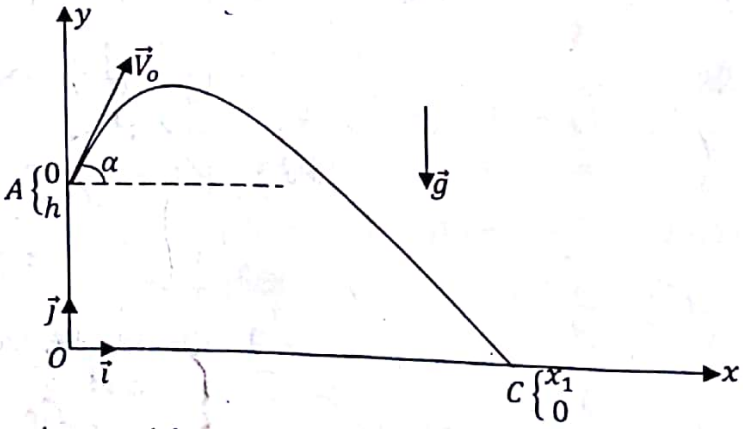
1) La hauteur maximale atteinte par le projectile.
2) La distance horizontale entre le point de chute sur le sol et la projection verticale du point $A$ sur le sol.
3) La durée mise par le projectile pour atteindre le sol.
4) La vitesse à l'arrivée sur le sol.

**Exercice 2** : Une cible est située en un point, qui dans un repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$, a pour coordonnées $x_A = 30m$ et $y_A = 20m$. A partir d'un point $C$ de coordonnées $x_C = 0$ et $y_C = 10m$ un projectile est lancé avec une vitesse $V_C = 50m.s^{-1}$.

1) Montrer que la trajectoire du projectile est plane et en déduire ses équations horaires.
2) Quelle est la nature de la trajectoire du projectile ?
3) Déterminer les angles de tirs qui permettent d'atteindre la cible.

On prendra $g = 10m.s^{-2}$.

**Exercice 3** : Au cours d'un championnat, un athlète remporte l'épreuve du lancement de poids avec un jet de $x_1 = 19{,}43m$. Le poids a une masse de $7{,}35Kg$. La trajectoire part d'un point $A$ situé à une hauteur $h = 1{,}80m$ au dessus du sol. Le vecteur-vitesse $\vec{V}_o$ fait un angle $\alpha$ avec l'horizontale. On assimile le projectile à un solide ponctuel.




a) Etablir l'équation cartésienne de la trajectoire en fonction de $h, V_o, \tan\alpha$ et $g$
b) Déterminer la norme de la vitesse initiale en fonction de $h, \tan\alpha, x_1$ et $g$
Application numérique : $\alpha = 45°$; $g = 9{,}8ms^{-2}$
c) Calculer la hauteur maximale atteinte par le projectile et les coordonnées du vecteur-vitesse au somment de la trajectoire.
d) Déterminer la norme et la direction du vecteur-vitesse du projectile au point $C$

**Exercice 4** : On négligera l'action de l'air et on prendra $g = 10ms^{-2}$

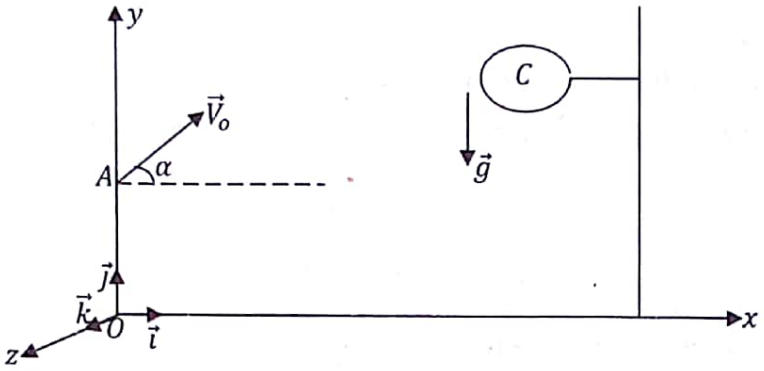
Lors d'un match de basket, pour marquer un panier, il faut que le ballon passe par un cercle métallique situé dans un plan horizontal, à $3{,}05m$ du sol. Pour simplifier, on remplacera le ballon par un point matériel devant passer exactement au centre $C$ du



Scanned by CamScanner

cercle métallique. Le plan $(O,\vec{j},\vec{k})$ est le plan du sol, supposé horizontal. Le plan $(O,\vec{\imath},\vec{j})$ est un plan vertical contenant le point $C$

1) D'un point $A$ de $(O,\vec{j})$ situé à $2m$ du sol, un basketteur, sans adversaire, lance le ballon avec une vitesse $\vec{V}_o$ contenue dans le plan $(O,\vec{\imath},\vec{j})$. La direction du vecteur-vitesse fait un angle de 45° avec le plan horizontal.




a) Montrer que la trajectoire du ballon est plane.

b) Etablir l'équation de cette trajectoire dans le système d'axe indiqué sur la figure en fonction de $V_o$

c) Les verticales de $A$ et de $C$ sont distantes de $7{,}10m$.
Quelle doit être la valeur d $V_o$ pour que le panier soit réussi ?

d) Quelle est la durée du trajet effectué par le ballon du point $A$ au point $C$ ?

2) Voulant arrêter le ballon, un adversaire, situé à $0{,}90m$ du tireur, saute verticalement en levant les bras. La hauteur atteinte alors par ses mains est de $2{,}70m$ par rapport au sol. Les valeurs de $\alpha$ et $V_o$ étant les mêmes que précédemment, le panier sera-t-il marquer ?

**Exercice 5** : Un obus de masse $m = 1{,}6Kg$ est lancé dans le plan vertical d'un repère $(O,\vec{\imath},\vec{j})$ à partir d'un point $O$ avec une vitesse $\vec{V}_o$ faisant avec l'axe $(O,\vec{\imath})$ un angle de mesure $\alpha$ positive. La valeur de la vitesse initiale $V_o$ est fixée dans tout le problème et égale à $200m/s$

On admettra que les conditions réunies autorisent à négliger la résistance de l'air et on prendra $g_o = 9{,}8m.s^{-2}$

1) a) Montrer que le mouvement de l'obus s'effectue dans le plan et en déduire les relations $x = f(t)$ et $y = f(t)$ du centre d'inertie $G$ du projectile.
b) Donner l'équation littérale de la trajectoire de $G$ dans le repère $(O,\vec{\imath},\vec{j})$

2) a) On donne à $\alpha$ la valeur $\alpha_1 = 55°$. Déterminer la position $P$ atteinte par le projectile lorsqu'il arrive sur le sol horizontal.
b) Montrer qu'il existe une deuxième valeur de $\alpha$ notée $\alpha_2$ telle que le projectile arrive également en $P$
c) Pour quelle valeur de $\alpha$, la portée est-elle maximale ?

3) a) Calculer la hauteur maximale atteinte aussi appelée la flèche de tir.
b) Pour quelle de $\alpha$ la flèche du tir est-elle maximale ? Que pensez-vous de cette condition de tir ?

4) a) Calculer la durée du tir.
b) Calculer la vitesse du projectile arrivant en $P$

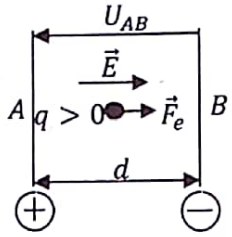


Scanned by CamScanner

# APPLICATION DE LA R.F.D AU MOUVEMENT DES PARTICULES CHARGÉES DANS UN CHAMP ÉLECTRIQUE UNIFORME

1) **Les définitions** :

- **Champ électrique** : On appelle champ électrique $\vec{E}$ toute zone de l'espace où une charge ponctuelle est soumise à une force électrique.
- **Caractéristiques du champ $\vec{E}$ entre 2 plaques parallèles** :




$\vec{E}$ :
- Point d'application : entre les plaques
- Direction : perpendiculaire aux plaques
- Sens : toujours dirigé de + → -
- Intensité : $E = \frac{U_{AB}}{d}$ avec E en V/m ou en N/C

**N.B**: On a : $U_{AB} = V_A - V_B$ et permet souvent de déterminer le signe des plaques.

- **Force électrostatique** : La force électrostatique $\vec{F}_e$ est la force électrique qui s'applique à toute particule chargée située dans un champ électrostatique.

  On a : $\vec{F}_e = q\vec{E}$ en module $F_e = |q|E$

- **Caractéristiques de la force électrostatique $\vec{F}_e$** :

$\vec{F}_e$ :
- Point d'application : à la particule
- Direction : celle de $\vec{E}$
- Sens : dépend de $q$ :
  - Si $q > 0$ alors $\vec{F}_e$ et $\vec{E}$ ont même sens
  - Si $q < 0$ alors $\vec{F}_e$ et $\vec{E}$ sont de sens contraires
- Intensité : $F_e|q|E$ en $N$

- **Attention à certaines particules chargées** :

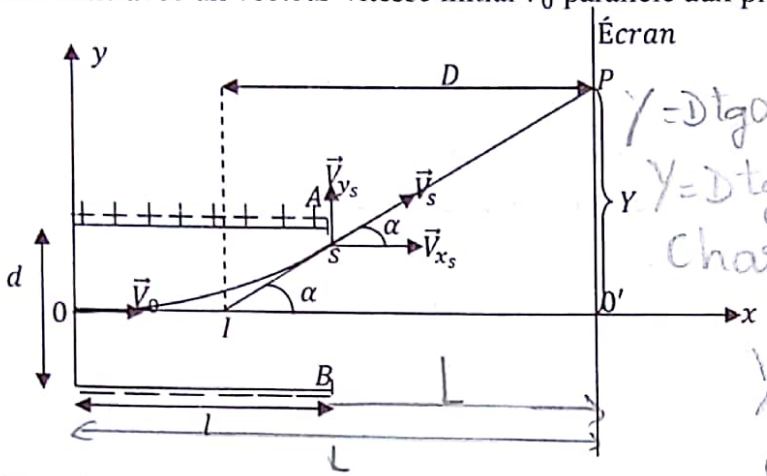
| Particules | Charge | Masse |
|---|---|---|
| Electron ($e^-$) | $q = -e = -1{,}6.10^{-19}C$ | $m_e = 9{,}1.10^{-31}Kg$ |
| Proton (p) | $q = +e = +1{,}6.10^{-19}C$ | $m_p = \mu = 1{,}67.10^{-27}Kg$ |
| $^{35,5}_{17}Cl^-$ | $q = -e$ | $m = 35{,}5\mu$ |
| $^{23}_{11}N_a^+$ | $q = +e$ | $m = 23\mu$ |
| $^{4}_{2}H_e^{2+}$ | $q = +2e$ | $m = 4\mu$ |
| $^{68}_{30}Z_n^{2+}$ | $q = +2e$ | $m = 68\mu$ |



Scanned by CamScanner

2) **Etude du mouvement d'un électron dans un champ électrique uniforme** :

Soit un électron de masse $m$ et de charge $q$ pénétrant dans un champ électrique uniforme avec un vecteur-vitesse initial $\vec{V}_0$ parallèle aux plaques.




- **Equations paramétriques et nature de la trajectoire** :
- **Equations paramétriques ou équations horaires** :

-Système à étudier : l'électron

-Force appliquée : avec $\vec{P}$ négligeable, la force $\vec{F}_e$ est la seule force appliquée

D'après la R.F.D : $\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

$$\sum \vec{F}_{ex} = \vec{F}_e = q\vec{E} \rightarrow m\vec{a} = q\vec{E} \rightarrow \vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m} \text{ en module } a = \frac{qE}{m}$$

On a $q = -e \rightarrow |q| = e$ et $E = \frac{U}{d} \rightarrow a = \frac{eU}{md}$

Dans le repère $(0, \vec{i}, \vec{j})$

A $t = 0$, $\overrightarrow{OM_0}\begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{cases}$ ; $\vec{V}_0\begin{cases} V_{0x} = V_0 \\ V_{0y} = 0 \end{cases}$

A $t \neq 0$ $\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{eU}{md} \end{cases}$ ; $\vec{V}\begin{cases} V_x = V_0 \\ V_y = \frac{eU}{md}t \end{cases}$ ; $\overrightarrow{OM}\begin{cases} x = V_0 t \ (1) \\ y = \frac{eu}{2md}t^2 \ (2) \end{cases}$

- **Nature de la trajectoire** :

➢ **Equation de la trajectoire** :

Dans 1 on a : $t = \frac{x}{V_0}$

$t$ dans 2 $\rightarrow y = \frac{eU}{2mdV_0^2}x^2$ équation de la trajectoire

➢ **Nature** : cette équation est de la forme $y = ax^2 + bx + c$ alors la trajectoire est parabolique.

- **La vitesse à la sortie** : le vecteur-vitesse à la sortie est $\vec{V}_s$ avec :

$\vec{V}_s = \vec{V}_{xs} + \vec{V}_{ys}$ en module $V_s = \sqrt{V_{xs}^2 + V_{ys}^2}$

or: $\vec{V}_s\begin{cases} V_{xs} = \frac{dx_s}{dt} \\ V_{ys} = \frac{dy_s}{dt} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} V_{xs} = V_0 \\ V_{ys} = \frac{eU}{md}t_s \end{cases}$

or $t_s = \frac{x_s}{V_0} = \frac{l}{V_0} \rightarrow \vec{V}_s\begin{cases} V_{xs} = V_0 \\ V_{ys} = \frac{eUl}{mdV_0} \end{cases} \rightarrow V_s = \sqrt{(V_0^2 + (\frac{eUl}{mdV_0})^2)}$ en $ms^{-1}$



Scanned by CamScanner

- **Condition de sortie** : Pourque l'électron sorte sans heurter la plaque de sortie, il faut que : $y_S < \frac{d}{2}$

  Au point $S$, $y_S = \frac{eUx_S^2}{2mdV_0^2} = \frac{eUl^2}{2mdV_0^2}$

  $y_S < \frac{d}{2} \rightarrow \frac{eUl^2}{2mdV_0^2} < \frac{d}{2} \rightarrow U < \frac{md^2V_0^2}{el^2}$ ( condition sur la tension à la sortie)

- **La déviation électrostatique** :
- **Définition** : La déviation électrostatique est l'angle α entre la direction de la vitesse d'entrée et celle de sortie du champ. On l'appelle déviat° angulaire
- **Expression** :

✓ on a : $\tan\alpha = \frac{V_{ys}}{V_{xs}} = \frac{\frac{eUl}{mdV_o}}{V_o} = \frac{eUl}{mdV_0^2} \rightarrow \alpha = \tan^{-1}(\frac{eUl}{mdV_o^2})$

✓ Ou $\tan\alpha = \frac{dy_s}{dx_s}$ or $y_S = \frac{eU}{2mdV_0^2}x_S^2 \rightarrow \tan\alpha = \frac{eUx_S}{mdV_0^2} = \frac{eUl}{mdV_0^2} \rightarrow \alpha = \tan^{-1}(\frac{eUl}{mdV_o^2})$

- **La déflexion électrostatique** :
- **Définition** : La déflexion électrostatique est le déplacement $(O'P)$ du spot sur l'écran.

  **N.B** : On appelle spot un point lumineux.
- **Expression** : Dans le triangle $(P\hat{I}O')$ on a :

  On a : $\tan\alpha = \frac{O'P}{O'I} = \frac{Y}{D} \rightarrow Y = D\tan\alpha \rightarrow Y = \frac{eUlD}{mdV_o^2}$ en $m$

  **Remarque** : $\frac{elD}{mdV_o^2} = K = C^{te} \rightarrow Y = KU$ d'où la déflexion électrostatique est proportionnelle à la tension qui la provoque.

3) **Application de la déflexion électrostatique : Oscilloscope** :

- **Définition** : Un oscilloscope est un appareil qui permet de mesurer la tension électrique.
- **Description** : L'oscilloscope comprend trois (3) parties essentielles : le canon à électrons, les plaques de déviation et l'écran fluorescent.
- **Le canon à électrons** : qui produit un faisceau homocinétique d'électron.
- **Les plaques de déviation** : les plaques $P_1$ et $P_2$ horizontales pour la déviation verticale et $P_1'$ et $P_2'$ verticales pour la déviation horizontale.
- **L'écran fluorescent** : sur lequel l'impact des électrons produit un spot lumineux en un point P.

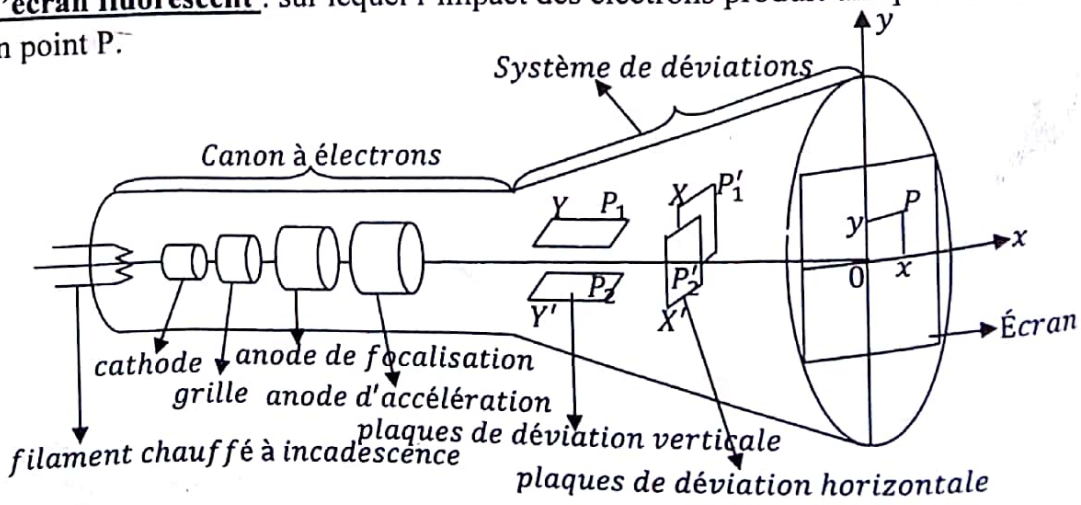



**Schéma de l'oscilloscope**



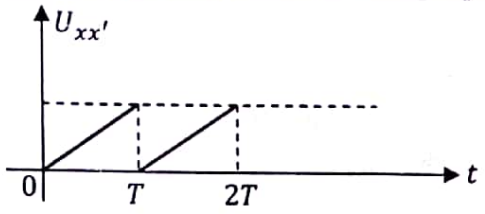
Scanned by CamScanner

- **Fonctionnement** : Le principe de fonctionnement de l'oscilloscope est basé sur la déflexion électrostatique :
  - Lorsque la tension à mesurer est appliquée aux bornes de $P_1$ et $P_2$ des plaques horizontales, cela entraine une déflexion $y$ proportionnelle à cette tension.

    $y = KU_{yy'} \rightarrow U_{yy'} = \frac{1}{K}y$

    Posons $k = \frac{1}{K} \rightarrow U_{yy'} = ky$ avec $k$ : la sensibilité verticale

    La lecture de $y$ sur l'écran permet de déterminer la valeur de la tension appliquée aux bornes des plaques horizontales.
  - Un système approprié permet d'appliquer autrement aux bornes de $P_1'$ et $P_2'$ des plaques verticales une tension périodique en dent de scie appelée tension de balayage. Cela entraine sur l'écran un déplacement horizontal proportionnel à cette tension.




    Sur une période $T$, $U_{xx'}$ est une droite alors $U_{xx'} = aT$ par conséquent $x$ dépend du temps et $T$ est appelée base des temps.
  - Lorsque les plaques horizontales et verticales sont en même temps sous tension, on peut observer sur l'écran les variations de la tension à mesurer en fonction du temps. /.

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

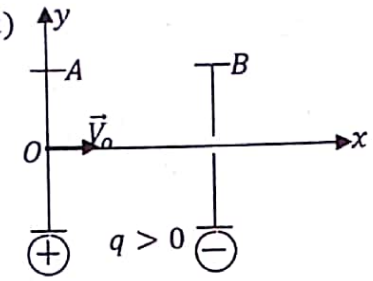


Scanned by CamScanner

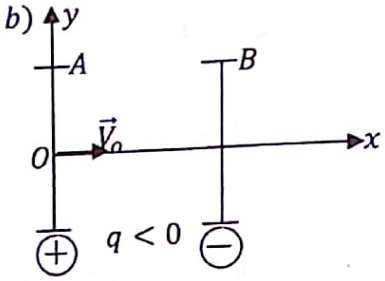
# EXERCICES SUR LES PARTICULES CHARGÉE DANS UN CHAMP ÉLECTRIQUE UNIFORME

**Exercice 1** : Dans chacun des cas suivant établir les relations $x = f(t)$ et $y = f(t)$ et en déduire la nature de la trajectoire de la particule de charge $q$ animée de la vitesse $\vec{V}_o$

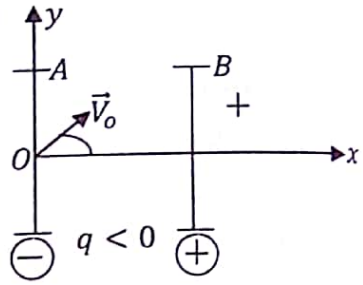
a)



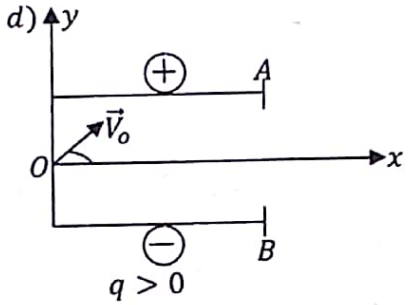

b)



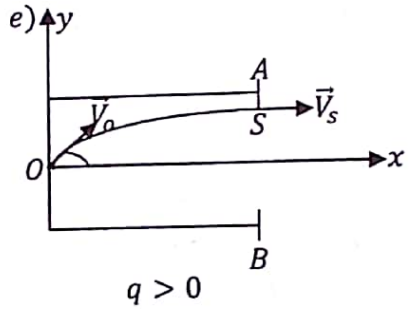

c)



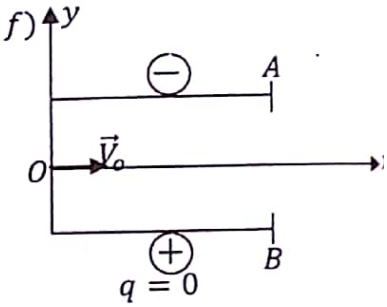

d)



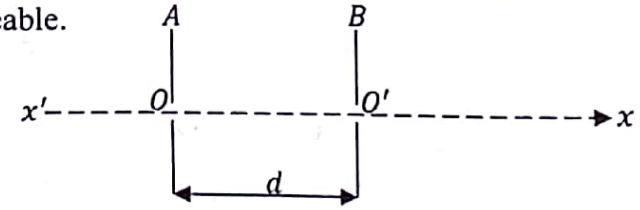

e)




f)



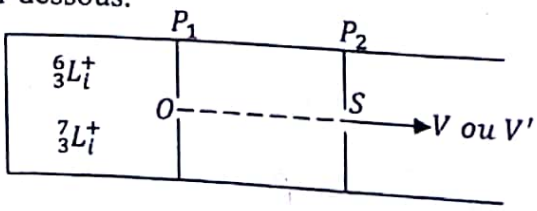

**Exercice 2** : Un proton $H^+$ est animé d'une vitesse $V_o = 1500 Km.s^{-1}$. Il pénètre entre deux électrodes $A$ et $B$ sous tension et distantes de $d = 10Cm$ parallèlement aux lignes de champ électrostatique. Il décrit un mouvement rectiligne accéléré suivant $OO'$. On admettra que le champ est uniforme entre les plaques et que le poids du proton est négligeable.




1) Le proton arrive en $O'$ avec une vitesse de $2000 Km.s^{-1}$. Calculer la tension $U_{AB} = V_A - V_B$ après l'avoir représentée sur la figure.
2) Trouver l'équation horaire du mouvement
3) Quelle doit être la durée du trajet $OO'$

Données : $m_P = 1{,}66.10^{-27} Kg$; $e = 1{,}6.10^{-19} C$

**Exercice 3** : Des ions lithiums $^6_3Li^+$ et $^7_3Li^+$ de masses différentes $m$ et $m'$ sont produits dans une chambre d'ionisation. Ils pénètrent en $O$ dans un champ électrique uniforme avec une vitesse quasiment nulle et sont accélérés entre les points $O$ et $S$ comme l'indique la figure ci-dessous.





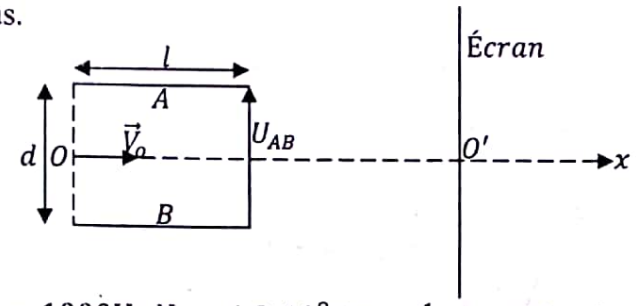

Scanned by CamScanner

1) Déterminer la direction et le sens du champ électrique $\vec{E}$ et en déduire le signe de la tension $U = U_{P_1P_2}$ que l'on établit entre $P_1$ et $P_2$.

2) Comparer les énergies cinétiques des deux isotopes en $S$ et établir la relation $\frac{V}{V'} = \sqrt{\frac{m'}{m}}$

3) Application numérique : $|U| = 10^4 V; e = 1{,}6.10^{-19} C;\ \mu = 1{,}67.10^{-27} Kg$
Calculer en $S$ les énergies cinétiques des ions en joule $(J)$ ensuite en électro-volt $(eV)$ ainsi que leur vitesse respective.

**Exercice 4** : Un faisceau homocinétique d'électrons pénètre en $O$ avec une vitesse horizontale $\vec{V}_o$ entre les armatures $A$ et $B$ d'un condensateur plan comme l'indique la figure ci-dessous.



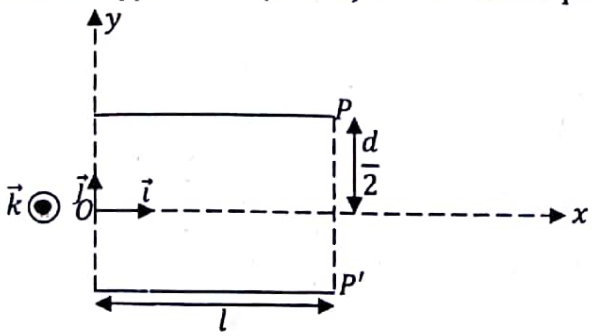

On donne : $U_{AB} = 1000V;\ V_0 = 1{,}8.10^9 Cm.s^{-1}; d = 2Cm; l = 10Cm; L = 50Cm$

1) a) Déterminer le signe des plaques $A$ et $B$.
   b) Représenter en la justifiant les vecteurs : champ, force et accélérateur.
2) a) Montrer que la trajectoire de l'électron est plane à l'intérieur du champ.
   b) En déduire les équations horaires et cartésienne de la trajectoire.
3) Le faisceau d'électron sort du champ en un point $S$.
   a) Représenter $S$ sur la figure et donner ses coordonnées dans le repère $(xOy)$
   b) Calculer la durée du mouvement d'un électron à l'intérieur du champ.
   c) Calculer la vitesse d'un électron en $S$ et en déduire sa déviation angulaire.
4) On place à la distance $L$ des plaques un écran $E$ sur lequel les électrons arrivent en un point $P$.
   a) Décrire le mouvement d'un électron entre $S$ et $P$ après avoir représenté $P$.
   b) Calculer la vitesse d'un électron en $P$ et sa déviation verticale sur l'écran.

**Exercice 5** : Un dispositif de déflexion électrique est constitué par les deux plaques $P$ et $P'$ d'un condensateur. Elles ont une longueur $l$ et sont distantes de $d$ (schéma ci-dessous).

En $O$ pénètre un faisceau homocinétique d'électrons de charge $q$ et de masse $m$ ; leur vitesse en $O$ est $\vec{V}_o = V_o\vec{\imath}$

On applique une tension $U_{PP'} = -U\ (U > 0)$ entre les deux plaques.

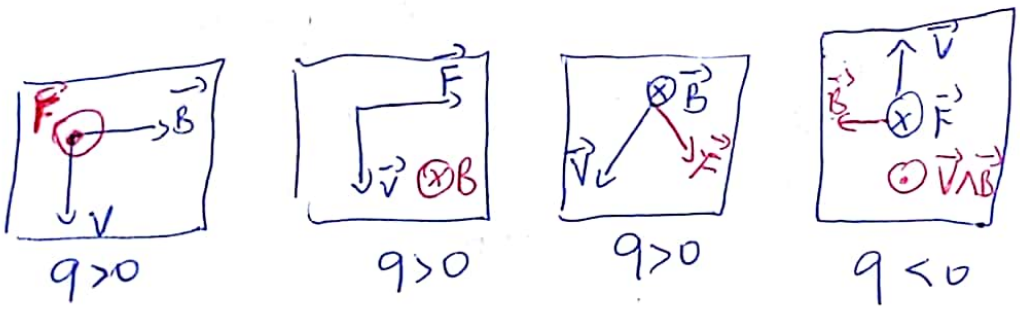





Scanned by CamScanner

1) a) Représenter le champ électrique entre les deux plaques.
   b) Exprimer $E$ de ce champ. Donner les coordonnées de $\vec{E}$ dans le repère indiqué sur la figure.
2) Ecrire la relation entre le vecteur-accélération $\vec{a}$ et le vecteur champ électrique $\overrightarrow{E}$.
3) Donner les coordonnées des vecteurs suivants à la date $t$ : accélération $\vec{a}$ ; vitesse $\vec{V}$ et position $\overrightarrow{OM}$
4) Déterminer l'équation cartésienne de la trajectoire.
5) Les électrons du faisceau sortent de la région située entre les plaques du condensateur en un point $S$

a) Déterminer les coordonnées de ce point $S$.
b) Vérifier que la déviation $y_s$ est proportionnelle à $U$.
c) Déterminer les coordonnées du vecteur-vitesse $\vec{V}_s$ en $S$ ainsi que sa valeur et l'angle $\alpha$ que fait ce vecteur par rapport à l'axe $(Ox)$.
d) Calculer la durée de passage à l'intérieur du dispositif.
Données : $U = 400V$; $V_o = 10^7 ms^{-1}$ et $d = l = 4Cm$






Scanned by CamScanner

# APPLICATION DE LA R.F.D AU MOUVEMENT DES PARTICULES CHARGÉES DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE UNIFORME

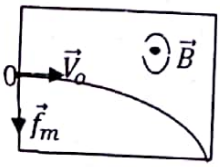
## 1) Force de Lorentz

- **Définition** : La force de Lorentz est la force magnétiue qui s'applique toute particule chargée en mouvement dans un champ magnétique uiforme.

  On a : $\vec{f}_m = q\vec{V} \wedge \vec{B}$ en module $f_m = |q|VB\sin(\vec{V},\vec{B})$

- **Les caractéristiques de la force de Lorentz** :

  $\vec{f}_m$ { Point d'application : à la particule
  Direction : perpendiculaire au plan formé par $\vec{V}$ et $\vec{B}$
  Sens : donné par la règle de la paume de la main droite $(q>0)$
  Intensité : $f_m = |q|VB\sin(\vec{V},\vec{B})$ en N




  Si $(\vec{V},\vec{B}) = 90° = \frac{\pi}{2} rad \rightarrow \sin\alpha = 1 \rightarrow f_m = |q|VB$

  Si $(\vec{V},\vec{B}) = 0° \; ou \; \pi \; rad \rightarrow \sin\alpha = 0 \rightarrow f_m = 0$ (alors la particule est au repos ou en mouvement rectiligne uniforme).

- **Règle de la paume de la main droite** : On peut déterminer le sens de $\vec{f}_m$ en appliquant la règle de la paume de la main droite. Dans ce cas :
  - Le bout des doigts → $\vec{V}$ si $q > 0$ et $-\vec{V}$ si $q < 0$
  - La main : ouverte si $\vec{B}$ est sortant et fermée si $\vec{B}$ est rentrant
  - Le pouce → $\vec{f}_m$

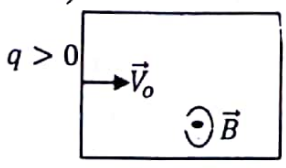
- **Règle des 3doigts de la main droite** : Elle permet de déteminer le sens de $\vec{V} \wedge \vec{B}$ par conséquent le sens de $\vec{f}_m$
  - Pouce → $\vec{V}$
  - Index → $\vec{B}$ on a : $\otimes \vec{B}$ (rentrant) et $\odot \vec{B}$ (sortant)
  - Majeur → $\vec{V} \wedge \vec{B}$

  Si $q > 0$ $\vec{f}_m$ et $\vec{V} \wedge \vec{B}$ ont même direction et même sens

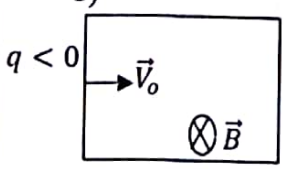
  Si $q < 0$ $\vec{f}_m$ et $\vec{V} \wedge \vec{B}$ ont même direction mais de sens contraires

**Exercice d'application** : Dans chacun des cas suivants déteminer le sens de $\vec{f}_m$ ou le signe de la particule ou le sens de $\vec{B}$ et tracer l'allure de la tajectoire.

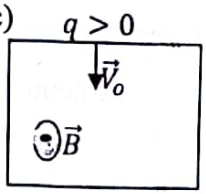
a)



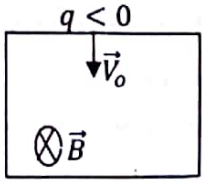

b)



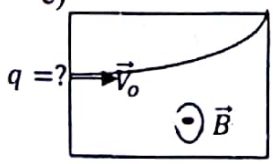

c)



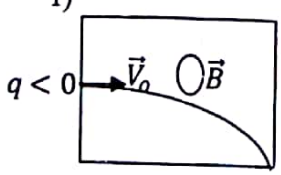

d)



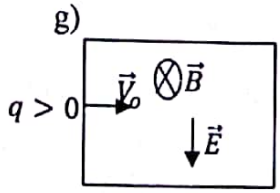

e)




f)



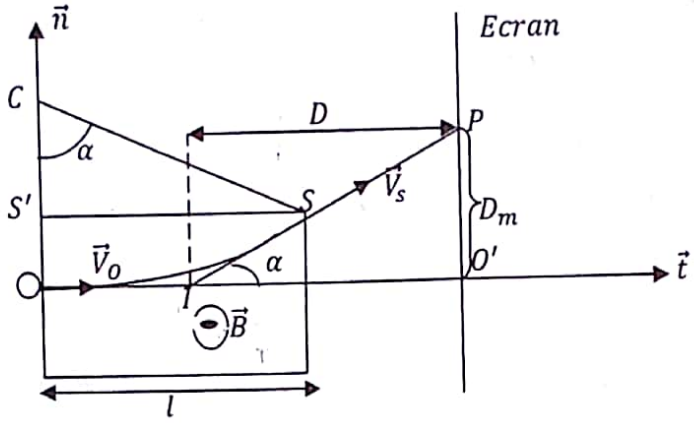

g)






Scanned by CamScanner

2) **Etude du mouvement d'un électron dans un champ magnétique uniforme** : Soit un électron de masse $m$ et de charge $q$ pénétrant dans un champ magnétique uniforme, à partir d'un point O, avec un vecteur-vitesse $\vec{V}_o$ perpendiculaire à $\vec{B}$.




- **Nature du mouvement et rayon de la trajectoire** :
- **Nature du mouvement** :

Système à étudier : l'électron

Force appliquée : avec le poids $\vec{P}$ négligeable, la force $\vec{f}_m$ est la seule force appliquée

D'après la R.F.D on : $\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

$$\sum \vec{F}_{ex} = \vec{f}_m$$

$\rightarrow m\vec{a} = \vec{f}_m \rightarrow m\vec{a} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$ en module $ma = |q|vB \sin\alpha \rightarrow a = \frac{|q|vB\sin(\vec{V},\vec{B})}{m}$

$\begin{cases} q = -e \rightarrow |q| = e \\ \sin(\vec{V},\vec{B}) = 1 \end{cases}$ Alors $a = \frac{eV_oB}{m}$

Dans le repère de Frenet

On a: $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t$

$$\vec{a} \perp \vec{V}_o \rightarrow \vec{a} \begin{cases} a_t = 0 \ (1) \\ a_n = \frac{{V_o}^2}{R} \ (2) \end{cases}$$

(1)$\rightarrow$ $a_t = 0 \rightarrow \frac{dV}{dt} = 0 \rightarrow V = cste$ alors le mouvement est uniforme

(2)$\rightarrow$ $a_n = \frac{{V_o}^2}{R}$ alors la trajectoire est un cercle

(1) et (2) impliquent que le mouvement de l'électron est circulaire uniforme

- **Expression du rayon** : Avec $a_t = 0$ alors $a_n = a \rightarrow \frac{{V_o}^2}{R} = \frac{eV_oB}{m} \rightarrow R = \frac{mV_o}{eB}$

Pour $V_o = cte$ : lorsque $B$ augmente, R diminue et lorsque $B$ diminue, R augmente

Pour $B = cste$ : lorsque $V_o$ augmente, R augmente et lorsque $V_o$ diminue, R diminue.

- **La durée du mouvement dans la zone magnétique** : Elle correspond à un quart de la période : $t = \frac{T}{4}$ or $T = \frac{2\pi R}{V_o} = \frac{2\pi}{V_o} \times \frac{mV_o}{eB} \rightarrow T = \frac{2\pi m}{eB}$ alors $t \frac{\frac{2\pi m}{eB}}{4} \rightarrow t = \frac{\pi m}{2eB}$ en s
- **La vitesse à la sortie du champ** : Soit $V_s$ la vitesse à la sortie.

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre O et S

On a : $\Delta E_{C_{(o,s)}} = \sum W_{F_{ex(o,s)}} \rightarrow EC_s - EC_o = W_{f_m}$



Scanned by CamScanner

Or $W_{fm} = 0 \rightarrow EC_s = EC_o \rightarrow \frac{1}{2}mV_s^2 = \frac{1}{2}mV_o^2 \rightarrow V_s = V_o$

- **La déviation magnétique** :
- **Définition** : La déviation magnétique est l'angle $\alpha$ entre la direction de la vitesse d'entrée dans le champ et la direction de la vitesse de sortie dans le champ.
- **Expression** : Dans le triangle (SCS') on a : $\sin\alpha = \frac{SS'}{CS} \rightarrow \sin\alpha = \frac{l}{R}$

  Or $R = \frac{mV_o}{eB} \rightarrow \sin\alpha = \frac{leB}{mV_o} \rightarrow \alpha = \sin^{-1}(\frac{leB}{mV_o})$

  Si $l << R \rightarrow \alpha$ est faible donc $\sin\alpha \approx \alpha \rightarrow \alpha = \frac{elB}{mV_o}$ en rad

- **La déflexion magnétique** :
- **Définition** : La déflexion magnétique est le déplacement O'P du spot sur l'écran.
- **Expression** : Dans le triangle (PIO') on a : $\tan\alpha = \frac{O'P}{IO'} = \frac{D_m}{D} \rightarrow D_m = D\tan\alpha$

  Si $\alpha$ est faible alors $\tan\alpha = \sin\alpha = \alpha = \frac{elB}{mV_o}$ d'où $D_m = \frac{elBD}{mV_o}$

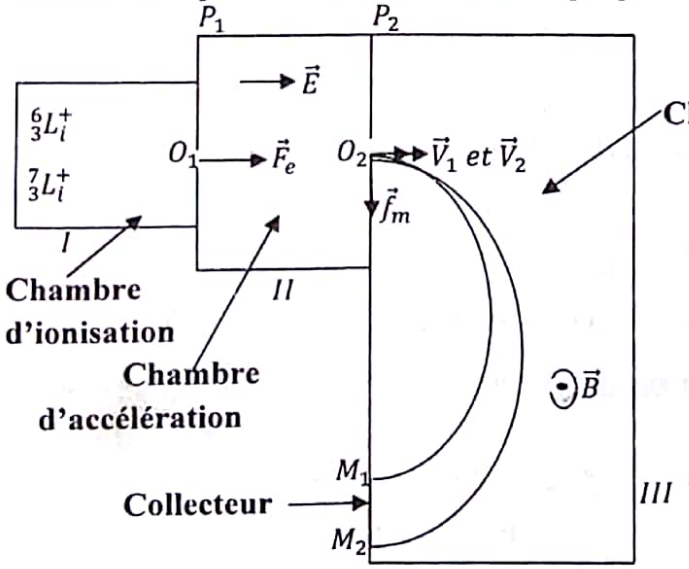
  **N.B** : D'une manière générale la déflexion est $D_m = \frac{qlBD}{mV_o} = \frac{|q|}{m} \times \frac{lBD}{V_o}$ d'où la déflexion est proportionnelle à la charge massique $(\frac{q}{m})$

3) **Les applications de la déflexion magnétique** :

- **Le spectrographe ou spectromètre de masse** :
- **Définition** : Le spectrographe de masse est un appareil qui permet de séparer les ions isotopes.

  On appelle atomes isotopes, les atomes ayant le même numéro atomique mais des nombres de masse différents.

  **Exemple** : Les atomes de carbones $({}^{12}_{6}C, {}^{13}_{6}C)$ sont des atomes isotopes.
- **Description et fonctionnement** : Le spectrographe de masse comprend quatre (4) parties essentielles: une chambre d'ionisation, une chambre d'accélération, une chambre de séparation et un collecteur ou plaque sensible.




- **Une chambre d'ionisation** : Où les atomes isotopes sont transformés en ions
- **Une chambre d'accélération** : Où les ions isotopes, pénétrant avec une vitesse quasi nulle, sont soumis à l'action d'une tension accélératrice $U$.



Scanned by CamScanner

➢ **Signe de $U_{P_1P_2}$** :

**1er cas** : Lorsque les ions sont positifs alors la plaque $P_2$ est chargée négativement donc on aura : $V_{P_1} > V_{P_2} \rightarrow V_{P_1} - V_{P_2} > 0 \rightarrow U_{P_1P_2} > 0$

**2e cas** : Lorsque les ions sont négatifs alors la plaque $P_2$ est chargée positivement donc on aura : $V_{P_1} < V_{P_2} \rightarrow V_{P_1} - V_{P_2} < 0 \rightarrow U_{P_1P_2} < 0$

➢ **Montrons que les ions ont la même énergie cinétique en $O_2$ mais des vitesses différentes** : Les ions accélérés arrivent en $O_2$ avec les vitesses $V_i$

✓ **Energie cinétique des ions** : Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre $O_1$ et $O_2$ :

On a : $\Delta E_{C(O_1,O_2)} = \sum W_{F_{ex}(O_1,O_2)} \rightarrow EC_{O_2} - EC_{O_1} = W_{F_e}$

Or $EC_{O_1} = 0$ car $V_{O_1} = 0 \rightarrow EC_i = |q|U$

$\begin{cases} Pour\ {}^{6}_{3}L_i^+ \rightarrow |q| = e \rightarrow EC_1 = eU \\ Pour\ {}^{7}_{3}L_i^+ \rightarrow |q| = e \rightarrow EC_2 = eU \end{cases} \rightarrow EC_1 = EC_2 = eU$ Alors les ions possèdent la même énergie cinétique en $O_2$

✓ **La vitesse des ions** : On a : $\frac{1}{2}m_i{V_i}^2 = qU \rightarrow V_i = \sqrt{\frac{2qU}{m_i}}$

$\begin{cases} EC_1 = |q|U \rightarrow \frac{1}{2}m_1{V_1}^2 = |q|U \rightarrow V_1 = \sqrt{\frac{2|q|U}{m_1}} \\ EC_2 = |q|U \rightarrow \frac{1}{2}m_2{V_2}^2 = |q|U \rightarrow V_2 = \sqrt{\frac{2|q|U}{m_2}} \end{cases}$

**N.B** : La vitesse varie en fonction de la masse de l'ion donc $V_1 > V_2$

✓ **Calculons le rapport des vitesses** : $\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{2|q|U}{m_2} \times \frac{m_1}{2|q|U}} \rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}}$

Or $m_1 = A_1\mu$ et $m_2 = A_2\mu$ alors $\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}}$

– **Chambre de séparation** : Où les ions accélérés sont soumis à l'action d'un champ magnétique. Leur mouvement devient alors circulaire uniforme de rayon $R_i$.

Avec $R_i = \frac{m_iV_i}{|q|B}$

$\begin{cases} Pour\ {}^{6}_{3}L_i^+ \rightarrow R_1 = \frac{m_1V_1}{|q|B} \rightarrow R_1 = \frac{m_1}{|q|B}\sqrt{\frac{2|q|U}{m_1}} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2|q|Um_1^2}{m_1|q|^2}} \rightarrow R_1 = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m_1U}{|q|}} \\ Pour\ {}^{7}_{3}L_i^+ \rightarrow R_2 = \frac{m_2V_2}{|q|B} \rightarrow R_2 = \frac{m_2}{|q|B}\sqrt{\frac{2|q|U}{m_2}} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2|q|Um_2^2}{m_2|q|^2}} \rightarrow R_2 = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m_2U}{|q|}} \end{cases}$

**N.B** : Le rayon varie en fonction de ma masse de l'ion donc $R_2 > R_1$

✓ **Calculons le rapport des rayons** : $\frac{R_2}{R_1} = \sqrt{\frac{2m_2U}{q} \times \frac{q}{m_1U}} \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$

Or $m_1 = A_1\mu$ et $m_2 = A_2\mu$ alors $\frac{R_2}{R_1} = \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$

✓ **Durée du mouvement dans la chambre de séparation** : Elle correspond à la demi-période : $t = \frac{T}{2}$ or $T = \frac{2\pi R_l}{V_l} = \frac{2\pi}{V_l} \times \frac{m_lV_l}{|q|B} \rightarrow T = \frac{2\pi m_l}{|q|B}$ alors $t \frac{\frac{2\pi m_l}{|q|B}}{2} \rightarrow t = \frac{\pi m_l}{|q|B}$

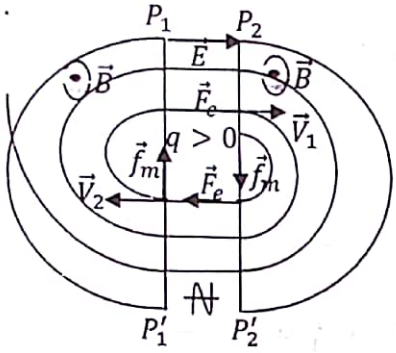


Scanned by CamScanner

- **Le collecteur ou plaque sensible** : Où les ions séparés laissent des traces en des points $M_1$ et $M_2$ tel que : $d = M_1M_2$

  Donc : $d = OM_2 - OM_1 = 2R_2 - 2R_1 = 2(R_2 - R_1) \rightarrow d = \frac{2}{B}\left(\sqrt{\frac{2m_2U}{|q|}} - \sqrt{\frac{2m_1U}{|q|}}\right)$

- **Le cyclotron** :
- **Définition** : Le cyclotron est un appareil constitué de deux (2) demi-cylindres creux en forme de D appelés dees.
- **Description et fonctionnement** : A l'intérieur de chaque dees règne un champ magnétique uniforme. Les dees sont séparés par un espace étroit.
  Aux bornes $P_1$ et $P_2$ de cet espace, on applique une tension alternative sinusoidale $U$ de fréquence $N$.




- **Nature du mouvement du proton dans $D_1$** :

  Système à étudier : le proton

  Force appliquée : avec le poids $\vec{P}$ négligeable, la force $\vec{f}_m$ est la seule force appliquée

  D'après la R.F.D on : $\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

  $$\sum \vec{F}_{ex} = \vec{f}_m$$

  $\rightarrow m\vec{a} = \vec{f}_m \rightarrow m\vec{a} = q\vec{V} \wedge \vec{B}$ en module $ma = |q|vB\sin\alpha \rightarrow a = \frac{|q|VB\sin(\vec{V},\vec{B})}{m}$

  $\begin{cases} q = -e \rightarrow |q| = e \\ \sin(\vec{V},\vec{B}) = 1 \end{cases}$ Alors $a = \frac{eVB}{m}$

  Dans le repère de Frenet : On a: $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t$

  Or $\vec{a} \perp \vec{V}$ alors $\vec{a} \begin{cases} a_t = 0 \ (1) \\ a_n = \frac{V^2}{R} \ (2) \end{cases}$

  (1)$\rightarrow$ $a_t = 0 \rightarrow \frac{dV}{dt} = 0 \rightarrow V = cste$ alors le mouvement est uniforme

  (2)$\rightarrow$ $a_n = \frac{V^2}{R}$ alors la trajectoire est un cercle

  (1) et (2) impliquent que le mouvement du proton est circulaire uniforme à l'intérieur des dees de rayon : $R = \frac{mV}{eB}$

- **Durée du mouvement à l'intérieur de $D_1$** : A l'intérieur d'un dee la particule effectue une demi-période alors $t = \frac{T}{2}$ or $T = \frac{2\pi R}{V} = \frac{2\pi}{V} \times \frac{mV}{eB} \rightarrow T = \frac{2\pi m}{eB}$ d'où $t = \frac{\pi m}{eB}$ en s
- **La fréquence de la tension U**: La fréquence étant l'inverse de la période alors :

  $N = \frac{1}{T} \rightarrow N = \frac{eB}{\pi m}$ en $H_z$ | $f = \frac{1}{T} \Rightarrow f = \frac{1}{\frac{2\pi m}{eB}} \Rightarrow f = \frac{eB}{2\pi m}$



Scanned by CamScanner

Le proton est ensuite accéléré par le champ électrique dans l'espace étroit. Il rentre dans $D_2$ et décrit une trajectoire circulaire de rayon $R'$ plus grand et ainsi de suite.

- **Le nombre de tour avant la sortie** :

La variation de l'énergie cinétique pendant un tour est : $\Delta E_C = 2qU$ (la particule est accélérée 2 fois pendant 1 tour).

Pendant n tours on aura : $\Delta E_{Cmaxi} = 2nqU \rightarrow n = \frac{\Delta E_{Cmaxi}}{2qU}$

Or $\Delta E_{Cmaxi} = E_{C_{maxi}} - E_{C_o} = \frac{1}{2}mV_{max}^2 - \frac{1}{2}mV_o^2$

La vitesse $V_o$ négligéable devant $V_{max} \rightarrow \Delta E_{Cmaxi} = \frac{1}{2}mV_{max}^2$

On sait que $R_{max} = R_D = \frac{mV_{max}}{qB} \leftrightarrow qBR_D = mV_{max} \rightarrow V_{max} = \frac{qBR_D}{m}$

Alors $\Delta E_{Cmaxi} = \frac{1}{2}m * \frac{q^2B^2R_D^2}{m^2} = \frac{q^2B^2R_D^2}{2m} \rightarrow n = \frac{qB^2R_D^2}{4mU}$ avec $R_D$ le rayon du Dee. /.

• si $fm > Fe$ alors la trajectoire est paraboliq dans le sens de $\vec{fm}$, dans ce cas $V_o > \frac{E}{B}$

si $fm = Fe$ alors le mvt est rectiligne uniforme Dans ce cas $V_o = \frac{E}{B}$

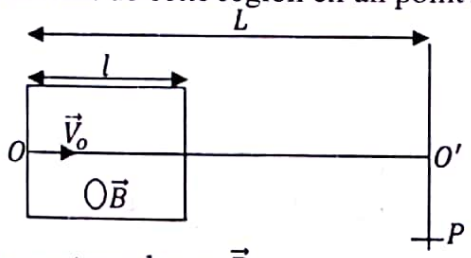
si $fm < Fe$ alors la trajectoire est paraboliq dans le sens de $\vec{Fe}$. Dans ce cas $V_o < \frac{E}{B}$.



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LES PARTICULES CHARGÉES DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE UNIFORME

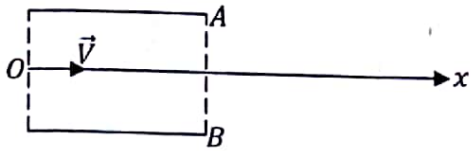
**Exercice 1** : Un faisceau homocinétique d'électrons de vecteur-vitesse $\vec{V}_o$ pénètre en un point $O$ dans une région où règne un champ magnétique uniforme de vecteur $\vec{B}$. Dans cette région, de largeur $l$, leur trajectoire est circulaire de centre $C$ et de rayon $R = \frac{mV_o}{eB}$. Les électrons sortent de cette région en un point $S$.




1) Préciser l'orientation du vecteur champ $\vec{B}$.
2) On considère l'angle $\alpha = (\overrightarrow{CS}, \overrightarrow{CO})$. Montrer que $\sin\alpha = \frac{l}{R}$
3) Quelle est la nature du mouvement des électrons une fois sortis du champ ?
4) Les électrons heurtent, en un point $P$ un écran situé à la distance $L = OO'$ du point $O$. En supposant $L$ nettement supérieur à $l$, donner une valeur approchée de $\tan\alpha$ en fonction de la déviation $D = O'P$et de $L$.
5) On suppose que l'angle $\alpha$ est petit. Exprimer alors la déviation $D$ en fonction du rapport $\frac{e}{m}$ et de la vitesse $V_o$, $B, l$ et $L$

**Exercice 2** : Des particules chargées négativement pénètrent avec diverses vitesses colinéaires, horizontales, entre les armatures $A$ et $B$, horizontales, distantes de $d$, sont soumises à une tension électrique $U_{AB} > 0$. On appelle $\vec{E}$ le vecteur champ électrique entre les deux armatures.

Dans la zone où règne le champ électrique $\vec{E}$, on produit également un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme, orthogonal à $\vec{E}$ et à l'axe $Ox$ (voir figure). Le poids des particules est négligeable. On donne $d = 0{,}5Cm; B = 0{,}1T; U = 50V$.




1) a) Déterminer les caractéristiques du champ électrique $\vec{E}$.
   b) Représenter sur une figure le sens du champ magnétique $\vec{B}$ si l'on veut que les particules ne subissent aucune déviation entre les armatures.
2) Quelle doit être la vitesse des particules pour que, soumises simultanément aux champs $\vec{E}$ et $\vec{B}$, elles ne subissent aucune déviation entre les armatures ?
3) Décrire comment sont déviées les particules plus lentes et les particules plus rapides.

**Exercice 3** : Un spectrographe de masse est composé de 3 enceintes notées (I), (II) et (III) sur la figure ci-dessous.

1) Des ions potassiums $K^+$ pénètrent sans vitesse initiale dans l'enceinte (I) par l'ouverture $O_1$ et sont ensuite accélérés par une tension $U_{AB} = U$ appliquée entre les



Scanned by CamScanner

plaques $A$ et $B$. Etablir l'expression de la vitesse $V$ des ions à leur sortie en $O_2$, en fonction de leur charge $q$, de leur masse $m$ et de la tension $U$.

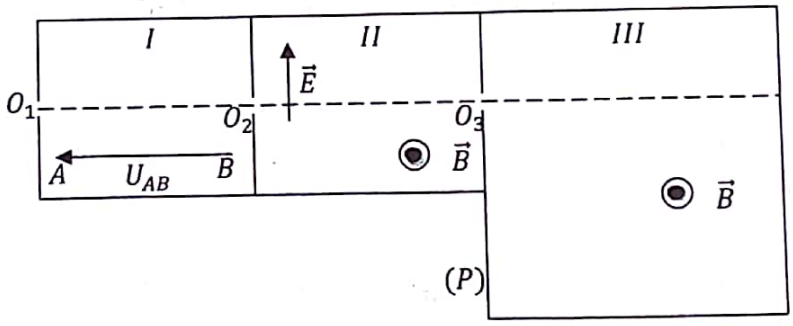
2) Ces ions pénètrent par l'ouverture $O_2$ dans l'enceinte (II) où règnent simultanément un champ électrique $\vec{E}$ et un champ magnétique $\vec{B}$ dont les directions et sens sont indiqués sur le schéma.

a) Déterminer les caractéristiques (direction, sens et module) des forces électrique $\vec{F}_e$ et magnétique $\vec{f}_m$ agissant sur un ion $K^+$ à son entrée en $O_2$.

b) En déduire que seuls les ions dont la vitesse est telle que $V = \frac{E}{B}$ pourront sortir par l'ouverture $O_3$.

c) Les valeurs de $E$ et $B$ sont fixées : $E = 5.10^4 V.m^{-1}$ et $B = 0{,}5T$. Quelle valeur doit-on donner à la tension accélératrice $U$ pour sélectionner les ions de l'isotope $^{39}_{19}K^+$
On donne : $e = 1{,}6.10^{-19}C$ (charge élémentaire) et $m_P = \mu = 1{,}67.10^{-27}Kg$ (masse d'un nucléon)

3) Les ions ainsi sélectionnés pénètrent dans l'enceinte (III) par l'ouverture $O_3$ et ne sont plus soumis qu'au seul champ magnétique $\vec{B}$ (champ précédent).
On observe sur la plaque sensible $(P)$ une trace $T$ due à l'impact des ions.
Interpréter la position de cette trace et calculer la distance $O_3T$ (expression littérale puis valeur numérique).





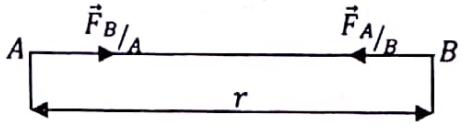

Scanned by CamScanner

# APPLICATION DE LA R.F.D AU MOUVEMENT DES SATELLITES

## 1) Expression du champ gravitationnel terrestre :

- **La loi gravitationnelle de Newton** : la force d'interaction mutuelle entre deux (2) corps A et B situés à la distance $r$ l'un de l'autre est proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelle au carré de leur distance. $F = \frac{Km_Am_B}{r^2}$

$\begin{cases} K = G = \varepsilon = 6{,}6710^{-11} \text{ (Constante gravitationnelle en } Nm^2Kg^{-2} \\ m_A \text{ et } m_B \text{ en Kg} \\ r \text{ (Distance de A à B en m)} \\ F \text{ en N} \end{cases}$



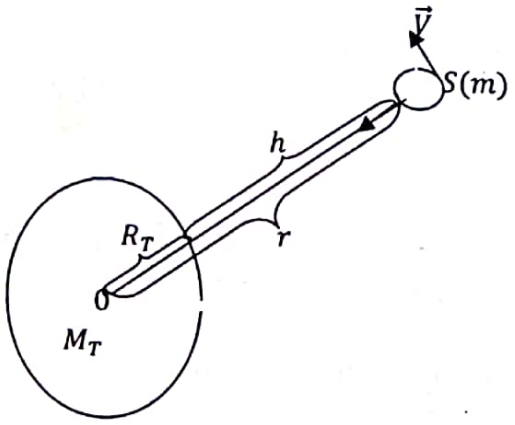

- **Champ gravitationnel** :
- **Définition** : On appelle champ gravitationnel toute zone de l'espace où une masse ponctuelle est soumise à une force gravitationnelle $\vec{F} = m\vec{g}_h$.
- **Expression** : La terre étant considérée comme un point matériel à symétrie sphérique, la force d'attraction qu'elle exerce sur un point matériel de masse $m$ situé à la distance $r$ de son centre est : $F = \frac{GM_Tm}{r^2}$ or $F = mg_h$

Avec $F = F$on aura : $mg_h = \frac{GM_Tm}{r^2} \rightarrow g_h = \frac{GM_T}{r^2}$ en N/Kg

Avec $r = R_T + h$ on aura : $g_h = \frac{GM_T}{(R_T+h)^2}$

Au sol $h = 0$ donc $g_o = \frac{GM_T}{R_T^2} \rightarrow g_oR_T^2 = GM_T$ ou K

A l'altitude$h$, on aura donc : $g_h = \frac{g_oR_T^2}{(R_T+h)^2}$




$\begin{cases} g_o = 9{,}81N/Kg \\ M_T = 6{,}0210^{24}Kg \\ R_T = 6380Km = 6400Km = 6410^5m \end{cases}$

## 2) Définition d'un satellite :

- ✓ un satellite est une planète qui tourne autour d'une autre de masse plus grande (satellite naturel)
- ✓ Un satellite terrestre est un engin placé en orbite autour de la terre (satellite artificiel)



Scanned by CamScanner

3) **Expression de la période de révolution du satellite** : Soit un satellite tournant à l'altitude $h$ du sol.

- **Nature du mouvement du satellite** :

Système à étudier : le satellite

Force appliquée : $\vec{F} = m\vec{g}_h$

D'après la R.F.D on : $\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

$$\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{g}_h \rightarrow m\vec{a} = m\vec{g}_h \rightarrow \vec{a} = \vec{g}_h \text{ en module } a = g_h$$

Or $g_h = \frac{g_o R_T^2}{(R_T+h)^2} \rightarrow a = \frac{g_o R_T^2}{(R_T+h)^2}$

Dans le repère de Frenet : $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t$

Or $\vec{a} \perp \vec{V} \rightarrow \begin{cases} a_t = 0 \ (1) \\ a_n = \frac{V^2}{r} = \frac{V^2}{R_T+h} (2) \end{cases}$

(1)→ $a_t = 0 \rightarrow \frac{dV}{dt} = 0 \rightarrow V = cste$ alors le mouvement est uniforme

(2)→ $a_n = \frac{V^2}{r}$ alors la trajectoire est un cercle

(1) et (2) impliquent que le mouvement du satellite est circulaire uniforme.

- **La vitesse du satellite** :

- **Vitesse linéaire** : $a_t = 0 \rightarrow a = a_n \leftrightarrow \frac{V^2}{R_T+h} = \frac{g_o R_T^2}{(R_T+h)^2} \rightarrow V = \sqrt{\frac{g_o R_T^2}{R_T+h}}$ (en m/s)

- **Vitesse angulaire** : $V = r\omega \rightarrow \omega = \frac{V}{r} = \sqrt{\frac{g_o R_T^2}{R_T+h}} \times \frac{1}{R_T+h} \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g_o R_T^2}{(R_T+h)^3}}$ (en rad /s)

- **La période du satellite** : On sait que $T = \frac{2\pi}{\omega} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T+h)^3}{g_o R_T^2}}$ (en s)

**N.B** : La période est indépendante de la masse du satellite.

4) **La 3$^e$ loi de Kepler** : La 3$^e$ loi de Kepler est l'une des conséquences de la période.

On a : $T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T+h)^3}{g_o R_T^2}} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM_T}} \rightarrow T^2 = 4\pi^2 \frac{r^3}{GM_T} \rightarrow \frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM_T} = cste$ 3$^e$ loi de Kepler.

**Enoncé** : Lorsque plusieurs satellites tournent autour d'un même astre attracteur, il existe un rapport constant entre le carré de leur période et le cube du rayon de leur orbite.

$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM} = cste \ ou \ \frac{T_1^2}{r_1^3} = \frac{T_2^2}{r_2^3} = \frac{T_3^2}{r_3^3} = - - - - \frac{T_n^2}{r_n^3}$

**N.B** : La vitesse et la période d'un satellite ne dépendent pas de sa masse mais dépendent de la masse du corps autour duquel tourne le satellite.

5) **Satellite géostationnaire** :

- **Définition** : Un satellite géostationnaire est un satellite qui tourne dans le plan équatorial à la même vitesse de révolution que la terre.

- **Caractéristiques** :

- La principale caractéristique d'un satellite géostationnaire est son immobilité par rapport à un point fixe de la terre.
- Sa période est $T = 23h56min04s \approx 24h$ avec $1h = 3600s$ on aura $T = 86400s$ 24 x 0
- Son altitude de positionnement est environ $h = 36000Km$



Scanned by CamScanner

- **Application** : Les satellites géostationnaires sont utilisés en télécommunication.
  **N.B** : le sens de déplacement d'un satellite par rapport à la terre est donné par :
- Si $\omega_T > \omega_S$ alors le satellite se déplace vers l'Ouest.
- si $\omega_T < \omega_S$ alors le satellite se déplace vers l'Est.
- Si $\omega_T = \omega_S$ le satellite est stationnaire alors il se déplace d'Ouest en Est.

6) **Energie mécanique d'un satellite à l'altitude h** : L'énergie mécanique d'un satellite est la somme des énergies cinétique et potentielle.

- **Energie cinétique** : Elle est donnée par : $E_C = \frac{1}{2}mV^2$ avec $V = \sqrt{\frac{g_o R_T^2}{R_T+h}}$

  Donc $E_C = \frac{1}{2} \times \frac{m.g_o R_T^2}{R_T+h}$ (en J)

- **Energie potentielle** : $F = \frac{dE_P}{dr} \rightarrow dE_P = Fdr \rightarrow E_P = \int \frac{GM_T m}{r^2} dr = GM_T m \int \frac{1}{r^2} dt$

  D'où $E_P = -\frac{GM_T m}{r^2}$ avec $r = R_T + h \rightarrow E_P = -\frac{GM_T m}{R_T+h}$ le signe (-) est le choix de la référence.

  Avec $GM_T = g_o R_T^2$ donc $E_P = -\frac{m.g_o R_T^2}{R_T+h}$ (en J)

  $E_P = -\frac{m.g_o R_T^2}{R_T+h} \rightarrow \frac{1}{2}E_P = -\frac{1}{2}\frac{m.g_o R_T^2}{R_T+h} \rightarrow \frac{1}{2}E_P = -E_C \rightarrow E_P = -2E_C.$

  Alors $E_m = E_C - 2E_C = -E_C$ d'où $E_m = -\frac{1}{2} \times \frac{m.g_o R_T^2}{R_T+h}$ (en J)

7) **Expression de la vitesse minimale $V_o$ qu'il faut donner à un satellite pour qu'il aille à l'infini** : $E_{(o)} = E_{(\infty)} \leftrightarrow \frac{1}{2}mV_o^2 - \frac{GM_T m}{R_T} = 0$ car $h = 0 \rightarrow \frac{1}{2}mV_o^2 = \frac{GM_T m}{R_T}$

$\rightarrow V_o = \sqrt{2g_o R_T} \rightarrow V_o = 11{,}2Km/s$ ./.



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LES SATELLITES

**Exercice 1** : Dans cet exercice, la terre est considérée comme une sphère homogène, de masse $M$, de centre $O$ et de rayon $R = 6370Km$ animée d'un mouvement de rotation uniforme autour de l'axe des pôles.

A l'aide d'une fusée on satellise autour de la terre un satellite de masse $m$ sur une orbite circulaire à l'altitude $Z = 400Km$. L'orbite est le plan de l'équateur. A l'altitude $Z$ l'intensité du champ de pesanteur est donnée par la relation $g_Z = \frac{g_o R^2}{(R+Z)^2}$

avec $g_o = 9{,}81N/Kg$

1) a) Déterminer dans le repère géocentrique la vitesse linéaire $V$, la vitesse angulaire $\omega_0$ et la période $T$ du satellite.
   b) Le satellite se déplace vers l'Est. Calculer l'intervalle de temps qui sépare deux passages successifs du satellite à la verticale d'un point donné de l'équateur. La vitesse angulaire de rotation de la terre dans le repère géocentrique est $\omega_T = 7{,}29.10^{-5}rad.s^{-1}$ et on rappelle que dans ce repère, la vitesse d'un point de l'équateur est dirigée vers l'Est.
   c) Même question si le satellite se déplace vers l'Ouest.
2) On veut que le satellite précédent devienne un satellite géostationnaire.
   a) Qu'est ce qu'un satellite géostationnaire ? Préciser son sens de rotation (vers l'Est ou vers l'Ouest) et le plan dans lequel il doit tourner.
   b) Quelle est la vitesse angulaire de ce satellite dans le repère géocentrique ?
   c) Calculer le rayon de son orbite.

**Exercice 2** :

1) Enoncer la loi de Newton. Donner l'expression du champ de gravitation créé par une masse $m$ ponctuelle en un point $P$ situé à la distance $r$ de cette masse.
2) On suppose que la terre est exactement sphérique, de rayon $R$, de masse $M$ et qu'elle possède une répartition des masses à symétrie sphérique.
   a) Ecrire l'expression de la force qu'elle exerce sur une masse ponctuelle de $1Kg$ placée à sa surface. En déduire le champ de gravitation $g_o$ de la terre à l'altitude $Z = 0$. Trouver enfin la valeur de $M$ (données à prendre en fin d'énoncé).
   b) Montrer qu'à l'altitude $Z$ au dessus de la terre le champ de gravitation $g$ est donner par la relation $g = \frac{g_o R^2}{(R+Z)^2}$
3) A l'aide d'une fusée, on satellise autour de la terre, un objet de masse $M'$, assimilable à un point matériel, sur une orbite circulaire, à l'altitude $z = 1000Km$.
   a) quelle est la vitesse (mesurée dans le référentiel géocentrique) du satellite sur sa trajectoire ? Cette vitesse dépend-elle de $M'$ ?
   b) Quelle est, exprimée en heures, minutes et secondes, la durée de révolution $T$ de ce satellite ?

   On donne $G = 6{,}67.10^{-11}USI$; $R = 6400Km$; $g_o = 9{,}8NKg^{-1}$

**Exercice 3** : Le mouvement d'un satellite, de masse $m$, est étudié dans le repère géocentrique considéré comme galiléen, ayant son origine au centre de la terre et ses axes dirigés vers des étoiles lointaines supposées fixes. La terre est assimilée à une



Scanned by CamScanner

sphère de masse $M$ et de rayon $R$. Le satellite se déplace sur une trajectoire circulaire à la distance $r = R + h$ du centre de la terre, $h$ étant l'altitude du satellite.

1) a) Déterminer la nature du mouvement du satellite.
   b) Etablir l'expression de la vitesse du satellite en fonction de $M, R, h$ et de la constante de la gravitation $K$.
2) Exprimer la vitesse du satellite en fonction de sa période de révolution $T$ et montrer que le quotient $\frac{T^2}{(R+h)^3} = constante$(cas particulier de la troisième loi de Kepler).
3) On suppose que le satellite est géostationnaire.
   a) Dans quel plan sa trajectoire est-elle contenue ?
   b) Quel est son sens de révolution ?
   c) calculer son altitude $h$ et la vitesse $V$ avec laquelle il décrit sa trajectoire.
4) La lune est un satellite de la terre. La période de révolution de la lune autour de la terre est $T_L = 27jours\ 7heures\ 43minutes$. En utilisant le résultat établit au 2), calculer la valeur de la distance Terre-Lune.
   On donne : $M = 6.10^{24}Kg; R = 6380Km; K = 6{,}67.10^{-11}N.m^2.Kg^{-2}$

**Exercice 4** : La terre est assimilée à une sphère de centre $O$, de rayon $R = 6400Km$ et de masse $M = 6.10^{24}Kg$. Un satellite supposé ponctuel, de masse $m = 10^3Kg$, décrit une orbite circulaire d'altitude $h$ autour de la terre. L'orbite est dans le plan de l'équateur. On supposera que le repère géocentrique, dont l'origine coïncide avec le centre de la terre et dont les axes ont une direction fixe par rapport aux étoiles, est galiléen.

1) Donner les caractéristiques de la force gravitationnelle $\vec{F}$ exercée par la terre sur le satellite de masse $m$.
2) a) Montrer que le mouvement circulaire du satellite est uniforme.
   b) Déterminer l'expression de la vitesse $V$ du satellite, celle de sa période et celle de son énergie cinétique en fonction de $M, m, R, h$ et $K$ la constante de gravitation
3) L'expression de l'énergie potentielle d'un satellite dans le champ de pesanteur est $E_P = -\frac{K.M.m}{r}$ en convenant que $E_P = 0$ pour $r$ infini.
   a) Que pensez vous de l'affirmation suivante : «plus le satellite s'éloigne de la terre, plus l'énergie potentielle du système Satellite-Terre croît».
   b) Comparer $E_o$ et $E_P$.
   c) Exprimer l'énergie mécanique totale du satellite en fonction de $K, M, m, R$ et $h$.

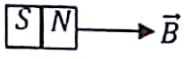


Scanned by CamScanner

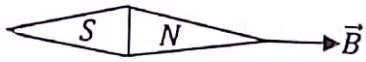
# INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE

1) **Aimant** :

- **Définition** : On appelle aimant tout corps capable d'attirer le fer et les matériaux ferromagnétiques. On distingue 2 types d'aimants : les aimants permanents (ou naturels) et les aimants temporaires (ou amants artificiels).
- **Exemples d'aimants permanents** : Le barreau aimanté, l'aiguille aimantée etc.…



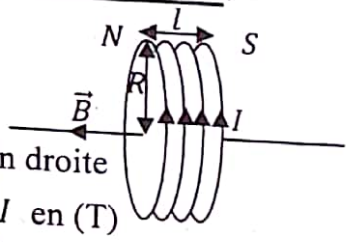
*Barreau aimanté*



*Aiguille aimantée*

- **Exemples d'aimants temporaires** : Les aimants temporaires sont des électroaimants. Ce sont des bobines parcourues par un courant
- **Bobine** : une bobine est un ensemble de spires enroulées dans un même sens.
  **Spire** : On appelle spire un fil enroulé.
- **Bobine plate ou bobine courte** : C'est une bobine dont le rayon est supérieur à la longueur $R \gg l$. Elle est caractérisée par son rayon $R$ et son nombre de spires $N$.

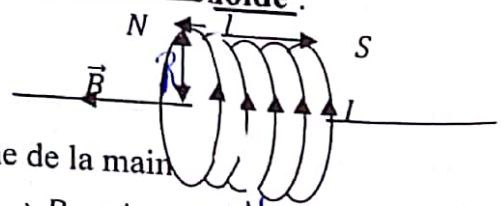
**Caractéristiques du champ magnétique à l'intérieur d'une bobine plate** :




$\vec{B}$ {
- Point d'application : tout point sur l'axe.
- Direction : axiale
- Sens : de S→ N ou donné par la règle de la paume de la main droite
- Valeur : $B = \frac{\mu_0}{2}\frac{N}{R}I$ avec $\mu_0 = 4\pi.10^{-7} \rightarrow B = 2\pi.10^{-7}\frac{N}{R}I$ en (T)

- **Bobine longue ou solénoïde** : C'est une bobine dont la longueur est supérieure au rayon $l \gg R$. Elle est caractérisée par sa longueur $l$ et son nombre de spire par mètre de longueur $n$ avec $n = \frac{N}{l} = \frac{K}{d_f}$ $K$ étant le nombre de couches $d_f$ le diamètre du fil.

**Caractéristiques du champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde** :




$\vec{B}$ {
- Point d'application : tout point sur l'axe.
- Direction : axiale
- Sens : de S→ N ou donné par la règle de la paume de la main droite
- Valeur : $B = \mu_0 nI$ avec $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ et $n = \frac{N}{l} \rightarrow B = 4\pi.10^{-7}\frac{N}{l}I$ en (T)

✓ **La surface d'une bobine** :
On a: $S_b = Ns(spire)$ or $s(spire) = \pi R_S^2 \rightarrow S_b = \pi N R_S^2$ en $m^2$

✓ **La résistance électrique d'une bobine** : Elle est donnée par : $r = \rho\frac{L_f}{S_f}$

$\rho$ est la résistivité avec $\rho = 1{,}6.10^{-8}\Omega.m$
$L_f$ est la longueur totale du fil enroulé avec : $L_f = N.P(spire) \rightarrow L_f = 2\pi RN$
$S_f$ est la section du fil avec $S_f = \pi R_f^2 = \frac{\pi d_f^2}{4}$ or $R_f = \frac{d_f}{2}$
Alors $r = \frac{\rho 2\pi RN}{\frac{\pi d_f^2}{4}} \rightarrow r = \frac{8\rho RN}{d_f^2}$ en $\Omega$



Scanned by CamScanner

2) **Flux d'induction** :

- **Définition** : On appelle flux d'induction le nombre de lignes de champ qui traverse une section donnée.

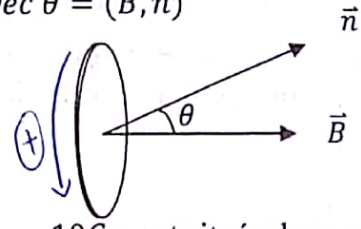
On a: $\emptyset = S\vec{B}.\vec{n} \rightarrow \emptyset = SB\cos\theta \ avec\ \theta = (\vec{B},\vec{n})$

$\phi$ en Weber (Wb)

$S$ est la section du circuit en $m^2$

$\vec{B}$ est le vecteur champ magnétique

$\vec{n}$ est le vecteur unitaire de la normale




**N.B** : Pour une bobine $\emptyset = NSB\cos\theta$

**Exercice** : Une bobine carrée de coté $a = 10Cm$ est située dans un champ magnétique $\vec{B}$ de valeur $B = (1 - 2t)$ en Tesla. Ondonne $N = 100$ spires et l'induction magnétique est perpendiculaire au plan de la figure.

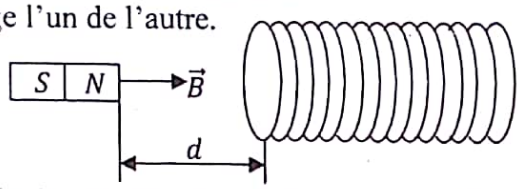
a) Après avoir faire un schéma clair, exprimer le flux d'induction à travers la bobine.

b) Calculer la valeur initiale $\emptyset_0$ du flux à $t = 0$

- **Méthodes de variation du flux** : De la formule$\emptyset = SB\cos\theta$, on peut faire varier le flux d'induction en agissant sur $B$ ou sur $S$ ou sur $\theta$.

**1$^{er}$Cas : Variation du flux en agissant sur $B$** :

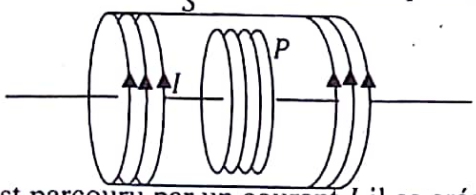
- **Mouvement relatif d'un aimant et d'une bobine** : Soit un aimant et une bobine placés au voisinage l'un de l'autre.



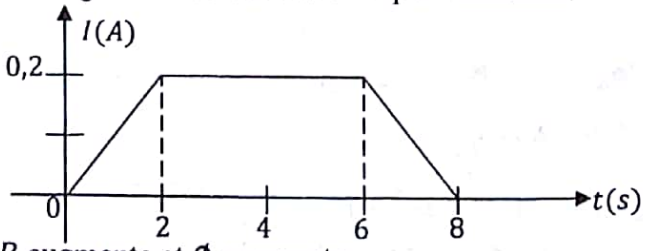

– Lorsqu'on approche le pôle Nord de l'aimant à la bobine, il y a augmentation du champ magnétique d'où augmentation du flux.

– Lorsqu'on éloigne le pôle Nord de l'aimant à la bobine, il y a diminution du champ magnétique d'où diminution du flux.

- **Variation du courant dans un solénoïde** : Soit un solénoïde $S$ à l'intérieur du quel est placé une bobine plate P. le solénoïde et la bobine plate sont coaxiales.




Lorsque le solénoïde est parcouru par un courant $I$ il se crée un champ magnétique $B_S = \mu_0 nI$. La bobine plate interne sera balayée par un flux d'induction $\emptyset_P = N_P S_P B_S$ Ce flux augmente lorsqu'on $I$ augmente et diminue lorsque $I$ diminue.




✓ Pour $t\epsilon[0,2]$; $I$ augmente, $B$ augmente et $\emptyset$ augmente.

✓ Pour $t\epsilon[2,6]$; $I$ est constant, $B$ constant et $\emptyset$ constant.

✓ Pour $t\epsilon[6,8]$; $I$ diminue, $B$ diminue et $\emptyset$ diminue.

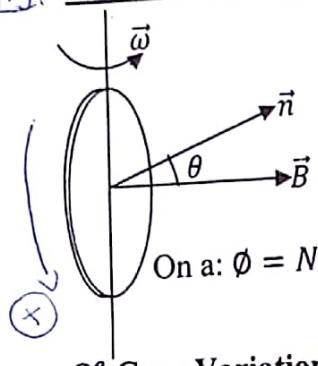


Scanned by CamScanner

**2^e Cas : Variation du flux en agissant sur $\theta$** : On peut faire varier le flux d'inducti en donnant des valeurs successives à $\theta$. NB: Pour une bobine en rotat°

- Pour $\theta = 0 \leftrightarrow \cos\theta = 1 \rightarrow \emptyset = SB$ (flux maxi)
- Pour $\theta = \frac{\pi}{2} rad \leftrightarrow \cos\theta = 0 \rightarrow \emptyset = 0$ (flux nul)
- Pour $\theta = \pi rad \leftrightarrow \cos\theta = -1 \rightarrow \emptyset = -SB$ (flux mini)

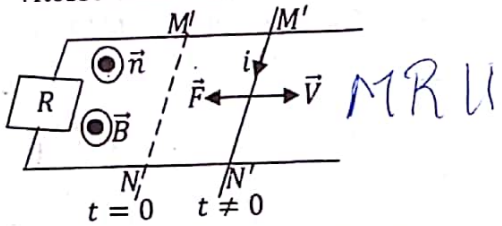
NB: **Cas particulier d'une bobine en rotation d'un champ magnétique** :




On a: $\emptyset = NSB\cos\theta$ or $\theta = \omega t \rightarrow \emptyset = NSB\cos\omega t \rightarrow \frac{d\emptyset}{dt} = -\omega NSB\sin\omega t$

**3^e Cas : Variation du flux en agissant sur $S$** :

- **Cas d'un conducteur sur un rail** : Soit un conducteur $MN$ de longueur $l$ animé d'un vitesse constante $\vec{V}$ sur 2 rails parallèles situés dans un champ magnétique $\vec{B}$.

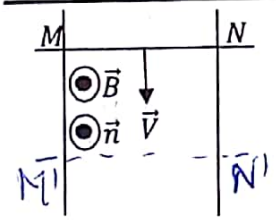



MRU

On a: $\emptyset = SB\cos\theta$ or $\theta = 0 \rightarrow \emptyset = SB$

or $S = MN.MM'$ et $\begin{cases} MN = l \\ MM' = x = Vt \end{cases} \rightarrow S = lVt$ donc $\emptyset = BlVt$

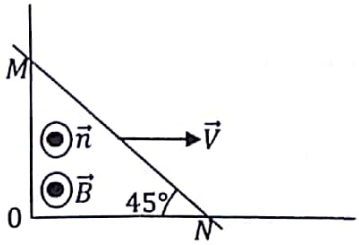
- **Conducteur en chute libre** :




MRU accéléré

$\emptyset = SB$ et $S = l.x$ avec $x = \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow S = \frac{1}{2}glt^2 \rightarrow \emptyset = \frac{1}{2}glBt^2$

- **Cas particulier** :




On a: $\emptyset = SB$ or $S = \frac{1}{2}b.h$

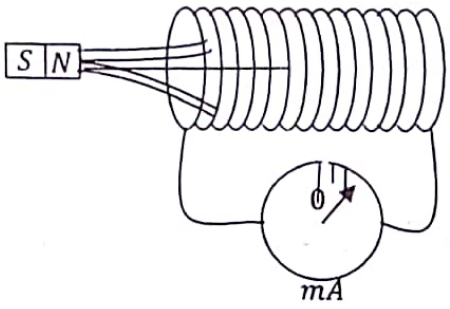
et $\begin{cases} b = ON \\ h = OM \end{cases}$ or $ON = OM = x = Vt \rightarrow S = \frac{1}{2}V^2t^2$ donc $\emptyset = \frac{1}{2}BV^2t^2$



Scanned by CamScanner

3) **Phénomène d'induction électromagnétique** :

- **Définition** : L'induction électromagnétique est la naissance d'une force électromotrice induite dans un circuit à la suite d'une variation du flux d'induction.
- **Expérience de mise en évidence** : **Mouvement relatif d'un aimant et d'une bobine** : On dispose d'un aimant et d'une bobine placé au voisinage l'un de l'autre. Le circuit de la bobine est fermé sur un milliampèremètre ou un galvanomètre.




- **Observations** :

– Lorsque l'aimant et la bobine sont immobiles, le milliampèremètre n'enregistre aucun courant.

– Lorsqu'on fait déplacer l'aimant par rapport à la bobine ou la bobine par rapport à l'aimant, le milliampèremètre indique le passage d'un courant et ce courant s'annule des qu'on arrête le mouvement relatif entre l'aimant et la bobine.

- **Interprétation** : Lorsqu'on fait déplacer l'aimant par rapport à la bobine ou la bobine par rapport à l'aimant, il y a variation du flux d'induction, cette variation du flux est la cause du courant observé dans le milliampèremètre. Le phénomène ainsi observé est le phénomène d'induction électromagnétique.

**N .B** : L'aimant est l'inducteur, la bobine est l'induit et $i$ est le courant induit.

**Loi de Lenz** : La loi de Lenz permet de déterminer le sens du courant induit.

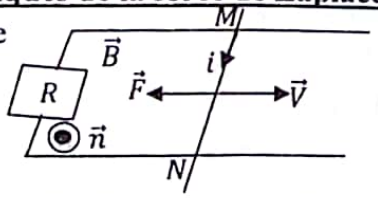
- **Énoncé** : Le sens du courant induit est tel que par ses effets, il s'oppose à la cause qui lui donne naissance.

**Exemple 1** : **Sens du courant dans un conducteur sur les rails de Laplace** :

Lors du déplacement de la tige, il y a variation de la surface d'où variation du flux. Le sens du courant induit est tel que par ses effets il s'oppose à cette variation en créant une force électromagnétique appelée force de Laplace $\vec{F} = i\vec{l} \wedge \vec{B}$ opposée à $\vec{V}$

La règle de la paume de la main droite appliquée à cette force $\vec{F}$ permet de déterminer le sens du courant induit.

**Caractéristiques de la force de Laplace** : Soit le déplacement de la tige de la gauche vers la droite




$\vec{F}$ :
- Point d'application : milieu de la tige $MN$
- Direction : perpendiculaire au plan formé par $\vec{B}$ et $MN$
- Sens : opposé à $\vec{V}$
- Intensité : $F = Bil\sin\alpha$



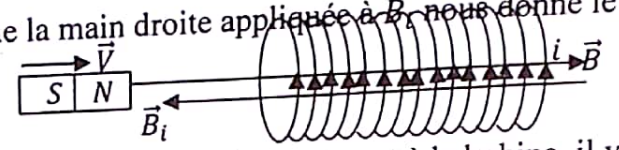
Scanned by CamScanner

Or $\alpha = (\vec{B}, l) = \frac{\pi}{2} \rightarrow \sin\alpha = 1 \rightarrow F = Bil$

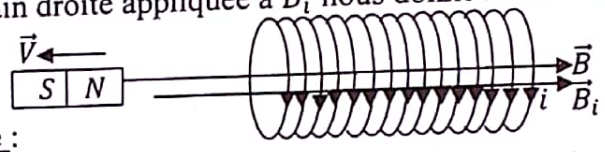
- **Travail de la force $\vec{F}$**: $W_{\vec{F}} = F \times d \rightarrow W_{\vec{F}} = Bild$ en J
- **Puissance de la force $\vec{F}$**: $P = \frac{W}{t}$ or $W = F \times d \rightarrow P = F \times \frac{d}{t} \rightarrow P = FV$ en Watt
- Lorsque $\Delta\emptyset > 0 \rightarrow e < 0$ donc $i$ circule dans le sens contraire au sens positif choisi.
- Lorsque $\Delta\emptyset < 0 \rightarrow e > 0$ donc $i$ circule dans le sens positif choisi.

**Exemple 2** : **Sens du courant induit dans une bobine** : Soit un aimant et une bobine placés au voisinage l'un de l'autre.

- Lorsqu'on rapproche le pôle Nord de l'aimant à la bobine, il y a augmentation du champ magnétique $B$. Le sens du courant induit est tel que par ses effets il s'oppose à cette augmentation en créant un champ magnétique $\vec{B}_i$ de sens contraire à $\vec{B}$. La règle de la paume de la main droite appliquée à $\vec{B}_i$ nous donne le sens du courant induit.



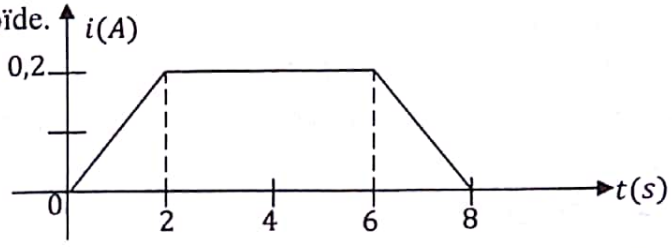

- Lorsqu'on éloigne le pôle Nord de l'aimant à la bobine, il y a diminution du champ magnétique $B$. Le sens du courant induit est tel que par ses effet il s'oppose à cette diminution en créant un champ magnétique $\vec{B}_i$ de même sens que $\vec{B}$. La règle de la paume de la main droite appliquée à $\vec{B}_i$ nous donne le sens du courant induit.



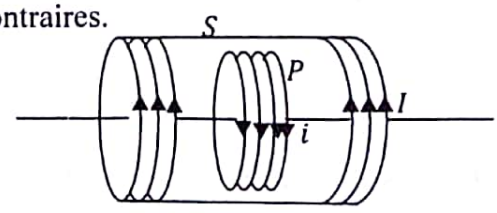

**Règle générale** :

- Lorsqu'on approche le pôle Nord de l'aimant à la bobine, la face en regard devient Nord.
- Lorsqu'on éloigne le pôle Nord de l'aimant à la bobine, la face en regard devient Sud.
- Lorsqu'on approche le pôle Sud de l'aimant à la bobine, la face en regard devient Sud

**Exemple 3** : **Sens du courant induit dans une bobine placée à l'intérieur d'un solénoïde** : Soit un solénoïde $S$ à l'intérieur duquel est placée une bobine plate $P$ et $I$ le courant dans ce solénoïde.




✓ Dans [0; 2], (fermeture du circuit du solénoïde), il y a augmentation du flux. Dans ce cas $I$ et $i$ sont de sens contraires.

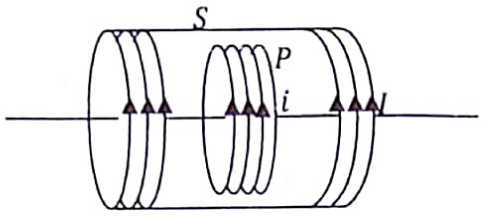



✓ Dans [2; 6], $I = C^{te} \rightarrow i = 0$



Scanned by CamScanner

✓ Dans [6; 8], (ouverture du circuit du solénoïde), il y a diminution du flux. Dans ce cas $I$ et $i$ ont même sens.




**4) La f.é.m. induite : Loi de Faraday**

▪ **Hypothèse de Faraday** : Toute variation du flux d'induction entraine la naissance d'une f.é.m. induite. Cela signifie qu'il y a induction chaque fois qu'il y a variation du flux que le circuit soit fermé ou ouvert.

**Énoncé de la loi de Faraday** : La f.é.m. induite est l'opposé de la dérivée du flux par rapport au temps. $e = -\frac{d\phi}{dt}$ en $V$

Le signe $(-)$ traduit la loi de Lenz.

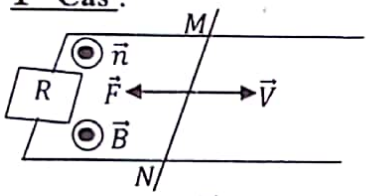
**N.B** : Pour un intervalle de temps $\Delta t$ on a : $e = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$

$\begin{cases} \Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 \\ \Delta t = t_2 - t_1 \end{cases}$ en Volt(V)

▪ **Expression de la f.é.m. induite** :

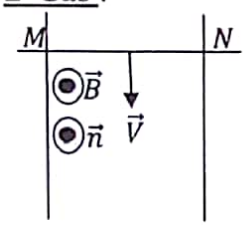
– **Aux bornes d'un conducteur les rails** :

**1$^{er}$Cas** :



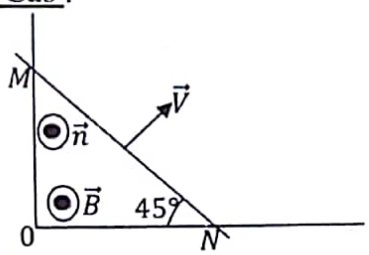

On a: $e = -\frac{d\phi}{dt}$ $or$ $\phi = BlVt \rightarrow \frac{d\phi}{dt} = BlV$ $alors$ $e = -BlV$

**2$^{e}$Cas** :




$e = -\frac{d\phi}{dt}$ $or$ $\phi = \frac{1}{2}glBt^2 \rightarrow \frac{d\phi}{dt} = glBt$ $alors$ $e = -glBt$

**3$^{e}$Cas** :

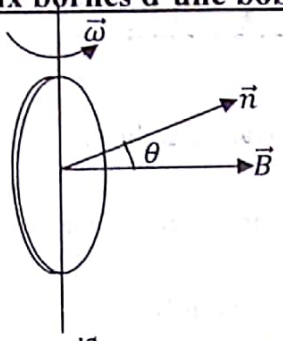



$e = -\frac{d\phi}{dt}$ $or$ $\phi = \frac{1}{2}BV^2t^2 \rightarrow \frac{d\phi}{dt} = BV^2t$ alors $e = -BV^2t$



Scanned by CamScanner

- **Aux bornes d'une bobine en rotation** :

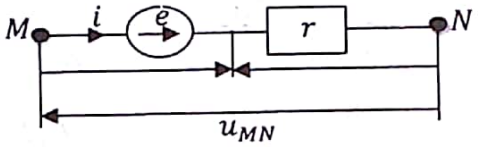



$e = -\frac{d\emptyset}{dt}$ or $\emptyset = NSB\cos\omega t \rightarrow \frac{d\emptyset}{dt} = -\omega NSB\sin\omega t$ alors $e = \omega NSB\sin\omega t$

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

$e_m = \omega NSB$

- **Loi d'Ohm aux bornes d'un conducteur** : Soit un conducteur $MN$ parcouru par un courant induit $i$.




La loi d'Ohm aux bornes de ce conducteur s'écrit : $u_{MN} = ri - e$

**Conséquence** :

- Pour un circuit ouvert : $i = 0 \rightarrow U_{MN} = -e$
- Pour un circuit fermer (court circuit) $U_{MN} = 0 \rightarrow ri - e = 0 \rightarrow i = \frac{|e|}{r}$ en $A$.

**N.B** : Lorsque le circuit comporte plusieurs résistances alors $i = \frac{|e|}{\Sigma r}$

- **Quantité d'électricité induite** : On a : $q = it$.

Pendant un intervalle de temps $\Delta t \rightarrow q = i\Delta t \rightarrow i = \frac{q}{\Delta t}$

Or $i = \frac{|e|}{r} = \frac{\Delta\emptyset}{r\Delta t}$

$i = i \rightarrow \frac{q}{\Delta t} = \frac{\Delta\emptyset}{r\Delta t} \rightarrow q = \frac{\Delta\emptyset}{r}$ en $C$. Pour plusieurs résistances : $q = \frac{\Delta\emptyset}{\Sigma r}$

NB: $q = \frac{\Delta\phi}{\Sigma r}$ en C

- **Nombre d'électrons** : Le nombre d'électrons est : $q = ne \rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{q}{1{,}6.10^{-19}}$ C

**5) Champ électromoteur** :

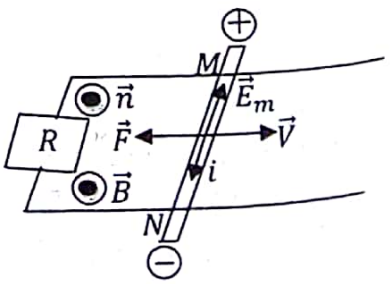
- **Définition** : Le champ électromoteur est le rapport de la force électromotrice induite dans un conducteur par la longueur de ce conducteur. $E_m = \frac{e}{l}$ en $V/m$
- **Expression** : Soit un conducteur $MN$ en mouvement dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$. Au cours du déplacement du conducteur, les électrons, qui sont les habitants du conducteur, sont soumis à une force magnétique $\vec{f}_m = q\vec{V} \wedge \vec{B}$. Cette force est comparable à une force électrique $\vec{F}_e = q\vec{E}_m$

Alors $q\vec{E}_m = q\vec{V} \wedge \vec{B}$ d'où le vecteur champ électromoteur est $\vec{E}_m = \vec{V} \wedge \vec{B}$

- **Caractéristiques** :

$\vec{E}_m$ | Point d'application : tout point entre $M$ et $N$
Direction : $(M, N)$
Sens : de $- \rightarrow +$
Intensité : $E_m = VB\sin\alpha$

Or $\alpha = (\vec{V}, \vec{B}) = \frac{\pi}{2} \rightarrow \sin\alpha = 1 \rightarrow E_m = VB$. /.






Scanned by CamScanner

# AUTO-INDUCTION OU SELF INDUCTION

1) **Les définitions** :

- **Circuit inductif** : Un circuit inductif est un circuit comportant une bobine. Il est caractérisé par son inductance $L$.
- **Flux propre** : Le flux propre d'un circuit est le flux créé par ce circuit à travers lui-même. $\emptyset_P = Li$
- **Inductance d'une bobine** : L'inductance d'une bobine est le coefficient de proportionnalité $L$ entre le flux propre et l'intensité du courant. $\emptyset_P = Li \rightarrow L = \frac{\emptyset_P}{i}$

  $L$ est l'inductance de la bobine et s'exprime en Henry $(H)$

**Expression de l'inductance d'un solénoïde** :

Le flux propre d'un solénoïde est donné par :

- D'une part $\emptyset_P = Li$
- Et d'autre part $\emptyset_P = NSB$

$$B = \mu_0 ni = 4\pi.10^{-7}\frac{N}{l}i \; et \; S = \pi R^2 \rightarrow \emptyset = \frac{4.10^{-7}\pi^2N^2R^2i}{l}$$

$$\emptyset_P = \emptyset_P \rightarrow Li = \frac{4.10^{-7}\pi^2N^2R^2i}{l} \rightarrow L = \frac{4.10^{-7}\pi^2N^2R^2}{l}$$

**Remarque** : On sait que $L_f = 2\pi NR \rightarrow L_f^2 = 4\pi^2N^2R^2 \rightarrow L = \frac{10^{-7}L_f^2}{l}$

**Exercice d'application** : Une bobine a pour caractéristiques :

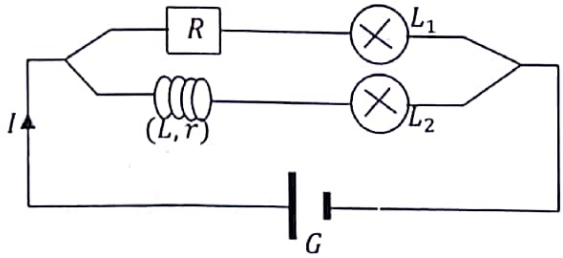
- La longueur est $l = 50Cm$
- Le nombre de spires par centimètre est 20
- Le diamètre de la bobine est $d = 4Cm$

a) Calculer la self de la bobine.

b) Calculer le flux propre lorsqu'on y fait passé un courant $I = 5A$.

2) **Phénomène d'auto induction** :

- **Définition** : L'auto induction ou self induction est la naissance d'une f.é.m. auto induite dans un circuit inductif au passage d'un courant variable.
- **Expérience de mise en évidence** : On dispose d'un générateur, d'une bobine, d'un conducteur ohmique et de deux (2) lampes identiques $L_1$ et $L_2$ comme l'indique la figure ci-dessous.




- **Observation** :

- A la fermeture du circuit la lampe (2) reliée à la bobine s'allume avec un léger retard par rapport à la lampe (1)
- Aussi à l'ouverture du circuit la lampe (2) s'éteint avec un léger retard par rapport à la lampe (1)



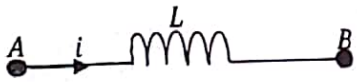
Scanned by CamScanner

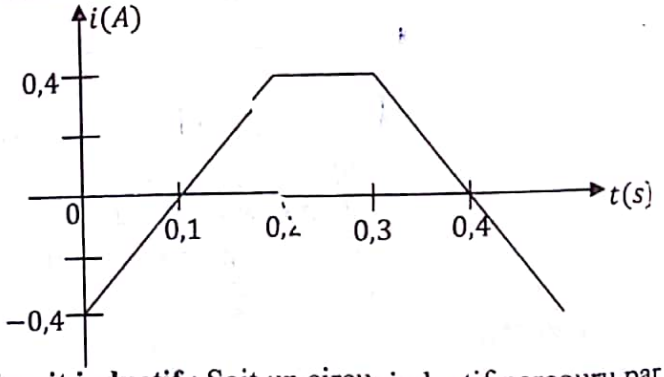
- **Interprétation** :
  A la fermeture et à l'ouverture du circuit, il y a variation du flux propre de la bobine, cela entraine la naissance d'une f.é.m. auto induite qui s'oppose à cette variation du flux. C'est pourquoi la lampe (2) s'allume et s'éteint avec un léger retard par rapport à la lampe (1).
  Le phénomène observé est le phénomène d'auto induction. La bobine est en même temps l'inducteur et l'induit.

- **Différence entre auto induction et induction électromagnétique** :
- dans l'induction électromagnétique l'inducteur et l'induit sont différents. Il y a induction dans tout circuit chaque fois qu'il y a variation du flux que le circuit soit fermé ou ouvert.
- A lors que dans l'auto induction l'inducteur et l'induit sont les même et il ne peut avoir auto induction que dans un circuit fermé.

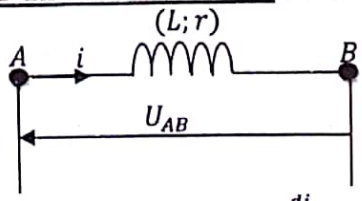
- **Loi de faraday-Lenz** :
  **Énoncé** : La force électromotrice auto induite est l'opposé de la dérivée du flux propre par rapport au temps $e = -\frac{d\emptyset_p}{dt}$ or $\emptyset_p = Li \rightarrow e = -L\frac{di}{dt}$
  Le signe $(-)$ traduit la loi de Lenz.
  **N.B** : Pour un intervalle de temps $\Delta t$ la f.é.m. auto induite est : $e = -L\frac{\Delta i}{\Delta t}$
  **Exercice d'application** : Soit une bobine d'inductance $L = 0{,}1H$ traversée par un courant comme l'indique la figure ci-dessous.

a) Calculer la f.é.m. auto induite dans chacun des intervalles.
b) Tracer le graphe $e = f(t)$




- **Loi d'Ohm aux bornes d'un circuit inductif** : Soit un circuit inductif parcouru par un courant variable $i$.




La loi d'Ohm s'écrit: $U_{AB} = ri - e$ or $e = -L\frac{di}{dt} \rightarrow U_{AB} = ri + L\frac{di}{dt}$

**N.B** :
- Lorsque $(e)$ a même sens que $(i)$, ouverture du circuit, la bobine est un générateur.
- Lorsque $(e)$ est de sens contraire que $(i)$, fermeture du circuit, la bobine est un récepteur.

- **Énergie emmagasinée dans un circuit inductif** : Au passage d'un courant variable, un circuit magnétique d'inductance $L$ emmagasine une énergie magnétique $E_m = \frac{1}{2}Li^2$



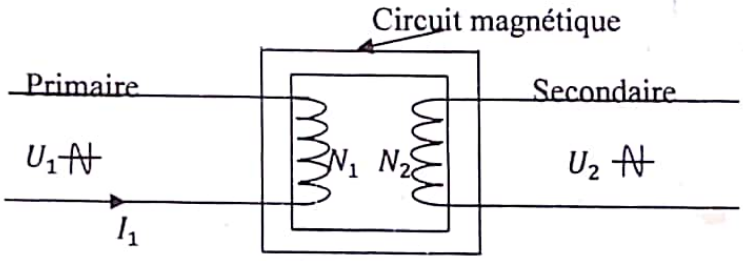
Scanned by CamScanner

# LES APPLICATIONS DE L'INDUCTION ÉLECTROMAGNETIQUE

**Les transformateurs** :

1) **Définition** : Un transformateur est un quadripôle qui permet la transformation simultanée de la tension et de l'intensité alternative.
2) **Description** : Le transformateur comprend trois (3) parties qui sont : le primaire, le secondaire et le circuit magnétique.

- Le primaire est un bobinage comportant $N_1$ tours de fil enroulé autour du circuit magnétique. Il permet l'alimentation du transformateur.
- Le secondaire est un bobinage comportant $N_2$ tours de fil enroulé autour du circuit magnétique. Il permet l'alimentation d'installations extérieures.
- Le circuit magnétique est un cadre de fer doux qui permet la libre circulation des lignes de champ du primaire jusqu'au secondaire.




$\Phi_1 = N_1 S_1 B_1$

$\Phi_2 = N_2 S_2 B_1$

3) **Fonctionnement** :

- **Principe** : Le principe de fonctionnement du transformateur est basé sur l'induction électromagnétique.
  Lorsque le primaire est branché à une source de tension alternative, il y circule un courant alternatif. Ce courant crée un champ magnétique alternatif dont les lignes de champ canalisé par le circuit magnétique arrivent au secondaire. Il se produit donc dans le secondaire une variation du flux et par conséquent une f.é.m. induite.
  Le primaire est l'inducteur et le secondaire est l'induit.
- **Fonctionnement à vide** : Le transformateur fonctionne à vide lorsque le circuit du secondaire est ouvert.
  Dans ce cas $I_2 = 0$ et $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = K$ avec $K$ le coefficient de transformation.
- **Fonctionnement en charge** : Le transformateur fonctionne en charge lorsque le circuit du secondaire est fermé sur une installation extérieure.
  Dans ce cas $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2} = K$

4) **Utilisation** : Les transformateurs sont utilisé en fonction de leur coefficient de transformation $K$comme :

- **Sous-volteurs ou abaisseurs de tension $K < 1$**: Ces types de transformateur sont utilisés dans la soudure, les jouets d'enfant, les postes radio etc.
  On a: $\frac{U_2}{U_1} < 1 \rightarrow U_2 < U_1$



Scanned by CamScanner

- **Survolteur ou élévateur de tension $K > 1$**: Ces types de transformateur sont utilisé dans le transport de l'énergie électrique, dans les T.V etc.

  On a : $\frac{U_2}{U_1} > 1 \rightarrow U_2 > U_1$

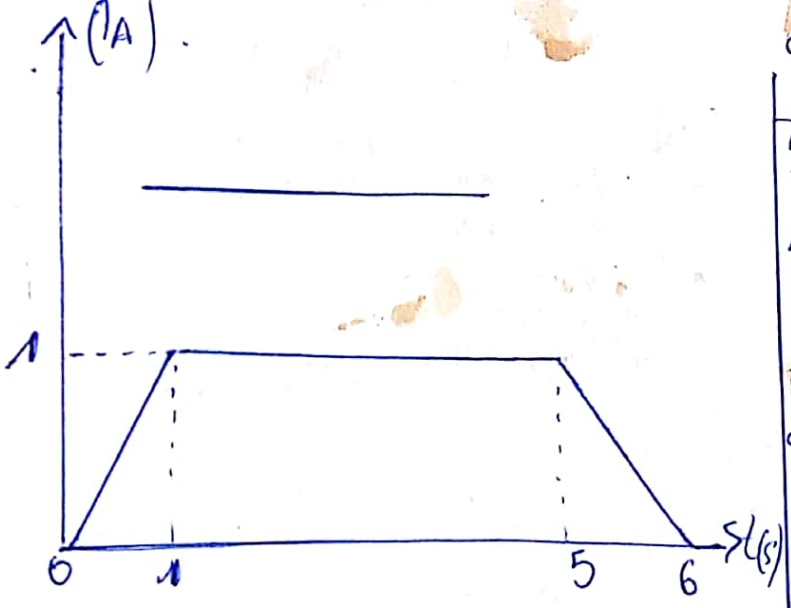
- **Stabilisateur** : $K = 1 \rightarrow U_2 = U_1$

Exo 11: Soit une de longueur $l = 40cm$ comportant ~~120~~ 1250 spires par mètre de longueur et de rayon R = ? parcourue par un courant $i = 5A$.

1.) De quel type de bobine s'agit-il? Pourquoi? Donner les caractéristiques de l'induction magnétique crée au centre de cette bobine.

2.) En supposant l'induction magnétique uniforme à l'intérieur de cette bobine, calculer le flux propre et en déduire son inductance L.

3.) La bobine est à présent parcourue par un courant d'intensité variant en fction du temps comme l'indique la figure ci-dessous.




a.) ~~Parmi~~ quels intervalle Pour quelle de temps il y a-t-il apparition d'une f.é.m d'auto induct° ? et pourquoi ?

b.) Déterminer la force électromotrice d'auto-induction qui apparait aux bornes de la bobine pour chacune des 3 phas

c.) Tracer le graphe $e = f($ pour $t \in [0; 6ms]$.



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR L'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE ET AUTOINDUCTION

**Exercice 1** : Une spire circulaire de rayon $r = 5Cm$ est situé dans un champ magnétique uniforme $B = 5.10^{-2}T$.

1) Calculer la f.é.m. induite apparue lors d'une rotation faisant vaier l'angle $\theta$ entre la normale et $B$ de 0 à $\pi$ en $0{,}2s$.
2) La résistance totale du circuit est $10\Omega$. Calculer l'intensité du courant induit dans la spire.

Attention

**Exercice 2** : Une bobine d'inductance 0,1 $H$ et de résistance $5\ \Omega$ est traversée par un courant d'intensité $i = 300\ mA$.

1) Calculer le flux d'auto-induction à travers la bobine.
2) Le courant est continu, d'intensité constante $i$. Calculer la tension aux bornes de cette bobine.
3) L'intensité du courant varie maintenant au cours du temps. A l'instant $t_1$, $i = 300\ mA$ et $\frac{di}{dt} = 2\ As^{-1}$

a) Calculer la tension aux bornes de la bobine à l'instant $t_1$.
b) Calculer l'énergie emmagasinée par la bobine à cet instant.

Attention

**Exercice 3** : Une bobine est constituée de 3000 spires enroulées sur un cylindre de 5 $Cm$ de diamètre et de 50 $Cm$ de longueur. Lorsqu' on applique une tension de 4 $V$ à ses extrémités, il passe un courant de 2 $A$.

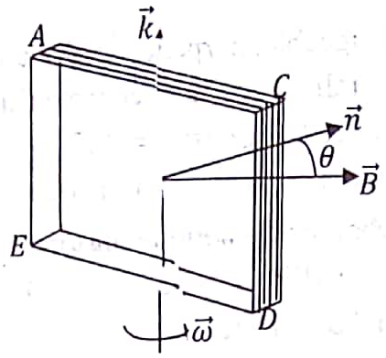
a) Calculer sa résistance $R$ et son inductance propre $L$.
b) On annule le courant en 0,02 $S$ suivant une fonction affine du emps.
Quelle est l'expression de la f.é.m. d'auto-inductance ? Représenter cette f.é.m. en fonction du temps (échelle : abscisse $1\ Cm = 0{,}01\ S$, ordonnée $1\ Cm = 1\ Volt$ )
c) Quelle est l'expression de la tension $u$ aux bornes de la bobine?
Représenter cette tension en fonction du temps (échelle : abscisse $1\ Cm = 0{,}01\ S$, ordonnée $1\ Cm = 1\ Volt$ )

**Exercice 4** : Principe de l'alternateur : Un cadre indéformable $CDE$, d'aire $S$, comportant $N$ spires, peut tourner autour d'un axe fixe $\Delta$ passant par les milieux des cotés $AC$ et $DE$. Ce cadre est placé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ orthogonal à $\Delta$. Les spires sont orientées dans le sens $ACDE$. La normale au plan de cadre fait un angle $\theta$, orienté autour de l'axe $(\Delta, \vec{k})$, avec la direction du champ $\vec{B}$.

1) Calculer le flux du champ magnétique à travers une spire, puis à travers l'ensemble de la bobine.
2) La bobine tourne à la vitesse angulaire constante $\omega$ autour de l'axe $\Delta$ à raison de $3000tr/min$. Montrer qu'il apparaît dans la bobine une f.é.m. induite sinusoïdale.
3) Préciser l'amplitude de cette f.é.m. et calculer sa valeur.
On donne $N = 150; S = 90\ Cm^2; B = 0{,}6\ T$

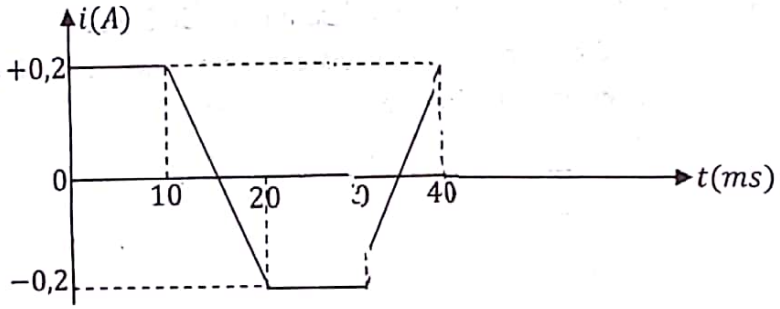


Scanned by CamScanner




**Exercice 5**: Soit une portion de circuit $AB$ constitué d'une bobine sans noyau de fer, d'inductance $L = 5\ mH$ et de résistance $r = 2\Omega$.

1) Donner la définition de l'inductance de la bobine et calculer la valeur du flux propre à travers cette bobine quand elle est parcourue $I_{AB} = 0{,}2\ A$.
2) Cette bobine est parcourue par un courant dont l'intensité varie avec le temps comme l'indique la figure ci-dessous.




a) Dans quels intervalles de temps, il y a-t-il variation du flux propre la bobine ? et pourquoi ? Calculer cette variation.
b) En déduire qu'il existe une f.é.m. auto-induite $(e)$ dans la bobine dans certains intervalles de temps que l'on précisera.
c) Calculer dans chaque cas cette f.é.m. et la représentée en fonction du temps.
d) Calculer sur chaque intervalle de temps, l'intensité du courant induit.
e) Donner l'expression littérale de la tension $u_{AB}(t)$ aux bornes de la bobine. Représenter graphiquement cette tension enfonction du temps.

**Exercice 6** : Une bobine $B$ de diamètre faible par rapport à sa longueur $l = 50\ Cm$ comporte 2500 spires. Elle est parcoure par un courant électrique périodique d'intensité $i(t)$ variable avec le temps selon une fonction affine. On place au centre de $B$ une bobine $B'$ comportant 200 spires de 4 $Cm$ de diamètre. $B$ et $B'$ ont même axe.

1) Expliquer l'existence d'une f.é.m. induite aux bornes de la bobine $B'$.
2) Sachant qu'à la date $t = 0$ ; l'intensité du courant est : $i = -1A$ et qu'à la date $t = 2\ ms$; $i = 1\ A$; calculer la valeur de la f.é.m. induite pendant l'intervalle $[0; 2ms]$.

**Exercice 7** : Un solénoïde de 30 $Cm$ de longueur et de 2 $Cm$ de rayon compose 1000 spires jointives en cuivre ; de résistivité $\rho = 1{,}7.10^{-8}\Omega.m$.
Calculer les caractéristiques électriques (résistance et inductance) de la bobine.

**Exercice 8** : Deux rails conducteur $AA'$ et $CC'$, parallèles, de résistance négligeable, séparés par une distance $l = 25Cm$, sont placés dans un plan horizontal. Une tige



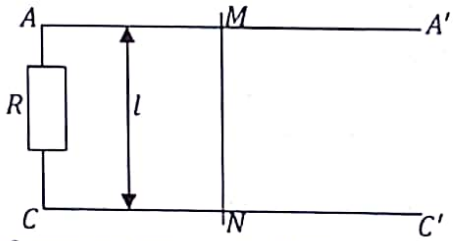
Scanned by CamScanner

métallique rigide, de masse négligeable, perpendiculaire aux rails peut glisser sans frottement dans une direction parallèle aux rails comme l'indique la figure ci-dessous. La résistance de la longueur $l$ de cette tige est $r = 0{,}5\Omega$.

Les deux rails sont reliés par un conducteur ohmique de résistance $R = 0{,}5\Omega$.

L'ensemble est placé dans un champ magnétique uniforme et constant $\vec{B}$ perpendiculaire au plan des rails et d'intensité $B = 1T$. On déplace la tige à vitesse constante $V = 10ms^{-1}$, de gauche à droite.

1) a) Choisir sur le circuit un sens de parcours arbitraire et déterminer le vecteur surface
b) Calculer le flux du champ magnétique à travers ce circuit pour une position quelconque de la tige.
2) En utilisant la loi de Faraday :
a) Calculer la force électromotrice induite,
b) Calculer l'intensité du courant induit,
c) Déterminer le sens du courant induit.
4) Retrouver le sens du courant induit en utilisant la loi de Lenz.
3) Montrer qu'une force électromagnétique est créée au cours du déplacement du barreau. Dans quel sens est-elle dirigée ?




**Exercice 9** : Un transformateur comporte 900 spires au primaire et 300 spires au secondaire.

1) Calculer la valeur efficace de la tension aux bornes du secondaire lorsque le primaire est branché sur une source de tension sinusoïdale de valeur efficace $225V$.
2) Le secteur est malencontreusement branché sur le secteur $220V$. Calculer la tension efficace aux bornes du primaire.

Exo 11:



Scanned by CamScanner

# INTERFÉRENCES LUMINEUSES

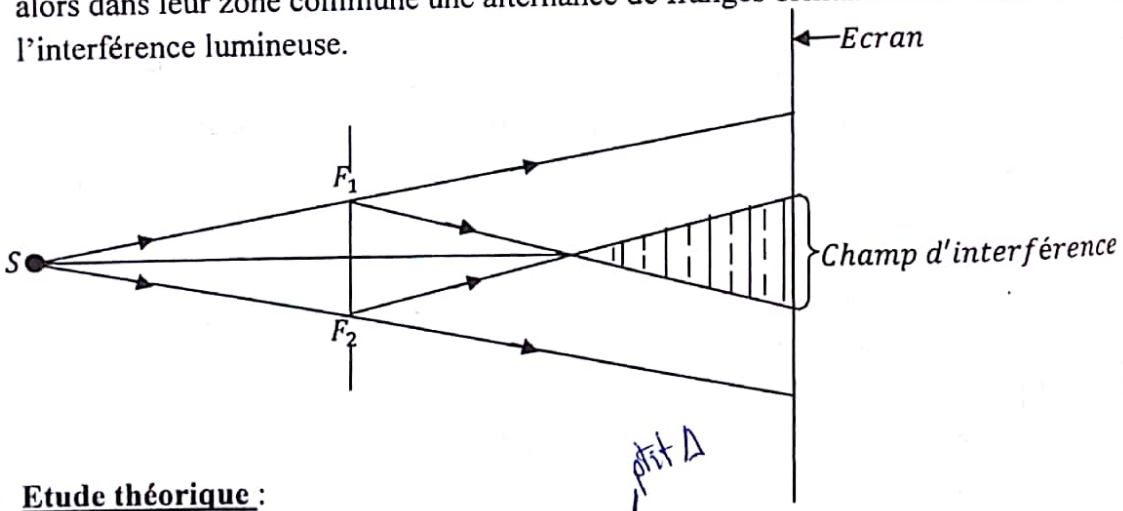
1) **Les définitions** :

- **Mouvement vibratoire** : C'est un mouvement sinusoïdal de faibles amplitudes.
- **Ondes** : C'est une série de signaux qui se suivent à des intervalles de temps réguliers
  La distance parcourue par une onde en une période est appelée la longueur d'onde et se note $\lambda$.
  On sait que $f = \frac{c}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{c}{f}$ or $f = \frac{1}{T} \rightarrow \lambda = CT$ en $m$
- **Frange** : On appelle frange un rai ou un rayon lumineux.
  **N.B** : Les rais clairs sont appelés franges brillantes et ceux sombres franges obscures
- **Interfranges** : L'interfrange est la distance entre deux franges consécutives de même nature. On la note $i$.
- **Interférence lumineuse** : L'interférence lumineuse est la superposition de franges (brillantes et sombres) dans une zone. Cette zone est appelée champ d'interférence.

2) **Expérience de mise en évidence** : **(Thomas Young 1800)**

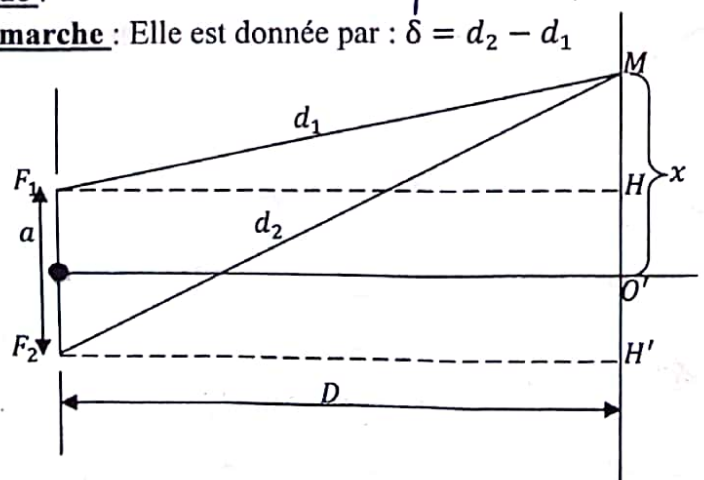
On dispose d'une source monochromatique $S$, de deux (2) fentes $F_1$ et $F_2$ placées perpendiculairement à la source et distantes de $a$. Devant les fentes est placé un écran fluorescent $E$ distant de $D$ des fentes.

Lorsque la source monochromatique éclaire les deux (2) fentes alors chaque fente se comporte comme une source ponctuelle émettant chacune un faisceau. On observe alors dans leur zone commune une alternance de franges brillantes et obscures : c'est l'interférence lumineuse.




3) **Etude théorique** :

a) **Différence de marche** : Elle est donnée par : $\delta = d_2 - d_1$






Scanned by CamScanner

En considérant le triangle $(F_1HM)$ : $d_1^2 = D^2 + (x - \frac{a}{2})^2$

De même dans le triangle $(F_2H'M)$ : $d_2^2 = D^2 + (x + \frac{a}{2})^2$

En faisant la différence on a : $d_2^2 - d_1^2 = D^2 + (x + \frac{a}{2})^2 - \left[D^2 + (x - \frac{a}{2})^2\right] \rightarrow$

$(d_2 - d_1) * (d_2 + d_1) = \left[\left(x + \frac{a}{2}\right) - \left(x - \frac{a}{2}\right)\right] * \left[\left(x + \frac{a}{2}\right) + \left(x - \frac{a}{2}\right)\right]$

$\leftrightarrow \delta * (d_2 + d_1) = 2ax$

Par hypothèse, plaçons $M$ au point $H$ et $H'$ et par approximation on peut dire que :

$d_1 \simeq D$ et $d_2 \simeq D \rightarrow d_2 + d_1 = 2D$

Alors $2\delta D = 2ax \rightarrow \delta = \frac{ax}{D}$ est la différence de marche. qui s'exprime en m.

b) **Positions des franges** :

- **Pour les franges brillantes** : On a $\delta = K\lambda$ pour les franges brillantes

$\rightarrow \frac{ax}{D} = K\lambda \rightarrow x = \frac{K\lambda D}{a}$ en $m$

Pour $K = 0 \rightarrow x_0 = 0$ est la position de la frange centrale.

Pour $K = 1 \rightarrow x_1 = \frac{\lambda D}{a}$ est la position de la première frange brillante.

Pour $K = 2 \rightarrow x_2 = \frac{2\lambda D}{a}$ est la position de la deuxième frange brillante.

- **Pour les franges obscures** : On a : $\delta = (2K' + 1)\frac{\lambda}{2}$ pour les franges obscures

$\rightarrow \frac{ax}{D} = (2K' + 1)\frac{\lambda}{2} \rightarrow x = \frac{\lambda D(2K'+1)}{2a}$ en $m$

Pour $K' = 0 \rightarrow x_0 = \frac{\lambda D}{2a}$ est la position de la première frange obscure.

Pour $K' = 1 \rightarrow x_1 = \frac{3\lambda D}{2a}$ est la position de la deuxième frange obscure.

Pour $K' = 2 \rightarrow x_2 = \frac{5\lambda D}{2a}$ est la position de la troisième frange obscure.

c) **Expression de l'interfrange** : Calculons la distance entre deux franges consécutives de même nature :

❖ Pour les franges brillantes :

$x_1 - x_0 = \frac{\lambda D}{a} - 0 = \frac{\lambda D}{a}$

$x_2 - x_1 = \frac{2\lambda D}{a} - \frac{\lambda D}{a} = \frac{\lambda D}{a}$

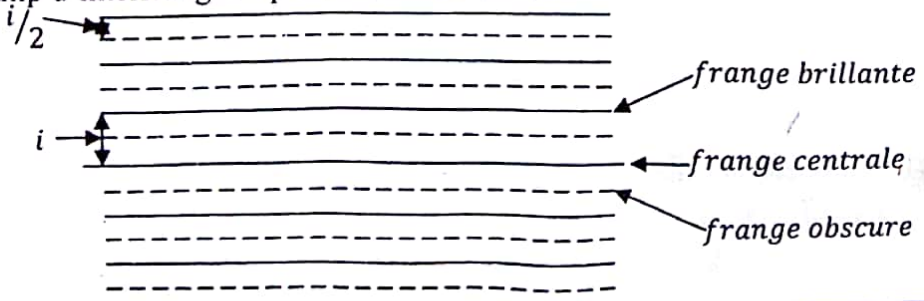
❖ Pour les franges obscures :

$x_1 - x_0 = \frac{3\lambda D}{2a} - \frac{\lambda D}{2a} = \frac{\lambda D}{a}$

$x_2 - x_1 = \frac{5\lambda D}{2a} - \frac{3\lambda D}{2a} = \frac{\lambda D}{a}$

On déduit que: $i = \frac{\lambda D}{a}$ en $m$

Le champ d'interfrange se présente comme suite :






Scanned by CamScanner

**Remarque** :

- Pour les franges brillantes on a : $x = \frac{K\lambda D}{a}$ or $i = \frac{\lambda D}{a}$ donc $x = Ki$ avec $K$ le nombre de franges brillantes.

  **Exemple** : La position de la $5^e$ frange brillante à partir de la frange centrale :
  On a $K = 5 \rightarrow x = 5i$

- Pour les franges obscures on a : $x' = \frac{(2K'+1)\lambda D}{2a}$ or $i = \frac{\lambda D}{a}$ donc $x' = \frac{(2K'+1)}{2} i$ avec ~~$K'$ le nombre de franges brillantes~~. et n est le nbre de frange sombre appelé $K' = n-1$

  **Exemple** : La position de la $5^e$ frange obscure à partir de la frange centrale :
  On a $K' = 4 \rightarrow x' = \frac{(2*4+1)}{2} i \rightarrow x' = \frac{9}{2} i$

4) **Nombre de radiations éteintes K'** : On appelle radiations éteintes les franges obscures. Le spectre visible de la lumière étant comprise entre $0{,}4\mu m$ et $0{,}8\mu m$, on peut déterminer le nombre de radiations manquantes.

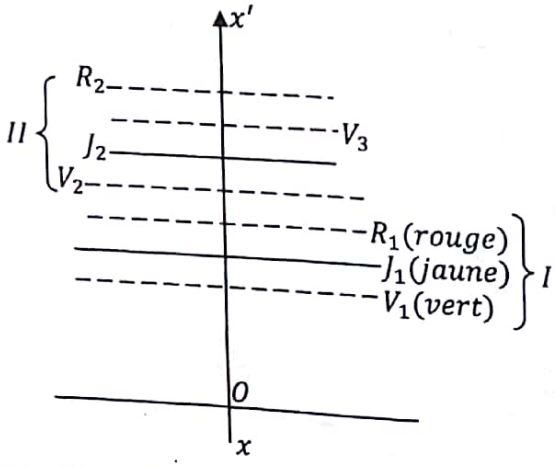
   $\delta = (2k'+1)\frac{\lambda}{2} \leftrightarrow \frac{ax}{D} = (2k'+1)\frac{\lambda}{2} \rightarrow \lambda = \frac{2ax}{(2K'+1)D}$

   or $0{,}4\mu m \leq \lambda \leq 0{,}8\mu m \rightarrow 0{,}4\mu m \leq \frac{2ax}{(2K'+1)D} \leq 0{,}8\mu m \rightarrow$

   $\frac{1}{8.10^{-7}} \leq \frac{(2K'+1)D}{2ax} \leq \frac{1}{4.10^{-7}} \rightarrow \frac{ax}{8.10^{-7}D} - \frac{1}{2} \leq K' \leq \frac{ax}{4.10^{-7}D} - \frac{1}{2}$

   **Exemple** : Pour $0 \leq K' \leq 4 \rightarrow K' \in \{0,1,2,3,4\}$ donc il y aura 5 radiations manquantes. En remplaçant $K'$ par sa valeur dans l'expression de λ, on obtient les longueurs d'ondes correspondantes.
   De même en ajoutant l'unité, on obtient le nombre de franges brillantes.

5) **Interférence en lumière blanche** : Avec une source de lumière blanche, on observe une seule frange blanche : la frange centrale. Cela est dû à ce que la lumière blanche est constituée d'une infinité de radiations dont les longueurs d'ondes sont infiniment voisines.
   Ainsi de part et d'autre de la frange centrale, plusieurs couleurs se superposent à la fois car les milieux des franges brillantes sont décalés.




**N.B** : L'œil étant sensible au jaune, c'est pourquoi on observe des franges brillantes très irisées là où le jaune domine. Mais les couleurs vives s'estompent à mesure qu'on s'éloigne de la frange centrale.



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LES INTERFÉRENCES LIMINEUSES

**Exercice 1** :

1) Décrire et interpréter l'expérience d'interférences lumineuses réalisées avec une source monochromatique. Définis puis détermine l'expression de l'interfrange.
2) Application : On réalise l'expérience des deux trous de Young percés dans un plan vertical et distan de $a = 1mm$. La source principale de umière fournie des radiations de longueur d'onde $\lambda = 0{,}5\mu m$ à ses deux trous ; un écran parallèle au plan des trous est situé à une distance $L = 2{,}50m$ de la source.

a) Préciser la natur de la frange centrale.
b) Calculer l'interfrange.
c) Calculer la distance $X$ entre la $5^e$ frange sombre et la frange centrale.

**Exercice 2** : Une source lumineuse monochromatique $S$ élaire un écran percé de deux trous $S_1$ et $S_2$. Les sources $S_1$ et $S_2$ sont symétriques par rapport à $S$ et appartiennent au même plan vertical que $S$.

1) Qu'observe-t-on sur un écran vertical, parallèle à $S_1S_2$ , situ à la distance $D$ de $S_1$ et $S_2$ ?
2) Un point $M$ de l'écran est situé à la distance $x$ de la frange centrale.

a) Etablir l'expression de la différence de marche entre les deux ~~rayons~~ rayons $S_1M$ et $S_2M$
b) Déterminer l'interfrange $i$ et donner sa valeur numérique.
c) Le point $M$ appartient à la $9^e$ frange brillante comptée à partir de la frange centrale ; calculer $x$.

On donne : $S_1S_2 = a = 2mm$; $\lambda = 0{,}558\mu m$; $D = 2m$

**Exercice 3** : Un dispositif interférentiel à franges non localisées, est éclairé en lumière blanche. L'écartement des sources $S_1$ et $S_2$ est $a = 1mm$ et le plan d'observation $E$ est à la distance $D = 1m$ des sources. Calculer les longueurs d'ondes qui correspondent aux cannelures du spectre par un spectroscope dont la ~~fente~~ frange est à $3mm$ de la frange centrale sachant que la longueur d'onde $\lambda$ des radiations visibles est telle que : $0{,}4\mu m \leq \lambda \leq 0{,}8\mu m$

**Exercice 4** : On réalise l'expérience des fentes de Young dont les deux fentes sont distantes de $a = 2mm$. L'interfrange mesuré sur l'écran est $i_1 = 0{,}35mm$. On éloigne l'écran de $70Cm$, l'interfrange devient $i_2 = 0{,}56mm$. Calculer la longueur d'onde de la lumière utilisée.

Ex 6.5.8 Exo6: Une expérience d'interférence en lumière verte conduit aux résultats de mesure suivants :

- Distance séparant les centres de 11 franges brillantes consécutives : 10mm ~~10mm~~
- Distance entre les fentes : 1,5 mm
- Distance entre le plan des fentes et l'écran : 2,80 m.

Calculer la longueur d'onde et la fréquence de la lumière verte.



Scanned by CamScanner

# RAYONNEMENT LASER

Light Application by Stimuled emission of radiation

1) **Définition** : Le laser est un appareil qui produit un faisceau de lumière monochromatique très intense.
Les radiations concernées étaient d'abord du domaine des micro-ondes (onde de petite longueur d'onde), puis celui des infrarouges, visible, ultraviolet et commencent à s'appliquer aux rayons X.

Spectre

2) **Propriétés** :
- Le rayonnement laser est monochromatique,
- La lumière laser est unidirectionnelle,
- Le rayonnement laser est cohérant (ordonné)

3) **Applications** : Le laser est utilisé dans plusieurs domaines notamment :
- En informatique : transfert d'information
- En électricité : transfert de puissance, transmission d'énergie
- En médecine : radiographie, dermatologie,
- Dans l'armée : pour la visée des militaires, les empruntes digitales
- En métrologie : étude de l'atmosphère. /.

Le rayonnem LASER est l'amplificat de la lumière par émission stimulé de radiation.

Ex07: Deux fentes de Young sont séparées de 0,5mm. Elles se trouvent à une distance D=3m d'un écran placé lme la médiatrice des deux fentes.
alculer l'interfrange correspondant respectivement à la mière rouge ($\lambda$=800nm) et violette ($\lambda$=400nm). En déduire une caractéristique des franges brillantes obtenus n lumière blanche.

Ex08: Une source S éclaire deux fentes $S_1$ et $S_2$ parallèles et distantes l'un de l'autre de 2mm. La source S se trouve sur la perpendiculaire au plan des fentes à égale distance d'elles. Un écran E est placé à la distance D=3m du plan des fentes.
1) La source S émet une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda$. Des franges d'interférence apparaissent sur l'écran et l'on compte 5 franges brillantes de part et d'autre de la frange centrale O, occupant dans leur ensemble une longueur de 9mm. En déduire la longueur d'onde
2) On éclaire maintenant avec une source de lumière blanche
a) Qu'observe-t-on sur l'écran ?
b) On place la fente d'un spectroscope à 5mm de la frange centrale. Donner le nbre et les longueurs d'ondes des cannelures noirs.



Scanned by CamScanner

# OSCILLATEURS MÉCANIQUES LIBRES

## 1) Les définitions :

- **Oscillateur** : Un oscillateur est un système dont la grandeur caractéristique varie de façon alternative et périodique.

  N.B :
  - le cœur est un oscillateur biologique
  -une balle parfaitement élastique sur un sol parfaitement élastique est un oscillateur.
- **Oscillation** : On appelle oscillation le mouvement effectué par un oscillateur.
- **Oscillateur mécanique :** Un oscillateur mécanique est un système animé de mouvements de va et vient autour de sa position d'équilibre.

  On distingue les oscillateurs mécaniques libres et les oscillateurs mécaniques forcés.
- **Oscillateur mécanique libre** : Un oscillateur mécanique libre est un système qui, une fois écarté de sa position d'équilibre et abandonné, oscille tout seul.

  On distingue les oscillateurs mécaniques libres de translation (le pendule élastique verticale ou horizontal) et les oscillateurs mécaniques libres de rotation (le pendule de torsion, le pendule pesant et le pendule simple).
- **Oscillateur harmonique** : Un oscillateur harmonique est un système dont la grandeur caractéristique est une fonction sinusoïdale du temps.

  On a: $\begin{cases} x = X_m \cos(\omega_o t + \varphi) \text{ en m} \\ v = \dot{x} = -X_m \omega_o \sin(\omega_o t + \varphi) \text{ en ms}^{-1} \\ a = \ddot{x} = -\omega_0^2 X_m \cos(\omega_o t + \varphi) \rightarrow \ddot{x} = -\omega_0^2 x \rightarrow \ddot{x} + \omega_0^2 x = 0 \text{ équation différentielle} \end{cases}$

  $X_m$ est l'amplitude ou l'abscisse maximale ou élongation maximale

  $\omega_o t + \varphi$ est la phase à $t \neq 0$ et $\varphi$ la phase à $t = 0$

  N.B : L'énergie mécanique d'un oscillateur harmonique est conservative.
- **Oscillateur linéaire** : Un oscillateur linéaire est un oscillateur dont l'équation différentielle est de la forme $\ddot{U} + AU = 0$

  Avec $U$ la grandeur caractéristique de l'oscillateur.

  N.B : Un oscillateur linéaire est aussi harmonique.
- **Oscillateur mécanique amorti** : Un oscillateur mécanique amorti est un oscillateur soumis à des forces de frottements. Dans ce cas son énergie mécanique diminue progressivement au cours du temps.
- **Période** : La période d'un oscillateur est la durée d'une oscillation complète :

  **Exemples** :

➢ Lorsqu'un oscillateur effectue 10 oscillations en 100s alors : $T_o = \frac{t}{n} = \frac{100}{10} = 10s$

N.B : Sa fréquence est alors : $N = f = \frac{n}{t} = \frac{10}{100} = 0{,}1H_z$

**Remarque** : La fréquence d'un oscillateur est le nombre d'oscillations par seconde.

➢ Un oscillateur bat la seconde signifie sa période $T_o = 2s$

➢ Lorsqu'un oscillateur bat 15s alors $T_o = 15 * 2 = 30s$

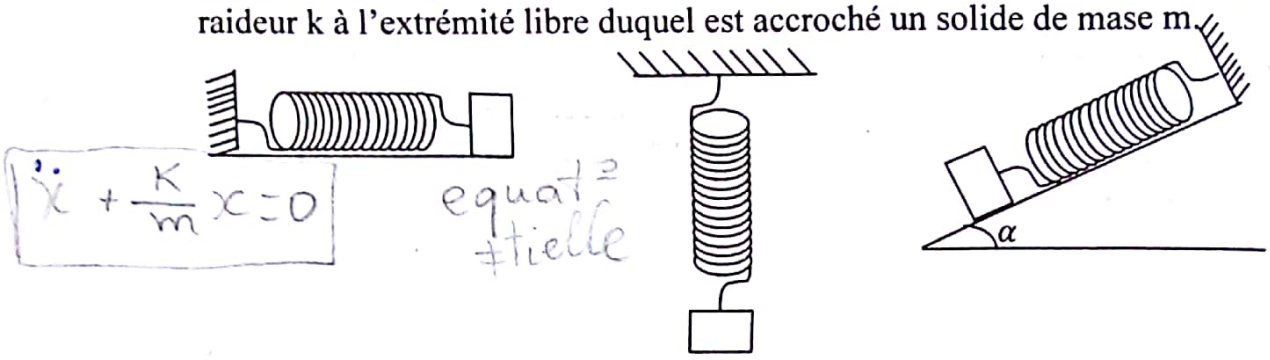
➢ D'une manière générale la période d'un oscillateur est donnée par : $T_o = \frac{2\pi}{\omega_o}$



Scanned by CamScanner

## 2) Pendules élastiques :

- **Définition** : Un pendule élastique est un système constitué d'un ressort parfait de raideur k à l'extrémité libre duquel est accroché un solide de mase m.

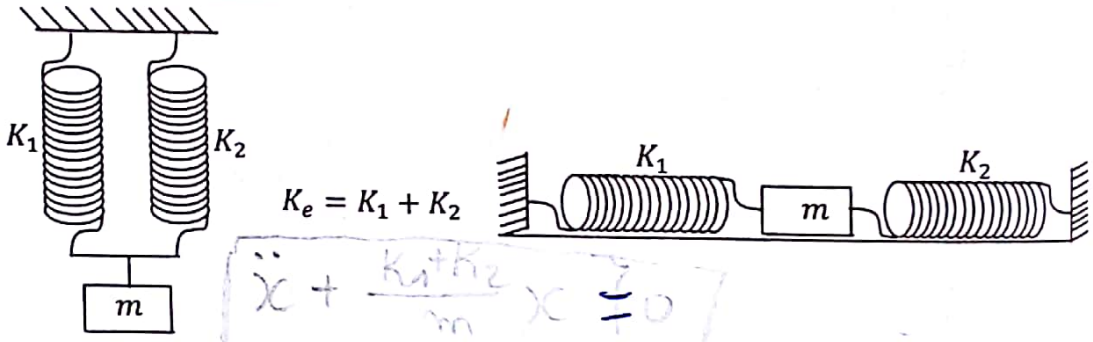



Le pendule élastique est caractérisé par la raideur $k$ du ressort et la masse $m$ du solide

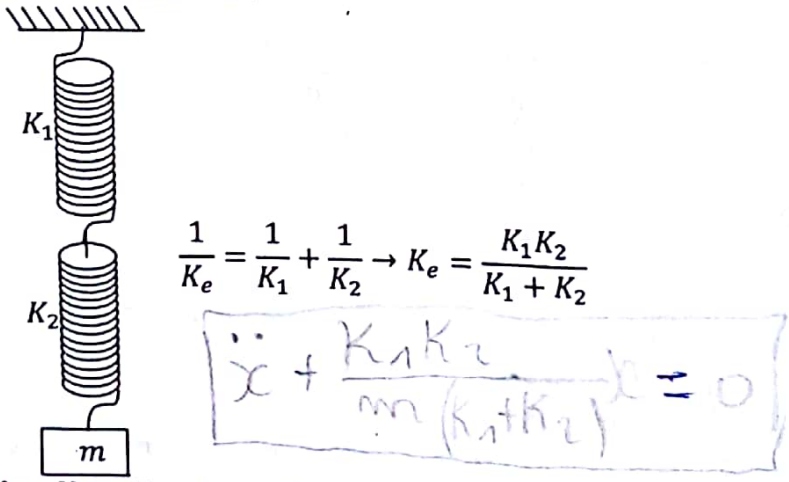
**N.B** : la raideur $k$ d'un pendule élastique s'exprime en $Nm^{-1}$

**Remarque :**

- **Ressort en parallèle** :




- **Ressort en série** :




**Exercice d'application** : Un ressort parfait à pour longueur à vide $l_o = 20Cm$.

Lorsqu'on lui suspend une masselotte de 100g, sa longueur devient 22Cm.

a. Que signifie le terme ressort parfait.
b. Quelle est l'allongement du ressort ?
c. Calculer la raideur du ressort.
d. Que deviendrai la raideur de ce ressort si le système était disposé sur un plan incliné d'un angle $\alpha = 30°$ sur l'horizontale.
On donne g=10ms$^{-2}$



Scanned by CamScanner

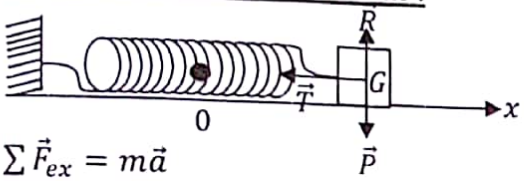
- **Etude du mouvement d'un pendule élastique** : Soit un pendule élastique de raideur k et de masse m.

  Lorsque le système est écarté de sa position d'équilibre et abandonné, il oscille. Soit $x$ son abscisse à la date t quelconque.

- **Equation différentielle** : C'est une relation liant une grandeur et ses dérivées successifs.

➢ **Par une étude dynamique** :

✓ **Pendule élastique horizontal** :




$T = Kx$

$T = K\Delta l$

$\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

$\sum \vec{F}_{ex} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{T} \rightarrow m\vec{a} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{T}$

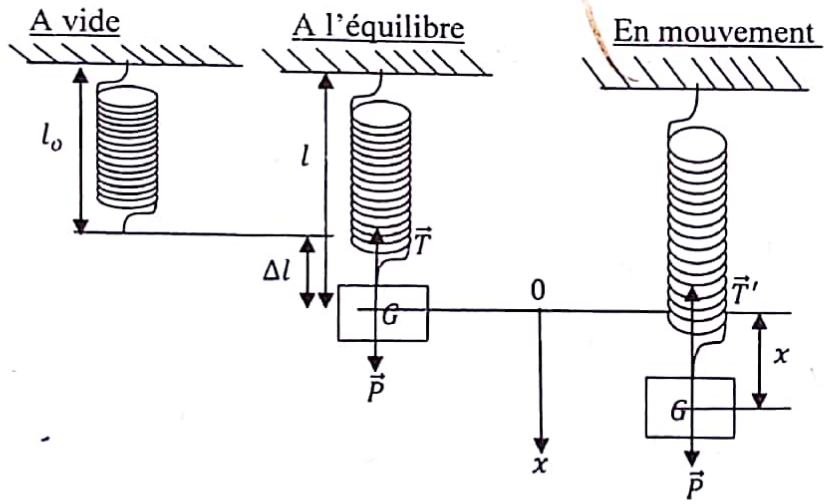
$\sum \vec{F}_{ex} = \vec{0}$

Théorème du centre d'inertie d'un solide.

Projetons les forces suivant $Ox \rightarrow ma = -T$

$\begin{cases} a = \ddot{x} \\ T = Kx \end{cases} \rightarrow m\ddot{x} = -Kx \rightarrow m\ddot{x} + Kx = 0 \rightarrow \ddot{x} + \frac{K}{m}x = 0$ équation différentielle

✓ **Pendule élastique vertical** :




A l'équilibre : $\sum \vec{F}_{ect} = \vec{0} \rightarrow \vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$ qui est le principe d'inertie

Suivant $Ox$: $P - T = 0 \rightarrow mg - k\Delta l = 0$ avec $\begin{cases} P = mg \\ T = K\Delta l \end{cases}$

En mouvement : $\sum \vec{F}_{ect} = m\vec{a} \rightarrow \vec{P} + \vec{T}' = m\vec{a}$

Suivant $Ox$: $m\ddot{x} = P - T' \rightarrow m\ddot{x} = mg - k(\Delta l + x) \rightarrow m\ddot{x} = mg - k\Delta l - kx$

Or $mg - k\Delta l = 0$ d'où $\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$

$\dot{E}_C + \dot{E}_P = 0$

$(b^n)' = n b' b^{n-1}$ ; $(x^2)' \begin{cases} n = 2 \\ f' = \dot{x} \\ b = \dot{x} \end{cases}$

$(x^{-2})' = 2\dot{x}\dot{x}$

$(\dot{x}^2)' = 2\dot{x}'\dot{x}$

➢ **Par une étude énergétique** :

On a: $E_m = E_C + E_P = cste \rightarrow \dot{E}_m = \dot{E}_C + \dot{E}_P = \dot{C}^{te} = 0$

$\begin{cases} E_C = \frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}m\dot{x}^2 \rightarrow \dot{E}_C = \frac{1}{2}m(2\ddot{x}\dot{x}) \rightarrow \dot{E}_C = m\ddot{x}\dot{x} \\ E_P = \frac{1}{2}kx^2 \rightarrow \dot{E}_P = \frac{1}{2}K(2\dot{x}x) \rightarrow \dot{E}_P = K\dot{x}x \end{cases}$

Or $\dot{E}_C + \dot{E}_P = 0 \rightarrow m\ddot{x}\dot{x} + K\dot{x}x = 0 \rightarrow \dot{x}(m\ddot{x} + Kx) = 0$

Or $\dot{x} \neq 0 \rightarrow m\ddot{x} + Kx = 0 \rightarrow \ddot{x} + \frac{K}{m}x = 0$ équation différentielle



Scanned by CamScanner

- **Nature du mouvement** : cette équation est de la forme $\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$ alors le mouvement est sinusoïdal de :

➢ **Pulsation propre** : $\omega_0^2 = \frac{k}{m} \rightarrow w_o = \sqrt{\frac{K}{m}}$ en rads$^{-1}$

➢ **Période propre** : $T_o = \frac{2\pi}{\omega_o} \rightarrow T_o = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$ en s

➢ **Fréquence propre** : $N_o = \frac{1}{T_o} \rightarrow N_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m}}$ en $H_z$

- **Les équations horaires** : $\ddot{x} + \frac{K}{m}x = 0$ a pour solutions

$$\begin{cases} x = X_m \cos(\omega_o t + \varphi) \text{ en m} \\ v = -X_m \omega_o \sin(w_o t + \varphi) \text{ (ms}^{-1}\text{)} \text{ posons } V_m = \omega_o X_m \rightarrow v = -V_m \sin(\omega_o t + \varphi) \\ a = -\omega_0^2 X_m \cos(\omega_o t + \varphi) \text{ (ms}^{-2}\text{)} \text{ posons } a_m = \omega_0^2 X_m \rightarrow a = -a_m \cos(\omega_o t + \varphi) \end{cases}$$

$a = -\omega_0^2 x$

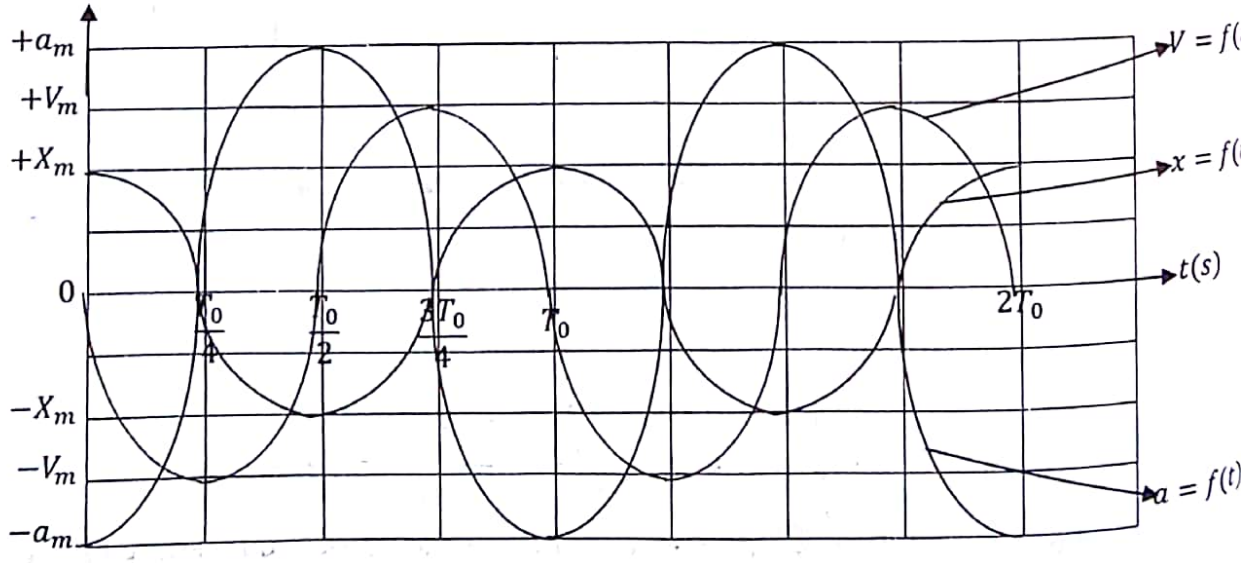
**N.B** : $X_m$ *et* $\varphi$ sont déterminées à l'instant $t = 0$

- **Graphe de** : $x = f(t)$, $v = f(t)$, *et* $a = f(t)$ :

Posons $\varphi = 0$ et $w_o = \frac{2\pi}{T_o}$

$$\begin{cases} x = X_m \cos(\frac{2\pi}{T_o} t) \\ v = -V_m \sin(\frac{2\pi}{T_o} t) \\ a = -a_m \cos(\frac{2\pi}{T_o} t) \end{cases}$$

| $t$ | 0 | $\frac{T_o}{4}$ | $\frac{T_o}{2}$ | $\frac{3T_o}{4}$ | $T_o$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $x$ | $+X_m$ | 0 | $-X_m$ | 0 | $+X_m$ |
| $v$ | 0 | $-V_m$ | 0 | $+V_m$ | 0 |
| $a$ | $-a_m$ | 0 | $+a_m$ | 0 | $-a_m$ |






Scanned by CamScanner

- **Les énergies** :

$V = -\omega_0 X_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$

➢ **Energie cinétique** : $E_C = \frac{1}{2}mV^2 \rightarrow E_C = \frac{1}{2}m(\frac{dx}{dt})^2 \rightarrow E_C = \frac{1}{2}m\omega_0^2 X_m^2 sin^2(\omega_0 t + \varphi)$

Or $\omega_0^2 = \frac{k}{m} \rightarrow E_C = \frac{1}{2}KX_m^2 sin^2(\omega_o t + \varphi)$

➢ **Energie potentielle** : $E_P = \frac{1}{2}kx^2 \rightarrow E_P = \frac{1}{2}KX_m^2 cos^2(\omega_o t + \varphi)$

➢ **Energie mécanique** : L'énergie mécanique est la somme des énergies cinétique et potentielle : $E_m = E_C + E_P \rightarrow E_m = \frac{1}{2}mV^2 + \frac{1}{2}Kx^2 \rightarrow E_m = \frac{1}{2}m(\frac{dx}{dt})^2 + \frac{1}{2}Kx^2$

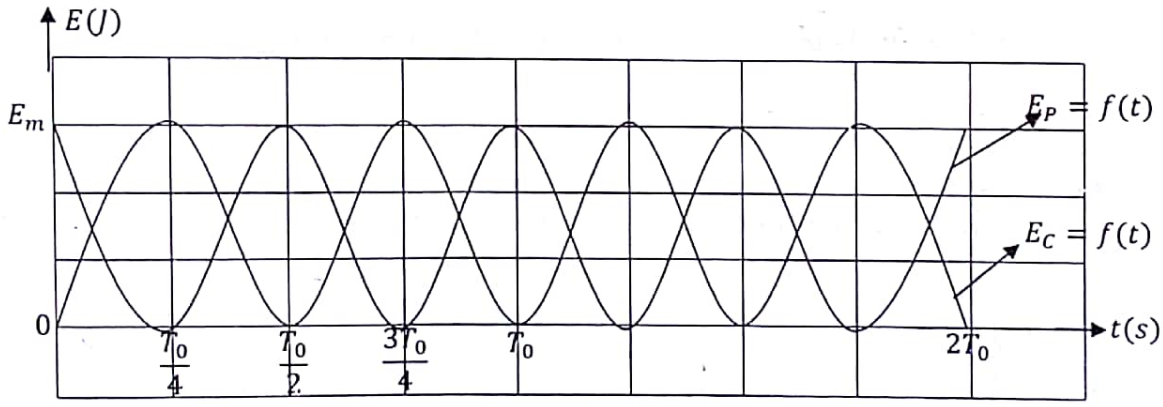
Ou $E_m = \frac{1}{2}KX_m^2 sin^2(\omega_o t + \varphi) + \frac{1}{2}KX_m^2 cos^2(\omega_o t + \varphi) \rightarrow E_m = \frac{1}{2}KX_m^2 = cste$

alors il y a transformation mutuelle entre $E_C$ et $E_P$.

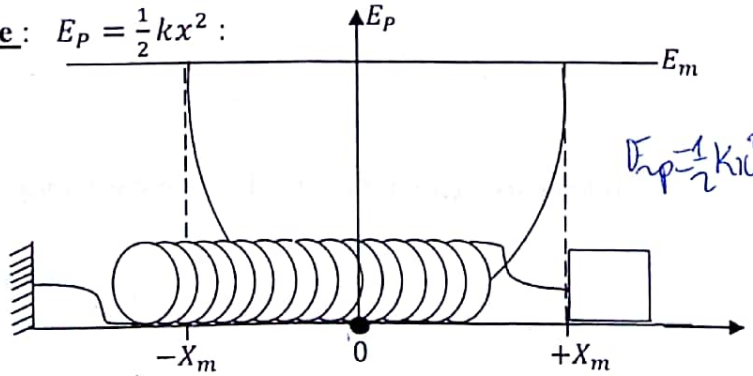
➢ **Graphe des énergies $E_C$ et $E_P$** : Posons $\varphi = 0$, $\omega_o = \frac{2\pi}{T_o}$ et $E_m = \frac{1}{2}KX_m^2$

$$\begin{cases} E_C = E_m sin^2\left(\frac{2\pi}{T_o}t\right) \\ E_P = E_m cos^2\left(\frac{2\pi}{T_o}t\right) \end{cases}$$

| $t$ | 0 | $\frac{T_o}{4}$ | $\frac{T_o}{2}$ | $\frac{3T_o}{4}$ | $T_o$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $E_C$ | 0 | $E_m$ | 0 | $E_m$ | 0 |
| $E_P$ | $E_m$ | 0 | $E_m$ | 0 | $E_m$ |




➢ **Graphe de** : $E_P = \frac{1}{2}kx^2$ :




$E_P = \frac{1}{2}Kx^2$ $\begin{cases} x = +X_m = \frac{1}{2}KX_m^2 = E_m \\ x = 0 \Rightarrow E_P = 0 \\ x = -X_m = \frac{1}{2}KX_m^2 = E_m \end{cases}$

Le graphe de $E_P = \frac{1}{2}kx^2$ est une parabole alors le pendule élastique oscille dans un puits de potentiel parabolique entre $+X_m$ et $-X_m$.

$E_C = E_m = \frac{1}{2}mV_m^2$

Quand $x = \mp X_m \rightarrow E_P = E_m \rightarrow E_C = 0$ car $v = 0$

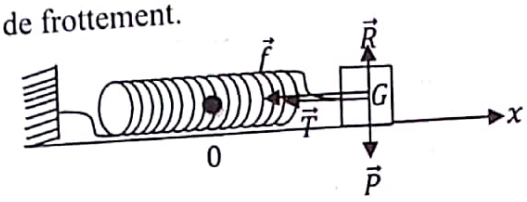


Scanned by CamScanner

Quand $x = 0 \rightarrow E_P = 0 \rightarrow E_C = E_m$ car $v = \mp V_m$

**Remarque : Pendule élastique amorti :**

- **Définition** : Un pendule élastique amorti est un pendule élastique soumis à des forces de frottements.
- **Etude du mouvement d'un pendule élastique amorti** : Soit un pendule élastique soumis à des forces de frottements telles que $\vec{f} = -\alpha\vec{V}$ avec $\alpha > 0$ et $\alpha$ le coefficient de frottement.




- **Equation différentielle** :

$$\left|\begin{array}{l}\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a} \\ \sum \vec{F}_{ex} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{f} + \vec{T} \rightarrow m\vec{a} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{f} + \vec{T}\end{array}\right.$$

Projetons les forces suivant $Ox \rightarrow ma = -T - f$

$$\begin{cases} a = \ddot{x} \\ T = Kx \\ f = \alpha v = \alpha\dot{x} \end{cases} \rightarrow m\ddot{x} = -kx - \alpha\dot{x} \rightarrow m\ddot{x} + \alpha\dot{x} + kx = 0 \rightarrow \ddot{x} + \frac{\alpha}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0$$

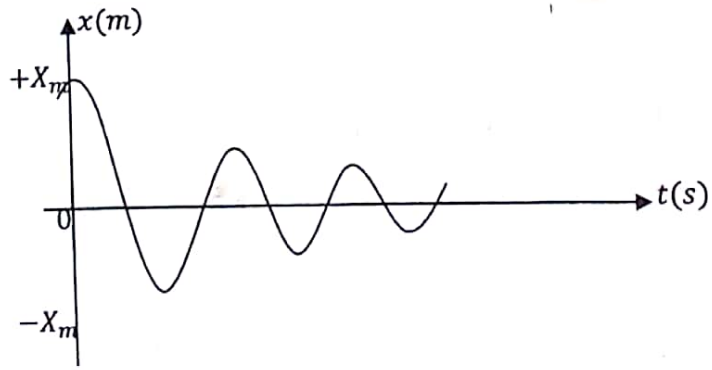
équation différentielle

$\rightarrow m\ddot{x} = -kx - \alpha\dot{x} \rightarrow m\ddot{x} + \alpha\dot{x} + kx = 0 \rightarrow \ddot{x} + \frac{\alpha}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0$ équation différentielle

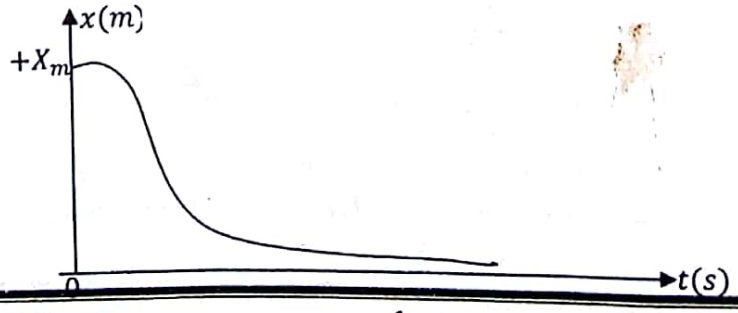
Cette équation différentielle est non linéaire donc l'oscillateur est non harmonique.

- **Discutions** :

➢ **Pour $\alpha$ faible** : Les frottements sont faibles : le mouvement est pseudo périodique :




➢ **Pour $\alpha$ grand** : Les frottements sont importants : le régime est apériodique.





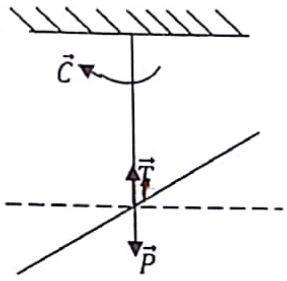

Scanned by CamScanner

3) **Pendule de torsion** :

- **Définition** : Un pendule de torsion est un système constitué d'un fil de torsion à l'extrémité libre duquel est fixée une tige ou un disque homogène.
  Le pendule de torsion est caractérisé par la constante de torsion $C$ du fil en $(N.m.rad^{-1})$ et par le moment d'inertie $J$ de la tige en $(Kg.m^2)$.
- **Etude du mouvement d'un pendule de torsion** : Soit un pendule de torsion de constante de torsion $C$ et de moment d'inertie $J$.
  Lorsque le système est écarté de sa position d'équilibre et abandonné, il oscille entre $+\alpha_m$ et $-\alpha_m$. Soit $\alpha$ son abscisse à la date $t$ quelconque.

- **Equation différentielle** :

➢ **Par une étude dynamique** :




théorème Uquest

⊕ d : bras de levier : une distance perpendiculaire entre la direct° de la force et l'axe de rotat°.

D'après la R.F.D :

$$\left|\sum \mathcal{M}\vec{F}ex_{/\Delta} = J\ddot{\alpha}\right.$$

$$\left|\sum \mathcal{M}\vec{F}ex_{/\Delta} = \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{T}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{C}/\Delta} \rightarrow J\ddot{\alpha} = \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{T}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{C}/\Delta}\right.$$

$$\begin{cases} \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = \mathcal{M}_{\vec{T}/\Delta} = 0 \text{ Car leurs directions rencontrent l'axe de rotation}\Delta. \\ \mathcal{M}_{\vec{C}/\Delta} = -C\alpha \end{cases}$$

$\rightarrow J\ddot{\alpha} = -C\alpha \rightarrow J\ddot{\alpha} + C\alpha = 0 \rightarrow \ddot{\alpha} + \frac{C}{J}\alpha = 0$ équation différentielle

➢ **Par une étude énergétique** :

$E_m = E_C + E_P = cste \rightarrow \dot{E}_m = \dot{E}_C + \dot{E}_P = cste = 0$

$$\begin{cases} E_C = \frac{1}{2}J\dot{\alpha}^2 \rightarrow \dot{E}_C = J\ddot{\alpha}\dot{\alpha} \\ E_P = \frac{1}{2}C\alpha^2 \rightarrow \dot{E}_P = C\dot{\alpha}\alpha \end{cases}$$

Or $\dot{E}_C + \dot{E}_P = 0 \rightarrow J\ddot{\alpha}\dot{\alpha} + C\dot{\alpha}\alpha = 0 \rightarrow \dot{\alpha}(J\ddot{\alpha} + C\alpha) = 0$

Or $\dot{\alpha} \neq 0 \rightarrow J\ddot{\alpha} + C\alpha = 0 \rightarrow \ddot{\alpha} + \frac{C}{J}\alpha = 0$ équation différentielle

- **Nature du mouvement** : cette équation est de la forme $\ddot{\alpha}+\omega_o{}^2\alpha = 0$ alors le mouvement est sinusoïdal de :

➢ **Pulsation propre** : $\omega_0^2 = \frac{C}{J} \rightarrow \omega_o = \sqrt{\frac{C}{J}}$ en rads$^{-1}$

➢ **Période propre** : $T_o = \frac{2\pi}{\omega_o} \rightarrow T_o = 2\pi\sqrt{\frac{J}{C}}$ en s

➢ **Fréquence propre** : $N_o = \frac{1}{T_o} \rightarrow N_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C}{J}}$ en $H_z$

- **Les équations horaires** : $\ddot{\alpha} + \frac{C}{J}\alpha = 0$ a pour solutions

$$\begin{cases} \alpha = \alpha_m \cos(\omega_o t + \varphi) \text{ en rad} \\ \dot{\alpha} = -\alpha_m\omega_o \sin(\omega_o t + \varphi) \text{ (rads}^{-1}\text{) posons } \dot{\alpha}_m = \omega_o\alpha_m \rightarrow \dot{\alpha} = -\dot{\alpha}_m \sin(\omega_o t + \varphi \\ \ddot{\alpha} = -w_o{}^2\alpha_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \text{ (rads}^{-2}\text{) posons } \ddot{\alpha}_m = \omega_0^2\alpha_m \rightarrow \ddot{\alpha} = -\ddot{\alpha}_m \cos(\omega_o t + \varphi) \end{cases}$$



Scanned by CamScanner

**N.B** : $\alpha_m$ *et* $\varphi$ sont déterminées à l'instant $t = 0$

- **Les énergies** :

➢ **Energie cinétique** : $E_C = \frac{1}{2}J\dot{\alpha}^2 \rightarrow E_C = \frac{1}{2}J(\frac{d\alpha}{dt})^2 \rightarrow E_C = \frac{1}{2}J\omega_0^2\alpha_m^2 sin^2(\omega_o t + \varphi)$

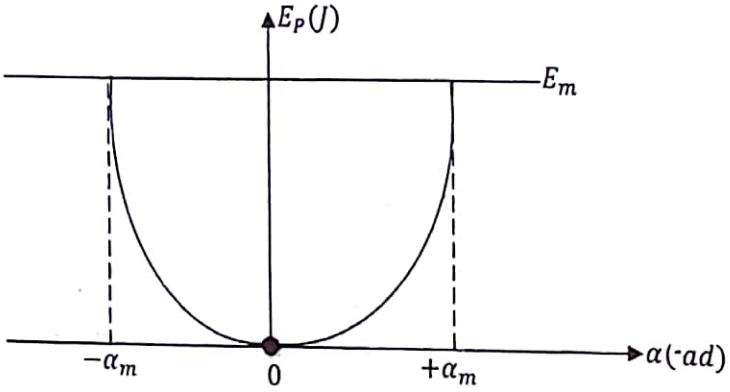
Or $\omega_0^2 = \frac{C}{J} \rightarrow E_C = \frac{1}{2}C\alpha_m^2 sin^2(\omega_o t + \varphi)$

➢ **Energie potentielle** : $E_P = \frac{1}{2}C\alpha^2 \rightarrow E_P = \frac{1}{2}C\alpha_m^2 cos^2(\omega_o t + \varphi)$

➢ **Energie mécanique** : L'énergie mécanique est la somme des énergies cinétique et potentielle : $E_m = E_C + E_P \rightarrow E_m = \frac{1}{2}J\dot{\alpha}^2 + \frac{1}{2}C\alpha^2 \rightarrow E_m = \frac{1}{2}J(\frac{d\alpha}{dt})^2 + \frac{1}{2}C\alpha^2$

Ou $E_m = \frac{1}{2}C\alpha_m^2 sin^2(\omega_o t + \varphi) + \frac{1}{2}C\alpha_m^2 cos^2(\omega_o t + \varphi) \rightarrow \Gamma_m = \frac{1}{2}C\alpha_m^2 = cste$ alors il y a transformation mutuelle entre $E_C$ et $E_P$

➢ **Graphe de** : $E_P = \frac{1}{2}C\alpha^2$:




Quand $\alpha = \mp\alpha_m \rightarrow E_P = E_m \rightarrow E_C = 0$ car $\dot{\alpha} = 0$

Quand $\alpha = 0 \rightarrow E_P = 0 \rightarrow E_C = E_m$ car $\dot{\alpha} = \mp\dot{\alpha}_m$

$\mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} = 0$

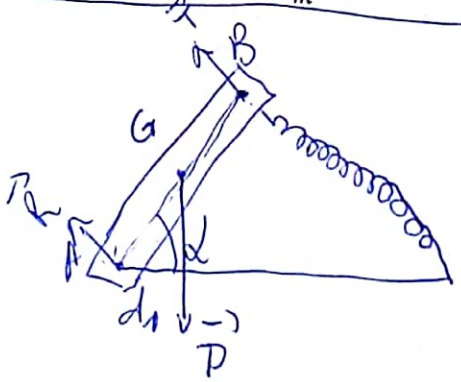
NB:

$\mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = Pd_1$

$\cos\alpha = \frac{d_1}{AG}$

$d_1 = AG\cos\alpha \Rightarrow$

$\mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = PAG\cos\alpha$.




$\mathcal{M}_{\vec{T}/\Delta} = -Td_2$ or $d_2 = AB \Rightarrow \mathcal{M}_{\vec{T}/\Delta} = -T \times AB$

rencontre à l'axe $\Rightarrow \mathcal{M}_F = 0$

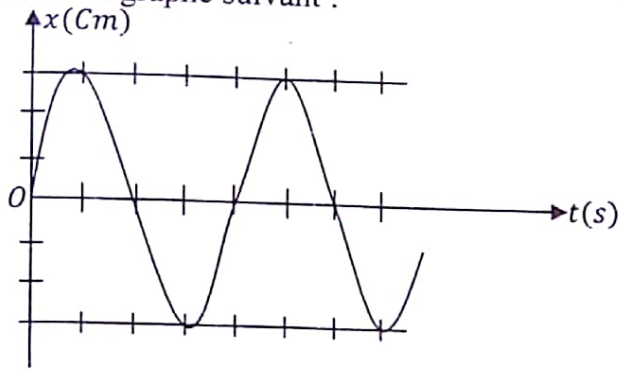
parallèle à l'axe $\Rightarrow \mathcal{M}_F = 0$.



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LES OSCILLATEURS MÉCANIQUES LIBRES

**Exercice 1** : Un pendule élastique est mis en oscillation harmonique. Un système approprié permet d'enregistrer les variations de son abscisse en fonction du temps. On obtient le graphe suivant :




Horizontalement : $250ms/div$

Verticalement : $2Cm/div$

1) Déterminer $X_m, \omega_o$ et $\varphi$
2) Trouver $K$ et $m$ sachant que $E_m = 2.10^{-2}J$

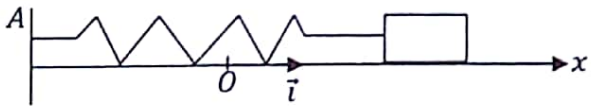
On posera $x = X_m \cos(\omega_o t + \varphi)$

**Exercice 2** : Dans tout l'exercice, on prendra $g = 10\,m/s^2$. On négligera les frottements. On utilise un ressort de masse négligeable à spires non jointives.

1) Pour déterminer la raideur $K$ d'un ressort, on accroche une de ses extrémités à un support fixe. Lorsqu'on accroche une masse $m = 200g$ à son autre extrémité son allongement vaut $10Cm$.

Vérifier que la raideur du ressort vaut $20N/m$

2) On fixe maintenant le ressort étudié comme l'indique la figure ; $A$ est son extrémité fixe. On accroche à son autre extrémité un solide $(S)$ de masse $m = 200g$. Ce solide peut se déplacer sans frottement le long de l'axe $Ox$. A l'équilibre, le centre d'inertie $G$ du solide coïncide avec l'origine $O$ du repère.




a) Le solide est supposé en mouvement dans la position représentée sur la figure ci-dessus.

- Faire l'inventaire des forces qui agissent sur le solide $S$. Représenter schématiquement ces forces dans le cas correspondant à la figure.
- Etablir l'équation différentielle qui régit le mouvement de $G$
- En déduire l'expression de la pulsation propre $\omega_o$ de cet oscillateur et celle de sa période $T_o$. Calculer numériquement $\omega_o$ et $T_o$
- Vérifier que quelles que soient les valeurs de $X_m$ et $\varphi$ l'équation horaire $x(t) = X_m \cos(\omega_o t + \varphi)$ est solution de l'équation différentielle précédente.

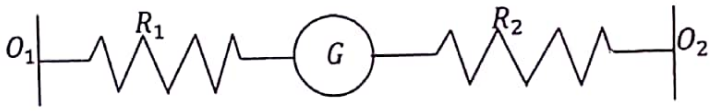


Scanned by CamScanner

b) On comprime le ressort en poussant le solide vers la gauche. Le point $G$ occupe alors la même situation $G_o$ telle que la mesure $\overline{OG_o} = -0{,}15Cm$.
A l'instant $t = 0$, on lâche le solide sans vitesse initiale.

- Déterminer l'amplitude $X_m$ et la phase à l'origine $\varphi$ du mouvement, ainsi que l'expression de la vitesse $V(t)$ du solide. En déduire la valeur maximale de la vitesse.
- Définir et exprimer l'énergie mécanique de cet oscillateur. Donner sa valeur numérique à l'instant $t = 0$ (on prendra l'énergie potentielle du ressort nulle lorsque $x = 0$).
- En admettant et en utilisant la conservation de l'énergie mécanique retrouver la valeur maximale de la vitesse du solide.

**Exercice 4** : Un mobile de masse $m = 700g$ et de rayon $R = 0{,}5Cm$ placé sur une table sur une table horizontale à coussin d'air est relié à deux ressorts identiques $R_1$ et $R_2$ comme l'indique la figure ci-dessous.
Ces ressorts ont des axes colinéaires horizontaux et ont leurs extrémités fixées en $O_1$ et $O_2$. Ils ont une longueur à vide égale à $20Cm$ et s'allongent de $4Cm$ sous l'action d'une force de $1N$. La distance $O_1O_2$ est de $70Cm$.




a) Préciser quelle est, à l'équilibre, la position de $G$ du centre d'inertie du mobile. Calculer la valeur $\Delta l$ de l'allongement de chaque ressort à l'équilibre.
b) On écarte le mobile de sa position d'équilibre de $x = 5Cm$ vers $O_1$ dans la direction $O_1O_2$ et on l'abandonne sans vitesse initiale. Il prend alors un mouvement oscillatoire. Montrer, en appliquant la deuxième de Newton que le mouvement est harmonique. Exprimer et calculer la pulsation et la période du mouvement.
c) Sachant qu'à l'instant $t = 0$, $G$ est à $2Cm$ de sa position d'équilibre vers $O_1$ et se déplace vers $O_2$, donner l'expression qui permet de situer $G$ à chaque instant.
d) Le système (mobile, $R_1$ et $R_2$) est conservatif. Exprimer son énergie mécanique à la date $t$ quelconque et retrouver l'équation différentielle du b).

**Exercice 5** : Un pendule de torsion est constitué par une tige rigide, homogène suspendue en son milieu à un fil vertical dont $C$ est la constante de torsion, $J$ est le moment d'inertie de la tige par rapport à l'axe de rotation.

1) On écarte la tige de sa position d'équilibre d'un angle $\alpha_m$ dans un plan horizontal puis on l'abandonne sans vitesse.
   a) Donner l'expression du moment du couple de torsion dans toute position de la tige déterminée par l'écart angulaire $\alpha$ que fait alors la tige avec sa position d'équilibre, $\alpha$ étant mesuré algébriquement.
   b) Etablir l'équation différente du mouvement non amorti et en déduire l'expression de la pulsation propre.
2) La tige abandonnée à elle-même, effectue sans amortissement des oscillations de période $T_o = 4{,}20s$.
   a) En déduire la constante de torsion du fil, $J$ valant $320Kg.m^2$



Scanned by CamScanner

b) Ecrire l'équation du mouvement en prenant comme origine des temps la date à laquelle la tige a été abandonnée sans vitesse, l'écart angulaire étant alors $\alpha = \frac{2\pi}{3} rad$

3) Pour un écart angulaire $\alpha = 90°$, déterminer la valeur des énergies potentielle et cinétique.

Exo 5 : Un générateur de courant alternatif maintient entre ses bornes A et B une tension sinusoïdale dont la valeur maximale $U_m = 282,8\ V$ et de fréquence $N = 60\ Hz$. On branche en série entre les bornes A et B un condensateur de capacité $C = 13,25\ \mu F$ et une bobine de résistance est $R = 15\ \Omega$, d'inductance $L$ variable entre $0,1\ H$ et $1\ H$.

1.) Quelle est la valeur efficace $U$ de la tension entre les pts A et B.

2.) En utilisant la construct° de Fresnel, dans le cas où le circuit est inductif, établir la relation entre $U$ et $L$

3.) La bobine est réglée de sorte que $L = 0,797\ H$. On demande :

a.) L'impédance du circuit.

b.) L'intensité efficace $I$ du courant.

c.) Les tensions efficaces $U_1$ et $U_2$ aux bornes de la bobine et du condensateur.

d.) Les énergies $W_1$ et $W_2$ dissipées en 10 min dans la bobine et dans le condensateur ainsi que le facteur de puissance du circuit

4) Quelle doit être la valeur $L_0$ et $L$ pour que le circuit se comporte comme une résistance pure ? Calculer alors l'intensité efficace $I'$ du courant et les tensions $U'_1$ et $U'_2$ aux bornes de la bobine et du condensateur.



Scanned by CamScanner

# OSCILLATEURS ÉLECTRIQUES LIBRES

1) **Les définitions** :

- **Circuit oscillant** : Un circuit oscillant est un système constitué d'un condensateur de capacité $C$ et d'une bobine d'inductance $L$. C'est un circuit $(L, C)$.

**Capacité** : La capacité d'un condensateur est le quotient de sa charge par la tension ses bornes. $C = \frac{q}{U} \rightarrow q = CU$ et $q$ en Coulomb (C), $U$ en Volt (V), $C$ en Farad (F)

**N.B** $\begin{cases} 1\mu F = 10^{-6}F \\ 1nF = 10^{-9}F \\ 1pF = 10^{-12}F \end{cases}$ pico

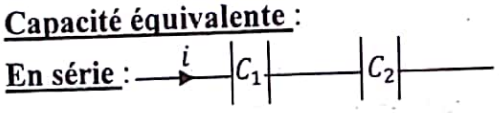
1 A° F $\rightarrow 10^{-10}$ F amstron

**Remarque** : Pour un condensateur plan : $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{e}$

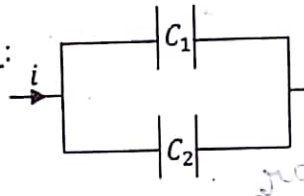
$\begin{cases} \varepsilon_0 = 8{,}8510^{-12} Fm^{-1} \text{ Permittivité du vide} \\ \varepsilon_r \text{ Permittivité relative de l'isolant (Si l'isolant est l'air alors } \varepsilon_r = 1) \\ S \text{ Surface des armatures en m}^2 \\ e \text{ Epaisseur de l'isolant en m} \end{cases}$

$\mathcal{E}$ : ébonite.

– **Capacité équivalente** :

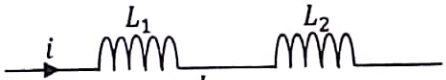
- **En série** :  $\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \rightarrow C_e = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

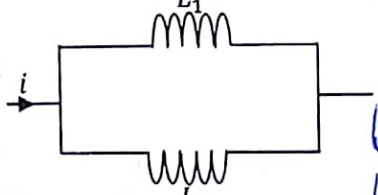
série $\begin{cases} i = cste \Rightarrow i = \dots \Rightarrow q = \dots \\ U = \Sigma U \Rightarrow U = U_1 + \dots \end{cases}$

- **En parallèle** :  $C_e = C_1 + C_2$

parallèle $\begin{cases} i = \Sigma i \Rightarrow i = i_1 + i_2 \Rightarrow q = q_1 + \dots \\ U = cste \Rightarrow U = U_1 = U_2 \end{cases}$

– **Inductance équivalente** :

- **En série** :  $L_e = L_1 + L_2$

- **En parallèle** :  $\frac{1}{L_e} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \rightarrow L_e = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$

$u_c = \frac{q}{C}$ $u_R = Ri$ $u_L = \frac{Ldi}{dt}$

2) **Sens positif d'un circuit** :

**1$^{er}$ Cas** : A la charge $i = +\frac{dq}{dt}$ avec $q = CU \rightarrow i = +\frac{CdU}{dt}$

D'après la loi d'additivité des tensions on a : $u_C = -u_L \rightarrow u_C + u_L = 0$

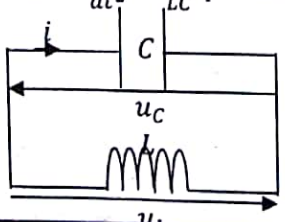
Déduction relation

$\begin{cases} u_C = \frac{q}{c} \\ u_L = ri + L\frac{di}{dt} \text{ or } r = 0 \rightarrow U_L = \frac{Ldi}{dt} \text{ or } i = \frac{dq}{dt} \rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2} \text{ alors } U_L = L\frac{d^2q}{dt^2} \end{cases}$

On aura donc : $\frac{q}{c} + L\frac{d^2q}{dt^2} = 0 \rightarrow \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0$ équation différentielle

$\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$ ; $q, \ddot{q}, L, C$

or $\begin{cases} q = CU \\ \ddot{q} = C\ddot{u} \end{cases} \Rightarrow C\ddot{u} + \frac{1}{LC}CU = 0$



$C(\ddot{u} + \frac{1}{LC}U) = 0$ or $C \neq 0 \Rightarrow \ddot{u} + \frac{1}{LC}U = 0$

$\frac{d^2q}{dt^2} = \ddot{q} = i$



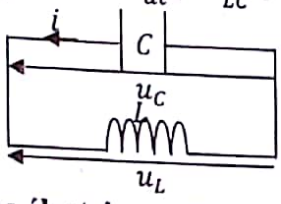
Scanned by CamScanner

**2^e Cas** : A la décharge $i = -\frac{dq}{dt}$ avec $q = CU \rightarrow i = -\frac{CdU}{dt}$

D'après la loi d'additivité des tensions on a : $u_C = u_L \rightarrow u_C - u_L = 0$

$\begin{cases} u_C = \frac{q}{C} \\ u_L = ri + L\frac{di}{dt} \text{ or } r = 0 \rightarrow U_L = \frac{Ldi}{dt} \text{ or } i = -\frac{dq}{dt} \rightarrow \frac{di}{dt} = -\frac{d^2q}{dt^2} \text{ alors } U_L = -L\frac{d^2q}{dt^2} \end{cases}$

On aura donc : $\frac{q}{C} - (-L\frac{d^2q}{dt^2}) = 0 \rightarrow \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0$ équation différentielle



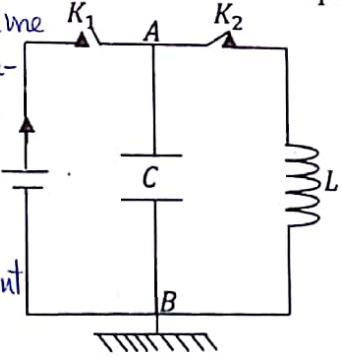

3) **Phénomène d'oscillations électriques libres :**

- **Expérience de mise en évidence** : considérons un circuit comportant un générateur, une bobine d'inductance $L$, un condensateur de capacité $C$ et deux (2) interrupteurs $K_1$ et $K_2$.Ces interrupteurs sont tels que lorsqu'on ferme $K_1$, $K_2$ s'ouvre automatiquement et vice vers ca.

  Lorsqu'on ferme $K_1$, on assiste à la charge du condensateur par le générateur. Isolons le générateur et fermons $K_2$. On constate que le condensateur initialement chargé se décharge dans la bobine. Le circuit étant toujours fermé, la bobine transmet à son tour son énergie au condensateur qui peut se décharger de nouveau dans la bobine et ainsi de suite. Il y a échange périodique d'énergie entre le condensateur et la bobine : c'est le phénomène d'oscillations électriques libres

Condensateur : C'est un système comportant 2 plaques métallique ~~Un dipôle~~ !! séparées par un isolant de faible épaisseur

Noeud : C'est un pt de rencontre de + de 2 courant




un circuit est un ensemble de fils de connect° fermés sur un générateur et des appareils électriq (recepteurs)

- **Etude des oscillations électriques libres** : Soit un circuit $(L, C)$ oscillant librement.

– **Equation différentielle** :

- **En appliquant la loi d'additivité des tensions ou loi des mailles** :

  D'après la loi d'additivité des tensions on a : $U_C = -U_L \rightarrow U_C + U_L = 0$

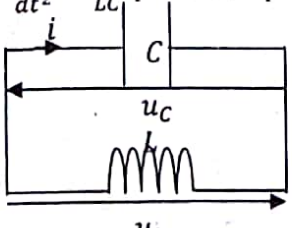
  $\begin{cases} U_C = \frac{q}{C} \\ U_L = ri - e \text{ or } r = 0 \text{ et } e = -\frac{Ldi}{dt} \rightarrow U_L = \frac{Ldi}{dt} \text{ or } i = \frac{dq}{dt} \rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2} \text{ alors } U_L = L\frac{d^2q}{dt^2} \end{cases}$

  On a donc : $\frac{q}{C} + L\frac{d^2q}{dt^2} = 0 \rightarrow \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0 \; ou \; \ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$ équation différentielle

portion de maille est fermée dans un circuit

loi de mailles : Dans un maille, Eu en allant et en y revenant est nulle

loi de noeud : Σi arrivant = Σi partant.






Scanned by CamScanner

Ite porte fermée sur un circuit : maille

- **En appliquant la conservation de l'énergétique totale** :

  On a: $\varepsilon_t = \varepsilon_e + \varepsilon_m = cste \rightarrow \dot{\varepsilon}_t = \dot{\varepsilon}_e + \dot{\varepsilon}_m = cste = 0$

  $\begin{cases} \varepsilon_e = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} \rightarrow \dot{\varepsilon}_e = \frac{1}{C}\dot{q}q \\ \varepsilon_m = \frac{1}{2}Li^2 = \frac{1}{2}Lq^2 \rightarrow \dot{\varepsilon}_m = L\ddot{q}\dot{q} \end{cases}$

  Or $\dot{\varepsilon}_e + \dot{\varepsilon}_m = 0 \rightarrow \frac{1}{C}\dot{q}q + L\ddot{q}\dot{q} = 0 \rightarrow \dot{q}\left(L\ddot{q} + \frac{1}{C}q\right) = 0$

  Or $\dot{q} \neq 0 \rightarrow L\ddot{q} + \frac{1}{C}q = 0 \rightarrow \ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$ équation différentielle

- **Nature du mouvement** : cette équation est de la forme $\ddot{q} + \omega_o{}^2 q = 0$ alors le mouvement est sinusoïdal de :

  - **Pulsation propre** : $\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \rightarrow \omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ en rads$^{-1}$
  - **Période propre** : $T_o = \frac{2\pi}{\omega_o} \rightarrow T_o = 2\pi\sqrt{LC}$ en s
  - **Fréquence propre** : $N_o = \frac{1}{T_o} \rightarrow N_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ en $H_z$

- **Les équations horaires** : $\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$ a pour solutions

  $\begin{cases} q = q_m \cos(\omega_o t + \varphi) \text{ en C} \\ i = -q_m\omega_o \sin(\omega_o t + \varphi) \text{ en A} \end{cases}$ posons $I_m = \omega_o q_m \rightarrow i = -I_m \sin(\omega_o t + \varphi)$

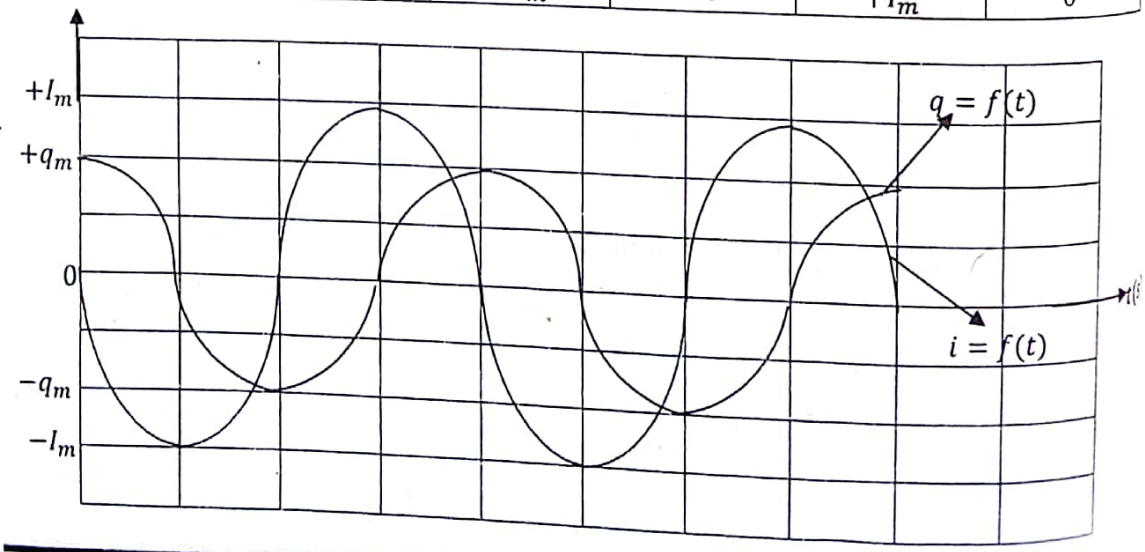
  **N.B** : $q_m$ *et* $\varphi$ sont déterminées à l'instant $t = 0$

  **Remarque** : $u = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C}\cos(\omega_o t + \varphi)$ posons $U_m = \frac{q_m}{C} \rightarrow u = U_m \cos(\omega_o t + \varphi)$

- **Graphe de** : $q = f(t)$, $i = f(t)$: Posons $\varphi = 0$ et $\omega_o = \frac{2\pi}{T_o}$

  $\begin{cases} q = q_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_o}t\right) \\ i = -I_m \sin\left(\frac{2\pi}{T_o}t\right) \end{cases}$

| $t$ | 0 | $\frac{T_o}{4}$ | $\frac{T_o}{2}$ | $\frac{3T_o}{4}$ | $T_o$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $q$ | $+q_m$ | 0 | $-q_m$ | 0 | $+q_m$ |
| $i$ . | 0 | $-I_m$ | 0 | $+I_m$ | 0 |






Scanned by CamScanner

- **Les énergies** : L'énergie électromagnétique est: $\varepsilon_t = \varepsilon_e + \varepsilon_m \rightarrow \varepsilon_t = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} + \frac{1}{2}Li^2$

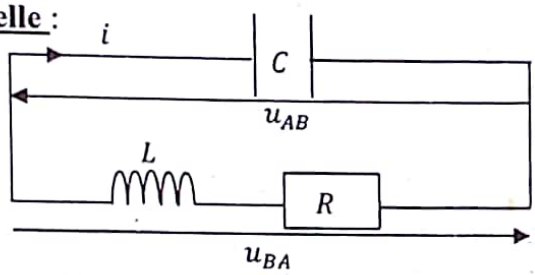
- **Energie électrique dans le condensateur** : $\varepsilon_e = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} \rightarrow \varepsilon_e = \frac{1}{2}\frac{q_m^2}{C}cos^2(\omega_o t + \varphi)$
- **Energie magnétique dans la bobine** : $\varepsilon_m = \frac{1}{2}Li^2 \rightarrow \varepsilon_m = \frac{1}{2}L(\frac{dq}{dt})^2$

  $\rightarrow \varepsilon_m = \frac{1}{2}L{\omega_o}^2{q_m}^2 sin^2(\omega_o t + \varphi)$ Or ${\omega_o}^2 = \frac{1}{LC} \rightarrow \varepsilon_m = \frac{1}{2}\frac{q_m^2}{C}sin^2(\omega_o t + \varphi)$
- **Energie totale dans le circuit** : L'énergie totale est la somme des énergies électrique et magnétique : $\varepsilon_t = \varepsilon_e + \varepsilon_m \rightarrow \varepsilon_t = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} + \frac{1}{2}Li^2 \rightarrow \varepsilon_t = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} + \frac{1}{2}L(\frac{dq}{dt})^2$

  Ou $\varepsilon_t = \frac{1}{2}\frac{q_m^2}{C}cos^2(\omega_o t + \varphi) + \frac{1}{2}\frac{q_m^2}{C}sin^2(\omega_o t + \varphi) \rightarrow \varepsilon_t = \frac{1}{2}\frac{q_m^2}{C} = cste$ alors il y a transformation mutuelle entre $\varepsilon_e$ et $\varepsilon_m$ ou il y a conservation.

4) **Oscillations électriques amorties** :

- **Equation différentielle** :




Appliquons la loi des mailles : $u_{AB} + u_{BA} = 0 \rightarrow u_C + u_R + u_L = 0$

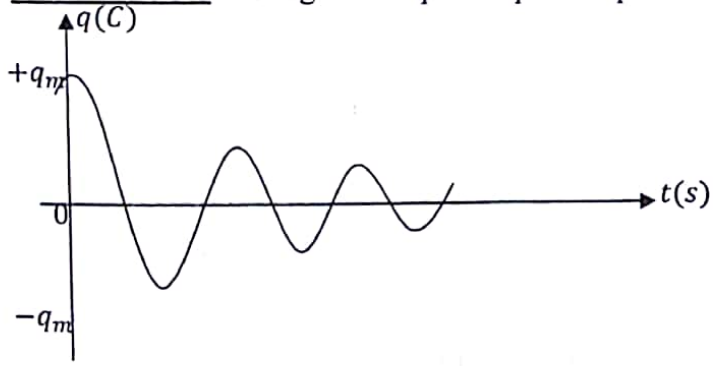
$\rightarrow \frac{q}{C} + Ri + L\frac{di}{dt} = 0$ Or $i = \frac{dq}{dt} = \dot{q} \rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2} = \ddot{q}$

On aura donc : $\frac{1}{C}q + R\dot{q} + L\ddot{q} \rightarrow \ddot{q} + \frac{R}{L}\dot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$ equation différentielle.

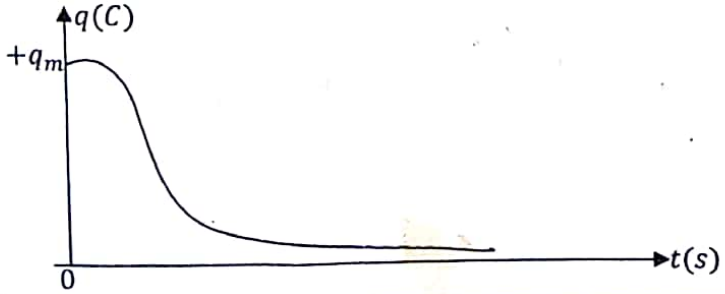
Cette équation est non linéaire alors les oscillations ne sont pas harmonique. Il y a amortissement à cause des pertes d'énergie dans le résistor par effet joule. $R$ est donc un amortisseur.




- **Discutions** :
- **Pour R faible** : Le régime est pseudopériodique.




- **Pour R grande** : Le régime est apériodique. ou critique



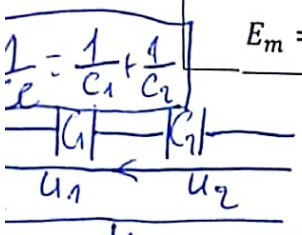



Scanned by CamScanner

5) **Analogie entre grandeurs mécaniques et électriques** :

A partir des équations différentielles $L\ddot{q} + \frac{1}{C}q = 0$ pour un circuit $(L, C)$ et $m\ddot{x} + kx = 0$ pour un pendule élastique, on constate qu'il existe une analogie formelle entre les grandeurs électrique et mécanique.

| Grandeurs mécaniques | Grandeurs électriques |
|---|---|
| $m$ | $L$ |
| $k$ | $\frac{1}{C}$ |
| $x$ | $q$ |
| $\dot{x} = v = \frac{dx}{dt}$ | $\dot{q} = i = \frac{dq}{dt}$ |
| $E_C = \frac{1}{2}mV^2$ | $\varepsilon_m = \frac{1}{2}Li^2$ |
| $E_P = \frac{1}{2}kx^2$ | $\varepsilon_e = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$ |
| $E_m = E_C + E_P = \frac{1}{2}mV^2 + \frac{1}{2}kx^2$ | $\varepsilon_t = \varepsilon_m + \varepsilon_e = \frac{1}{2}Li^2 + \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$ |




Condensateurs:

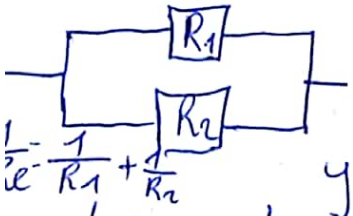
En série: $U = U_1 + U_2 \Rightarrow \frac{q}{C} = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2} \Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

Parallèles

$q = q_1 + q_2 \Rightarrow CU = C_1U_1 + C_2U_2 \Rightarrow C = C_1 + C_2$

Résistors:

En série: $U = U_1 + U_2 \Rightarrow Ri = R_1i_1 + R_2i_2 \Rightarrow R = R_1 + R_2$




Parallèle: $i = i_1 + i_2 \Rightarrow \frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$

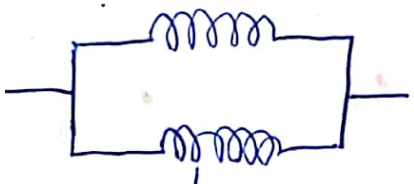
$\Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.

Inductances:




En série: $U = U_1 + U_2 \Rightarrow L\frac{di}{dt} = L_1\frac{di_1}{dt} + L_2\frac{di_2}{dt}$

$L = L_1 + L_2$.




Parallèle: $i = i_1 + i_2 \Rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt}$

$\frac{U}{L} = \frac{U_1}{L_1} + \frac{U_2}{L_2} \Rightarrow \frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$.



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LES OSCILLATEURS ÉLECTRIQUES LIBRES

**Exercice 1** : On réalise un circuit oscillant comme l'indique la figure ci-dessous, un condensateur de capacité $C$ et une bobine d'inductance $L = 40mH$ et e résistance négligeable.

Le circuit est le siège d'oscillations électriques de fréquence $N_o = 800Hz$

a) Calculer la pulsation propre $\omega_o$et la valeur de la capacité $C$.

b) Avec les conventions indiquées sur la figure ci-dessus, l'intensité $i$ à l'instant $t = 0$ est maximale et a pour valeur $I_m = 2A$.
Donner l'expression de l'intensité $i$ en fonction du temps

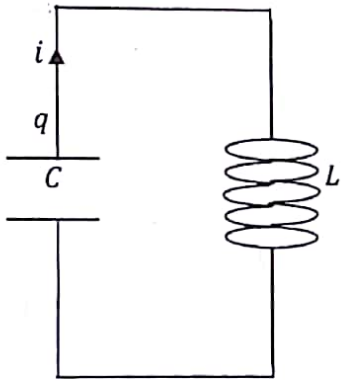
c) Exprimer la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps.

d) A quelle date la charge $q$ est-elle pour la première fois :

- Positive et maximale ?
- Négative et maximale ?

Calculer l'énergie présente dans le circuit à ces deux dates. Sous quelle (s) forme (s) existe-t-elle ?

e) Calculer l'énergie électrostatique et l'énergie magnétique aux instants :
$t_1 = 6{,}25.10^{-4}s$ et $t_2 = 2.10^{-4}s$




**Exercice 2** : On réalise le montage schématisé ci-dessous. Un ordinateur couplé à un interface permet de visualiser la tension aux bornes du condensateur.
La capacité du condensateur est $C = 0{,}1\mu F$ et l'inductance $L$ de la bobine est inconnue.

1) On place l'inverseur $K$ en position 1. Que se passe-t-il pour le condensateur ? On place ensuite l'inverseur $K$ en position 2. On observe alors sur l'écran la courbe suivante (figure b)

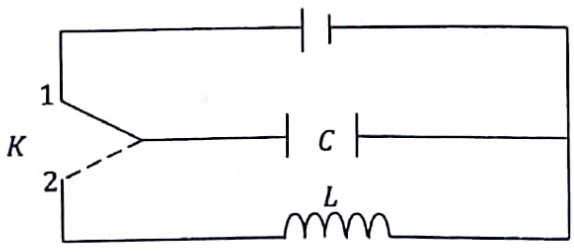
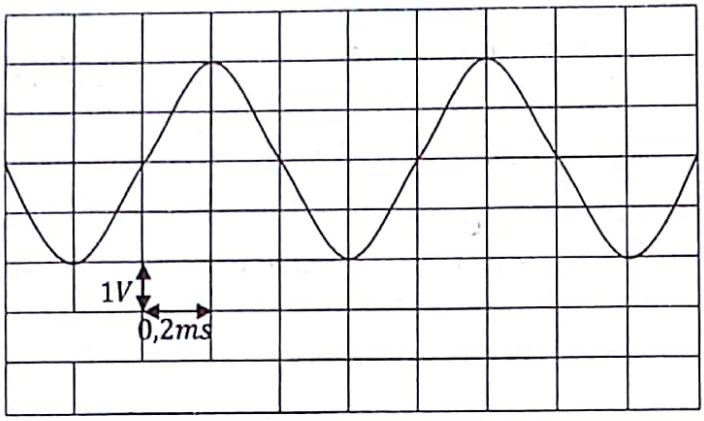



*fig a*



Scanned by CamScanner

(b)




$\frac{I_m}{q_m} = 8000$

Quel phénomène représente-t-elle ?

Quelle est la valeur de la pseudo-période ?

L'amortissement est considéré comme négligeable dans la suite de l'exercice.

2) a) En déduire les expressions de la charge $q$ du condensateur et de l'intensité de $i$ en fonction du temps. (On prend pour origine des temps l'instant où $q$ prend sa valeur maximale)

Représenter sur un même graphique les variations de $q$ et $i$

b) Déterminer les énergies emmagasinées dans le condensateur et dans la bobine.

c) Calculer l'énergie totale du circuit.

## Oscillateur forcé :

**Exo 5 :** du circuit R, L, C : On réalise, entre deux pts A et B, une portion de circuit en déposant en série une résistance pure $R_1$, une ~~portion~~ bobine d'inductance L et de résistance $R_2$, un condensateur de capacité C variable et un ampèremètre d'impédance négligeable devant celle du circuit. Cet ensemble est alimenté par un générateur de tension sinusoïdale de fréquence $f = 50\,Hz$. La tension efficace $U_{AB}$ aux bornes du générateur est constante et $= 30\,V$. Soit I la valeur de l'intensité efficace qui s'établit dans ce circuit.

1.) Donner l'expression littérale de l'impédance du circuit ainsi que celle de l'intensité efficace I. Calculer I sachant que $R_1 = 1,1 \cdot 10^2\,\Omega$ ; $R_2 = 0,10 \cdot 10^2\,\Omega$ ; $L = 1,0\,H$ ; $C = 1,0 \cdot 10^{-5}\,F$.

2.) On conserve les valeurs de $R_1$ et $R_2$ et L mais on fait varier C. On note les valeurs prises par le courant pour chacune des valeurs de la capacité C adoptées. On obtient le tableau ci-dessous :

3.) Tracer la courbe de variat° de I en fonct° de C.

4.) Reprendre l'expression de I et justifier.



Scanned by CamScanner

# OSCILLATEURS ÉLECTRIQUES FORCÉS :

## CIRCUIT (R.L.C)

1) **Courant alternatif sinusoïdal** :

- **Définition** : Le courant alternatif sinusoïdal est un courant alternatif dont l'intensité et la tension sont des fonctions sinusoïdales du temps.
  C'est un courant qui change deux (2) fois de signe en une période d'où deux (2) alternances en une période.
- **Les grandeurs instantanées** :
- **L'intensité instantanée** : C'est une fonction sinusoïdale du temps :
  Avec $i = I_m \cos(\omega t + \varphi_1)$
  $\begin{cases} I_m : \text{Intensité maximale en (A)} \\ \omega t + \varphi_1 : \text{Phase à } t \neq 0 \\ \varphi_1 : \text{Phase à l'origine ou phase à } t = 0 \end{cases}$
  **Exemple:** $i = 2\cos 314t$ on a: $I_m = 2\text{A}$, $\omega = 314\text{rad/s} \rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = 50\text{H}_z$ (fréquence EDM-sa) de distribut°
- **La tension instantanée** : C'est une fonction sinusoïdale du temps
  Avec $u = U_m \cos(\omega t + \varphi_2)$
  $\begin{cases} U_m : \text{Tension maximale en (V)} \\ \omega t + \varphi_2 : \text{Phase à } t \neq 0 \\ \varphi_2 : \text{Phase à l'origine ou phase à } t = 0 \end{cases}$
- **Le déphasage tension-intensité** : Le déphasage $\varphi$ est la différence de phase entre la phase de la tension et la phase de l'intensité.
  Avec $\varphi_{u/i} = \varphi_u - \varphi_i \rightarrow \varphi = (\omega t + \varphi_2) - (\omega t + \varphi_1) \rightarrow \varphi = \varphi_2 - \varphi_1$

- Pour $\varphi > 0$, $u$ est en avance sur $i$
- Pour $\varphi < 0$, $u$ est en retard sur $i$
- Pour $\varphi = 0$, $u$ et $i$ sont en phase
- Pour $\varphi = \pi$ rad $u$ et $i$ sont en opposition de phase
- Pour $\varphi = \frac{\pi}{2}$ rad $u$ et $i$ sont en quadrature de phase

Courant continu $\begin{cases} u = \text{cste} \\ I = \text{cste} \end{cases}$
Courant variable $\begin{cases} \text{linéaire} \begin{cases} u = 2t+3 \\ u = 4t - 11 \end{cases} \\ \text{alternative} \begin{cases} i = I_m \cos(\omega t + \varphi) \\ u = U_m \cos(\omega t + \varphi) \end{cases} \end{cases}$

**N B** : **Attention au graphe** :
Avec le graphe on utilise : $|\varphi| = \omega\theta$ or $\omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow \varphi = \frac{2\pi\theta}{T}$
correspond $\begin{cases} \theta \rightarrow l \text{ est le décalage horaire} \\ T \rightarrow L \text{ est la période} \end{cases}$
alors $\varphi = \frac{2\pi l}{L}$ A.T.T. courbes pour afin trouver la vraie valeur de $\varphi$ Après ce calcul on détermine la posit° des

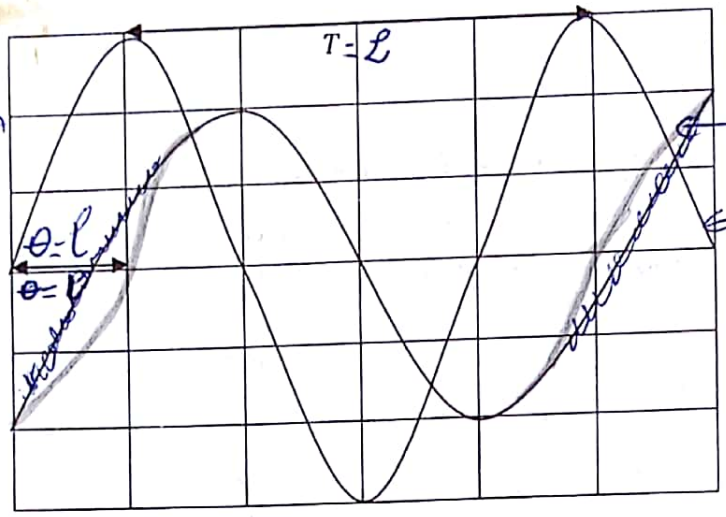
Nbre Le déphasage intensité-tension : $\varphi_{\frac{i}{u}} = -\varphi_{\frac{u}{i}}$ ou $\boxed{\varphi_{\frac{i}{u}} = -\varphi}$

Courant: un déplacem ordonné des porteur de charges (électrons pour les fils et ions dans les solut° ~~ionisable~~ électrolysée).
Valeur du courant → intensité du courant : $I = \frac{q}{t} = \frac{ne}{t}$
force du courant → tension " $u$.



Scanned by CamScanner

La courbe qui atteint son maximum en premier lieu est en avance graphiquement sa valeur maximale




- **Les grandeurs efficaces** :
- **L'intensité efficace** : L'intensité efficace est la valeur $I$ du courant alternatif ayant même effet joule qu'un courant continu de la même valeur.

  On a : $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \rightarrow I_m = I\sqrt{2}$

  **NB**: $i = I_m \cos(\omega t + \varphi_1)$ avec $I_m = I\sqrt{2} \rightarrow i = I\sqrt{2}\cos(\omega t + \varphi_1)$

  **Démonstration** : soit $i = I_m \cos \omega t$

  On sait que $Q = Ri^2t$

  $I$ est efficace ssi $Q = RI^2T$

  L'intensité $i$ produit le même effet $Q = Ri^2t$ pendant un intervalle de temps $dt$ on a $dQ = Ri^2dt$ et au bout d'une période $T$ on aura : $Q = \int_0^T Ri^2dt$

  Avec $i = I_m \cos \omega t$ on aura : $Q = \int_0^T (RI_m^2 cos^2 \omega t)dt$ or $cos^2 \omega t = \frac{1}{2} + \frac{\cos 2\omega t}{2}$

  Donc on aura : $Q = RI_m^2(\int_0^T \frac{1}{2}dt + \frac{1}{2}\int_0^T \cos 2\omega t\, dt)$ or on sait que $= 0$

  On a: $\frac{1}{2}\int_0^T \cos 2\omega t\, dt = \frac{1}{2}[\frac{1}{2\omega}\sin 2\omega t]_0^T = \frac{1}{4\omega}(\sin\frac{2\pi}{T} \times T - \sin\frac{2\pi}{T} \times 0) = 0$

  Alors $Q = RI_m^2 \int_0^T \frac{1}{2}dt = \frac{RI_m^2}{2}[T]_0^T \rightarrow Q = \frac{RI_m^2T}{2}$

  Avec $Q = Q$ on aura : $RI^2T = \frac{RI_m^2T}{2} \rightarrow I^2 = \frac{I_m^2}{2} \rightarrow I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ (en A)
- **La tension efficace** : La tension efficace est la valeur $U$ de la tension alternative ayant même effet joule qu'une tension continue de la même valeur.

  On a : $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \rightarrow U_m = U\sqrt{2}$

  **Démonstration** :

  On sait que $Q = Ri^2t$

  $U$ est efficace ssi $Q = RI^2T$ or $I = \frac{U}{R} \rightarrow Q = \frac{U^2T}{R}$

  La tension $u$ produit le même effet $Q = \frac{1}{R}u^2t$ pendant un intervalle de temps $dt$ on a $dQ = \frac{1}{R}u^2dt$ et au bout d'une période $T$ on aura : $Q = \int_0^T \frac{1}{R}u^2dt$

  Avec $u = U_m \cos \omega t$ on aura : $Q = \int_0^T (\frac{1}{R}U_m^2 cos^2 \omega t)dt$ or $cos^2 \omega t = \frac{1}{2} + \frac{\cos 2\omega t}{2}$

  Donc on aura : $Q = \frac{U_m^2}{R}(\int_0^T \frac{1}{2}dt + \frac{1}{2}\int_0^T \cos 2\omega t\, dt)$



Scanned by CamScanner

On a: $\frac{1}{2}\int_0^T \cos 2\omega t\, dt = 0$

Alors $Q = \frac{U_m^2}{R}\int_0^T \frac{1}{2} dt = \frac{U_m^2}{2R}[t]_0^T \rightarrow Q = \frac{U_m^2 T}{2R}$

Avec $Q = Q$ on aura : $\frac{U^2 T}{R} = \frac{U_m^2 T}{2R} \rightarrow U^2 = \frac{U_m^2}{2} \rightarrow U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ (en V)

**Remarque : Impédance** : L'impédance d'un circuit est le coefficient de proportionnalité entre la tension efficace et l'intensité efficace. courant alternatif

Elle se note : $Z = \frac{U}{I} = \frac{U_m}{I_m}$ (en Ω)

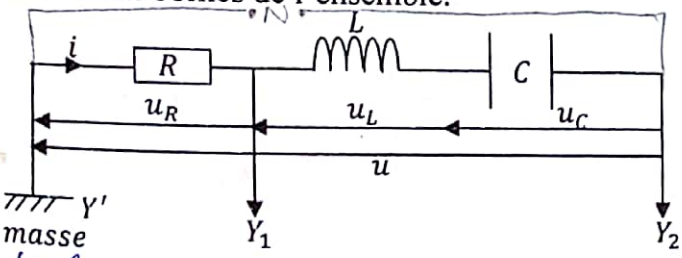
- **Les effets du courant alternatif sinusoïdal** :

- **L'effet Joule** : L'effet Joule se traduit par le chauffage du conducteur ohmique lorsqu'il est traversé par un courant alternatif. $Q = Ri^2 t$ (en Joule)
- **L'effet magnétique** : L'effet magnétique se traduit par la création de champ magnétique et de force magnétique alternatifs.
- **L'effet chimique** : L'effet chimique est globalement nul car les électrodes (cathode et anode) deviennent alternatives.

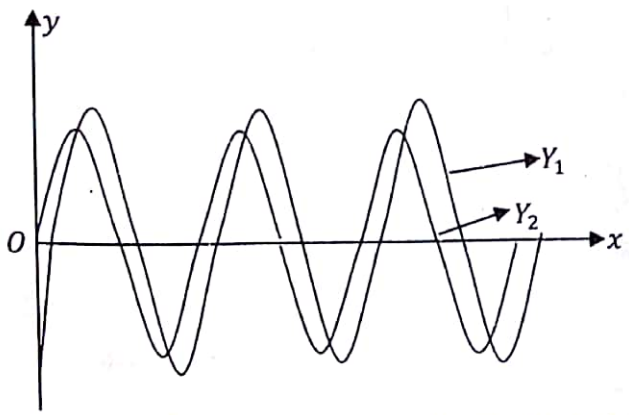
2) **Dipôle $(R, L, C)$ en régime sinusoïdal forcé** : série

a) **Expérience de mise en évidence des oscillations électriques forcées dans un dipôle $(R, L, C)$ en série** : On dispose d'un dipôle $(R, L, C)$en série de fréquence $N_o$, d'un générateur de tension alternative de fréquence $N$ et d'un oscilloscope bicourbe. Les deux (2) courbes de l'oscilloscope, de même période, sont déphasées l'une par rapport à l'autre.

- la voie $Y_1$ de l'oscilloscope permet de visualiser la tension $u_R$ aux bornes du résistor par conséquent les variations de l'intensité $i$ dans le circuit.
- La voie $Y_2$ permet de visualiser la tension imposée par le générateur par conséquent la tension $u$ aux bornes de l'ensemble.




au potentiel



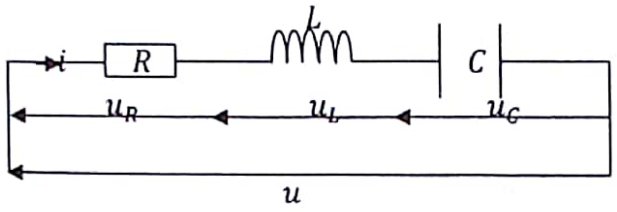

A la fermeture du circuit le courant $i$ dans le dipôle $(R, L, C)$ a même fréquence $N$ que la tension imposée par le générateur. Cette fréquence étant différente de la fréquence propre $N_o$ du dipôle $(R, L, C)$ alors le dipôle $(R, L, C)$ est en oscillations



Scanned by CamScanner

électriques forcées. Le générateur qui a imposé sa fréquence est l'excitateur et le dipôle $(R, L, C)$ est le résonateur.

**b) Etude théorique d'un dipôle $(R, L, C)$ série en régime sinusoïdal forcé** : Soit un dipôle $(R, L, C)$ en régime sinusoïdal forcé




- $u = f(\ddot{q}; \dot{q}; q, R, L, C)$.
- $u = Ri + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int i\,dt$.
- $i = \frac{dq}{dt} = \dot{q}$
- $\frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2} = \ddot{q}$
- $\int i\,dt = q$

- **Equation différentielle** : Soit $i = I_m \cos \omega t$ et $u = U_m \cos(\omega t + \varphi)$

D'après la loi d'additivité des tensions on a : $u = u_R + u_L + u_C$

$$\begin{cases} u_R = Ri \\ u_L = ri - e \text{ Avec } r = 0 \text{ et } e = -L\frac{di}{dt} \rightarrow u_L = L\frac{di}{dt} \\ u_C = \frac{1}{C}q \text{ Or } q = it \rightarrow dq = idt \rightarrow q = \int idt \text{ donc } u_C = \frac{1}{C}\int idt \end{cases} \Rightarrow \boxed{u = R\dot{q} + L\ddot{q} + \frac{1}{C}q}$$

D'où $u = Ri + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int idt$ (équation différentielle)

si on supprime le générateur $u = 0$.

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

$\boxed{\ddot{q} + \frac{R}{L}\dot{q} + \frac{1}{LC}q = 0}$ O.E. Amorti

- **Diagramme de Fresnel** : $u = Ri + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int idt$

$$\begin{cases} i = I_m \cos \omega t \\ \frac{di}{dt} = -\omega I_m \sin \omega t = I_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) \\ \int idt = \int (I_m \cos \omega t)dt = I_m \int \cos \omega t\, dt = \frac{I_m}{\omega}\sin \omega t = \frac{I_m}{\omega}\cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) \end{cases}$$

$-\sin x = \cos(x + \frac{\pi}{2})$

$\sin x = \cos(x - \frac{\pi}{2})$

Alors on a : ① $U_m \cos(\omega t + \varphi) = RI_m \cos \omega t + L\omega I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{I_m}{C\omega}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$

Ou : ② $U \cos(\omega t + \varphi) = RI \cos \omega t + L\omega I \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{I}{C\omega}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$

$V$ $V_1$ $V_2$ $V_3$

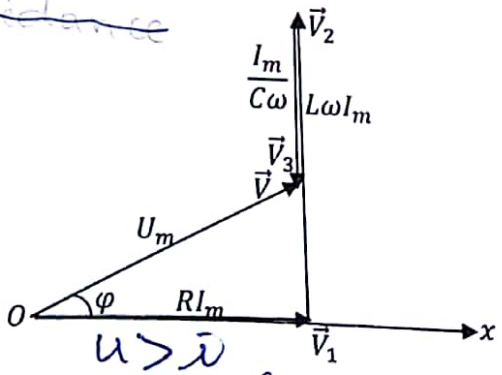
Soit $(Ox)$ l'axe des phases :

$|\ |$ = module

On a $\vec{V}\begin{cases} |V| = U_m \\ (0x, V) = \varphi \end{cases}$ $\vec{V}_1\begin{cases} |V_1| = RI_m \\ (0x, V_1) = 0 \end{cases}$ $\vec{V}_2\begin{cases} |V_2| = L\omega I_m \\ (0x, V_2) = \frac{\pi}{2} \end{cases}$ $\vec{V}_3\begin{cases} |V_3| = \frac{I_m}{C\omega} \\ (0x, V_3) = -\frac{\pi}{2} \end{cases}$

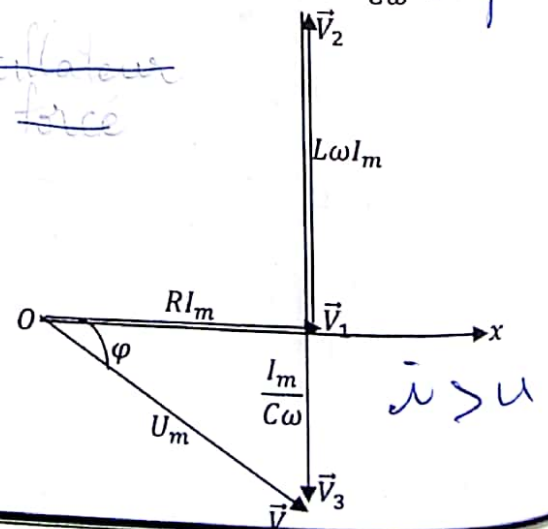
phase

Pour $L\omega > \frac{1}{C\omega}$ (inductif)




$u > i$

Pour $L\omega < \frac{1}{C\omega}$ (capacitif)




$i > u$

① valeurs maximales
② valeurs efficaces



Scanned by CamScanner

- **Caractéristiques du circuit $(R, L, C)$**:
- **Impédance du circuit** : Appliquons le théorème de Pythagore au diagramme de Fresnel :

$$U_m^2 = (RI_m)^2 + (L\omega I_m - \frac{I_m}{C\omega})^2 = I_m^2[R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2] \rightarrow \frac{U_m^2}{I_m^2} = R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2$$

$$\rightarrow \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2} \leftrightarrow Z = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2} \text{ (en } \Omega) \quad (3)$$

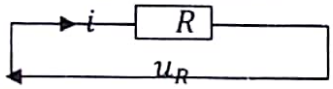
$\begin{cases} \frac{1}{Z} \text{ Est appelé admittance du circuit (en Siemens)} \\ L\omega - \frac{1}{C\omega} \text{ Est appelée réactance du circuit (en } \Omega) \end{cases}$

- **Le déphasage** : On a : $\tan\varphi = \frac{L\omega I_m - \frac{I_m}{C\omega}}{RI_m} \rightarrow \tan\varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \rightarrow \varphi = \tan^{-1}(\frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R})$

- Pour $L\omega - \frac{1}{C\omega} > 0$ alors $\tan\varphi > 0$ l'effet de self l'emporte sur l'effet de capacité ou le circuit est inductif. Dans ce cas $u$ est en avance sur $i$.
- Pour $L\omega - \frac{1}{C\omega} < 0$ alors $\tan\varphi < 0$ l'effet de capacité l'emporte sur l'effet de self ou le circuit est capacitif. Dans ce cas $i$ est en avance sur $u$.
- Pour $L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0 \rightarrow L\omega = \frac{1}{C\omega}$ alors $\tan\varphi = 0 \rightarrow \varphi = 0$. Donc $u$ et $i$ sont en phase.

**N.B** : **Les cas particuliers** :

➢ **Dipôle conducteur ohmique** : Il est caractérisé par sa résistance$\boldsymbol{R}$.



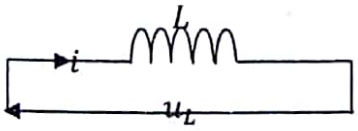

**En courant continu** : Le dipôle conducteur ohmique se laisse parfaitement traverser par le courant continu : $U = RI$

**En courant alternatif** : $Z_R = R$ et $\varphi = 0$ (le dipôle conducteur ohmique met la tension et l'intensité en phase) et $et\ P = RI^2$ (I efficace)

Et $U_m \cos(\omega t + \varphi) = RI_m \cos\omega t$




➢ **Dipôle self pure ou inductance pure** : C'est une bobine sans résistance. Il est caractérisé par son inductance $\boldsymbol{L}$.




**En courant continu** : le dipôle self pure est un court-circuit en courant continu.

**En courant alternatif** : $Z_L = L\omega$ en $\Omega$ et $\varphi = +\frac{\pi}{2}$ rad (la self pure met la tension en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur l'intensité).

Et $U_m \cos(\omega t + \varphi) = L\omega I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$

$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ $Z = \frac{R}{\cos\varphi}$ $\cos\varphi = \frac{RI_m}{U_m}$ or $\frac{1}{Z} = \frac{I_m}{U_m}$

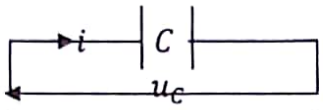
$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ et $Z = \frac{R}{\cos\varphi}$



Scanned by CamScanner

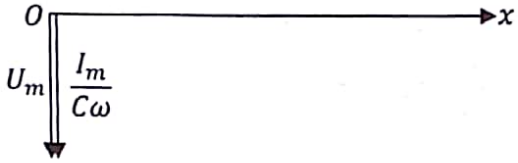



➢ **Dipôle condensateur** : Il est caractérisé par sa capacité $\boldsymbol{C}$.

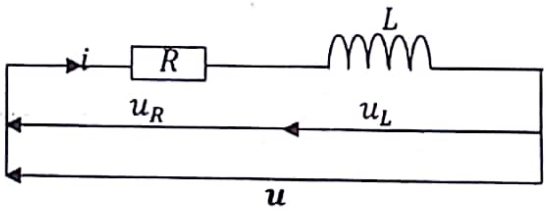



**En courant continu** : Le dipôle condensateur arrête complètement le courant continu : $I = 0$

**En courant alternatif** : $Z_C = \frac{1}{C\omega}$ en Ω et $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ rad (le dipôle condensateur met la tension en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur l'intensité).



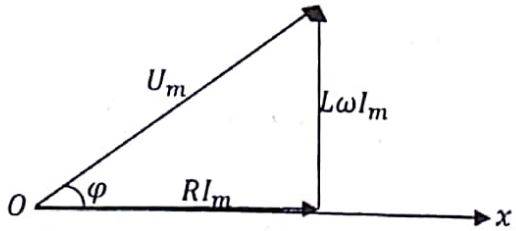

➢ **Dipôle bobine ($R, L$)** : Le régime permanant s'établit avec un léger retard.



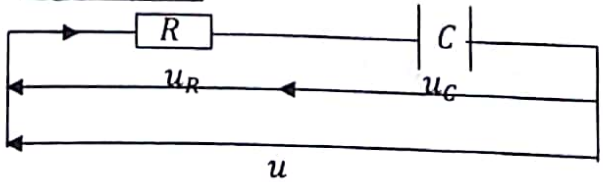

**En courant continu** : $U = RI \rightarrow R = \frac{U}{I}$

**En courant alternatif** : $Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}$ avec $Z > R$ et $\tan\frac{L\omega}{R} > 0$

Et $U_m \cos(\omega t + \varphi) = RI_m \cos\omega t + L\omega I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$




➢ **Dipôle ($R, C$)**:



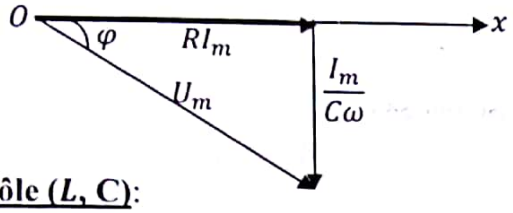

**En courant continu** : Le dipôle $(R, C)$ arrête le courant continu.

**En courant alternatif** : $Z = \sqrt{R^2 + (\frac{1}{C\omega})^2}$ et $\tan\varphi = \frac{-1}{RC\omega} < 0$

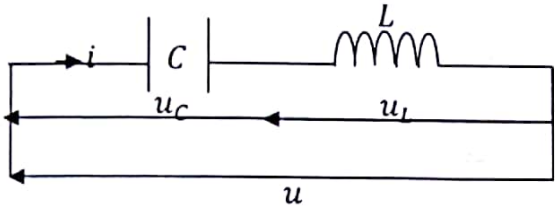


Scanned by CamScanner

$$U_m \cos(\omega t + \varphi) = RI_m \cos \omega t + \frac{I_m}{C\omega} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$




- **Dipôle (*L*, C)**:

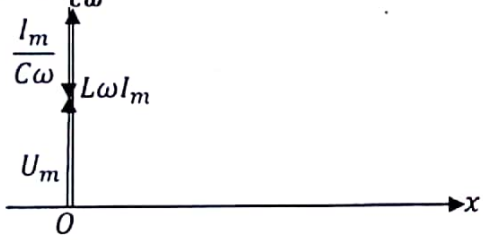



- **En courant continu** : Le dipôle $(L, C)$ arrête le courant continu.

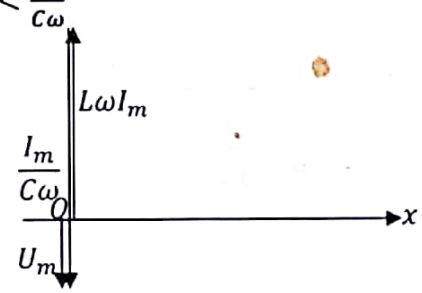
**En courant alternatif** : $Z = \left|L\omega - \frac{1}{C\omega}\right|$ et $\tan\varphi = \pm\frac{\pi}{2}$ rad

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

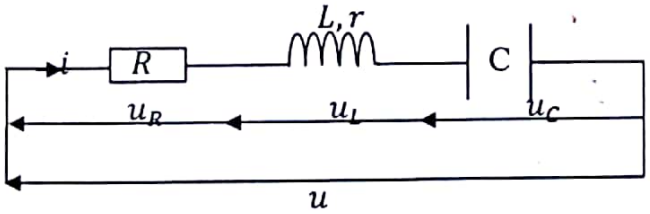
$L\omega > \frac{1}{C\omega}$




$L\omega < \frac{1}{C\omega}$




- **Dipôle (*R*, *r*, *L*, *C*)**:



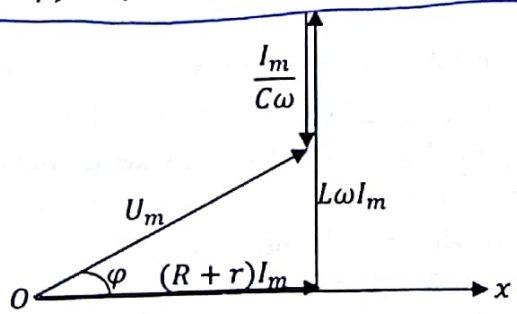

**En courant continu** : $U = (R + r)I \rightarrow r = \frac{U}{I} - R$

**En courant alternatif** : $Z = \sqrt{(R + r)^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$ et $\tan\varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R + r}$ aussi

$$P = (R + r)I^2$$

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

en fct des Valeurs maximales




**Attentions à certains cas** :



Scanned by CamScanner

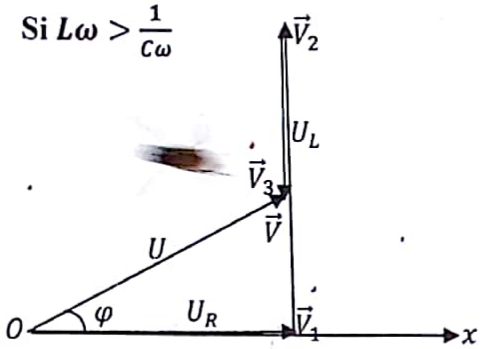
On sait que : $U\cos(\omega t+\varphi)=RI\cos\omega t+L\omega I\cos\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right)+\frac{I}{C\omega}\cos\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)$

- ✓ $Z_R=R$ et $Z_R=\frac{U_R}{I}\rightarrow U_R=RI$
- ✓ $Z_L=L\omega$ et $Z_L=\frac{U_L}{I}\rightarrow U_L=L\omega I$
- ✓ $Z_C=\frac{1}{C\omega}$ et $Z_C=\frac{U_C}{I}\rightarrow U_C=\frac{I}{C\omega}$

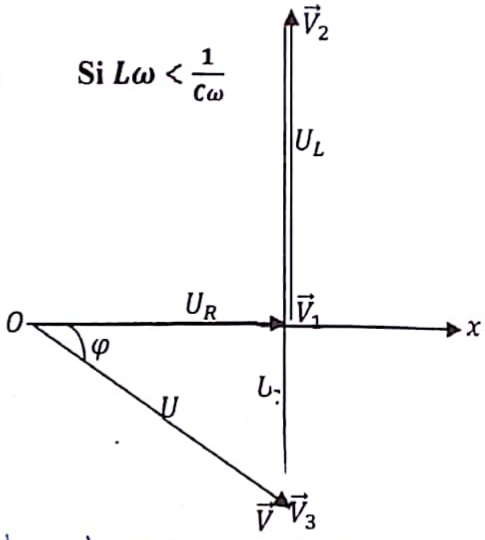
Donc $U\cos(\omega t+\varphi)=U_R\cos\omega t+U_L\cos\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right)+U_C\cos\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)$

Donc la construction de Fresnel en fonction des tensions efficaces est :

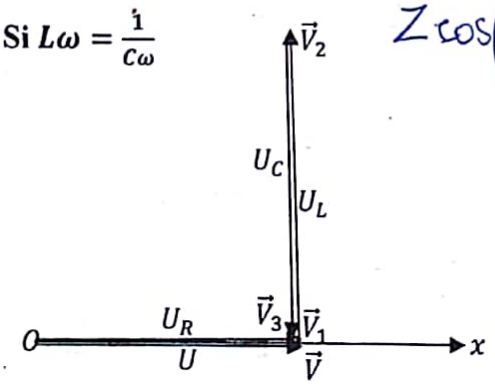
**Si $L\omega>\frac{1}{C\omega}$**




**Si $L\omega<\frac{1}{C\omega}$**




**Si $L\omega=\frac{1}{C\omega}$**




$Z\cos(\omega t+\varphi)=Z_R\cos\omega t+Z_L\cos\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right)+Z_C\cos\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)$.

Dans le cas où $L\omega>\frac{1}{C\omega}$ on a d'après le théorème de Pythagore :

$U=\sqrt{U_R^2+(U_L-U_C)^2}$ or $Z=\frac{U}{I}\rightarrow Z=\frac{\sqrt{U_R^2+(U_L-U_C)^2}}{I}$ ou $Z=\sqrt{Z_i^2+(Z_L-Z_C)^2}$

Et $\tan\varphi=\frac{U_L-U_C}{U_R}$ ou $\tan\varphi=\frac{Z_L-Z_C}{Z_R}$

c) **Résonance d'intensité** : ou électrique

- **Définition** : La résonance d'intensité est lorsque la fréquence $N$ imposée par le générateur est égale à la fréquence propre $N_o$ du dipôle $(R,L,C)$.
- **Etude expérimentale** : On dispose d'un générateur de basse fréquence $(GBF)$ de fréquence variable, d'un dipôle $(R,L,C)$de fréquence $N_o$, d'un voltmètre, et d'un ampèremètre. La résistance du conducteur ohmique est variable.

N

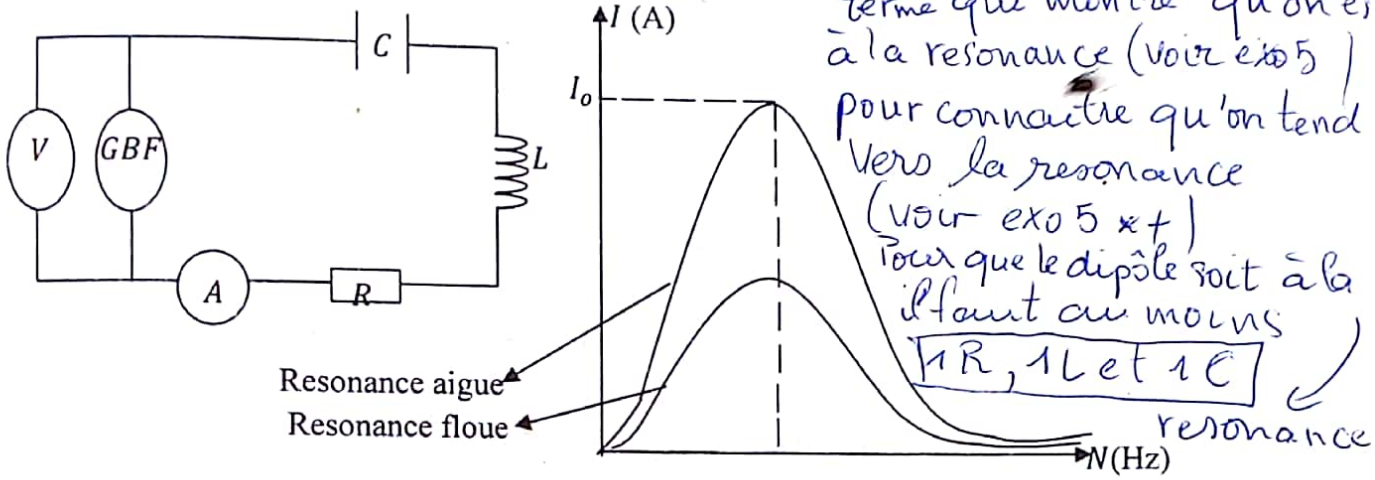
La valeur de la tension efficace imposée par le générateur étant maintenue constante, fixons une valeur $R$de la résistance et faisons varier la fréquence de la tension imposée



Scanned by CamScanner

par le générateur. On constate que l'intensité efficace du courant dans le circuit augmente avec la fréquence imposée et devient maximale lorsque la fréquence $N$ imposée est égale à la fréquence propre $N_o$ du dipôle $(R, L, C)$ : c'est la résonance d'intensité.

- Lorsque $R$ est faible, la courbe réponse $I = f(N)$ présente un maximum très prononcé : c'est la résonance aigue.
- Lorsque $R$ est grand, la courbe réponse $I = f(N)$ est aplatie : c'est la résonance floue.



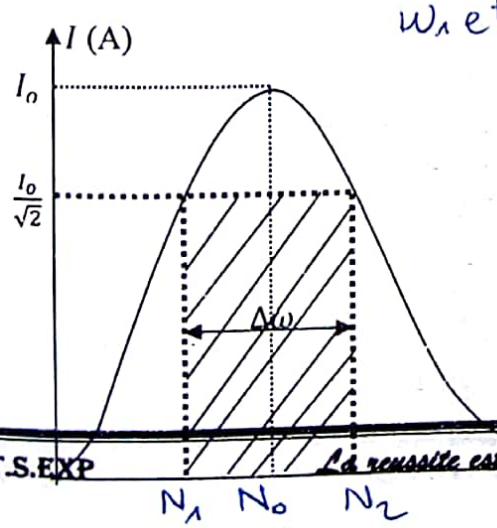

terme qui montre qu'on est à la résonance (voir exo 5) pour connaître qu'on tend vers la résonance (voir exo 5 et 7) pour que le dipôle soit à la il faut au moins 1R, 1L et 1C

résonance

- **Caractéristique de la résonance** : A la résonance d'intensité :
- La fréquence imposée est égale à la fréquence propre du dipôle$(R, L, C)$ :
  $N = N_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \rightarrow \omega = \omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
- L'impédance est minimale : $Z = R \rightarrow L\omega_o = \frac{1}{C\omega_o} \rightarrow LC\omega_o^2 = 1$
- L'intensité efficace $I_o$ du courant est maximale : $Z = \frac{U}{I_o}$ avec $Z = R \rightarrow I_o = \frac{U}{R}$
- La tension et l'intensité sont en phase : $\varphi = 0 \rightarrow \cos\varphi = 1$
- **La bande passante à 3décibels** :
- **Définition** : La bande passante à 3dbs est l'ensemble des pulsations pour lesquelles l'intensité efficace est supérieure ou égale à l'intensité maximale divisée par racine de deux $(I \geq \frac{I_o}{\sqrt{2}})$.

  La largeur de la bande passante est donnée par : $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ avec $\omega_1$ et $\omega_2$ les limites de la bande passante tels que $I(\omega_1) = I(\omega_2) = \frac{I_o}{\sqrt{2}}$

$\omega_1$ et $\omega_2$ sont les limites.






Scanned by CamScanner

- **Expression de la bande passante en fonction des caractéristiques du circuit** :

A la résonance : $I(\omega_1) = I(\omega_2) = \frac{I_o}{\sqrt{2}} \rightarrow \frac{U}{Z(\omega_1)} = \frac{U}{Z(\omega_2)} = \frac{U}{R\sqrt{2}}$

Simplifions par $U$ et élevons le tout au carré alors : $Z^2(\omega_1) = Z^2(\omega_1) = 2R^2$

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

D'où $L\omega - \frac{1}{C\omega} = \pm R$

Alors $\begin{cases} L\omega - \frac{1}{C\omega} = -R \quad (1) \\ L\omega - \frac{1}{C\omega} = R \quad (2) \end{cases}$

$(1) \leftrightarrow L\omega - \frac{1}{C\omega} = -R \rightarrow L\omega - \frac{1}{C\omega} + R = 0 \rightarrow LC\omega^2 + RC\omega - 1 = 0$

On a : $\Delta = R^2C^2 + 4LC$ donc : $\omega_1 = \frac{-RC+\sqrt{\Delta}}{2LC}$ et $\omega_1' = \frac{-RC-\sqrt{\Delta}}{2LC} < 0$ (impossible).

$(2) \leftrightarrow L\omega - \frac{1}{C\omega} = R \rightarrow L\omega - \frac{1}{C\omega} - R = 0 \rightarrow LC\omega^2 - RC\omega - 1 = 0$

On a : $\Delta = R^2C^2 + 4LC$ donc : $\omega_2 = \frac{RC+\sqrt{\Delta}}{2LC}$ et $\omega_2' = \frac{RC-\sqrt{\Delta}}{2LC} < 0$ (impossible).

Alors $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{RC+\sqrt{\Delta}+RC-\sqrt{\Delta}}{2LC} = \frac{2RC}{2LC} \rightarrow \boxed{\Delta\omega = \frac{R}{L} \text{ (rad/s)}}$ avec $\Delta\omega = 2\pi\Delta f$

alors $\boxed{\Delta f = \frac{R}{2\pi L} \text{ (Hz)}}$

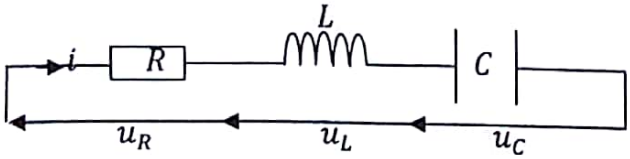
- **La sélectivité d'un circuit (R.L.C)** :
- **Coefficient de surtension $Q$** : Le coefficient de surtension d'un circuit est le facteur de qualité $Q$ de ce circuit. Il est donné par: $Q = \frac{\omega_o}{\Delta\omega}$

– Si $R$ est faible $\rightarrow \Delta\omega$ est faible alors $Q$ est grand donc le circuit $(R, L, C)$est sélectif. Dans ce cas $10 < Q \leq 100$

– Si $R$ est grande $\rightarrow \Delta\omega$ est grande alors $Q$ est petit donc le circuit $(R, L, C)$ est amorti. Dans ce cas $0 < Q \leq 10$

- **Expression du facteur de qualité $Q$ en fonction des grandeurs caractéristiques du dipôle (R.L.C)** : Avec $\rightarrow \Delta\omega = \frac{R}{L}$ et $L\omega_o = \frac{1}{C\omega_o}$ on aura : $Q = \frac{\omega_o}{\Delta\omega} = \frac{L\omega_o}{R} = \frac{1}{RC\omega_o}$
- **Les tensions $U_L$ aux bornes de la self pure et $U_C$ aux bornes du condensateur** :

Soit un dipôle $(R, L, C)$ à la résonance :




$\begin{cases} U_L = L\omega I \\ U_C = \frac{I}{C\omega} \end{cases}$

A la résonance $\omega = \omega_o$ et $I = I_o = \frac{U}{R}$

$\begin{cases} U_L = L\omega_o I_o = L\omega_o \times \frac{U}{R} = \frac{L\omega_o}{R} \times U \rightarrow U_L = QU \end{cases}$



Scanned by CamScanner

$U_C = \frac{I_o}{C\omega_o} = \frac{1}{C\omega_o} \times \frac{U}{R} = \frac{1}{RC\omega_o} \times U \rightarrow U_C = QU$

A la résonance il y a surtension aux bornes de la self et aux bornes du condensateur

$U_L = U_C = QU$

**N.B** : A la résonance $U_L + U_C = 0$

**Démonstration** :

$U_L + U_C = L\omega_o I_o \sqrt{2} \cos\left(\omega_o t + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{I_o\sqrt{2}}{C\omega_o} \cos\left(\omega_o t - \frac{\pi}{2}\right)$

Or à la résonance $L\omega_o = \frac{1}{C\omega_o}$ et

$\begin{cases} \cos\left(\omega_o t + \frac{\pi}{2}\right) = -\sin \omega_o t \\ \cos\left(\omega_o t - \frac{\pi}{2}\right) = \sin \omega_o t \end{cases}$

Alors $U_L + U_C = -L\omega_o I_o \sqrt{2} \sin \omega_o t + L\omega_o I_o \sqrt{2} \sin \omega_o t = 0$. /.

Oscillateur forcés: C'est un système qui oscille avec une fréquence ≠te de sa fréquence propre. Ex: Un pont surchargé ; batiment sous l'orage ; stade rempli

Excitateur: C'est un système qui transmet de l'énergie à un resonateur.

Resonateur: C'est un système qui reçoit de l'énergie d'un excitateur par l'intermédiaire d'un couplage.

Couplage: C'est un système de transmission d'énergie entre un excitateur et un resonateur.

valeur maximale.

$U_m \cos(\omega t + \varphi) = R I_m \cos \omega t + L\omega I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{I_m}{C\omega} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ (1)

valeur efficace

$U \cos(\omega t + \varphi) = RI \cos(\omega t) + L\omega I \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{I}{C\omega} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ (2)

$Z_R = R$ ; $Z_L = L\omega$ ; $Z_C = \frac{1}{C\omega}$ or $Z = \frac{U}{I} \Rightarrow U = ZI$.

en fct de l'impédance Z.

$Z \cos(\omega t + \varphi) = Z_R \cos \omega t + Z_L \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + Z_C \left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ (3)

$\begin{cases} Z_R = R \\ Z_R = \frac{U_R}{I} \end{cases} \Rightarrow \frac{U_R}{I} = R \Rightarrow \boxed{U_R = RI}$ ; $\begin{cases} Z_L = L\omega \\ Z_L = \frac{U_L}{I} \end{cases} \Rightarrow \frac{U_L}{I} = L\omega \Rightarrow \boxed{U_L = L\omega I}$

$\begin{cases} Z_C = \frac{1}{C\omega} \\ Z_C = \frac{U_C}{I} \end{cases} \Rightarrow \frac{U_C}{I} = \frac{1}{C\omega} \Rightarrow \boxed{U_C = \frac{I}{C\omega}}$ :

$U \cos(\omega t + \varphi) = U_R \cos \omega t + U_L \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + U_C \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ (4)



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LES OSCILLATEURS ÉLECTRIQUES FORCÉS

**Exercice 1** : On considère trois dipôles :

-Un conducteur ohmique de résistance $R$

-Un condensateur de capacité $C$

-Une bobine de résistance $r$ et d'inductance $L$ enfermés dans trois boîtes différentes.

1) On branche successivement les trois dipôles sur une alimentation continue délivrant une tension de $12V$. On mesure l'intensité du courant en régime permanant, on obtient :

-Pour la boîte 1 : $I_1 = 0mA$

-Pour les boîtes 2 et 3 : $I_2 = I_3 = 240mA$

Quelles sont les conclusions que l'on peut tirer de ces résultats ?

2) On branche successivement ces trois dipôles sur une alimentation alternative délivrant une tension efficace de $24V$ et de fréquence $50Hz$ ; on mesure l'intensité efficace du courant traversant chaque dipôle et on obtient :

-Pour la boîte 1 : $I_1 = 75mA$

-Pour la boîte 2 : $I_2 = 480mA$

-Pour la boîte 3 : $I_3 = 406mA$

a) Calculer les impédances des trois dipôles.

b) Préciser le contenu de chacune des boîtes.

c) Déterminer les valeurs de $L$ et $C$

3) On monte ces trois dipôles en série. On alimente le circuit en courant alternatif de tension efficace $24V$ et de fréquence variable.

a) Pour quelle fréquence l'intensité et la tension seront-elle en phase ?

b) Quelle est alors l'intensité efficace du courant ?

**Exercice 2** : Un dipôle électrique $AB$ dont la nature est inconnue peut être formé par des éléments suivants :

1er cas : une bobine de résistance $R$ et d'inductance $L$

2ecas : un conducteur ohmique de résistance $R$ en série avec un condensateur de capacité $C$.

3ecas : un conducteur ohmique de résistance $R$.

1) On alimente ce dipôle par une tension continue et on constante qu'un courant d'intensité constante le traverse.

Montrer que l'on peut éliminer l'un des cas.

2) On alimente maintenant le dipôle $AB$ par une tension sinusoidale de fréquence $50Hz$ et on observe :

- Au wattmètre : $25Watt$
- A l'ampèremètre : $0{,}5A$
- Au voltmètre : $100V$

Préciser la nature exacte de $AB$et calculer la valeur de l'inductance L de la bobine.



Scanned by CamScanner

3, Le dipôle $AB$ est placé en série avec un condensateur de capacité variable. L'ensemble est alimenté par la même tension sinusoïdale précédante.
Déterminer littéralement puis numériquement la valeur $C$ de la capacité pour que la tension et l'intensité soit en phase.

**Exercice 3** : Un dipôle $(R, r, L, C)$ est constitué : Attention.

- d'un condensateur de capacité $C = 10\mu F$
- d'une bobine d'inductance $L = 45mH$ et de résistance $r = 10\Omega$
- et d'un conducteur ohmique de résistance $R = 50\Omega$.

On alimente ce dipôle par une tension sinusoïdale de valeur efficace $6V$ et de fréquence $100Hz$.

a) Faire la représentation de Fresnel relative à ce circuit.
b) Déduire, de cette construction, l'expression de l'impédance $Z$ du circuit et calculer sa valeur.
c) Quelle est l'intensité efficace du courant ?
d) Calculer la tension efficace aux bornes de chaque composant.
e) Calculer la phase de la tension par rapport à l'intensité et en déduire celle de l'intensité par rapport à la tension.

**Exercice 4** : Une section maintient une ddp sinusoïdale de fréquence $f = 50Hz$ et de valeur efficace $U = 115V$, il alimente un circuit comportant une bobine $(R = 1\Omega, L = 1H)$ et un condensateur. On demande :

1) La capacité efficace du condensateur pour qu'il y ait résonance.
2) L'intensité efficace du courant à la résonance.
3) Les valeurs maximales des ddp qui existe alors entre les extrémités, d'une part de la bobine et d'autre part du condensateur.

**Exercice 5** : Un dipôle $(R, L, C)$ série, constitué d'une bobine et d'un condensateur de capacité $C = 0{,}5\mu F$, est alimenté par un générateur délivrant une tension sinusoïdale de fréquence $N$ variable.

La tension efficace aux bornes du générateur est maintenue constante et égale à $9V$.
Un ampèremètre donne l'intensité efficace $I$ pour chaque valeur de la fréquence $N$ et on obtient :

| $N(Hz)$ | 200 | 210 | 215 | 220 | 225 | 230 | 232 | 235 | 237 | 245 | 260 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $I(mA)$ | 22 | 32 | 42 | 57 | 84 | 120 | 130 | 118 | 106 | 60 | 30 |

1) Tracer la courbe de $I = f(N$
2) Déterminer à l'aide de la courbe :
a) La fréquence de résonance.
b) L'intensité efficace $I_o$ correspondant à la résonance.
c) La bande passante et le facteur de qualité.
3) Calculer l'inductance de la bobine.
4) Calculer la résistance du circuit.

Exo 5ème :



Scanned by CamScanner

# LES PUISSANCES

1) **La puissance instantanée** :

- **Définition** : La puissance instantanée est égale au produit de la tension instantanée et de l'intensité instantanée. $\mathcal{P} = u.i$ (en Watt) ou V, A
- **Expression** : Soit $i = I_m \cos \omega t$ et $u = U_m \cos(\omega t + \varphi)$

$\mathcal{P} = u.i = U_m.I_m \cos(\omega t + \varphi).\cos \omega t$

$\begin{cases} U_m = U\sqrt{2} \\ I_m = I\sqrt{2} \end{cases}$

$\cos a \cos b = \frac{1}{2}[\cos(a+b) + \cos(a-b)]$

$\cos(\omega t + \varphi).\cos \omega t = \frac{1}{2}[\cos(\omega t + \varphi + \omega t) + \cos(\omega t + \varphi - \omega t)]$

$= \frac{1}{2}[\cos(2\omega t + \varphi) + \cos \varphi]$

$\mathcal{P} = \frac{U\sqrt{2}.I\sqrt{2}}{2}[\cos(2\omega t + \varphi) + \cos \varphi] \rightarrow \mathcal{P} = UI[\cos(2\omega t + \varphi) + \cos \varphi]$ (en Watt)

2) **La puissance moyenne** :

- **Définition** : La puissance moyenne est égale au quotient de l'énergie par la durée de consommation. $P = \frac{E}{T} \rightarrow E = PT$ (avec $P$ en Watt)
- **Expression** :

L'énergie à chaque instant est donné par : $\mathcal{E} = \mathcal{P}t$ (instantanée)

Pendant un intervalle de temps $dt$ on a : $d\mathcal{E} = \mathcal{P}dt$ et au bout d'une période $T$

On a: $E = \int_0^T \mathcal{P}dt = \int_0^T UI[\cos(2\omega t + \varphi) + \cos \varphi]dt$

$= UI(\int_0^T \cos(2\omega t + \varphi)\, dt + \int_o^T \cos \varphi\, dt)$

Or $\int_0^T \cos(2\omega t + \varphi)\, dt = [\frac{1}{2\omega}\sin(2\omega t + \varphi]_0^T = \frac{1}{2\omega}(\sin \varphi - \sin \varphi) = 0$

D'où $E = UI \int_o^T (\cos \varphi\, dt) = UI \cos \varphi\, [T]_0^T \rightarrow E = UIT \cos \varphi$ or $E = PT$

Alors: $PT = UIT \cos \varphi \rightarrow P = UI \cos \varphi$

$\begin{cases} P \text{ en Watt} \\ \cos \varphi = \frac{R}{Z} \text{ (Facteur de puissance)} \end{cases}$

$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R_I}{U} = \frac{RI}{U}$ ; $\cos \varphi = \frac{RI}{U}$ ; $P = \frac{UI \times RI}{U}$

$P = RI^2$

- **Facteur de puissance** : Le facteur de puissance d'une installation est le $\cos \varphi$ de cette installation.

**N.B** : Le facteur de puissance joue un rôle économique dans l'industrie. Lorsque le $\cos \varphi$ d'une installation est faible, cela entraine des pertes d'énergie dans les lignes électriques. Ces pertes n'étant pas facturées alors la société productrice d'énergie (E.D.M S.A) réalise des pertes économiques.

- **Autre expression de la puissance moyenne** : $P = UI \cos \varphi$

On sait que : $U = ZI$ et $\cos \varphi = \frac{R}{Z}$ Alors $P = ZI.I\frac{R}{Z} \rightarrow P = RI^2$ (en Watt)

3) **La puissance apparente** : Elle est donnée par $S = UI$ (en V.A)

4) **La puissance réactive** : Elle est donnée par $Q = UI.\sin \varphi$

**N.B** : On a donc : $S^2 = P^2 + Q^2 \rightarrow S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

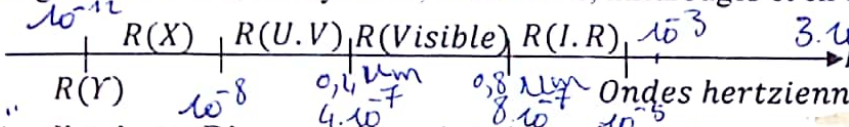


Scanned by CamScanner

# ONDES ÉLECTROMAGNETIQUES

1) **Définition et domaine et classement** :

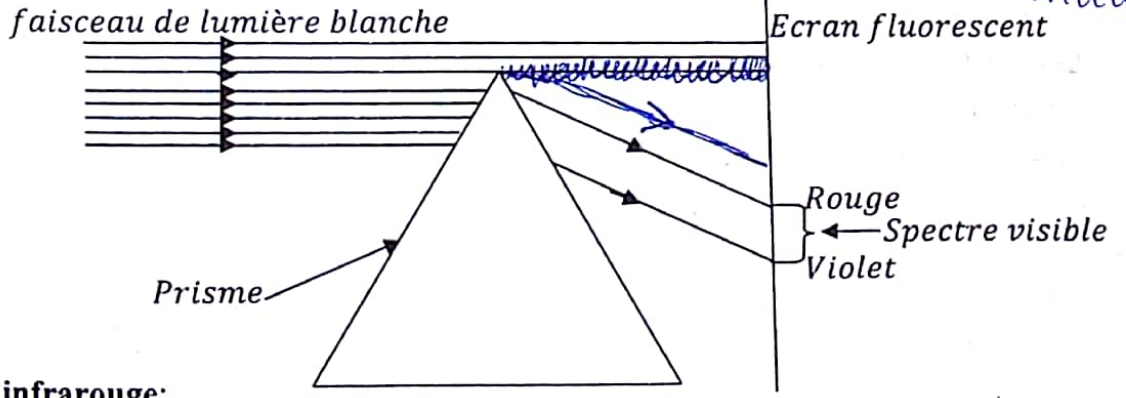
- **Définition**: Une onde électromagnétique est un ensemble de deux vecteurs champs électrique $\vec{E}$ et magnétique $\vec{B}$ perpendiculaires se propageant simultanément dans le vide à la célérité de la lumière.
- **Domaine** : Leur domaine est $10^{-12} \leq \lambda \leq 3.10^{4} m$
- **Classement** : Les ondes électromagnétiques sont classées en fonction de leurs longueurs d'ondes en rayons X, ultraviolets, infrarouges et en ondes hertziennes




- **Applications** : D'une manière générale les ondes électromagnétiques sont utilisées en télécommunication.
- **Propriétés** : Les propriétés générales des ondes électromagnétiques sont celle de la lumière :
  - Les ondes électromagnétiques se propagent à vitesse constante dans un milieu transparent, homogène et isotrope (même propriété en tous ces points).
  - Les ondes électromagnétiques obéissent aux lois générales de l'optique : la réflexion la réfraction, la diffraction, la polarisation et l'interférence.

2) **Les radiations invisibles** :

- **Spectre visible**: On appelle spectre visible l'ensemble des radiations visibles. Il s'étend du rouge au violet en passant par toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. Leur domaine est $0,4\mu m \leq \lambda \leq 0,8\mu m$
- **Expérience de mise en évidence des radiations invisibles**:
- **Décomposition de la lumière blanche**: En envoyons un faisceau de lumière blanche sur un prisme derrière lequel est placé un écran fluorescent, on observe sur l'écran les différentes couleurs de l'arc-en-ciel allant du rouge au violet : c'est la décomposition de la lumière blanche. Cette décomposition permet de mettre en évidence les radiations visibles par conséquent les radiations invisibles.




- **L'infrarouge**:
  - **Définition**: L'infrarouge est une radiation invisible de même nature que la lumière visible. Son domaine est : $0,8\mu m \leq \lambda \leq 10^{-3} m$.
  - **Mise en évidence** : Plaçons un thermomètre à mercure dans le domaine du rouge, le mercure monte. Plaçons à nouveau le thermomètre dans le domaine au dessus du rouge, le mercure monte d'avantage : c'est la preuve qu'au-delà du rouge il existe une radiation invisible appelée infrarouge.
  - **Source** : Tous les corps chauds émettent des I.R : le soleil, le feu (charbon ardent), le fer à repasser, les fours etc.



Scanned by CamScanner

- **Propriété d'absorption** : C'est une propriété sélective : L'eau, les verres ordinaires, la couche d'ozone absorbent une partie des I.R.
- **Applications** : Les I.R sont utilisés :
  - ✓ dans la photographie aérienne et dans l'obscurité,
  - ✓ dans le séchage et le chauffage etc.…
  - ✓ dans la production d'énergie électrique,
  - ✓ en médecine : dans la kinésithérapie et le chauffage de la terre favorisant la fonction chlorophyllienne des plantes.

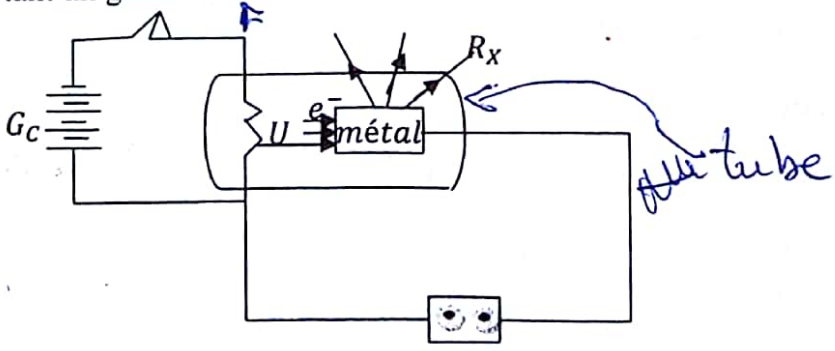
  **N.B** : Ce pendant les I.R peuvent provoquer certaine ophtalmie (inflammation de l'œil).

- **L'ultraviolet** : au-déçà = au dessus
- **Définition** : l'ultraviolet est une radiation invisible de même nature que la lumière visible. Son domaine est : $10^{-8} \leq \lambda \leq 0{,}4\mu m$.
- **Mise en évidence** : plaçons un écran fluorescent dans le domaine du violet, il s'illumine. Plaçons à nouveau l'écran fluorescent dans le domaine au-deçà du violet, il s'illumine d'avantage : c'est la preuve qu'au-deçà du violet existe une radiation invisible appelée ultraviolet.
- **Source** : Les arcs électriques, le soleil et la lampe à vapeur de mercure etc.… sont des sources de production des U.V.
- **Propriétés d'absorption**: C'est une propriété sélective : L'eau, l'atmosphère, les verres ordinaires absorbent une partie des U.V.

  **N.B** : Les solutions de sulfate de cuivre absorbent tous les U.V.
- **Applications** : Les U.V sont utilisés :
  - ✓ En chimie : pour déclencher les réactions en chaines.
  - ✓ En biologie et en médecine :
    - ❖ Pour le traitement des eaux stagnantes et dans le traitement de certains ulcères,
    - ❖ Pour la pigmentation de la peau (bronzage) et ce pendant ils provoquent des brulures graves,
    - ❖ Les U.V sécrètent dans les tissus superficiels de l'organisme de la vitamine D favorable au développement du squelette. /.

- **Rayons X** :
- **Définition** : les rayons X sont des radiations invisibles de même nature que la lumière visible. Leur domaine est : $10^{-12} < \lambda < 10^{-8}$m ou $10^{-2}\dot{A} < \lambda < 100\dot{A}$ m avec $1\dot{A} = 10^{-10}$m. amstron.
- **Production** : Les rayons X sont obtenus en frappant un métal par des électrons accélérés. Ces électrons sont produits par effet thermoélectronique dans un tube de Coolidge.

  Le tube de Coolidge est une ampoule où sont placés un filament f que l'on peut porter à incandescence et un métal anticathode ou anode relié au filament par un circuit comportant un générateur.






Scanned by CamScanner

Les électrons produits par effet thermoélectronique sont accélérés par la tension U entre l'anode et la cathode, animés d'une vitesse V, ils viennent frapper le métal qui émet des rayons X.

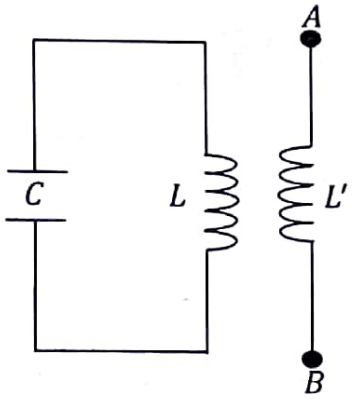
- **Propriété d'absorption** : Les rayons X ont même propriétés que les U.V : ionisation, luminescence, absorption par l'eau.

➢ **Applications** : Les rayons X sont utilisés en médecine (radiographie, cardiographie) et dans la lutte contre la fraude (détection des faux billets, de drogue etc.…).

- **Ondes Hertziennes** :

➢ **Définition** : les ondes hertziennes sont des ondes radio.
Leur domaine est : $10^{-5} \leq \lambda \leq 3.10^{4} m$

➢ **Production** : les ondes électromagnétiques sont produites et captées par les antennes dipôles.
Lorsqu'un courant $i$ circule dans le dipôle $(L, C)$ il ya création d'un champ magnétique variable sinusoïdale dans la bobine perpendiculaire à l'antenne. Les lignes de ce champ provoquent une variation du flux dans l'antenne. Cette variation du flux entraine un mouvement alterné des électrons tantôt vers $A$ tantôt vers $B$. Ce mouvement des électrons crée en tout point de l'espace un champ électrique parallèle à l'antenne et de mesure sinusoïdale.
Les deux champs $\vec{E}$ et $\vec{B}$, perpendiculaires, de mesures sinusoïdales se propageant forment en tout point de l'espace une onde électromagnétique.




➢ **Applications** : les ondes hertziennes sont utilisées dans les radars, radio diffusion télé émission d'une manière générale en télécommunication intercontinentale.



Scanned by CamScanner

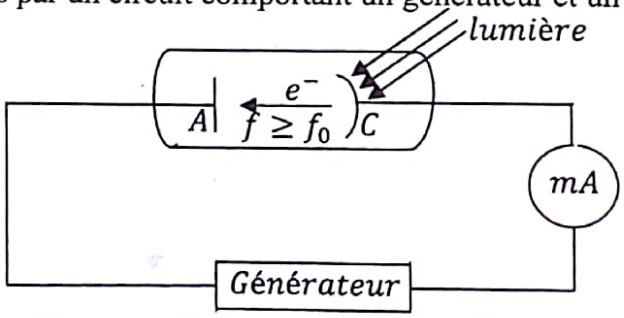
# EFFET PHOTOÉLECTRIQUE

**1) Les définitions :**

- **L'effet photoélectrique :** L'effet photoélectrique est l'émission d'électrons par un métal convenablement éclairé.
- **La fréquence seuil d'un métal** : La fréquence seuil d'un métal est la fréquence minimale $f_0$ pour laquelle il y a émission d'électrons de ce métal.
- **La longueur d'onde seuil** : La longueur d'onde seuil est la longueur d'onde maximale $\lambda_0$ pour laquelle il y a effet photoélectrique.
- **Le travail d'extraction** : Le travail d'extraction est l'énergie minimale $W_0$ qu'il faut fournir à un électron pour l'extraire d'un métal donné.
- **Tension seuil** : La tension seuil est la tension minimale à partir de laquelle l'effet photoélectrique se produit.
  **N.B** : Le potentiel d'arrêt est l'opposé de la tension seuil.
- **Potentiel d'arrêt**: On appelle potentiel d'arrêt de la tension minimale $U_0$ entre la cathode et l'anode à partir de laquelle l'intensité du courant est nulle.
- **Le courant de saturation** : Le courant de saturation est l'intensité maximale $I_S$ du courant fournit par un flux lumineux.

**2) Expérience de mise en évidence de l'effet photoélectrique dans le vide**:

- **Expérience**: L'effet photoélectrique peut être mis en évidence dans le vide à partir de la cellule photoélectrique. La cellule photoélectrique est une ampoule constituée d'un tube où règne un vide très poussé et transparente aux U.V. A l'intérieur du tube, se trouve la cathode C (métal à étudier) et l'anode A (fil électrique). La cathode et l'anode sont reliées par un circuit comportant un générateur et un milliampèremètre.




- **Lorsque la cathode est non éclairée** : le milliampèremètre n'enregistre aucun courant quelle que soit la tension imposée par le générateur.
- **Lorsque la cathode est éclairée** : le milliampèremètre indique le passage d'un courant dans certaines conditions:
  - ✓ Pour $f < f_0$, le milliampèremètre n'indique aucun courant ($I = 0$)
  - ✓ Pour $f > f_0$, le milliampèremètre indique le passage d'un courant. Donc la cathode éclairée a émis des électrons: c'est l'effet photoélectrique.

- **Les lois de l'émission photoélectrique**:
  - ✓ L'émission photoélectrique n'est possible que lorsque la fréquence de la lumière $f$ est supérieure ou égale à la fréquence seuil $f_0$ du métal ou $W \geq W_0$ ou $\lambda \leq \lambda_0$,
  - ✓ L'effet photoélectrique est instantané et s'accompagne de la lumière et s'arrête dès que la lumière s'arrête,
  - ✓ L'effet photoélectrique ne dépend pas de la puissance de la lumière mais de sa fréquence.

- **Applications**: L'effet photoélectrique permet la transformation de la lumière en énergie électrique. Il est utilisé:



Scanned by CamScanner

✓ Pour le fonctionnement de certains dispositifs mécaniques (portes de garages, escaliers roulans, avertisseurs d'incendie)

**3) Le photon:**

➢ **Définition**: Le photon est une particule de masse et de charge nulles et dont la vitesse est celle de la lumière ($m = 0, q = 0, V = C = 310^8 m/s$).

➢ **Hypothèse d'Einstein** :L'énergie lumineuse est associée au photon.

- L'énergie d'un photon est $E = h\gamma \; or \; \gamma = f \rightarrow E = hf$ on sait $f = \frac{c}{\lambda} \rightarrow E = \frac{hC}{\lambda}$.
- L'énergie lumineuse apportée à un métal est pour l'extraire un électron puis l'émettre à la vitesse $V$ (vitesse $V_c$ à la cathode) est donnée par :

$E = W_0 + E_C \; ou \; W = W_0 + W_c \rightarrow W_C = W - W_0$

$$\begin{cases} W = hf = \frac{hC}{\lambda} \; (énergie\ totale) \\ W_0 = hf_0 = \frac{hC}{\lambda_0} \; (travail\ d'extraction) \rightarrow \frac{1}{2}mV_C^2 = hC\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right) \\ W_C = E_C = \frac{1}{2}mV_C^2 \; (énergie\ cinétique) \end{cases}$$

$\rightarrow V_C = \sqrt{\frac{2hC}{m}\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right)}$

- Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre la cathode et l'anode :

Ou $\Delta E_{(C,A)} = \sum W_{\vec{F}_{ex(C,A)}} \leftrightarrow \frac{1}{2}mV_A^2 - \frac{1}{2}mV_C^2 = eU_0 \rightarrow V_A = \sqrt{\frac{2eU_0}{m} + V_C^2}$

**N.B** : $1eV = 1{,}6.10^{-19}J$

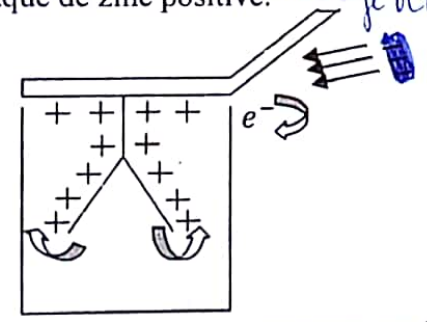
$1KeV = 1{,}6.10^{-19} \times 10^3 J = 1{,}6.10^{-16} J$

**4) Effet photoélectrique dans l'air:**

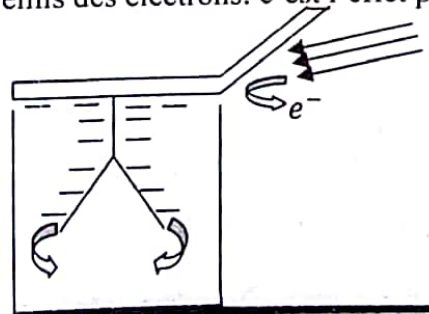
**Expérience de Hertz**: L'effet photoélectrique peut être mis en évidence dans l'air à partir de l'expérience d'Hertz.

Une plaque de zinc bien taillée est placée sur le plateau d'un électroscope :

- L'électroscope est chargé positivement, envoyons un faisceau de lumière sur la plaque de zinc, on constate que les feuilles restent divergentes. Les électrons émis sont aussitôt attirés par la plaque de zinc positive.




- L'électroscope étant chargé négativement, envoyons un faisceau de lumière sur la plaque de zinc. On constate que les feuilles se rapprochent petit à petit. Cela signifie que la plaque éclairée a émis des électrons: c'est l'effet photoélectrique.






Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR L'EFFET PHOTOELECTRIQUE

**Exercice 1** :

1) Définir :
a) L'effet photoélectrique
b) Le seuil photoélectrique
2) L'énergie d'extraction de la cathode d'une cellule photoélectrique à vide est $W_o = 1{,}90eV$. Calculer la longueur d'onde $\lambda_o$ correspondant au seuil photoélectrique.
3) La cathode est éclairée simultanément par trois radiations de longueur d'onde $\lambda_1 = 0{,}70\mu m$; $\lambda_2 = 0{,}60\mu m$; $\lambda_3 = 0{,}50\mu m$. Quelles sont celles qui provoquent l'émission photoélectrique ? Pourquoi ?

On donne : Constante de Planck : $h = 6{,}62.10^{-34}Js$
Charge de l'électron : $|e| = 1{,}6.10^{-19}C$
Célérité de la lumière dans le vide : $C = 3.10^8 m/s$

**Exercice 2** : La fréquence seuil du zinc est $f_o = 10^{15}Hz$

1) Calculer la longueur d'onde seuil de ce métal. Quel est le travail d'extraction en joule puis en électro-volt.
2) Une lame de zinc placée dans le vide est éclairée par un faisceau monochromatique de lumière de fréquence $f$. Cette lame peut-elle émettre des électrons dans chacun des cas suivants : $\lambda_1 = 0{,}20\mu m$ et $\lambda_2 = 0{,}40\mu m$ ?
Si oui, calculer en électro-volt l'énergie cinétique maximale des électrons. Avec quelle vitesse maximale sont-ils émis ?

**Exercice 3** : La cathode d'une cellule photoélectrique à vide est recouverte de potassium pour le quel le travail d'extraction d'un électron est $W_o = 2{,}2eV$.

1) La lumière verte (longueur d'onde $\lambda_1 = 0{,}546\mu m$) et la lumière jaune (longueur d'onde $\lambda_2 = 0{,}578\mu m$) peuvent – elles extraire des électrons de ce métal ?
2) On éclaire la cellule avec une radiation de couleur verte.
a) Calculer la vitesse maximale des électrons émis.
b) La différence de potentiel entre l'anode et la cathode étant de $30V$, calculer la vitesse avec laquelle les électrons atteindront l'anode.

On donne : Constante de Planck : $h = 6{,}63.10^{-34}Js$
Masse de l'électron : $m_e = 0{,}91.10^{-30}Kg$
Charge de l'électron : $|e| = 1{,}6.10^{-19}C$
Célérité de la lumière dans le vide : $C = 3.10^8 m/s$

**Exercice 4** :

1) La cathode d'une cellule photoélectrique à vide, au potassium, peut être éclairée par deux radiations lumineuses, l'une violette de longueur d'onde $\lambda_1 = 4.10^{-7}m$; l'autre rouge de longueur d'onde $\lambda_2 = 7.10^{-7}m$. L'énergie minimale à fournir pour extraire un électron du potassium est $W_o = 2{,}26eV$.
   a) Définir l'effet photoélectrique
   b) Obtient-on l'effet photoélectrique avec chacune de ces deux radiations ?
   c) Si cet effet se produit; calculer l'énergie cinétique maximale des électrons arrachés à la cathode et leur vitesse maximale d'extraction.



Scanned by CamScanner

2) L'intensité maximale du courant débité par la cellule est $I_s = 1{,}2\mu A$ sous l'effet de l'une des radiations citées à la question 1); le faisceau lumineux reçu par la cellule transporte une puissance rayonnante $P = 40mW$ . Quel est le rendement de la cellule? On rappelle que le rendement est le rapport du nombre d'électrons arrachés à la cathode au nombre de photons reçus par la cathode dans le même temps.

On donne : constante de Planck : $h = 6{,}63.10^{-34}Js$; masse de l'électron : $m_e = 0{,}91.10^{-30}K$, charge de l'électron :$|e| = 1{,}6.10^{-19}$, Célérité de la lumière dans le vide : $C = 3.10^8 m/s$



Scanned by CamScanner

# RADIOACTIVITÉ

1) **Les définitions** :

- **Atome** : L'atome est la plus petite partie d'un corps qui puisse entrer en combinaison chimique.
- **Atomes isotopes** : On appelle atomes isotopes les atomes ayant le même numéro $Z$ atomique mais des nombres de masse $A$ différents.

  **Exemple** : $({}^{12}_{6}C, {}^{13}_{6}C, {}^{14}_{6}C)$
- **Noyau** : Le noyau est la partie d'un atome constituée de protons et de neutrons.
- **Nucléons** : On appelle nucléons l'ensemble des protons et neutrons d'un noyau.
- **Nucléide** : On appelle nucléide d'un élément X, le couple (Z, A). Il est noté ${}^{A}_{Z}X$

  $X$ est le symbole de l'élément
  $A$ est le nombre de masse ou nombre de nucléon avec $A = Z + N \rightarrow N = A - Z$
  $Z$ est le nombre de charge ou numéro atomique
  $N$ est le nombre de neutrons
- **Energie de liaison** : L'énergie de liaison est l'énergie nécessaire pour séparer les nucléons d'un noyau au repos. Elle est donnée par : $E = \Delta m C^2$

  Avec $\Delta m = Zm_P + (A - Z)m_N - m_X$ appelé défaut de masse

  Alors $E = [Zm_P + (A - Z)m_N - m_X] \times C^2$
- **Energie de liaison par nucléons** : Elle permet d'évaluer la stabilité des noyaux. Elle est donnée par : $\frac{E}{A} = \frac{[Zm_P+(A-Z)m_N-m_X]\times C^2}{Z+N}$
- **Radioélément** : Un radioélément ou élément radioactif est un nucléide capable de se désintégrer en émettant des particules radioactives.
- **Famille radioactive** : La famille radioactive est un ensemble de noyaux instables pouvant donner une suite de désintégration jusqu'à un noyau plus stable.
- **Radioactivité** : La radioactivité est l'émission spontanée ou provoquée de particules radioactives.

  **N.B** : les particules radioactives sont : L'électron ${}^{0}_{-1}e$ ou particule $\beta^-$, le positron ${}^{0}_{+1}e$ ou particule $\beta^+$, le neutron ${}^{1}_{0}n$, l'hélium ${}^{4}_{2}H_e$ ou particule $\alpha$ et le photon ou particule $\gamma$

2) **Les types de radioactivité** : On distingue la radioactivité spontanée et la radioactivité provoquée.

- **Radioactivité spontanée ou naturelle** :
- **Définition** : La radioactivité spontanée est la transformation spontanée d'un noyau père à un noyau fils avec émission de particules radioactives.

  On distingue la radioactivité: la radioactivité $\alpha$, la radioactivité $\beta^+$, la radioactivité $\beta^-$ et la radioactivité $\gamma$.

– **Radioactivité $\alpha$** : La radioactivité $\alpha$ est la transformation spontanée d'un noyau père à un noyau fils avec émission de particule $\alpha$ ou hélium.

${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}Y + {}^{4}_{2}H_e$

D'après la loi de Soddy :

$$\begin{cases} A = A_1 + 4 \rightarrow A_1 = A - 4 \\ Z = Z_1 + 2 \rightarrow Z_1 = Z - 2 \end{cases}$$



Scanned by CamScanner

**Exemple** : L'uranium $^{238}_{92}U$ est radioactif $\alpha$. Il se transforme en thorium.
$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}H_e$

- **Radioactivité $\beta^+$** : La radioactivité $\beta^+$ est la transformation spontanée d'un noyau père à un noyau fils avec émission de positron.
$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}Y + {}^{0}_{1}e$

D'après la loi de Soddy :

$$\begin{cases} A = A_1 \\ Z = Z_1 + 1 \rightarrow Z_1 = Z - 1 \end{cases}$$

**Exemple** : Le cuivre $^{64}_{29}C_U$ est radioactivité $\beta^+$. Il se transforme en nickel.
$^{64}_{29}C_U \rightarrow {}^{64}_{28}N_i + {}^{0}_{1}e$

- **Radioactivité $\beta^-$** : La radioactivité $\beta^-$ est la transformation spontanée d'un noyau père à un noyau fils avec émission d'électron.
$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}Y + {}^{0}_{-1}e$

D'après la loi de Soddy :

$$\begin{cases} A = A_1 \\ Z = Z_1 - 1 \rightarrow Z_1 = Z + 1 \end{cases}$$

**Exemple** : Le cuivre $^{64}_{29}C_U$ est radioactivité $\beta^-$. Il se transforme en zinc.
$^{64}_{29}C_U \rightarrow {}^{64}_{30}Z_n + {}^{0}_{-1}e$

- **Radioactivité $\gamma$ ou désexcitation** : La radioactivité $\gamma$ est l'émission de photon par un noyau excité lors de son retour à l'état fondamental.
$^{A}_{Z}X^* \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$

**Exemple** : $^{1}_{1}H^* \rightarrow {}^{1}_{1}H + \gamma$

- **Les lois de conservation** : Dans une réaction nucléaire, il y a conservation de nombre de charge et de nombre de masse. loi de Soddy
- **La loi de décroissance radioactive** : Le nombre de noyau radioactif présent dans un échantillon à une date t est donné par : $N = N_o e^{-\lambda t}$ et $N = \frac{m}{M}\mathcal{N}$

$$\begin{cases} N \text{ (Le nombre de désintégration à } t \neq 0) \\ N_o \text{ (Le nombre de désintégration à } t = 0) \\ \lambda \text{ (La constante radioactive)} \\ \mathcal{N} = 6{,}02.10^{23} mol^{-1} \text{(Le nombre d'Avogadro)} \end{cases}$$

- **L'activité d'un élément radioactif** : L'activité radioactive d'un radioélément est le nombre de désintégration par seconde. Elle s'exprime en Becquerel (Bq) et se note $a$

avec $a = -\frac{dN}{dt}$ or $\frac{dN}{dt} = -\lambda N_o e^{-\lambda t} \rightarrow a = \lambda N_o e^{-\lambda t}$ à$t = 0$ $a_o = \lambda N_o$

D'où $a = a_o e^{-\lambda t}$

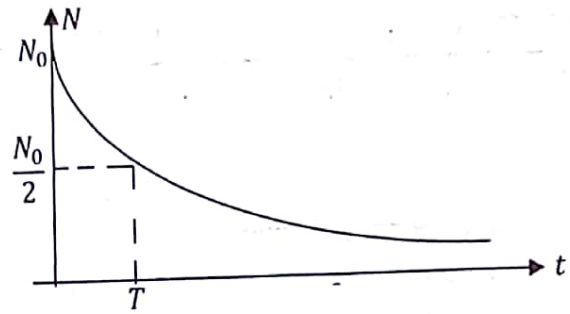
**Attention** : $a = a_o e^{-\lambda t} \rightarrow \frac{a}{a_o} = e^{-\lambda t} \rightarrow \ln\frac{a_o}{a} = \lambda t \rightarrow \boxed{t = \frac{1}{\lambda}\ln\frac{a_o}{a}}$

- **Le temps de demi-vie ou période** : Le temps de demi-vie est le temps au bout duquel la moitié d'un noyau radioactif initialement dans un échantillon s'est désintégrée.

$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T}$



Scanned by CamScanner




- **Radioactivité provoquée** :
- **Définition** : La radioactivité provoquée est la transformation d'un noyau père à un noyau fils à la suite de bombardement par des particules radioactive.
  On distingue la fission et la fusion.

- **Fission** : La fission est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau père fissible est cassé en deux (2) noyau plus légers avec émission de particules radioactive.

  $^{A}_{Z}X + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}Y + {}^{A_2}_{Z_2}Y + k{}^{1}_{0}n$

  D'après la loi de Soddy :

  $$\begin{cases} A + 1 = A_1 + A_2 + k \\ Z = Z_1 + Z_2 \end{cases}$$

- **Fusion** : La fusion est une réaction nucléaire au cours de laquelle deux (2) noyaux s'unissent pour former un noyau plus lourd.

  **Exemple** : $^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{91}_{36}Br + {}^{142}_{56}Ba + 3{}^{1}_{0}n$

  **Exemple** : La fusion de 2 isotopes d'hydrogène conduit à l'hélium.

  $^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}H_e + {}^{1}_{0}n$

3) **Applications de la radioactivité** :

La radioactivité est utilisée dans beaucoup de domaines :

- En électricité : Production d'énergie électrique.
- En médecine : radiographie, radiothérapie
- En agronomie (ou en agriculture) : traceurs d'engrais
- Dans l'industrie métallurgique : $\beta$ graphique et $\gamma$ graphique. /.



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LA RADIOACTIVITÉ

**Exercice1** : En 1934, Frédéric et Irène Joliot-Curie ont découvert la radioactivité artificielle.

a) En bombardant des noyaux d'aluminium $^{27}_{13}Al$ par des particules $\alpha$, ils ont obtenu des noyaux de phosphore $^{30}_{15}P$ et une autre particule $p$
Ecrire l'équation de cette réaction nucléaire et nommer la particule $P$

b) Le phosphore obtenu est radioactif et se désintègre en donnant des particules $\beta^+$et du silicium $Si$.
Ecrire l'équation de cette désintégration.

**Exercice 2** : Dans la haute atmosphère, sous l'effet du bombardement neutronique, l'azote $^{14}_{7}N$ se transforme en carbone $^{14}_{6}C$ radioactif. La désintégration du carbone 14 donne de l'azote 14.

a) Ecrire les équations des réactions nucléaires.

b) La période du carbone 14 est 5590 années. Un échantillon de bois, trouvé dans une grotte préhistorique, donne 212 désintégrations par minute. Un échantillon contenant la même masse de carbone et préparé à partir d'un jeune bois donne 1350 désintégrations par minute. Quel est l'âge du bois ancien ?

**Exercice 3** : Le radionucléide $^{228}_{90}Th$ subit la désintégration de type $\alpha$ selon l'équation : $^{228}_{90}Th \rightarrow {}^{4}_{2}He + Ra$

a) Donner, en justifiant la réponse, le numéro atomique et le nombre de masse de l'isotope du radium produit.

b) Des mesures précises permettent de connaitre les masses des noyaux de :

- Thorium $^{228}_{90}Th$ : $228{,}028u$
- Hélium $^{4}_{2}He$ : $4{,}0026u$
- Radium produit $Ra$ : $224{,}0202u$

$1u = 931MeV/C^2$

Calculer, en mégaélectronvolts, l'énergie mise en jeu lors d'une réaction nucléaire.
Sous quelle forme apparait-elle ?

**Exercice 4** : On donne :

- Unité de masse atomique : $1u = 931MeV/C^2$
- Masse du proton : $m_P = 1{,}0073u$
- Masse du neutron : $m_n = 1{,}0087u$
- Masse du noyau d'hélium : $M = 4{,}0015u.$

**Extrait de la classification périodique** :

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $_{80}$Hg | $_{81}$TI | $_{82}$Pb | $_{83}$Bi | $_{84}$Po | $_{85}$At | $_{86}$Rn |

l) Le rayonnement $\alpha$ est constitué de noyau d'hélium $^{4}_{2}He$.

a) Quels sont les autres rayonnements radioactifs que vous connaissez ? Précisez à chaque fois le type de particules émises.

b) Que représente les nombres 2 et 4 dans le symbole $^{4}_{2}He$ ? Quelle est la structure du noyau d'hélium ?

c) Calculer en $MeV$ l'énergie de liaison par un nucléon dans le noyau d'hélium.



Scanned by CamScanner

2) Le polonium $^{218}_{84}Po$ subit la désintégration $\alpha$ en donnant un noyau fils $^{A}_{Z}X$.
Ecrire l'équation de désintégration du $^{218}_{84}Po$ en précisant les lois de conservation que vous utilisez.
Identifiez le noyau fils $^{A}_{Z}X$

3) La période radioactive du $^{218}_{84}Po$ est de 3 min 03$s$.

a) Donner la définition de la période ou temps de demi-vie d'un radioélément.

b) Un échantillon renferme initialement 1$mg$ de $^{218}_{84}Po$. Quelle masse de polonium 218 reste-t-il au bout de 12 min 12$s$.

**Exercice 5** : Uranium $^{235}_{92}U$ peut, après capture d'un neutron, subit la fission et donne de la lantarne $^{148}_{57}La$ et du brome $^{85}_{35}Br$.

1) Ecrire l'équation de la réaction et préciser le nombre de neutrons émis.

2) Quelle serait l'énergie libérée par une masse $m = 1Kg$ d'uranium subissant cette fission.

3) Application numérique :

| Nucléide | Masse de l'atome en $u$ |
|---|---|
| $^{235}_{92}U$ | 235,044 |
| $^{148}_{57}La$ | 147,932 |
| $^{85}_{35}Br$ | 84,916 |

$1u = 931MeV/C^2 = 1{,}66.10^{-27}Kg$

$m_n = 1{,}00866u$

$m_e = 5{,}486.10^{-4}u$

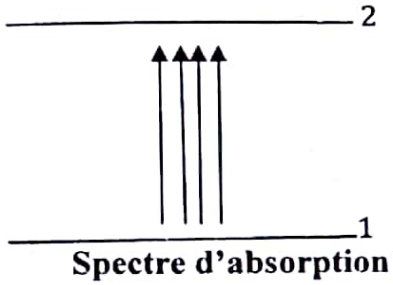


Scanned by CamScanner

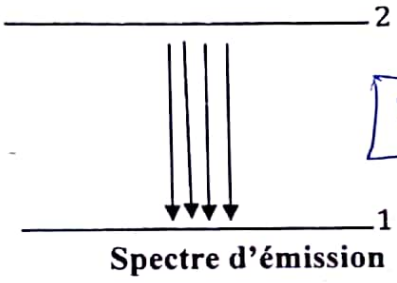
# NIVEAUX D'ÉNERGIE DE L'ATOME D'HYDROGÈNE

1) **Les définitions**:

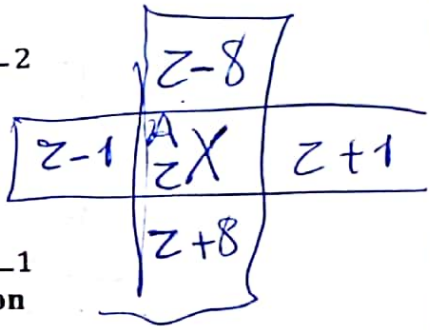
- **Niveaux d'énergie** : On appelle niveaux d'énergie, la plus ou moins grande énergie qu'il faut fournir à un électron pour l'arracher d'un noyau.
- **Rai** : On appelle rai un rayon lumineux.
- **Spectre atomique** : On appelle spectre atomique, l'ensemble des rais d'absorption ou d'émission d'un atome.
- **Spectre d'absorption** : Le spectre d'absorption est l'ensemble des rais d'absorption c'est-à-dire l'ensemble des rais du passage d'un niveau inferieur à un niveau supérieur.
- **Spectre d'émission** : Le spectre d'émission est l'ensemble des rais d'émission c'est-à-dire l'ensemble des rais du passage d'un niveau supérieur à un niveau inferieur.
- **Transition** : La transition est le passage d'un niveau d'énergie à un autre. Toute transition s'accompagne d'absorption ou d'émission d'énergie.



Spectre d'absorption



Spectre d'émission




2) **Les postulats de Bohr**:

**1er Postulat** : L'atome ne peut exister que dans un certain état d'énergie. Les états d'énergie d'un atome sont discrets et quantifiés

**2e Postulat** : L'état d'énergie la plus basse d'un atome est son état fondamental ou état stable. Les autres états sont des états excités.

3) **Les états d'énergie de l'atome d'hydrogène**: L'atome d'hydrogène est représenté par ${}^{1}_{1}H$. Les états d'énergie de l'atome d'hydrogène sont quantifiés. Ils vérifient la relation $E_n = \frac{-E_0}{n^2}$ $\begin{cases} E_0 = 13{,}6 \text{ ev} \\ \text{n est le nombre quantique principal avec } n \geq 1 \end{cases}$

Pour n=1 $\rightarrow E_1 = -13{,}6$ ev état fondamental ou état stable

Pour n=2 $\rightarrow E_2 = -3{,}4$ ev
Pour n=3 $\rightarrow E_3 = -1{,}51$ ev
Pour n=4 $\rightarrow E_4 = -0{,}85$ ev
Pour n=5 $\rightarrow E_5 = -0{,}54$ ev
.
.
. } états excités

Pour n=∞ $\rightarrow E_\infty = 0$ etat ionisé

**N.B**: 1ev $\rightarrow 1{,}610^{-19}$J or 1Mev$\rightarrow 10^6$ ev
1Mev$\rightarrow 1{,}610^{-13}$J

atome { noyau central { Proton, neutron
nuages électronique e⁻ ou niveaux de couches concentriques.

atome : C'est la plus petite



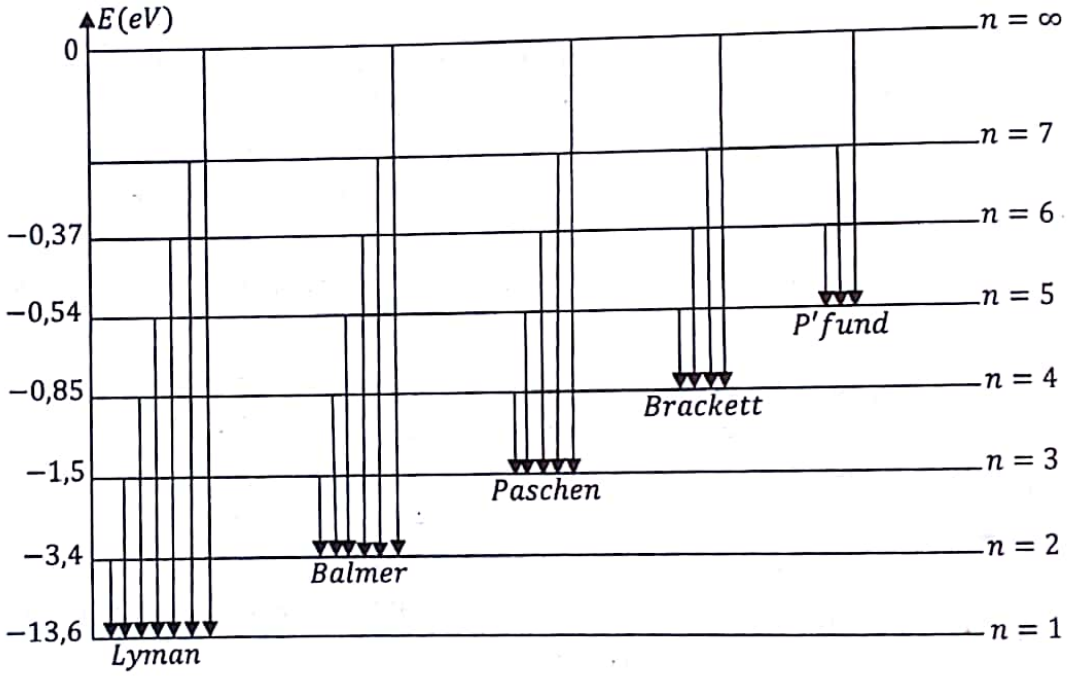
Scanned by CamScanner

**Remarque** : L'énergie d'émission de l'atome d'hydrogène du passage d'un niveau 2 à un niveau 1 est donnée par : $E_{(2;1)} = E_2 - E_1$ avec $E_{(2;1)} = \frac{hC}{\lambda_{(2;1)}} \rightarrow \lambda_{(2;1)} = \frac{hC}{E_{(2;1)}}$ .

4) **Les séries d'émission de l'atome d'hydrogène**: On appelle serie un ensemble de transitions aboutissant à un meme niveau.

Les séries d'émission de l'atome d'hydrogène sont :

- La série de Lyman: retour au niveau 1
- La série de Balmer: retour au niveau 2
- La série de Paschen: retour au niveau 3
- La série de Brackett: retour au niveau 4
- La série de P'fund: retour au niveau 5




**N.B** : La série de Balmer est la première série historique. Elle correspond au retour au niveau 2. La longueur d'onde des transitions correspondant à la série de Balmer appartiennent au spectre visible (0,4µm ≤ λ ≤ 0,8 µm)./.



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LES NIVEAUX D'ÉNERGIE DE L'ATOME D'HYDROGÈNE

**Exercice 1** : Les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène sont donnés par la relation : $E_n = \frac{-13,6}{n^2}$ où $E_n$ est en électronvolts (eV) et n, est un nombre entier naturel non nul.

1) Quelle est l'énergie d'ionisation de l'atome d'hydrogène ?
2) Etablir l'expression littérale de la fréquence des radiations émises lorsque cet atome passe d'un état excité tel que n >2 à l'état n = 2 (radiations de la série de Balmer)
3) L'analyse du spectre d'émission de l'atome d'hydrogène relève la présence de radiations de longueur d'onde 656 nm (H$\alpha$) ; 486 (H$\beta$) 434 (H$\gamma$). Déterminer à quelles transitions correspondent ces radiations de la série de Balmer.
Données : Constante de Planck : $h = 6,63.10^{-34} Js$, Célérité de la lumière dans le vide : $C = 3.10^8 ms^{-1}$

**Exercice 2** : Les états d'énergie de l'atome d'hydrogène sont quantifiés et vérifient la relation $E_n = \frac{-13,6}{n^2}$

1) Calculer les énergies quantifiées de l'atome d'hydrogène pour $n \geq 6$ et pour $n = \infty$ et tracer le diagramme des énergies puis représenter les series d'émission.
2) Calculer les longueurs d'ondes des radiations correspondant au quatre (4) première transition de la serie de Balmer. Montrer que les radiations correspondantes $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, H_\lambda$ appartiennent au spectre visible.
3) On utilise la radiation $H_\gamma$ pour l'initiation de la réaction de monochloration du méhane. Sachant que l'énergie de liaison de $Cl_2$ est $242 J/mol$ ; cette réaction sera-t-elle initiée ?
4) Le seuil photoélectrique du zinc est $f_o = 10^{15} Hz$, la radiation correspondant à la transition (5,3) peut-elle extraire un électron du zinc ? Si oui quelle est la vitesse maximale des électrons émis.



Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner

# LA STÉRÉOCHIMIE

1) **Définition**: La stéréochimie est la partie de la chimie qui étudie la représentation des atomes d'une molécule dans l'espace.

- **Carbone tétraédrique** : C'est un atome de carbone à quatre (4) liaisons simples. Il est encore appelé carbone tétragonal. (-C-) lié
- **Carbone trigonal** : C'est un atome de carbone à une double liaison. (-C=)
- **Carbone digonal** : C'est un atome de carbone à une triple liaison. (-C≡)

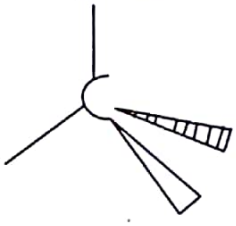
2) **Les types de représentations spatiales** : On distingue la représentation projective (ou en perspective), la représentation de Newman et la représentation de Fischer.

- **Représentation en perspective ou représentation de Cram** : Dans cette représentation, par convention, le carbone tétraédrique est représenté de la manière suivante :

——— Liaison simple dans le plan

Liaison simple en avant du plan

Liaison simple en arrière du plan.



**Exemple 1** : **Les alcanes et les alkyles** :

- **Les alcanes** : Les alcanes sont des hydrocarbures saturés de formule générale brute $C_nH_{2n+2}$. Ils sont caractérisés par la présence de simples liaisons dans leur molécule.
- **Les alkyles** : Les alkyles sont des radicaux d'alcanes de formule générale $R-$ *ou* $C_nH_{2n+1}-$

**Alcanes** : $C_nH_{2n+2}$

Si $n = 1 \rightarrow$ $CH_4$ méthane
Si $n = 2 \rightarrow$ $C_2H_6$ éthane
Si $n = 3 \rightarrow$ $C_3H_8$ propane
Si $n = 4 \rightarrow$ $C_4H_{10}$ butane
Si $n = 5 \rightarrow$ $C_5H_{12}$ pentane
Si $n = 6 \rightarrow$ $C_6H_{14}$ hexane
Si $n = 7 \rightarrow$ $C_7H_{16}$ heptane
Si $n = 8 \rightarrow$ $C_8H_{18}$ octane
Si $n = 9 \rightarrow$ $C_9H_{20}$ nonane
Si $n = 10 \rightarrow$ $C_{10}H_{22}$ décane
Si $n = 11 \rightarrow$ $C_{11}H_{24}$ undécane
Si $n = 12 \rightarrow$ $C_{12}H_{26}$ dodécane
Si $n = 13 \rightarrow$ $C_{13}H_{28}$ tri décane
Si $n = 14 \rightarrow$ $C_{14}H_{30}$ tétradécane
Si $n = 15 \rightarrow$ $C_{15}H_{32}$ pentadécane
Si $n = 16 \rightarrow$ $C_{16}H_{34}$ hexadécane
Si $n = 17 \rightarrow$ $C_{17}H_{36}$ heptadécane
Si $n = 18 \rightarrow$ $C_{18}H_{38}$ octadécane

**Alkyles** : $C_nH_{2n+1}-$

$CH_3-$ méthyle
$C_2H_5-$ ou $CH_3-CH_2-$ éthyle
$C_3H_7-$ $\begin{cases} CH_3-CH_2-CH_2- \text{ propyle} \\ CH_3-CH(-CH_3) \text{ isopropyle} \end{cases}$



Scanned by CamScanner

Nommer les composés suivants :

$CH_3$-$CH_2$-$CH_3$ **propane**

$CH_3$-$CH_2$-$CH(C_2H_5)$-$CH_2$-$CH(CH_3)$-$CH_2$-$CH_3$ **3-éthyl,5-méthylheptane**

$CH_3$-$CH_2$-$C(CH_3)(CH_3)$-$CH_2$-$CH(CH_3)$-$CH(C_2H_5)$-$CH_2$-$CH_3$ **6-éthyl,3,3,5-triméthyloctane**

**Exemple 2** : **Les alcènes et les alcynes** :

- **Les alcènes** : ce sont des hydrocarbures insaturés de formule générale brute $C_nH_{2n}$ avec $n \geq 2$. Ils sont caractérisés par la présence d'une double liaison dans leur molécule.
- **Les alcynes** : ce sont des hydrocarbures insaturés de formule générale brute $C_nH_{2n-2}$ avec $n \geq 2$. Ils sont caractérisés par la présence d'une triple liaison dans leur molécule.

Nommer les composés suivants :

$CH_2$=$CH_2$ **éthène ou éthylène**

$CH_3$-$CH$=$CH_2$ **propène**

$CH_3$-$CH_2$-$CH$=$CH_2$ **but-1ène**

$CH_3$-$CH$=$CH$-$CH_3$ **but-2ène**

$CH_3$-$C(CH_3)$=$CH_2$ **2-méthylpropène**

$CH_3$-$C(C_2H_5)$=$CH$-$CH_2$-$CH(C_2H_5)$-$CH$=$CH_2$ **3-éthyl,6-méthyloct-1,5diène**

$CH\equiv CH$ **éthyne ou acetylene**

$CH_3$-$C\equiv CH$ **propyne**

$CH_3$-$CH_2$-$C\equiv CH$ **but-1yne**

$CH_3$-$C\equiv C$-$CH_3$ **but-2yne**

$CH_3$-$CH(CH_3)$-$CH$=$CH$-$CH(C_2H_5)$-$C\equiv CH$ **3-éthyl,6-méthylhept-4èn-1yne**

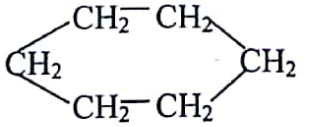
**Exemple 3** : **Les cyclanes ou cycloalcanes**: ce sont des alcanes à chaines fermées de formule générale brute $C_nH_{2n}$ avec $n \geq 3$.

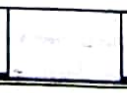
**NB** : Les cyclanes et les alcènes ont la même formule brute ~~mes~~ mais des fonctions chimiques différentes alors ils sont isomères de fonction.

Nommer les composés suivants :

$CH_2$-$CH_2$-$CH_2$ ou  cyclopropane

$CH_2$-$CH_2$-$CH_2$-$CH_2$ ou  cyclobutane

 ou  cyclohexane

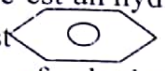
$CH_3$-$CH(CH_3)$-$CH(C_2H_5)$-$CH_2$ ou $CH_3$-  -$C_2H_5$ 1-éthyl,2-méthylcyclobutane

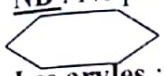


Scanned by CamScanner

$CH_2^- CH_2$

**Exemple 4** : **Le benzène et les aryles** :

- **Le benzène** : c'est un hydrocarbure aromatique de formule brute $C_6H_6$. Sa formule développée est 

**NB** : Ne pas confondre le benzène de formule  et le cyclohexane de formule 

- **Les aryles** : sont des radicaux d'~~alcanes~~ de Benzène de formule $C_6H_5-$ ou  ou $\varphi^-$ ou phényle.

**Exemple 5** : **Les alcools** : ce sont des composés organiques de formule générale $R-OH$. Leur formule générale brute est $C_nH_{2n+2}O$

Nommer les composés suivants :

$CH_3$-OH **methanol**

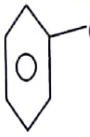
$CH_3$-$CH_2$-OH **ethanol ou alcool éthylique**

$CH_3$-$CH_2$-$CH_2$-OH **propan-1ol**

$CH_3$-CHOH-$CH_3$ **propan-2ol**

$CH_3$-COH-$CH_3$ **2-méthylpropan-2ol**

$CH_3$




**Benzanol ou phénylméthanol**

**Exemple 6** : **Les aldéhydes et les cétones** :

- **Les aldéhydes** : sont des produits d'oxydation des alcools de formule générale $R-CHO$.
- **Les cétones** : sont des produits d'oxydation des alcools de formule générale $R-CO-R'$

**NB** : Les aldéhydes et les cétones ont la même formule générale brute $C_nH_{2n}O$ mais des fonctions chimiques différentes alors ils sont isomères de fonction.

Pour les différencier on les fait subir des tests sur des réactifs comme la 2,4-DNPH (dinitrophénylhydrazine), le réactif de Schiff, la liqueur de Fehling et le nitrate d'argent ammoniacal

| Les Tests / Produits D'oxydation | 2,4-DNPH | Liqueur de Fehling | Réactif de Schiff | Nitrate d'argent ammoniacal ou réactif de Tollens |
|---|---|---|---|---|
| Aldéhydes | Précipité jaune | Précipité rouge brique | Coloration rose | Dépôt brillant d'argent |
| Cétones | Précipité jaune | Négatif | Négatif | Négatif |

Soit A un alcool et B son produit d'oxydation :

Si A ~~oxydé~~ → B { + DNPH, + L.F } donc B est un aldéhyde alors A est un alcool primaire.

Si A ~~oxydé~~ → B { + DNPH } donc B est une cétone alors A est un alcool secondaire.



Scanned by CamScanner

- L.F

Si A —~~oxydé~~→ Rien alors A est un alcool tertiaire.

Nommer les composés suivants :

$CH_3$-CHO éthanal

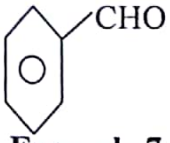
$CH_3$-$CH_2$-CHO propanal

$CH_3$-CO-$CH_3$ propanone ou propan-2one

$CH_3$-$CH_2$-$CH_2$-CHO butanal

$CH_3$-CH(-$CH_3$)-CHO méthylpropanal ou 2-méthylpropanal

$CH_3$-CO-$CH_2$-$CH_3$ butanone ou butan-2one



Benzanal ou phénylméthanal

**Exemple 7** : **Les éthers-oxydes** : Ce sont des composés organiques de formule générale $R - O - R'$. Leur formule générale brute est $C_nH_{2n+2}O$.

**N.B** : Les éthers oxydes et les alcools ont la même formule brute mais des fonctions chimiques différentes alors ils sont isomères de fonctions.

Nommer les composés suivants :

$CH_3$-O-$CH_3$ **oxyde de diméthyle**

$CH_3$-O-$C_2H_5$ **oxyde d'éthylméthyle**

$CH_3$-CH(-$CH_3$)-O-$CH_3$ **oxyde d'isopropylméthyle ou oxyde méthyléthylméthyle.**

**Exemple 8** : **Les acides carboxyliques** : Ce sont des composés organiques de formul générale $R - COOH$. Leur formule générale brute est $C_nH_{2n}O_2$.

Nommer les composés suivants :

H-COOH **acide méthanoïque ou acide formique**

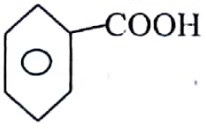
$CH_3$-COOH **acide éthanoïque ou acide acétique**

$CH_3$-$CH_2$-COOH **acide propénoïque**

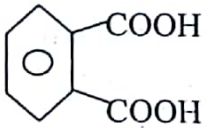
$CH_3$-CH(-$C_2H_5$)-COOH **acide 2-méthylbutanoïque**

HOOC-COOH **acide éthan-dioïque ou acide oxalique**

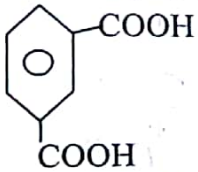
HOOC-$(CH_2)_4$-COOH **acide hexan-dioïque ou acide adipique**



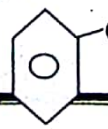
**Acide benzoïque ou acide benzanoïque**



**Acide orthophtalique ou acide benzèn-1,2dioique**



**Acide métaphtalique ou acide benzèn-1,3dioïque**



**Acide paraphtalique ou acide benzèn-1,4dioïque**



Scanned by CamScanner

HOOC

**Exemple 9** : **Les esters** : Ce sont des composés organiques de formule générale $R-COO-R'$. Leur formule générale brute est $C_nH_{2n}O_2$.

**NB** : les esters et les acides carboxyliques ont la même formule brute mes des fonctions chimiques différentes alors ils sont isomères de fonction.

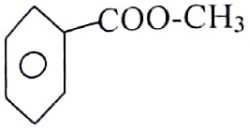
Nommer les composés suivants :

$H\text{-}COO\text{-}CH_3$ **méthanoate de méthyle**

$CH_3\text{-}COO\text{-}CH_3$ **éthanoate de méthyle**

$CH_3\text{-}COO\text{-}C_2H_5$ **étanoate d'éthyle ou acétate d'éthyle**

$CH_3\text{-}CH(CH_3)\text{-}CH(C_2H_5)\text{-}COO\text{-}C_2H_5$ **2-éthyl, 3-méthylbutanoate d'éthyle ou 2-isopropylbutanoate d'éthyle**



**benzoate de méthyle**

**Exemple 10** : **Les composés multifonctionnels** : Ce sont des composés à plusieurs fonctions chimiques.

= **éne**

≡ **yne**

-Cl **cloro**

-Br **bromo**

$-NH_2$ **amino**

-OH **ol ou hydroxy**

-CHO **al**

-CO **one ou oxo**

-COOH **oïque**

Nommer les composes suivants :

$CH_3\text{-}CHCl\text{-}CH(C_2H_5)\text{-}CH{=}CH\text{-}CH(CH_3)\text{-}CH(NH_2)\text{-}COOH$

Acide 2-amino,7-chloro,6-éthyl,3-méthyloct-4énoïque

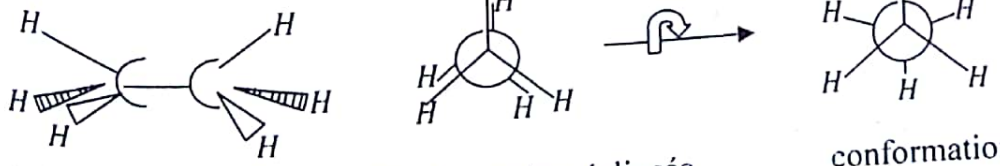
$CH_3\text{-}CH(C_2H_5)\text{-}CH_2\text{-}C(C_2H_5)(CH_3)\text{-}CH{=}CH\text{-}CHBr\text{-}CH{=}C(CH_3)\text{-}CH_2\text{-}COOH$

Acide 5-bromo,8-éthyl,3,8,10-triméthyldodec-3,6dièn oïque

- **Représentation de Newman** : C'est la projection orthogonale d'une molécule autour des liaisons simples carbone –carbone.

Dans cette représentation le premier carbone aperçu par l'observateur est symbolisé par un point et le second par un cercle chaque carbone portant ainsi ses substituants.

**Exemple** : Donner la représentation de Newman de l'éthane $CH_3\text{-}CH_3$.

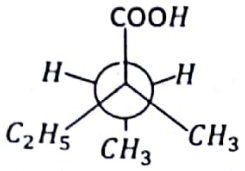


Conformation éclipsée conformation décalée

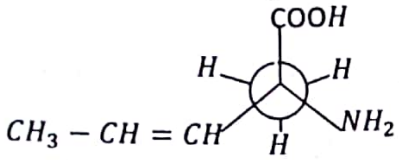


Scanned by CamScanner

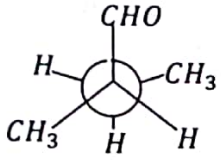
Nommer les composés suivants :




Acide 2-éthhyl, 2-méthylbutanoique




Acide 2-amino, 2-méthylpent-3ènoique




2-méthylbutanal

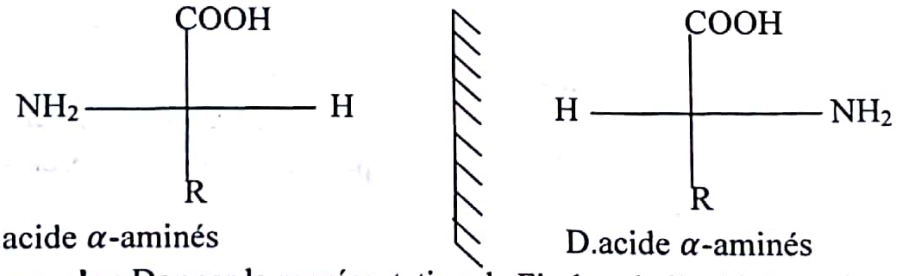
**Représentation de Fischer** : C'est la représentation spatiale conventionnelle des acides $\alpha$-aminés de formule générale R-CH-COOH.
$NH_2$

Leur formule générale brute est $C_nH_{2n+1}NO_2$.

Dans cette représentation, par convention :

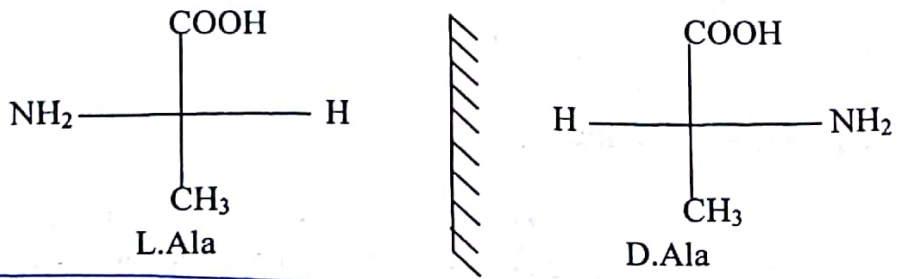
- Le –COOH est toujours en haut
- R toujours en bas
- Si le $NH_2$ se projette à gauche, la configuration est L
- Si le $NH_2$ se projette à droite, la configuration est D

NB. Tte autre molécule chirale peut-être représen en fischer. Il suffit de di la chaine principale verti




L.acide $\alpha$-aminés D.acide $\alpha$-aminés

**Exemple** : Donner la représentation de Fischer de l'acide 2-aminopropanoique ou alanine de formule : $CH_3$-CH-COOH.
$NH_2$




L.Ala D.Ala

COOH
H — H ou $CH_3-CH=CH-\overset{CH_3}{\underset{NH_2}{C}}-COOH$ : acide 2-amino, 2-methylpent-3èn
$CH_3-CH=CH$ H $NH_2$



Scanned by CamScanner

# NOTION D'ISOMÉRIE

1) **Définition** : L'isomérie est l'étude des isomères.

**Isomères** :

- On appelle isomères des composés ayant la même formule brute mais des formules semi-développées ou spatiales différentes.
- On appelle isomères des composés ayant la même formule brute mais des formules développées différentes.

On distingue deux (2) types d'isomérie : l'isomérie plane ou isomérie de constitution et l'isomérie spatiale ou stéréo-isomérie ou isomérie géométrique.

2) **Isomérie de constitution** : L'isomérie de constitution est l'isomérie plane dans laquelle la différence entre les isomères se situe au niveau de leurs formules semi-développées planes. Cette isomérie se divise en trois (3) : l'isomérie de chaine, l'isomérie de position et l'isomérie de fonction.

- **Isomérie de chaine** : L'isomérie de chaine est l'isomérie plane dans laquelle la différence entre les isomères se situe au niveau de leurs chaines carbonées (ramifications).

**Exemples**:

$C_4H_{10}$ { $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}H-CH_3$ **2-méthylpropane** ; $CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$ **butane** }

$C_4H_8$ { $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}=CH_2$ **2-méthylpropène** ; $CH_3-CH_2-CH=CH_2$ **but-1ène** }

$C_4H_{10}O$ { $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}H-CH_2OH$ **2-méthylpropan-1ol** ; $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2OH$ **butan-1ol** }

- **Isomérie de position** : L'isomérie de position est l'isomérie plane dans laquelle la différence entre les isomères se situe au niveau de la position d'un même groupement fonctionnel ou d'une même liaison multiple.

**Exemples:**

$C_4H_8$ { $CH_3-CH_2-CH=CH_2$ **but-1ène** ; $CH_3-CH=CH-CH_3$ **but-2ène** }

$C_4H_{10}O$ { $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2OH$ **butan-1ol** ; $CH_3-CH_2-CHOH-CH_3$ **butan-2ol** }

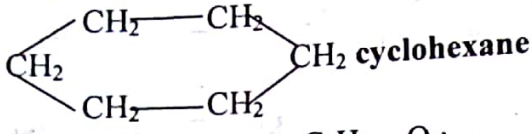
- **Isomérie de fonction** : L'isomérie de fonction est l'isomérie plane dans laquelle la différence entre les isomères se situe au niveau de leurs fonctions chimiques.

**Exemples** :

- Les alcènes et les cyclanes : $C_nH_{2n}$ :



Scanned by CamScanner

$C_6H_{12}$ { $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH=CH_2$ **hex-1ène** ;  **cyclohexane**

- Les alcools et les éthers oxydes : $C_nH_{2n+2}O$ :

$C_2H_6O$ { $CH_3-CH_2OH$ **éthanol** ; $CH_3-O-CH_3$ **oxyde de diméthyle**

- Les aldéhydes et les cétones : $C_nH_{2n}O$ :

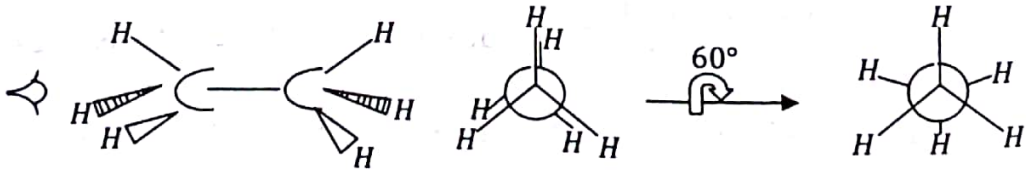
$C_3H_6O$ { $CH_3-CH_2-CHO$ **propanal** ; $CH_3-CO-CH_3$ **propanone**

- Les acides carboxyliques et les esters : $C_nH_{2n}O_2$ :

$C_3H_6O_2$ { $CH_3-CH_2-COOH$ **acide propanoique** ; $CH_3-COO-CH_3$ **éthanoate de méthyle**

3) **Stéréo-isomérie** : La stéréo-isomérie est l'isomérie spatiale dans laquelle la différence entre les isomères se situe au niveau de leurs représentations spatiales ou formules spatiales.
Cette isomérie se divise en deux (2) : l'isomérie de conformation et l'isomérie de configuration.

- **Isomérie de conformation** : L'isomérie de conformation est l'isomérie spatiale dans laquelle la différence entre les isomères se situe au niveau d'un angle de rotation autour des liaisons simples carbone-carbone (-C-C-).
**N.B** : **Conformères** : On appelle conformères les stéréo-isomères de conformation.
**Exemple 1** : **Les conformations de l'éthane $C_2H_6$** : L'éthane possède une infinité de conformation parmi lesquelles les plus remarquables sont : la conformation étoilée ou décalée et la conformation éclipsée.
**N.B** : Entre la conformation décalée et la conformation éclipsée de l'éthane, la plus stable est la conformation décalée car dans cette représentation la force de répulsion des les atomes est moins grande.

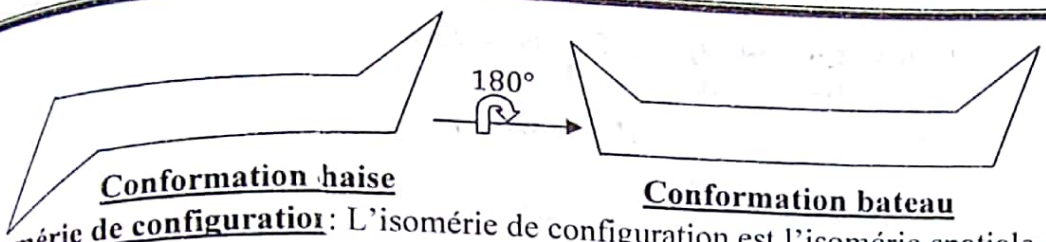



**Conformation éclipsée** **Conformation étoilée**

**Exemple 2** : **Les conformations du cyclohexane $C_6H_{12}$** : Le cyclohexane possède une infinité de conformation parmi lesquelles les plus remarquables sont la conformation chaise et la conformation bateau.
La conformation chaise est la plus stable.



Scanned by CamScanner




**Conformation chaise** **Conformation bateau**

- **Isomérie de configuration** : L'isomérie de configuration est l'isomérie spatiale dans laquelle les isomères sont non superposables. Dans cette isomérie on distingue : l'énantiomérie et la diastéréoisomérie Z/E.

**Différence entre isomérie de conformation et de configuration** :

✓ Dans l'isomérie de conformation, les conformère ne différent que par un angle de rotation autour des liaisons simples carbone-carbone. Les conformères sont inséparables.

✓ Dans l'isomérie de configuration, pour passer d'un isomère à un autre il faut nécessairement casser une ou plusieurs liaisons. Les isomères de configuration sont isolables.

- **Enantiomèrie** : L'énantiomérie est la relation d'isomérie entre une molécule chirale et son image dans un miroir plan.
- **Carbone asymétrique** : Un carbone asymétrique est un carbone tétraédrique lié à quatre (4) atomes ou groupes d'atomes tous différents.

Le carbone asymétrique est noté $C^*$

**Exemple** : Retrouvons les carbone asymétriques dans les molécules suivantes :

✓ $CH_3-CH_2-CH=CH-CO-CH(C_2H_5)-C^*H-C^*HOH-CH_2-COOH$

✓ $CH_3-CH(CH_3)-CH_2-C^*HOH-CH_2-O-C^*H(NH_2)-CHCl-COOH$

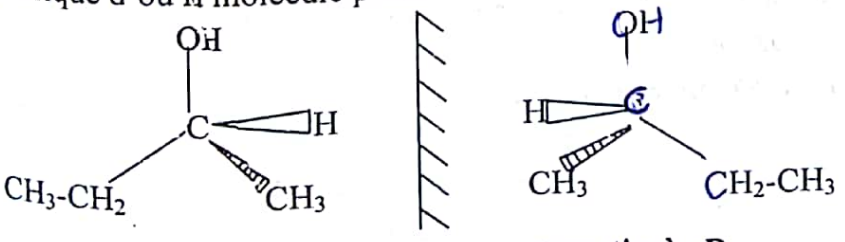
✓ $CH_2OH-C^*HOH-C^*HOH-C^*H-C^*HOH-CHO$

- **Chiralité** : La chiralité est la propriété d'une molécule de n'est pas être superposable à son image dans un miroir plan.
- **Molécule chirale** : Une molécule chirale est une molécule non superposable à son image dans un miroir plan. C'est une molécule contenant un carbone asymétrique.
- **Enantiomères** : On appelle énantiomères d'une molécule chirale et son image dans un miroir plan.

➢ Lorsqu'une molécule comporte un (1) carbone asymétrique alors elle possède deux (2) énantiomères.

➢ Et lorsqu'elle comporte deux (2) carbones asymétriques alors elle possède quatre (4) énantiomères.

**Exemple** : Le butan-2ol : $CH_3-C^*HOH-CH_2-CH_3$ est chirale car le carbone N°2 est asymétrique d'où la molécule possède 2 énantiomères.




**Enantiomère A** **Enantiomère B**



Scanned by CamScanner

- **Diastéréoisomérie ou isomérie Z, E** : La stéréoisomérie Z-E est l'isomérie spatiale liée à la présence de la double liaison.

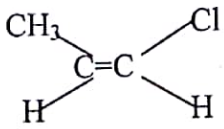
  **Remarque** : il y a isomérie Z-E dans une molécule si d'abord cette molécule renferme une double liaison et ensuite chaque carbone de la double liaison doit être relié à des substituants tous différents. Ces substituants sont classés par ordre de priorité (masse molaire plus grande)

  -Lorsque les substituants prioritaires sont ensemble (Zusammen) dans le même plan, la configuration est Z ou Cis. départ et d'autre de l = en masse

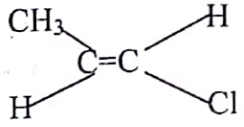
  -Lorsque les substituants prioritaires sont dans deux (2) plans opposés (entgegen), la configuration est E ou Trans.

  **Exemples** :

  ➢ $CH_3$-CH=CHCl

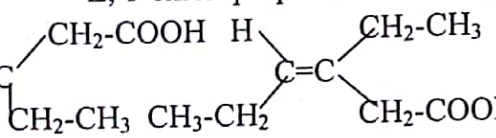


Z, 1-chloropropène

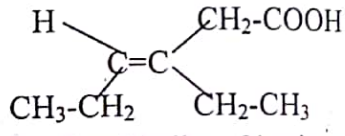


E, 1-chloropropène

  ➢ $CH_3$-$CH_2$-CH=C(-$CH_2$-COOH)(-$CH_2$-$CH_3$) ; C=C(H)($CH_2$-$CH_3$)($CH_3$-$CH_2$)



Z, acide 3-méthylhex-3ènoique



E, acide 3-méthylhex-3ènoique

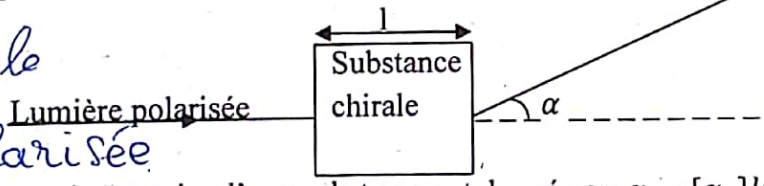
4) **Isomérie optique** :

- **Substance optiquement active** : Une substance optiquement active est une substance capable de faire dévier le plan de la lumière polarisée. C'est une substance douée d'un pouvoir rotatoire : elle possède donc une activité optique.

  **N.B** : Toute substance chirale est optiquement active.

Activité optique : C'est la capacité d'1 molécule de faire dévier le plan de la lumière polarisée vers la droite ou gauche d'1 ∆ (observateur)

Pouvoir rotatoire : C'est l'angle de déviation d'une substance optiquement active.




  Le pouvoir rotatoire d'une substance est donné par $\alpha = [\alpha_o]lC$

  $\alpha$ est le pouvoir rotatoire, $\alpha_o$ est le pouvoir rotatoire spécifique, l est la largeur de la substance et C est la concentration de la solution. or $C = \frac{n}{V}$ en mol/l

- **Substance lévogyre** : C'est une substance capable de faire dévier un rayon de lumière polarisée vers la gauche d'un observateur. Elle est notée (-) ou $L$.
- **Substance dextrogyre** : C'est une substance capable de faire dévier un rayon de lumière polarisée vers la droite d'un observateur. Elle est notée (+) ou $D$.
- **Isomères optiques** : On appelle isomères optiques ou inverses optiques ou antipodes optiques deux (2) énantiomères.

  N.B Les pouvoirs rotatoires de 2 antipodes optiques sont opposés.

  Si A et B sont énantiomères alors $\alpha_A = -\alpha_B$
- **Mélange racémique** : Un mélange racémique est un mélange équimolaire de deux (2) énantiomères.

  **Exemple** : $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$ (glucose, fructose)

  **N.B** : Le pouvoir rotatoire d'un mélange racémique est nul. /.



Scanned by CamScanner

# LES ALCOOLS

1) **Définition et formule générale** : Un alcool est un composé organique comportant dans sa molécule le groupement fonctionnel hydroxyle OH lié à un carbone tétraédrique. Leur formule générale est R-OH (pour les alcools aliphatiques) et Ar-OH (pour les alcools aromatiques) avec R- : $C_nH_{2n+1}$-
D'où R-OH : $C_nH_{2n+1}$-OH : $C_nH_{2n+2}O$ (formule générale brute des alcools)

2) **Classes d'alcools** : On distingue trois (3) classes d'alcools :

- **Alcool primaire** : Un alcool primaire est un alcool dont le carbone fonctionnel porte deux (2) atomes d'hydrogènes. Leur formule générale est : R-$CH_2$OH.
  **Exemple** : $CH_3$-$CH_2$OH éthanol ; $CH_3OH$ (cas particulier des alcools I).
- **Alcool secondaire** : Un alcool secondaire est un alcool dont le carbone fonctionnel porte un (1) seul atome d'hydrogène. Leur formule générale est : R-CHOH-R'.
  **Exemple** : $CH_3$-CHOH-$CH_3$ propan-2ol
- **Alcool tertiaire** : Un alcool tertiaire est un alcool dont le carbone fonctionnel ne porte aucun atome d'hydrogène. Leur formule générale est : R-COH-R' (R'' sous COH)

  **Exemple** : $CH_3$-COH-$CH_3$ méthylpropan-2ol ($CH_3$ sous COH)

3) **Alcools et isomères** : Donner les formules semi- développées, noms et classes de tous les alcools de formules brutes :

a) $C_3H_8O$ (2 alcool) :
- $CH_3$-$CH_2$-$CH_2$OH **propan-1ol (Alcool primaire)**
- $CH_3$-CHOH-$CH_3$ **propan-2ol (Alcool secondaire)**

b) $C_4H_{10}O$ (4 alcools) :
- $CH_3$-$CH_2$-$CH_2$-$CH_2$OH **butan-1ol (Alcool primaire)**
- $CH_3$-CH($CH_3$)-$CH_2$OH **2-méthylpropan-1ol (Alcool primaire)**
- $CH_3$-CHOH-$CH_2$-$CH_3$ **butan-2ol (Alcool secondaire)**
- $CH_3$-COH($CH_3$)-$CH_3$ **2-méthylpropan-2ol (Alcool tertiaire)**

c) $C_5H_{12}O$ (8 alcools) :
- $CH_3$-$CH_2$-$CH_2$-$CH_2$-$CH_2$OH **pentan-1ol (Alcool primaire)**
- $CH_3$-$CH_2$-CH($CH_3$)-$CH_2$OH **2-méthylbutan-1ol (Alcool primaire)**
- $CH_3$-CH($CH_3$)-$CH_2$-$CH_2$OH **3-méthylbutan-1ol (Alcool primaire)**
- $CH_3$-C($CH_3$)($CH_3$)-$CH_2$OH **2,2-diméthylpropan-1ol (Alcool primaire)**
- $CH_3$-CHOH-$CH_2$-$CH_2$-$CH_3$ **pentan-2ol (Alcool secondaire)**
- $CH_3$-$CH_2$-CHOH-$CH_2$-$CH_3$ **pentan-3ol (Alcool secondaire)**
- $CH_3$-CHOH-CH($CH_3$)-$CH_3$ **3-méthylbutan-2ol (Alcool secondaire)**
- $CH_3$-COH($CH_3$)-$CH_2$-$CH_3$ **2-méthylbutan-2ol (Alcool tertiaire)**



Scanned by CamScanner

4) **Préparation des alcools** : Les alcools sont obtenus par hydratation des alcènes. en milieu acide

$C_nH_{2n} + H_2O \longrightarrow C_nH_{2n+2}O$

- **Hydratation d'un alcène symétrique** : L'hydratation d'un alcène symétrique conduit à un seul alcool.

  Exemples: $CH_2=CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3\text{-}CH_2OH$ ethanol

  $CH_3\text{-}CH=CH\text{-}CH_3 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3\text{-}CHOH\text{-}CH_2\text{-}CH_3$ butan-2ol

- **Hydratation d'un alcène dissymétrique ou non symétrique** : L'hydratation d'un alcène dissymétrique conduit à deux (2) alcools dont l'un est majoritaire et l'autre minoritaire. ou prépondérante

  **N.B** : Lorsque le groupement OH se fixe sur le carbone le moins hydrogéné de la double liaison alors alcool obtenu est majoritaire dans le cas contraire il est minoritaire.

  **Exemples:** $CH_3\text{-}CH=CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4}$ $CH_3\text{-}CH_2\text{-}CH_2OH$ propan-1ol (minoritaire)

  $CH_3\text{-}CHOH\text{-}CH_3$ propan-2ol (majoritaire)

- **Loi de Markovnikov** : Lors de l'hydratation d'un alcène dissymétrique, si un seul alcool devrait se former, ca sera l'alcool de classe majoritaire. C'est à dire le groupement OH se fixera sur le carbone le moins hydrogéné

  **Exemple:** $CH_3\text{-}CH=CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3\text{-}CHOH\text{-}CH_3$

5) **Propriétés chimiques des alcools** : Les propriétés chimiques des alcools sont dues au groupement fonctionnel OH.

- **Réaction avec le sodium** : Les alcools réagissent avec le sodium pour donner un alcoolate de sodium avec un dégagement d'hydrogène important avec les alcools primaires, faible avec les alcools secondaires et presque inexistant avec les alcools tertiaires.

  $R\text{-}OH + N_a \longrightarrow R\text{-}O\text{-}N_a + \frac{1}{2} H_2\uparrow$

  **Exemple:** $CH_3\text{-}CH_2OH + N_a \longrightarrow CH_3\text{-}CH_2\text{-}O\text{-}N_a + \frac{1}{2} H_2\uparrow$ (éthanolate de sodium)

- **Réaction avec l'acide nitrique ($HNO_3$)** : Les alcools réagissent avec l'acide nitrique pour donner des nitrates d'alkyles. et de l'eau

  $R\text{-}OH + HNO_3 \longrightarrow R\text{-}O\text{-}NO_2 + H_2O$

  **Exemple**: $CH_3\text{-}CH_2\text{-}OH + HNO_3 \longrightarrow CH_3\text{-}CH_2\text{-}O\text{-}NO_2 + H_2O$ (nitrate d'éthyle)

- **Réaction avec les acides carboxyliques** : Un alcool réagit avec un acide carboxylique pour donner un ester et de l'eau. Cette est appelée estérification.

  $R\text{-}COOH + R'\text{-}OH \rightleftharpoons R\text{-}COO\text{-}R' + H_2O$

  **Exemple**: $CH_3\text{-}COOH + CH_3\text{-}OH \rightleftharpoons CH_3\text{-}COO\text{-}CH_3 + H_2O$ éthanoate de méthyle

- **La déshydratation** : La déshydratation est l'élimination d'une molécule d'eau soit d'une seule molécule d'alcool (déshydratation intramoléculaire) ou de deux (2) molécules d'alcool (déshydratation intermoléculaire) en présence d'alumine à

  ➢ La déshydratation intramoléculaire d'un alcool donne un alcène :

  **Exemple**: $CH_3\text{-}CH_2OH \xrightarrow{Al_2O_3} CH_2=CH_2 + H_2O$

  Ethanol — ethylène ou éthène

  ➢ La déshydratation intermoléculaire d'alcools donne un éther oxyde : 2alcools

  **Exemple:** $CH_3\text{-}CH_2OH + CH_3\text{-}OH \xrightarrow{Al_2O_3} CH_3\text{-}CH_2\text{-}O\text{-}CH_3 + H_2O$

  Ethanol — methanol — oxyde d'éthylméthyle



Scanned by CamScanner

PH : potentiel hydronium

- **La combustion vive** : La combustion vive d'un alcool est la réaction de l'oxygène à chaud sur cet alcool. On obtient du dioxyde de carbone ou anhydride carbonique ($CO_2$) et de l'eau lorsque la combustion est complète.
Dans cette réaction il y a destruction de la chaine carbonée de l'alcool. Elle permet de déterminer la formule brute de l'alcool.

$C_nH_{2n+2}O + \frac{3n}{2} O_2 \longrightarrow n\,CO_2 + (n+1)\,H_2O$

$C_xH_yO_z + (x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2})\,O_2 \longrightarrow x\,CO_2 + \frac{y}{2} H_2O$

**N.B** : Lorsque cette réaction est incomplète alors il se forme un dépôt de carbone et de l'eau.

$C_nH_{2n+2}O + \frac{n}{2} O_2 \longrightarrow n\,C + (n+1)\,H_2O$

- **L'oxydation ménagée des alcools ou combustion douce** : L'oxydation ménagée d'un alcool est la réaction d'un oxydant sur cet alcool dans les conditions douces.
Dans cette réaction la chaine carbonée de l'alcool est conservée. L'oxydation ménagée permet de déterminer la classe d'un alcool.

- L'oxydation d'un alcool primaire donne :
  - Par défaut un aldéhyde : $R\text{-}CH_2OH \xrightarrow{\text{défaut}} R\text{-}CHO$
  L'aldéhyde est caractérisé par le test { +DNPH ; +L.F
  - Par excès un acide carboxylique : $R\text{-}CH_2OH \xrightarrow{\text{excès}} R\text{-}COOH$
- L'oxydation d'un alcool secondaire donne une cétone : $R\text{-}CHOH\text{-}R' \longrightarrow R\text{-}CO\text{-}R'$
La cétone est caractérisée par le test { +DNPH ; -L.F
- L'oxydation d'un alcool tertiaire ne donne rien : $R\text{-}\underset{\underset{R''}{|}}{C}OH\text{-}R' \longrightarrow$ Rien

PH < 7, ⊖DNPH, ⊖LF.
Ils conduisent du courant
NB : $R\text{-}CH_2OH \xrightarrow[\text{défaut}]{\text{oxyde}} R\text{-}CHO \xrightarrow[\text{défaut}]{\text{oxyde}} R\text{-}COOH$

6) **Les réactions d'oxydation ménagée des alcools** : On peut oxyder un alcool de trois (3) façons différentes :

- **Oxydation avec l'oxygène de l'air : combustion sans flamme** :
  - Alcool primaire : $R\text{-}CH_2OH + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow R\text{-}CHO + H_2O$ ; $R\text{-}CH_2OH + O_2 \xrightarrow{\text{excès}} RCOOH + H_2O$
  - Alcool secondaire : $R\text{-}CHOH\text{-}R' + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow R\text{-}CO\text{-}R' + H_2O$
  - Alcool tertiaire : ne s'oxyde pas.

NB : $R\text{-}CHO + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow R\text{-}COOH$

- **La déshydrogénation catalytique** :
  - Alcool primaire : $R\text{-}CH_2OH \xrightarrow{Cu} R\text{-}CHO + H_2$
  - Alcool secondaire : $R\text{-}CHOH\text{-}R' \xrightarrow{Cu} R\text{-}CO\text{-}R' + H_2$
  - Alcool tertiaire : ne s'oxyde pas

- **L'oxydation avec les oxydants acidifiés** : C'est une réaction d'oxydoréduction. Les solutions utilisées sont : les solutions de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) et de permanganate de potassium ($KMnO_4$).

$K_2Cr_2O_7 \xrightarrow{\text{ds l'eau}} 2K^+ + Cr_2O_7^{2-}$ (ion dichromate)

$KMnO_4 \xrightarrow{\text{ds l'eau}} K^+ + MnO_4^-$ (ion permanganate)



Scanned by CamScanner

**N.B** : Ecrire l'équation bilan d'une réaction d'oxydoréduction, c'est équilibré deux (2) demi-équations puis faire la somme tout en annulant les charges.
Dans une demi-équation électronique, il y a conservation des atomes et des charges électriques :

- ✓ Les atomes d'oxygène se conservent avec $H_2O$ ou $H_3O^+$
- ✓ Les atomes d'hydrogène se conservent avec $H^+$
- ✓ Les charges électriques se conservent avec $e^-$

- **Réaction du $Cr_2O_7^{2-}$ avec les alcools** :

– **Primaires** :

➢ Par défaut : Les couples redox sont $Cr_2O_7^{2-}$ $Cr^{3+}$ et R-CHO R-$CH_2OH$

1ere demi-réaction :

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

2e demi-réaction :

$$3(R\text{-}CH_2OH - 2e^- \longrightarrow R\text{-}CHO + 2H^+)$$

$$3R\text{-}CH_2OH + Cr_2O_7^{2-} + 8H^+ \rightleftharpoons 3R\text{-}CHO + 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

(équation bilan d'oxydoréduction d'un alcool primaire avec l'ion dichromate par défaut)

➢ Par excès : Les couples redox sont $Cr_2O_7^{2-}$ $Cr^{3+}$ et R-COOH R-$CH_2OH$

1ere demi-réaction :

$$2(Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O)$$

2e demi-réaction :

$$3(R\text{-}CH_2OH + H_2O - 4e^- \longrightarrow R\text{-}COOH + 4H^+)$$

$$3R\text{-}CH_2OH + 2Cr_2O_7^{2-} + 16H^+ \rightleftharpoons 3R\text{-}COOH + 4Cr^{3+} + 11H_2O$$

(équation bilan d'oxydoréduction d'un alcool primaire avec l'ion dichromate par excès)

– **Secondaires** : Les couples redox sont $Cr_2O_7^{2-}$ $Cr^{3+}$ et R-CO-R' R-CHOH-R'

1ere demi-réaction :

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

2e demi-réaction :

$$3(R\text{-}CHOH\text{-}R' - 2e^- \longrightarrow R\text{-}CO\text{-}R' + 2H^+)$$

$$3R\text{-}CHOH\text{-}R' + Cr_2O_7^{2-} + 8H^+ \rightleftharpoons 3R\text{-}CO\text{-}R' + 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

(équation bilan d'oxydoréduction d'un alcool secondaire avec l'ion dichromate)

– **Tertiaires** : Les alcools tertiaires ne s'oxydent pas.

- **Réaction du $MnO_4^-$ avec les alcools** : Le couple redox est $MnO_4^-$ $Mn^{2+}$

1ere demi-réaction :

$$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$$

7) **Les polyalcools ou polyols** :

▪ **Définition** : Un polyalcool est un alcool dont la molécule renferme plusieurs groupements fonctionnels OH liés à un atome de carbone tétraédrique.

▪ **Glycol** :

– **Définition** : Le glycol est un diol de formule $CH_2OH\text{-}CH_2OH$.
Son nom systématique est : éthan-1,2diol.

– **Préparation** : Le glycol est obtenu par hydratation du monoxyde d'éthylène lui-même obtenu à partir de l'éthylène.



Scanned by CamScanner

$CH_2{=}CH_2 + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow$ $CH_2$-$CH_2$ (O) (monoxyde d'éthylène).

$CH_2$-$CH_2$ (O) $+ H_2O \longrightarrow CH_2OH$-$CH_2OH$ (glycol)

- **Utilisation** : Le glycol est utilisé :
  - comme antigel dans les circuits de refroidissement des moteurs.
  - pour la fabrication d'explosif (dynamite)
  - pour la synthèse du tergal. ou ~~lincail~~ Linceul.

$$\left\{\begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{array}\right. + 2HO\text{-}NO_2 \longrightarrow \left\{\begin{array}{l} CH_2\text{-}O\text{-}NO_2 \\ | \\ CH_2\text{-}O\text{-}NO_2 \end{array}\right. + 2H_2O$$

Dinitrate de glycol ou dinitrate de glycyle (explosif)

- **Glycérol** :
- **Définition** : Le glycérol est un triol de formule $CH_2OH$-$CHOH$-$CH_2OH$.
  Son nom systématique est : propan-1, 2,3triol
- **Préparation** : Le glycérol est obtenu par action de la soude sur un corps gras pendant 30 à 60 minutes.

$$\left\{\begin{array}{l} R\text{-}COO\text{-}CH_2 \\ R'\text{-}COO\text{-}CH \\ R''\text{-}COO\text{-}CH_2 \end{array}\right. + \underset{\text{soude}}{3N_aOH} \longrightarrow \left\{\begin{array}{l} R\text{-}COO\text{-}N_a \\ R'\text{-}COO\text{-}N_a \\ R''\text{-}COO\text{-}N_a \end{array}\right. + \left\{\begin{array}{l} CH_2\text{-}OH \\ CHOH \\ CH_2OH \end{array}\right.$$

Corps gras — savon — glycerol

- **Utilisation** : Le glycérol est essentiellement utilisé dans :
  - la fabrication d'explosifs
  - la fabrication de résines
  - et pour la synthèse des polyesters. ou caoutchou

$$\left\{\begin{array}{l} CH_2OH \\ CHOH \\ CH_2OH \end{array}\right. + 3HO\text{-}NO_2 \longrightarrow \left\{\begin{array}{l} CH_2\text{-}O\text{-}NO_2 \\ CH\text{-}O\text{-}NO_2 \\ CH_2\text{-}O\text{-}NO_2 \end{array}\right. + 3H_2O$$

glycerol

Trinitrate de glycerol ou ~~trinitoglycerine~~ trinitroglycerine

Savon ou carboxylate de sodium (sel)
Corps gras ou triester.



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LES ALCOOLS

**Exercice 1** : L'hydratation d'un alcène conduit à un produit oxygéné $A$ renferment 26,7% en masse d'oxygène.

1) Quelle est la fonction chimique du produit $A$
2) Déterminer sa formule brute et indiquer les différentes formules semi-développées possibles.
3) Le produit $A$ est oxydé en milieu acide par du dichromate de potassium. Le composé $B$ obtenu est sans action sur le réactif de Schiff mais réagit avec la $DNPH$. En déduire, en la justifiant, la formule développée et le nom de ce composé.
4) Donner la formule développée et le nom de l'alcène de départ.

**Exercice 2** : L'hydratation d'un alcène $A$ conduit à un seul composé $B$. Tout autre composé étant indécelable, même à l'état de traces, on admettra que la formule semi-développée de $A$ est symétrique par rapport à la double liaison. Ce composé $B$ s'oxyde pour donner un composé $C$. Le composé $C$ donne un précipité orange avec la 2,4-dinitrophénylhydrazine mais est sans action avec la liqueur de Fehling. L'analyse de $B$ montre qu'il contient 64,9% en masse de carbone.

a) Quelle est la fonction chimique de $C$ ?
b) Quelle est la fonction chimique de $B$ ?
c) Donner toutes les formules semi-développées et noms de $A$ et identifier $A$.
d) Déterminer les formules semi-développées et les noms de $B$ et $C$.
Le composé $B$ possède t-il une activité optique ? Si oui représenter ces isomères

**Exercice 3** :

1) L'alcène $R-CH=CH_2$ est hydraté en présence d'acide sulfurique. Quels sont les deux (2) composés susceptibles d'être obtenus ?
2) Pratiquement on considère qu'un seul composé se forme. Soit $A$ ce composé. On fait réagir $20g$ de $A$ dans une solution de dichromate de potassium et d'acide sulfurique. Le composé $B$ obtenu, de masse molaire $58g/mol$, donne un précipité avec la $DNPH$ mais ne réduit pas la liqueur de Fehling. En déduire la nature de $B$ et de $A$
Ecrire leur formule développée et donner leur nom.
3) Ecrire l'équation de la réaction entre $A$ et l'ion dichromate.
4) Quel volume minimal de solution de dichromate de concentration $1mol/L$ faut-il utiliser pour que la totalité du composé $A$ soit oxydé ?

**Exercice 4** : Un composé organique $C$ renfermant dans sa molécule un atome d'oxygène comporte en masse 18,7% d'oxygène. $C$ est le produit d'oxydation ménagée d'un composé $B$ ; $B$ est le produit d'hydratation d'un composé $A$ qui en plus de $B$ donne un composé $B'$non oxydable par l'ion bichromate. $C$ réagit sur la Liqueur de Fehling

1) a) Trouver la nature chimique de chacun des composés $A, B, C$
b) En déduire leurs formules brutes
c) Trouver $A, B, B'$ et $C$
2) Le composé $C$ possède t-il une activité optique ? Si oui représenter ses stéréo-isomères isolables.



Scanned by CamScanner

**Exercice 5** : L'hydratation complète de $16{,}8g$ de propène conduit à un mélange de deux (2) composés alcool $A$ et $B$

1) Donner la classe et le nom des alcools formés. Soit $A$ l'alcool primaire.
2) $A$ et $B$ mélangé sont oxydés en milieu acide par le bichromate de potassium. On obtient deux (2) composés organiques $C$ et $D$ que l'on sépare par des méthodes chimiques et que l'on dissout dans l'eau. On constate que la solution contenant $D$ réagit avec la $DNPH$ et ne conduit pas le courant électrique. La solution contenant $C$ ne donne aucun précipité avec la $DNPH$, elle conduit le courant électrique et son $P^H$ est inférieur à 7.

a) Identifier $C$ et $D$ en justifiant la réponse.
b) Quel est l'alcool qui a conduit à $C$ ?

3) On fait réagir la solution $C$ avec une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_b = 0{,}25mol/L$. L'équivalence acido-basique est atteint pour $V_b = 200mL$ de la solution d'hydroxyde de sodium versée. Déduire de cette mesure la proportion de la quantité de $\frac{n_A}{n_A+n_B}$ matière $n_A$ de l'alcool à la quantité de matière totale des alcools $A$ et $B$ produit par hydratation du propène

**Exercice 6** : On considère trois flacons contenant chacun un alcool. Ces alcools ont la même formule brute mais appartiennent à des classes différentes.

1) Pour trouver la classe de ces différents alcools, on dispose d'un indicateur coloré $BBT$ et d'une solution acidifiée de dichromate de potassium.
   Proposer dans un ordre rigoureux, une suite de 3 trois tests pour déterminer la classe de chacun de ces alcools.
2) Après avoir identifié le flacon contenant l'alcool primaire, on réalise l'expérience suivante :
   On oxyde une masse $m = 1{,}85g$ d'alcool primaire avec un excès de dichromate de potassium. Le composé final obtenu est dosé avec une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_b = 1mol/L$. L'équivalence est réalisée après addition d'un volume $V_b = 25mL$ de cette solution. En déduire la formule moléculaire brute de l'alcool.
   Ecrire les formules semi-développées des isomères de cet alcool.
3) En fait l'alcool primaire utilisé est à chaîne carbonée ramifiée. A partit des demi-équations d'oxydation et de réduction, écrire l'équation bilan de la réaction d'une solution acidifiée de dichromate de potassium en excès sur cet alcool primaire.

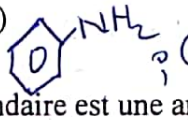


Scanned by CamScanner

# LES AMINES

1) **Ammoniac** : L'ammoniac est un gaz de formule brute : $NH_3$. Sa formule développée est : $H-\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle H}{\overset{|}{\underset{|}{N}}}}-H$ doublet d'électron non liant.

2) **Les amines** :

- **Définition** : Une amine est un composé organique azoté dont la formule dérive formellement de celle de l'ammoniac par remplacement d'un, de deux ou de trois atomes d'hydrogènes par des groupements alkyles ou aryles.
  Leur formule générale brute est $C_nH_{2n+3}N$
- **Les 3 classes d'amines** :
- **Amine primaire** : Une amine primaire est une amine dont l'azote porte 2 atomes d'hydrogènes. Leur formule générale est : $R\text{-}NH_2$ (pour les amines aliphatiques) ou $A_r\text{-}NH_2$ (pour les amines aromatiques)
  **Exemple** : $CH_3\text{-}NH_2$ méthylamine ;  ; $CH_3\text{-}\underset{\displaystyle NH_2}{CH}\text{-}CH_3$ ou saturés
- **Amine secondaire** : Une amine secondaire est une amine dont l'azote porte un seul atome d'hydrogène. Leur formule générale est : $R\text{-}NH\text{-}R'$
  **Exemple** : $CH_3\text{-}NH\text{-}CH_3$ diméthylamine
- **Amine tertiaire** : Une amine tertiaire est une amine dont l'azote ne porte aucun atome d'hydrogène. Leur formule générale est : $R\text{-}\underset{\displaystyle R''}{\overset{\displaystyle R'}{\overset{|}{\underset{|}{N}}}}\text{-}R$

  **Exemple** : $CH_3\text{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{\underset{|}{N}}}}\text{-}CH_3$

3) **Nomenclature des amines** : On peut nommer les amines de 2 manières façons.

- **Nomenclature officielle ou substitutive** : Dans cette nomen. on tient compte de la classe de l'amine
- **Pour les amines primaires** : L'amine se nomme comme dérivé d'un alcane en remplaçant le « e» final de l'alcane correspondant par «amine»
- **Pour les amines secondaires et tertiaires** : On cherche la chaine la plus longue dont dérive le nom de l'amine en remplaçant le «e» par «amine» et les autres radicaux sur l'azote sont nommés comme des alkyles et par ordre alphabétique précédés de N pour les amines monosubstituées et N, N pour les amines disubstituées.

radicaux-fonctionnelle

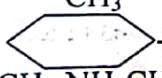
**Nomenclature usuelle ou radio-fonctionnelle** : Les substituants sur l'azote sont nommés comme des alkyles par ordre alphabétique en remplaçant le <<e>> du dernier alkyle par la terminaison «amine»

**Exemples** :

$CH_3\text{-}NH_2$ **méthanamine ou méthylamine**

$C_2H_5\text{-}NH_2$ **éthylamine et éthylamine**

$CH_3\text{-}\underset{\displaystyle CH_3}{CH}\text{-}CH_2\text{-}NH_2$ 2-méthylpropanamine et 2-méthylpropylamine

 -$NH_2$ **cyclohexanamine et cyclohexylamine** (phénylamine)

$CH_3\text{-}NH\text{-}CH_3$ **N-méthylméthanamine et diméthylamine**

$C_2H_5\text{-}NH\text{-}CH_3$ **N-méthyléthanamine et éthylméthylamine**



Scanned by CamScanner


-NH-$CH_2$-$CH_3$ **N-phényléthanamine ou éthylphénylamine**

$CH_3$-CH($CH_3$)-$CH_2$-NH-$CH_3$ **N-méthyl, 2-méthylpropanamine et méthyl2-méthylpropylamine**

$CH_3$-N($CH_3$)-$CH_3$ **N, N-diméthylméthanamine et triméthylamine**

$CH_3$-$CH_2$-N($CH_3$)-$CH_2$-$CH_2$-$CH_3$ **N-éthyl, N-méthylbutanamine et butyl, éthylméthylamine**

$CH_3$-$CH_2$-N($CH_3$)-$CH_3$ **N, N-diméthyléthanamine et éthyldiméthylamine**

4) **Préparation des amines** :

- **Méthode de Sabatier** : Elle consiste à faire agir un alcool sur l'ammoniac à chaud en présence du dioxyde de thorium ($thO_2$) et successivement on obtient les 3 classes d'amines.

$R\text{-}OH + NH_3 \xrightarrow{thO_2} R\text{-}NH_2 + H_2O$

$R\text{-}NH_2 + R'\text{-}OH \xrightarrow{thO_2} R\text{-}NH\text{-}R' + H_2O$

$R\text{-}NH\text{-}R' + R''\text{-}OH \xrightarrow{thO_2} R\text{-}N(R'')\text{-}R' + H_2O$

- **Méthode d'Hofmann ou Alkylation d'Hofmann** : Elle consiste à faire agir un dérivé halogéné d'alcane sur l'ammoniac et successivement on obtient les 3 classes d'amines.

**N.B** : les halogènes sont : Cl, Br., F, I

$R\text{-}I + NH_3 \longrightarrow R\text{-}N^+H_3 + I^- \longrightarrow R\text{-}NH_2 + HI$

$R\text{-}NH_2 + R'\text{-}I \longrightarrow R\text{-}NH_2^+\text{-}R' + I^- \longrightarrow R\text{-}NH\text{-}R' + HI$

$R\text{-}NH\text{-}R' + R''\text{-}I \longrightarrow R\text{-}NH^+(R'')\text{-}R' + I^- \longrightarrow R\text{-}N(R'')\text{-}R' + HI$

**Remarque** : les amines tertiaires réagissent avec les dérivés halogénés d'alcane on obtient un ion alkylammonium :

$R\text{-}N(R')\text{-}R' + R'''\text{-}I \longrightarrow R\text{-}N(R''')(R')\text{-}R' + I^-$

5) **Caractères basique et nucléophile des amines** : Les caractères basique et nucléophile des amines sont dus au doublet d'électron non liant sur par l'atome l'azote.

- **Basicité des amines** : La basicité des amines est leur aptitude (capacité) de capter un proton $H^+$.

$R\text{-}NH_2 + H_2O \longrightarrow R\text{-}N^+H_3 + OH^-$ (ion alkylammonium)

**N.B** : Les amines sont des bases faibles.

- **Nucléophilie des amines** : La nucléophilie des amines est leur aptitude de s'attaquer aux noyaux électrophiles (noyaux riches en protons).

La principale manifestation de la nucléophilie des amines constitue les réactions d'Hofmann. $R\text{-}NH_2 + R'\text{-}I \longrightarrow R\text{-}NH_2\text{-}R' + I^-$

**Exemple**: $CH_3\text{-}NH_2 + CH_3\text{-}I \longrightarrow CH_3\text{-}NH_2\text{-}CH_3 + I^-$ (diméthylammonium). /.



Scanned by CamScanner

## EXERCICES SUR LES AMINES

**Exercice 1**:

1) A partir de la formule générale R-NH-R' des amines secondaires, retouver leurs formule générale brute en fonction de n où n est un entier naturel non nul.
2) Une amine primaire présente un porcentage en masse d'azote de 23,7%
Quelle est sa formule semi-développée. Donner son nom.

**Exercice 2**:

Le 2-bromobutane, obtenu par action du bromure d'hydrogène sur le but-2ène, réagit avec l'ethylamine. On effectue la réaction d'Hofmann dans les conditions expérimentales telles que l'on obtienne majoritairement l'amine secondaire.

1) a) Ecrire l'équation bilan de la réaction. Quel est le nom de l'amine formée?
b) Proposer un mécanisme réactionnel.
2) a) L'amine secondaire obtenue est-elle chirale? Pourquoi? ~~Quel est son nom?~~
b) Représenter le couple d'énantiomères s'il y a lieu.

**Exercice 3**: Ecrire la formule semi-développée et donner le nom des produits feormés au cours des réactions suivantes:

a) $CH_3 - NH_2 + CH_3 - I \rightarrow$ – – – – – – – – – – – –
b) $CH_3 - CH_2 - NH - CH_3 + CH_3 - CH_2 - I \rightarrow$ – – – –
c) $CH_3 - NH_2 + C_6H_5 - COCl \rightarrow$ – – – – – – – – –
d) Chlorure d'acétyle + éthylamine → – – – – – – – – –
e) Diméthylamine + eau → – – – – – – – – – – – –
f) Éthylamine + $HCl$ → – – – – – – – – – – – – –
g) Cyclohexylamine + iodocyclohexane → – – – – – – –

**Exercice 4**:

1) Ecrire les formues semi-développées de toutes las amines de formule brute $C_3H_9N$ en précisant la classe de chacune d'elles.
2) Soit une solution aqueuese de l'amine tertiaire $A$ de formule brute $C_3H_9N$ de concentration molaire $C$.
Écrire l'équation bilan de la réaction ~~de la réaction~~ de cette amine avec l'eau.
3) Par action de l'iodométhane sur cette amine tertiaire $A$, dans l'ether, on obtient un précipité.
Ecrire l'équation bilan de la réaction chimique. Indiquer la propriété des amines mise en jeu dans cette réaction.
4) On fait réagir le chlorure d'acétyle sur les amines de formule brute $C_3H_9N$.
Ecrire l'équation bilan des réactions. Quel est le nom de la fonction chimique du composé organique obtenu?

**Exercice 5**:

1) En combien de classes les amines peuvent-elles être réparties? Donner un exemple de chaque classe en précisant le nom du corps.
Etablir la formule générale des amines, identique pour toute les classes.
2) Soit une amine tertiaire $A$. Par action sur le 1-iodobutane en solution dans l'ether, on obtient un précipité blanc; l'analyse de ce corps montre qu'il s'agit d'un solide ionique chiral.



Scanned by CamScanner

a) Ecrire l'équation bilan.
b) Quelle propriété des amines cette réaction met-elle en évidence?
c) Que pouvez-vous en déduire concernant les groupes alkyles liés à l'azote dans le solide ionoque chiral?

3) Une solution aqueuse de l'amine $A$, de concentration molaire $C = 0{,}2 mol L^{-1}$, a été obtenue en dissolvant $20{,}2 g$ d'amine pour $1 L$ de solution.
En déduire sa masse molaire, sa formule brute et sa formule semi-développée.
Quelle est son nom?

Exo 66 Pour déterminer la formule brute d'une amine saturé on dissout 0,59 g de l'amine dans un peu d'eau. Puis, on ajoute de l'acide chlorodrique (HCl) de concentration molaire 0,5 mol/L. L'équivalence acido-basique est obtenu pour 20,0 $cm^3$ de la solut° soude.
1.) Ecrire l'équation-bilan de la reaction entre les solut° d'amines et d'acide chlorhydrique.
2.) Calculer la masse molaire de l'amine et en déduire sa formule brute.
3.) Ecrire les f.s.d des amines isomères possibles et indiquer la classe d'amine à laquelle appartient chacune d'elles.
4.) A partir de l'acide acétique et une des amines précédentes (on choisira l'amine primaire ayant une chaine carbonnée linéaire) on peut obtenir une amide. Ecrire l'équation bilan de cette réact° et nommer le produit obtenu. Quel caractère l'amide obtenu peut-il mettre en jeu et pourquoi?





Scanned by CamScanner

# LES ACIDES CARBOXYLIQUES

1) **Définition et formule générale** : Un acide carboxylique est un composé organique comportant dans sa molécule le groupement fonctionnel –COOH. ou carboxyl
Leur formule générale est : R-COOH ou $A_r$-COOH avec R- : $C_nH_{2n+1}$ on aura :
R-COOH : $C_nH_{2n+1}$-COOH : $C_{(n+1)}H_{2n+2}O_2 \leftrightarrow C_NH_{2N}O_2$ avec N=n+1(formule générale brute des acide carboxyliques.

**Exemples** :

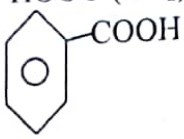
H-COOH **acide méthanoïque ou acide formique**

$CH_3$-COOH **acide éthanoïque ou acide acétique**

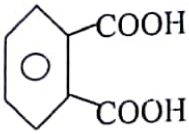
$CH_3$-CH($C_2H_5$)-$CH_2$-COOH **acide3-méthylpentanoïque**

HOOC-COOH **acide éthan-dioïque**

HOOC-$(CH_2)_4$-COOH **acide hexan-dioïque ou acide adipique**



**Acide benzoïque**



**Acide orthophtalique ou acide benzen-1,2dioique**

2) **Propriétés chimiques** : Les propriétés chimiques des acides carboxyliques sont dues à leur groupement –COOH.

- **Acidité** : Les acides carboxyliques sont des acides faibles. Ils se dissocient partiellement dans l'eau. ion carboxylate → hydronium oxonium ou
$R\text{-}COOH + H_2O \rightleftharpoons R\text{-}COO^- + H_3O^+$
**Exemple**: $CH_3\text{-}COOH + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + CH_3\text{-}COO^-$ **ion éthanoate**
- **La décarboxylation** : La décarboxylation d'un acide carboxylique conduit à un alcane. $C_nH_{2n+1}$-COOH $\longrightarrow CO_2 + C_nH_{2n+2}$
Exemple: $CH_3\text{-}COOH \longrightarrow CO_2 + CH_4$ **methane**
- **Réaction avec la soude** : La réaction d'un acide carboxylique avec la soude est une réaction acido-basique de neutralisation. Il se forme un carboxylate de sodium.
$R\text{-}COOH + N_aOH \longrightarrow R\text{-}COON_a + H_2O$ ou
$R\text{-}COOH + (Na^+ + OH^-) \longrightarrow R\text{-}COO^- + H_2O + Na^+$
$Na^+$ étant un ion spectateur alors on a : $R\text{-}COOH + OH^- \longrightarrow R\text{-}COO^- + H_2O$
**Exemple**: $CH_3\text{-}COOH + N_aOH \longrightarrow H_2O + CH_3\text{-}COON_a$ éthanoate de sodium

solution de soude

**N.B**: A l'équivalence acido-basique on a: $n_a = n_b \Leftrightarrow C_aV_a = C_bV_b \Rightarrow C_a = \frac{C_bV_b}{V_a}$

**Attention** :

- Pour une solution molaire ou normale : $C = 1mol/L$
- Pour une solution décimolaire ou décinormale : $C = 10^{-1}mol/L$
- Pour une solution centimolaire ou centinormale : $C = 10^{-2}mol/L$

3) **Les dérivés d'acides carboxyliques** : On distingue quatre (4) dérivés d'acide carboxylique qui sont : les chlorures d'acyles, les anhydrides d'acides, les esters et les



Scanned by CamScanner

amides. Ils sont appelés dérivés d'acide carboxylique car leur hydrolyse conduit aux acides.

- **Les chlorures d'acyles** :

- **Définition** : Les chlorures d'acyles sont des dérivés d'acide carboxylique de formule générale : R-COCl. Leur formule brute est : $C_nH_{2n-1}OCl$.
- **Préparation** : Les chlorures d'acides sont obtenus par la réaction d'un chlorurant tel que le chlorure de thionyle ($SOCl_2$) ou le pentachlorure de phosphore ($PCl_5$) sur un acide carboxylique.

$R\text{-}COOH + SOCl_2 \longrightarrow R\text{-}COCl + SO_2\uparrow + HCl\uparrow$

$R\text{-}COOH + PCl_5 \longrightarrow R\text{-}COCl + POCl_3 + HCl\uparrow$

**Exemples:**

$CH_3\text{-}COOH + SOCl_2 \longrightarrow CH_3\text{-}COCl + SO_2\uparrow + HCl\uparrow$

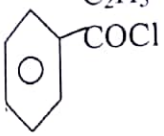
$CH_3\text{-}COOH + PCl_5 \longrightarrow CH_3\text{-}COCl + POCl_3 + HCl\uparrow$

- Nommer les composés suivant :

$H\text{-}COCl$ **chlorure de méthanoyle**

$CH_3\text{-}COCl$ **chlorure d'éthanoyle**

$CH_3\text{-}\underset{\displaystyle C_2H_5}{\underset{|}{CH}}\text{-}COCl$ **chlorure de 2-méthylbutanoyle**



**Chlorure de benzoyle**

$CH_3\text{-}\,CH_2\text{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}\text{-}\underset{\displaystyle C_2H_5}{\underset{|}{CH}}\text{-}COCl$ **chlorure de 2-éthyl, 3-méthylpentanoyle**

$ClOC\text{-}COCl$ **chlorure d'ethan-dioyle**

- **Propriétés** : Les chlorures d'acyles sont des composés beaucoup plus réactifs que les acides carboxyliques dont ils dérivent. On les utilise pour préparer les esters et les amides. Ils réagissent violemment avec l'eau pour donner l'acide de départ.

- **Les anhydrides d'acides** :

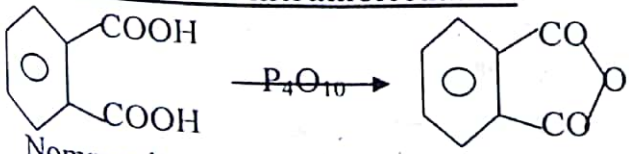
- **Définition** : Les anhydrides d'acides sont des dérivés d'acide carboxylique de formule générale : R-COOO-C-R' ou $R\text{-}COO\text{-}CO\text{-}R'$ ou $R\text{-}C(=O)\text{-}O\text{-}C(=O)\text{-}R'$ ou $R\text{-}C(=O)\text{-}O\text{-}C(=O)\text{-}R'$
  Leur formule générale brute est : $C_nH_{2n-2}O_3$.
- **Préparation** : Les anhydrides d'acides sont obtenus par l'élimination d'une molécule d'eau soit d'une molécule de diacide (déshydratation intramoléculaire) ou entre deux (2) molécules de monoacide (déshydratation intermoléculaire) en présence du decaoxyde de tétraphosphore ($P_4O_{10}$) déshydratant. comme

- **déshydratation intermoléculaire** :

$R\text{-}COOH + R'\text{-}COOH \xrightarrow{P_4O_{10}} R\text{-}COOO\text{-}C\text{-}R' + H_2O$

$2(R\text{-}COOH) \xrightarrow{P_4O_{10}} (R\text{-}CO)_2O + H_2O$

- **déshydratation intramoléculaire** :

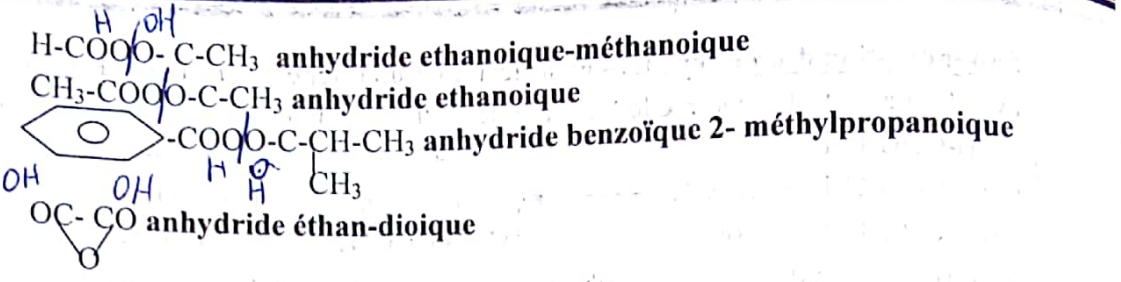


**anhydride phtalique ou anhydride benzèn-dioique**

- Nommer les composés suivant :



Scanned by CamScanner



$H\text{-}COO\text{-}C\text{-}CH_3$ **anhydride ethanoique-méthanoique**

$CH_3\text{-}COO\text{-}C\text{-}CH_3$ **anhydride ethanoique**

$C_6H_5\text{-}COO\text{-}C(H)(CH_3)\text{-}CH_3$ **anhydride benzoïque 2- méthylpropanoique**

$(OC)_2O$ **anhydride éthan-dioique**

$(CH_3\text{-}CH_2\text{-}CO)_2O$ **anhydride propanoique**

- **Propriétés** : Les anhydrides d'acides sont beaucoup plus réactifs que les acides carboxyliques dont ils dérivent. On les utilise pour préparer les esters et les amides. Leur hydrolyse conduit aux acides de départ.

▪ **Les esters** :

- **Définition** : Les esters sont des dérivés d'acide carboxylique de formule générale $R\text{-}COO\text{-}R'$ .Leur formule brute est $C_nH_{2n}O_2$
- **Préparation** : Les esters sont obtenus par la réaction d'un acide carboxylique sur un alcool. Cette réaction est appelée estérification.

$R\text{-}COOH + R'\text{-}OH \rightleftharpoons R\text{-}COO\text{-}R' + H_2O$

**Exemple**: $CH_3\text{-}COOH + C_2H_5\text{-}OH \rightleftharpoons CH_3\text{-}COO\text{-}C_2H_5 + H_2O$

- Nommer les composés suivants :

$H\text{-}COO\text{-}CH_3$ **méthanoate de méthyle**

$CH_3\text{-}COO\text{-}C_2H_5$ **éthanoate d'éthyle ou acétate d'éthyle**

$CH_3\text{-}CH_2\text{-}COO\text{-}CH_2\text{-}CH(CH_3)\text{-}CH_3$ **propanoate de 2-méthylpropyle**

$C_6H_5\text{-}COO\text{-}CH(CH_3)\text{-}CH_3$ **benzoate d'isopropyle**

$C_3H_7\text{-}COO\text{-}CH_2$
$C_3H_7\text{-}COO\text{-}CH$ **butyrine ou beurre** ou tributanoate de glycérol.
$C_3H_7\text{-}COO\text{-}CH_2$

- **Caractéristiques** : L'estérification est une réaction lente, réversible, limitée ou équilibrée, athermique (qui ne produit ni n'absorbe de la chaleur) avec mauvais rendement.

Pour avoir l'ester avec bon rendement, on remplace l'acide carboxylique par un de ses dérivés (chlorure d'acyle ou anhydride d'acide).

$R\text{-}COCl + R'\text{-}OH \longrightarrow R\text{-}COO\text{-}R' + HCl$

$R\text{-}COO\text{-}C\text{-}R'' + R'\text{-}OH \longrightarrow R\text{-}COO\text{-}R' + R''\text{-}COOH$ acide de départ

**N.B** : Ces réactions sont rapide, totale, exothermique avec un bon rendement.

- **Propriétés** : Les esters sont moins réactifs, ils peuvent ce pendant s'hydrolyser. Leur réaction avec les bases fortes conduit à la formation des savons.
- **Hydrolyse d'un ester** : L'hydrolyse d'un ester est la réaction de cet ester avec l'eau en milieu acide. On obtient un acide carboxylique et un alcool : c'est la réaction inverse de l'estérification.

$R\text{-}COO\text{-}R' + H_2O \rightleftharpoons R\text{-}COOH + R'\text{-}OH$

**Exemple**: $C_6H_{12}O_2 + H_2O \rightleftharpoons C_2H_4O_2 + C_4H_{10}O$

Cependant ils admettent des réact° d'hydrolyse et saponificat°



Scanned by CamScanner

- **Saponification d'un ester** : La saponification d'un ester est la réaction de cet ester avec les bases fortes comme le $N_aOH$ ou le KOH. On obtient du savon et un alcool.

$$\begin{cases} C_3H_7\text{-}COO\text{-}CH_2 \\ C_3H_7\text{-}COO\text{-}CH \\ C_3H_7\text{-}COO\text{-}CH_2 \end{cases} + 3N_aOH \longrightarrow \begin{cases} C_3H_7\text{-}COON_a \\ C_3H_7\text{-}COON_a \\ C_3H_7\text{-}COON_a \end{cases} + \begin{cases} CH_2\text{-}OH \\ CHOH \\ CH_2\text{-}OH \end{cases}$$

Butyrine ou beurre — soude — tributanoate de sodium ou savon — glycérol

ou carboxylate de sodium.

$R\text{-}COO\text{-}R' + NaOH \longrightarrow R\text{-}COO^-Na + R'\text{-}OH$.

- **Les amides** :

- **Définition** : Les amides sont des dérivés d'acide carboxylique de formule générale :

$R\text{-}CO\text{-}NH_2$ pour les amides non substitués

$R\text{-}CO\text{-}NH\text{-}R'$ pour les amides monosubstitués

$R\text{-}CO\text{-}N(R'')\text{-}R'$ pour les amides disubstitués

Leur formule brute générale est $C_nH_{2n+1}NO$

- **Préparation** : Les amides sont obtenus par la réaction des acides carboxyliques ou des chlorures d'acyles ou des anhydrides sur :

- L'ammoniac pour les amides non substitués :

$R\text{-}COOH + NH_3 \rightleftharpoons R\text{-}COO^-NH_4^+ \xrightarrow{-P_2O_{10}} R\text{-}CO\text{-}NH_2 + H_2O$

carboxylate d'ammonium

$R\text{-}COCl + NH_3 \longrightarrow R\text{-}CO\text{-}NH_2 + HCl$

$R\text{-}COOO\text{-}C\text{-}R' + NH_3 \longrightarrow R\text{-}CO\text{-}NH_2 + R'\text{-}COOH$

- Une amine primaire pour les amides monosubstitués :

$R\text{-}COOH + R'\text{-}NH_2 \longrightarrow R\text{-}CO\text{-}NH\text{-}R' + H_2O$

$R\text{-}COCl + R'\text{-}NH_2 \longrightarrow R\text{-}CO\text{-}NH\text{-}R' + HCl$

$R\text{-}COOO\text{-}C\text{-}R'' + R'\text{-}NH_2 \longrightarrow R\text{-}CO\text{-}NH\text{-}R' + R''\text{-}COOH$

- Une amine secondaire pour les amides disubstitués :

$R\text{-}COOH + R'\text{-}NH\text{-}R'' \longrightarrow R\text{-}CO\text{-}N(R'')\text{-}R' + H_2O$

$R\text{-}COCl + R'\text{-}NH\text{-}R'' \longrightarrow R\text{-}CO\text{-}N(R'')\text{-}R' + HCl$

$R\text{-}COOO\text{-}C\text{-}R''' + R'\text{-}NH\text{-}R'' \longrightarrow R\text{-}CO\text{-}N(R)\text{-}R' + R'''\text{-}COOH$

- Nommer les composés suivant :

$H\text{-}CO\text{-}NH_2$ **méthanamide**

$CH_3\text{-}CO\text{-}NH_2$ **éthanamide**




**benzanamide**

$H\text{-}CO\text{-}NH\text{-}C_2H_5$ **N-éthylméthanamide**

$CH_3\text{-}CH(C_2H_5)\text{-}CO\text{-}NH\text{-}C_2H_5$ **N-éthyl, 2-méthylbutanamide**

$H\text{-}CO\text{-}N(C_2H_5)\text{-}CH_3$ **N-éthyl, N-méthylméthanamide**

$CH_3\text{-}CO\text{-}N(CH_3)\text{-}CH_3$ **N, N-diméthyléthanamide**



Scanned by CamScanner

- **Propriétés** : Les amides sont peu réactifs. Malgré leur grande stabilité, le groupement amide peut être détruit par chauffage prolongé en milieu acide ou basique : on dit que les amides sont des composés amphotères.

- En milieu acide : $R\text{-}CO\text{-}NH_2 + H_3O^+ \longrightarrow R\text{-}COOH + NH_4^+$ amonium
- En milieu basique: $R\text{-}CO\text{-}NH_2 + OH^- \longrightarrow R\text{-}COO^- + NH_3$ ↗ amoniac.



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LES ACIDES CARBOXYLIQUES

**Exercice 1** :

1) L'acide propanoïque $B$ réagit avec un alcool $C$ pour donner un corps odorant $D$ de masse molaire $102g/mol$ et de l'eau. Ecrire l'équation bilan de cette réaction. Quels sont les noms et les formules semi-développée de $C$ et $D$ ?
2) On fait réagir $B$ sur le pentachlorure de phosphore. On obtient un dérivé $E$. Quelle est sa formule semi-développée ? Quel est sont nom ?
3) Ecrire l'équation bilan de la réaction entre $E$ et $C$ au cours de laquelle se forme $D$ et un autre corps. Comparer cette réaction avec celle étudiée au 1).
4) Parmi les composés $B, C, D$ et $E$, quels sont ceux qui sont susceptibles de former une amide en réagissant avec l'ammoniac. Donner le nom et la formule semi-développée de l'amide.

**Exercice 2** : Un ester $E$ provient de l'action d'un acide carboxylique saturé $A$ sur un monoalcool saturé $B$.

a) $B$ peut être obtenu par hydratation d'un alcène. L'hydratation de $2,8g$ d'alcène produit $3,7g$ de monoalcool.
En déduire la formule brute de $B$, puis les formules semi-développées et les noms possibles pour $B$.
b) L'oxydation ménagée de $B$ donne un composé qui réagit avec la $DNPH$ mais qui ne réagit pas avec la liqueur de Fehling. Quelle est la formule semi-développée de $B$ ?
c) Un volume $V = 50Cm^3$ de la solution aqueuse contient $0,4g$ d'acide $A$. On dose cette solution avec une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire volumique $C = 0,5molL^{-1}$. Il faut verser $17,5Cm^3$ de cette solution pour obtenir l'équivalence.
En déduire la formule semi-développée et le nom de $A$.
d) Ecrire l'équation bilan de la réaction entre $A$ et $B$. Donner la formule semi-développée et le nom de $E$.

**Exercice 3** :

A. L'hydrolyse d'un ester $E$ produit deux corps $A$ et $B$.
1) La combustion complète d'une mole de $A$ de formule $C_xH_yO_z$ nécessite $6moles$ de $O_2$ et produit $90g$ d'eau et $176g$ de dioxyde de carbone.
a) Ecrire l'équation bilan de la réaction.
b) En déduire la formule brute de $A$.
c) Quelles sont les formules semi-développée possibles de $A$ ?
2) L'oxydation ménagée de $A$ conduit à un corps $A'$qui ne réagit pas avec le nitrate d'argent ammoniacal.
a) Quelle est la fonction chimique de $A'$sachant que sa molécule ne contient pas de groupement carboxyle.
b) En déduire les formules semi-développées et les noms de $A$ et $A'$
B. Le corps $B$ réagit avec le chlorure de thionyle suivant la réaction :

$$B + SOCl_2 \rightarrow C + SO_2 + HCl$$



Scanned by CamScanner

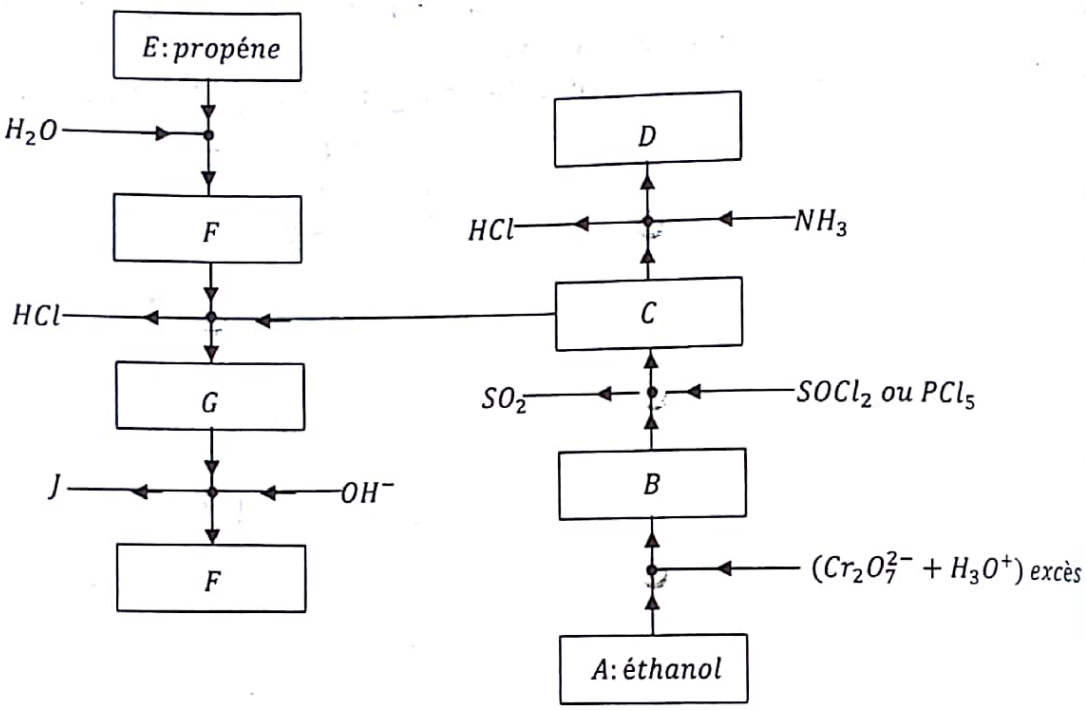
L'action de $C$ sur l'aminoéthane (ou méthylamine) produit de la $N-méthyléthanamide$

C. En présence d'un déshydratant comme $P_4O_{10}$, le corps $B$ donne un corps $D$ et de l'eau. Indiquer les noms et formules semi-développées de $B, C, D$ et $E$.

Comment appelle-t-on la réaction entre $E$ et une solution de potasse $(K^+ + OH^-)$ ?

Ecrire l'équation bilan de la réaction et nommer le produit obtenu.

**Exercice 4** : Dans l'organigramme ci-dessous, les rectangles correspondent à des molécules organiques. Un point signifie que la réaction entre les réactifs situés en amont (X ⟶• ) donne les produit situé en aval (• ⟶ Y)




1) Donner le nom et la formule semi-développée de tous les corps figurants dans les rectangles. On prendra pour $F$, le produit majoritaire obtenu lors de l'hydratation du propène.
2) Quel nom donne-t-on à la réaction qui, à partir de :
   - $C$ et $F$, permet d'obtenir $G$ ?
   - $G$, permet d'obtenir $J$ et $F$ ?

**Exercice 5** :

1) On dissout $8{,}8g$ d'un monoacide carboxylique $A_1$ dans $500mL$ d'eau distillée. On prélève un volume $V_a = 50mL$ que l'on dose par une solution d'hydroxyde de sodium décimolaire. L'équivalence acido-basique est atteinte pour un volume d'hydroxyde de sodium $V_b = 100mL$.

a) Déterminer la masse molaire moléculaire du composé $A_1$.

b) En déduire sa formule semi-développée et son nom sachant que sa chaine carbonée est ramifiée.

2) On réalise un mélange équimolaire de l'acide organique $A_1$ avec un monoalcool saturé $B_1$. On obtient un composé $C$ dont le rapport de la masse des atomes de carbone qu'il renferme sur celle des atomes d'oxygène est 2,625.



Scanned by CamScanner

a) Déterminer la formule brute de l'alcool $B_1$.

b) Donner les caractéristiques de la réaction produite après l'avoir nommée.

c) Sachant que l'alcool $B_1$ est primaire, écrire l'équation bilan de la réaction et nommer le produit $C$ obtenu.

3) a) On fait réagir l'acide $A_1$ sur du chlorure de thionyle. Ecrire l'équation bilan de la réaction et nommer le produit organique $D$ obtenu.

b) On réalise ensuite la déshydratation de l'acide $A_1$ en présence du décaoxyde de tétraphosphore $P_4O_{10}$. Ecrire l'équation bilan de la réaction et nommer le produit $E$ obtenu.

4) On fait réagir le produit $D$ sur l'alcool $B_1$. Ecrire l'équation bilan de la réaction produite et donner ses caractéristiques.

5) Ecrire l'équation de la réaction de la N-méthyléthanamine sur le composé $E$. Nommer les produits obtenus.



Scanned by CamScanner

# LES ACIDES α-AMINES

1) **Définition et formule générale** : Les acides α –aminés sont des composés organiques comportant dans leur molécule les groupements fonctionnels –COOH et $-NH_2$ liés au même atome de carbone appelé carbone α ou carbone N°2.

Leur formule générale est : R-CH(NH$_2$)-COOH avec R- : $C_nH_{2n+1}$- on a :

$C_{(n+2)}H_{2n+5}NO_2$ ou $C_nH_{2n+1}NO_2$ qui est la formule générale brute des acides α-aminés.

**N.B** : On distingue deux (2) types acides α-aminés :

Les acides α-aminés naturels de formule : R-CH(NH$_2$)-COOH et Les acides α-aminés artificiels de formule : R-C(R')(NH$_2$)-COOH

**Remarque** : Ces acides α –aminés et d'autres dont les groupements -COOH et $-NH_2$ ne sont pas liés au même atome de carbone sont tous appelés acides aminés.

**Exercice d'application** : Un acide α-aminé $C_xH_yO_zN_t$ comporte en masse 36% d'oxygène. Quelle est :

- Sa masse molaire ?
- Sa formule brute ?
- Sa formule semi-développée ?

**Nommer les composés suivant** :

H-CH(NH$_2$)-COOH ou $NH_2$-$CH_2$-COOH **acide aminoéthanoique ou glycine ou glycocolle ou Gly**

$CH_3$-CH(NH$_2$)-COOH **acide 2-aminopropanoique ou alanine ou Ala**

$CH_3$-CH($CH_3$)-CH($NH_2$)-COOH **acide 2-amino, 3-méthylbutanoique ou valine ou Val**

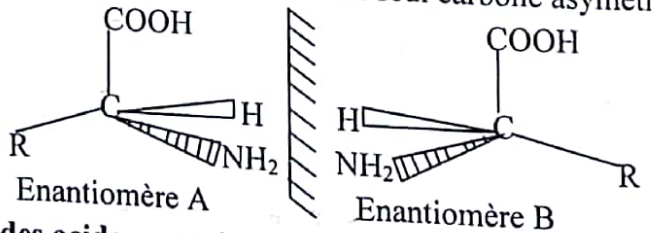
$CH_3$-CH($CH_3$)-$CH_2$-CH($NH_2$)-COOH **acide2-amino, 4-méthylpentanoique ou leucine ou Leu**

2) **Stéréochimie des acides α-aminés** :

- **Chiralité** : Tous les acides α-aminés, à part la glycine, possèdent un pouvoir rotatoire de la lumière polarisée : ce sont donc des molécules chirales.

Ils ont alors 2 énantiomères lorsqu'ils possèdent un seul carbone asymétrique.

R-C*H(NH$_2$)-COOH



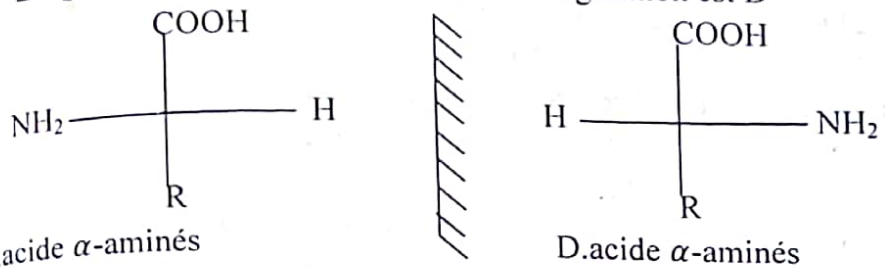

Enantiomère A Enantiomère B

- **Configuration D et L des acides α-aminés** : Par convention, tous les acides α-aminés à part la glycine, se représentent en Fischer. Dans cette représentation :
  - Le –COOH est toujours en haut
  - R toujours en bas



Scanned by CamScanner

- Si le $NH_2$ se projette à gauche, la configuration est L
- Si le $NH_2$ se projette à droite, la configuration est D




L.acide α-aminés D.acide α-aminés

Exercice d'application : Un acide α-aminés A de formule $C_xH_yO_zN_t$ a pour densité par rapport à l'air 3,05.

a) Donner la formule générale des acides α-aminés en fonction de n et en déduire x, y, z et t et la formule brute de l'acide α-aminé A.

b) Quelles sont les formules semi-développées et noms possibles des acides aminés répondant à cette formule ?

c) Sachant que A ne possède pas de pouvoir rotatoire, trouver sa formule semi-développée et son nom.

d) Donner la représentation conventionnelle des molécules $A_1$ et $A_2$ de l'isomère A' de A.

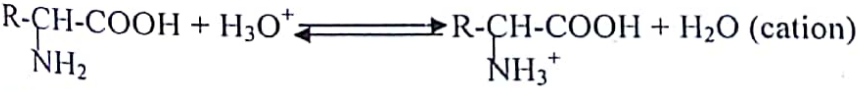
3) **Caractères amphotère des acides α-aminés** : Un composé est amphotère lorsqu'il possède en même temps les caractères basique et acide.

Un acide α-aminé comporte en même temps les groupements fonctionnels –COOH et -$NH_2$ : le –COOH lui donne un caractère acide et le –$NH_2$ lui confère un caractère basique.

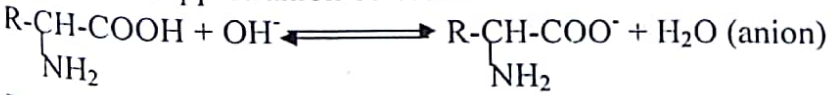
Un acide α-aminé se comporte donc en même temps comme un acide et comme une base : il a un caractère amphotère.

N.B : Un acide α-aminé se présente sous trois (3) formes ioniques en solution aqueuse.

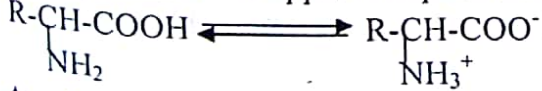
- **En milieu acide** : Un acide α-aminé se comporte comme une base. Les ions $H_3O^+$ nombreux en solution réagissent avec le –$NH_2$ et il se forme un ion positif monovalent appelé cation ou diacide.




- **En milieu basique** : Un acide α-aminé se comporte comme un acide. Les ions $OH^-$ nombreux en solution réagissent avec le –COOH et il se forme un ion négatif monovalent appelé anion ou dibase.




- **En milieu neutre** : Le groupement –COOH cède un proton à –$NH_2$ et il se forme un ion dipolaire mixte appelé Amphion ou Zwittérion.




4) **Amphion ou Zwittérion** :



Scanned by CamScanner

- **Définition** : L'Amphion est un ion dipolaire mixte obtenu à partir d'un acide $\alpha$-aminé en solution neutre.
  Sa formule générale est : $R\text{-}\underset{\displaystyle NH_3^+}{\underset{|}{CH}}\text{-}COO^-$
- **Caractère amphotère** : L'Amphion se comporte en même temps comme un acide et une base : il a un caractère amphotère. C'est une espèce ampholyte.
- **En milieu acide** : l'Amphion se comporte comme une base.

$$R\text{-}\underset{\displaystyle NH_3^+}{\underset{|}{CH}}\text{-}COO^- + H_3O^+ \rightleftharpoons R\text{-}\underset{\displaystyle NH_3^+}{\underset{|}{CH}}\text{-}COOH + H_2O \text{ (cation)}$$

- **En milieu basique** : l'Amphion se comporte comme un acide.

$$R\text{-}\underset{\displaystyle NH_3^+}{\underset{|}{CH}}\text{-}COO^- + OH^- \rightleftharpoons R\text{-}\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}\text{-}COO^- + H_2O \text{ (anion)}$$

5) **La liaison peptidique** :

- **Définition** : La liaison peptidique est la liaison entre –CO et NH- obtenue par élimination d'une molécule d'eau entre deux (2) acides $\alpha$-aminés.

$$-COOH + -NH_2 \longrightarrow \underbrace{-CO\text{-}NH-}_{\text{Liaison peptidique}} + H_2O$$

Groupement peptidique

- **Dipeptide** : Un dipeptide est une macromolécule obtenue par la réaction entre 2 acides $\alpha$-aminés.
- Dans un dipeptide il y a une seule liaison peptidique.
- La réaction entre deux (2) acides $\alpha$-aminés conduit à deux (2) dipeptides $P_1$ et $P_2$ isomère de position.

de condensat°

**Exemple** : soit la réaction de la glycine sur l'alanine :

$$NH_2\text{-}CH_2\text{-}COOH + NH_2\text{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}\text{-}COOH \longrightarrow \begin{cases} NH_2\text{-}CH_2\text{-}CO\text{-}NH\text{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}\text{-}COOH\ (P_1) \\ NH_2\text{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}\text{-}CO\text{-}NH\text{-}CH_2\text{-}COOH\ (P_2) \end{cases} + 2H_2O$$

**$P_1$: Gly-Ala ou $NH_2$-Gly-Ala-COOH ou glycylalanine.**
**$P_2$ : Ala-Gly ou $NH_2$-Ala-Gly-COOH ou alanylglycine.**

**N.B** : Pour la dernière nomenclature, on remplace la terminaison «ine» du nom du premier acide $\alpha$-aminé par «yl» suivit du nom du deuxième acide $\alpha$-aminé.

- **Synthèse peptidique** : La synthèse peptidique consiste à activer le groupement –COOH d'un acide $\alpha$-aminé en le transformant en son chlorure d'acyle et à bloquer le –COOH de l'autre en le transformant en ester ou en anhydride.

**Exemple** : soit à faire la synthèse de Gly-Ala seulement. Pour cela :

- On active le –COOH de Gly en le transformant en –COCl et
- On bloque le –COOH de Ala en le transformant en ester ou en anhydride

$$NH_2\text{-}CH_2\text{-}COOH \xrightarrow{\text{activé}} NH_2\text{-}CH_2\text{-}COCl$$

$$\left.\begin{matrix} NH_2\text{-}CH_2\text{-}COCl \\ NH_2\text{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}\text{-}\underbrace{COOH}_{\text{bloqué}} \end{matrix}\right\} \longrightarrow \underbrace{NH_2\text{-}CH_2\text{-}CO\text{-}NH\text{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}\text{-}COOH}_{\textbf{Gly-Ala}} + HCl$$



Scanned by CamScanner

- **Polypeptide** : Un polypeptide est une macromolécule comportant plusieurs liaisons peptidiques.

**Exemple** : Soit le tripeptide Gly-Ala-Gly

$NH_2$-$CH_2$-CO-NH-CH(-$CH_3$)-CO-NH-$CH_2$-COOH

**N.B**: L'hydrolyse de ce tripeptide conduit aux acides $\alpha$ −aminés qui constituent sa molécule.

- **Protéine** : Une protéine est un polypeptide comportant au moins 50 acides $\alpha$-aminés. C'est un polypeptide dont la masse molaire est supérieure ou égale à $10^4$ g $mol^{-1}$. L'hydrolyse d'une protéine conduit aux acides $\alpha$-aminés qui la constituent. /.



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LES ACIDES $\alpha$ −ANIMÉS

**Exercice 1** : Un acide $\alpha$ −aminé est un composé organique dont la molécule renferme deux groupements fonctionnels caractéristiques.

1) Ecrire les formules semi-développées de ces groupements et donner leur nom.
2) Donner la formule générale d'un acide $\alpha$ −aminé et justifier cette appellation.
3) Sur l'alanine on fait réagir la glycine, écrire l'équation chimique traduisant cette réaction.
4) Quelle est l'espèce chimique prépondérante dans la solution aqueuse de glycine. Comment appelle-t-on cet ion dipolaire ?

**Exercice 2** : Un acide aminé a pour formule brute $C_3H_7NO_2$

1) Quelle est la composition centésimale en masse de l'acide aminé.
2) Donner les formules semi-développées et noms possibles pour cet acide.
3) L'acide aminé étant naturel, donner sa formule semi-développée et son nom.
4) Soit $A$ cet acide $\alpha$ −aminé. On élimine une molécule de dioxyde de carbone sur une molécule de $A$ , on obtient alors un composé $B$.

a) Ecrire l'équation bilan de la réaction.

b) Préciser la nature, la formule semi-développée et le nom du composé $B$.
Existe-t-il des composés isomères de $B$ ? Si oui donner pour chacun d'eux sa formule semi-développée, sa classe et son nom.

c) On fait réagir le chlorure d'éthanoyle sur le composé $B$. Ecrire l'équation bilan de la réaction.
Quelle est la fonction chimique du corps organique obtenu ? Préciser son nom.
Cette réaction met en jeu un caractère nucléophile. Quel atome présente ce caractère ?

**Exercice 3** : La leucine et l'isoleucine sont deux acides $\alpha$ −aminés de formule $R - CH(NH_2) - COOH$ dont les groupements alkyles $R$ diffèrent. Le groupe alkyle de la leucine est noté $R_L$ et celui de l'isoleucine $R_I$.
La masse molaire des deux acides $\alpha$ −aminés est $131g/mol$.

1) Déterminer la formule brute du groupe alkyle.
2) Les groupes $R_L$ et $R_I$ possèdent chacun une seule ramification, la leucine possède un atome de carbone asymétrique et l'isoleucine en comporte deux.

a) Ecrire la formule semi-développée de chacun des deux acides $\alpha$ −aminés.

b) Donner les représentations conventionnelles de la leucine.

3) a) Montrer que la réaction de condensation de la leucine sur l'isoleucine conduit formellement à deux dipeptides $P_1$ et $P_2$.
b) On désire synthétiser un des dipeptides $(P_1)$.
Indiquer succinctement quels sont les moyens expérimentaux qui permettent de n'obtenir que $P_1$.



Scanned by CamScanner

# LES POLYMÈRES SYNTHÉTIQUES

1) **Les définitions** :

- **Monomère** : On appelle monomère toute molécule pouvant réagir sur elle-même et sur le produit de sa réaction.

  **Exemples** : Tous les alcènes sont des monomères notamment :
  Ethylène: $CH_2=CH_2$
  Chlorure de vinyle: $CH_2=CHCl$
  Styrène: $C_6H_5-CH=CH_2$
  Tous les acides α-aminés sont des monomères.

- **Motif** : On appelle motif la séquence d'atomes qui se répète n fois dans un polymère.

  **Exemples** : Le motif de l'éthylène $CH_2=CH_2$ est $-(CH_2-CH_2)-$
  Le motif du chlorure de vinyle $CH_2=CHCl$ est $-(CH_2-CHCl)-$
  Le motif du styrène $C_6H_5-CH=CH_2$ est : $-(\underset{C_6H_5}{CH}-CH_2)-$

- **Polymère** : Un polymère est une macromolécule obtenue par enchainement de plusieurs motifs.

  On a: $M_P = n * M_m \rightarrow M_m = \frac{M_P}{n}$

  $M_P$ : la masse molaire du polymère
  $M_m$ : la masse molaire du monomère
  $n$ : est l'indice ou degré de polymérisation

  **N.B** : Les polymères sont dits thermoplastiques s'ils se ramollissent sous l'action de la chaleur dans le cas contraire ils sont dits thermodurcissables.

- **Les élastomères** : Les élastomères sont des polymères qui, sous l'action de contrainte mécanique, subissent des déformations réversibles (caoutchoucs naturels et synthétiques).

- **Polymérisation** : Une polymérisation est une réaction au cours de laquelle des molécules appelées monomères s'unissent pour donner une macromolécule appelée polymère.
  On distingue la polyaddition et la polycondensation.

- **Polyaddition** : La polyaddition est une polymérisation dans laquelle il y a enchainement bout à bout de plusieurs monomères.

- **Polycondensation** : La ~~polyaddition~~ est une polymérisation dans laquelle il y a élimination de petites molécules comme le $HCl$ et le $H_2O$.

2) **Différence entre polyaddition et polycondensation** : La différence essentielle entre polyaddition et polycondensation se situe au niveau du mode d'obtention et de grossissement des polymères :

- Dans la polycondensation. il y a élimination de petite molécule comme le $HCl$ ou le $H_2O$ et le polymère grossit du coup.
- Alors que dans la polyaddition, il y a ouverture d'une double liaison interne au monomère, création des points d'encrage (point de fixation) et le polymère grossit progressivement par addition.



Scanned by CamScanner

3) **Exemples de polymères :**

- **Polymères de polyaddition :**

➢ **Polyéthylène (P.E) :** Le polyéthylène est un polymère de polyaddition obtenu à partir de l'éthylène.
Il est utilisé dans la fabrication d'emballages alimentaire, en électricité (isolant, prises…), dans la fabrication des récipients (les produits Saada S.A)

- Monomère : $CH_2=CH_2$ éthylène
- Motif : $-(CH_2-CH_2)-$
- Formule : $-(CH_2-CH_2)_n-$ polyéthylène (P.E)
- Equation bilan : $nCH_2=CH_2 \rightarrow -(CH_2-CH_2)_n-$

➢ **Polystyrène (P.S) :** Le polystyrène est un polymère de polyaddition obtenu à partir du styrène.
Il est utilisé dans la fabrication d'emballage électronique.
Monomère : $C_6H_5-CH=CH_2$ styrène

- Motif : $-(\underset{\displaystyle C_6H_5}{\overset{|}{C}}H-CH_2)-$
- Formule : $-(\underset{\displaystyle C_6H_5}{\overset{|}{C}}H-CH_2)_n-$ polystyrène (P.S)
- Equation bilan : $nC_6H_5-CH=CH_2 \rightarrow -(\underset{\displaystyle C_6H_5}{\overset{|}{C}}H-CH_2)_n-$

➢ **Polychlorure de vinyle (P.V.C) :** Le polychlorure de vinyle est un polymère de polyaddition obtenu à partir du chlorure de vinyle.
Il est utilisé dans les domaines très variés et notamment : en électricité (isolant, prises…), en bâtiment travaux pratiques BTP (peinture, tartan), en plomberie sanitaire (les tuyaux).

- Monomère : $CH_2=CHCl$ chlorure de vinyle
- Motif : $-(CH_2-CHCl)-$
- Formule : $-(CH_2-CHCl)_n-$ polychlorure de vinyle (P.V.C)
- Equation bilan : $nCH_2=CHCl \rightarrow -(CH_2-CHCl)_n-$

**NB :** On peut obtenir le chlorure de vinyle :

✓ **Par addition du chlorure d'hydrogène sur l'acétylène :**
$CH\equiv CH + HCl \rightarrow CH_2=CHCl$ (Chlorure de vinyle)

✓ **Par chloration de l'éthylène en 1,2-dichloroéthane puis par craquage de celui-ci**
$CH_2=CH_2 + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl-CH_2Cl$ (1, 2- dichloroéthane)
$CH_2Cl-CH_2Cl \xrightarrow{\text{craquage}} CH_2=CHCl + HCl$ (Chlorure de vinyle)

- **Polymères de polycondensation :**

➢ **Nylon 6,6 :** Le nylon 6,6 est un polyamide obtenu par la réaction de l'hexan-1,6diamine sur l'acide hexan-1,6dioique.
Il est utilisé dans les domaines aussi variés que l'électricité (isolant), la plomberie (raccords), l'industrie textile.

- Monomère : $NH_2-(CH_2)_6-NH-CO-(CH_2)_4-COOH$
- Motif : $-(NH-(CH_2)_6-NH-CO-(CH_2)_4-CO)-$
- Formule : $-(NH-(CH_2)_6-NH-CO-(CH_2)_4-CO)_n-$



Scanned by CamScanner

- Equation bilan :

$$n NH_2\text{-}(CH_2)_6\text{-}NH_2 + n\ HOOC\text{-}(CH_2)_4\text{-}COOH \rightarrow \text{-}(NH\text{-}(CH_2)_6\text{-}NH\text{-}CO\text{-}(CH_2)_4\text{-}CO)_n\text{-} + 2nH_2O$$

- **Nylon 6,10** :

$$n NH_2\text{-}(CH_2)_6\text{-}NH_2 + n\ ClOC\text{-}(CH_2)_8\text{-}COCl \rightarrow \text{-}(NH\text{-}(CH_2)_6\text{-}NH\text{-}CO\text{-}(CH_2)_8\text{-}CO)_n\text{-} + 2nHCl$$

- **Nylon 1,6** :

$$n NH_2\text{-}CH_2\text{-}NH_2 + n\ HOOC\text{-}(CH_2)_4\text{-}COOH \rightarrow \text{-}(NH\text{-}CH_2\text{-}NH\text{-}CO\text{-}(CH_2)_4\text{-}CO)_n\text{-} + 2nH_2O$$

- **Nylon 6** :

$$n NH_2\text{-}(CH_2)_5\text{-}COOH \rightarrow \text{-}(NH\text{-}(CH_2)_5\text{-}CO)_n\text{-} + nH_2O$$

- **Tergal** : Le tergal est un polyester obtenu par la réaction du glycol sur l'acide paraphtalique (ou acide téréphtalique). Il est utilisé dans l'industrie textile.

benzen-1,4-dioïque.

$$n\ HO\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}OH + n HOOC\text{-}C_6H_4\text{-}COOH \rightarrow \text{-}(CH_2\text{-}CH_2\text{-}OOC\text{-}C_6H_4\text{-}COO\text{-})_n + 2nH_2O$$



Scanned by CamScanner

# SUR LES POLYMÈRES EXERCICES

**Exercice 1**: La masse molaire du monomère alcène d'un polymère est $42g/mol$.

1) Sachant que le polymère comporte $6.10^3$ atomes d'hydrogène, trouver la formule semi-développée du monomère et donner son nom.
2) Ecrire l'équation de synthèse du polymère. Quel nom peut-on lui donner?

**Exercice 2**: On veut déterminer la formule d'un polymère éthylénique contenant du carbone, de l'hydrogène et du chlore. Le monomère à ce polymère comporte un seul atome de chlore et a pour masse molaire $62,5g/mol$.

1) Déterminer la formule du monomère et donner son nom.
2) Quel est le dégré de polymérisation sachant que la masse molaire du polymère obtenu vaut $75kg/mol$?
3) Ecrire l'équation de polymérisation et donner le nom du plymère.

On donne $M(C) = 12g/mol, M(H) = 1g/mol\,; M(Cl) = 35,5g/mol$

**Exercice 3**:

a) Le styrène est encore appelé vinylbenzène.
Donner la formule du styrène. Quel autre nom peut-on encore lui attribuer?

b) Un polystyrène a une masse molaire moyenne de $155.000g/mol$. Quel est son dégré moyen de polymérisation?

c) Représenter l'enchainement de trois motifs élémentaires dans une macromolécule du polystyrène.
On donne $M(C) = 12g/mol, M(H) = 1g/mol$

**Exercice 4**:

1) a) Ecrire la formule de l'acide 6-aminohexanoique et celle du chlorure 6-aminohexanoyle.
b) Ecrire la formule du produit de polycondensation correspondant à l'un ou l'autre de ces composés.
c) Quel nom peut-on lui donner? A quelle catégorie de polymère appartient-il?
2) Ecrire la formule des motifs élémentaires que l'on obtiendrait en réalisant une copolycondensation mettant en jeu simultanement le chlorure 6-aminohexanoyle et le chlorure 11-aminoundécanoyle.

**Exercice 5**: L'oxydation catalitique de $0,53g$ d'une substance $X$ constituée de carbone, d'hydrogène et d'azote a donné:

- $1,33g$ de dioxyde de carbone;
- $0,27g$ d'eau;
- Sa densité de vapeur est de 1,83.

1) Déterminer sa formule brute.
2) $X$ est un acrylonitrile, ce qui signifie que sa molécule contient le groupe $-C \equiv N$; donner sa formule semi-développpée.
3) Il se polymérise facilement. Ecrire la formule du polymère coorespondant. Calculer le dégré de polymérisation sachant que la masse molaire est $2,65Kg/mol$.
On donne: $M(C) = 12g/mol, M(H) = 1g/mol\,; M(N) = 14g/mol$



Scanned by CamScanner

# LE GLUCOSE

1) **Définition et formule brute** : Le glucose est un composé organique de formule brute $C_6H_{12}O_6$.
2) **Structure** : La formule semi-développée du glucose est : $CH_2OH - (CHOH)_4 - CHO$
Dans la structure du glucose il y a cinq (5) fonctions alcool dont une fonction alcool primaire et quatre (4) fonctions alcool secondaire et une fonction aldéhyde.
C'est un aldose à cause de sa fonction aldéhyde.
La molécule du glucose comporte quatre (4) carbones asymétriques donc possède huit énantiomères.
3) **Les propriétés chimiques du glucose** : Le glucose comporte cinq (5) fonctions alcool et une (1) fonction aldéhyde. Il possède alors deux (2) grandes propriétés : les propriétés alcools et les propriétés aldéhydes.

- **Les propriétés alcools** : Elles sont dues à la fonction alcool qui est présente dans la structure du glucose.
- **Réaction avec les acides carboxyliques** : Selon qu'un (1), deux (2), trois (3), quatre (4) ou cinq (5) fonctions alcool sont estérifiés, on obtient un mono, di, tri, tétra ou pentaester.
**Exemple** : Le glucose réagit avec l'acide acétique pour donner un ester penta acétique ou penta ester.

$$\begin{cases} CH_2OH \\ CHOH \\ CHOH \\ CHOH \\ CHOH \\ CHO \end{cases} + 5CH_3 - COOH \longrightarrow \begin{cases} CH_3 - COO - CH_2 \\ CH_3 - COO - CH \\ CH_3 - COO - CH \\ CH_3 - COO - CH \\ CH_3 - COO - CH \\ CHO \end{cases} + 5H_2O$$

- **Réaction avec l'acide nitrique** : L'acide nitrique $HNO_3$ réagit avec le glucose pour donner successivement l'acide gluconique $CH_2OH - (CHOH)_4 - COOH$, l'acide saccharique $HOOC - (CHOH)_4 - COOH$, l'acide oxalique $H_2C_2O_4$ $OU$ $HOOC - COOH$ .

- **Les propriétés aldéhydes** : Elles sont dues à la fonction aldéhyde.
- **Réaction avec le dihydrogène** : Le glucose réagit avec le dihydrogène pour donner le sorbitol.
$CH_2OH - (CHOH)_4 - CHO + H_2 \rightarrow CH_2OH - (CHOH)_4 - CH_2OH$
- **Réaction avec la liqueur de Fehling $Cu(OH)_2$** :
Le glucose réduit la liqueur de Fehling en se transformant en acide gluconique.
Lorsqu'on chauffe un mélange de glucose et la liqueur de Fehling, on obtient un précipité rouge brique : la liqueur est réduite en $Cu_2O$.
$CH_2OH - (CHOH)_4 - CHO + 2Cu(OH)_2 \rightarrow CH_2OH - (CHOH)_4 - COOH + Cu_2O + 2H_2O$
- **Réaction avec le nitrate d'argent ammoniacal ou réactif de Tollens $Ag(OH)$**:
Le glucose réduit le nitrate d'argent ammoniacal en se transformant en acide gluconique.



Scanned by CamScanner

Lorsqu'on chauffe un mélange de glucose et de nitrate d'argent ammoniacal dans un ballon, on observe un miroir d'argent sur la paroi du ballon : le nitrate d'argent ammoniacal est réduit en argent métal.

$CH_2OH - (CHOH)_4 - CHO + 2Ag(OH) \rightarrow CH_2OH - (CHOH)_4 - COOH + 2Ag + H_2O$

4) **Préparation du glucose** :

- **Inverse du saccharose** : Lorsqu'on chauffe modérément une solution aqueuse de saccharose en milieu acide on obtient du glucose et du fructose.

$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$

Saccharose eau glucose fructose

**N.B** : Le glucose et le fructose ont la même formule brute mais des fonctions chimiques différentes alors ils sont isomères de fonctions.

Le glucose est un aldose (aldéhyde) par contre le fructose est oside (cétone).

La formule semi-développée du fructose est : $CH_2OH - CO - (CHOH)_3 - CH_2OH$

- **Fermentation alcoolique** : La fermentation du glucose donne de l'éthanol et du gaz carbonique. Elle est anaérobique (absence d'air).

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CO_2 + 2C_2H_5OH$

5) **Utilisation du glucose** : Le glucose est utilisé dans la fabrication des sirops, des sérums etc./.



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LE GLUCOSE

**Exercice 1** : Le glucose est un sucre de formule $C_xH_yO_z$ de masse molaire $180g/mol$

1) Trouver la formule brute du glucose.
2) Quelle est sa formule semi-développée et quelles sont les fonctions chimiques qu'il renferme ?
3) a) Le glucose peut-il réagir avec la liqueur de Fehling ? Pourquoi ?
   b) Ecrire l'équation de la réaction entre le glucose et la liqueur de Fehling.
   c) Quelle masse de Liqueur de Fehling doit-on utiliser pour oxyder complètement $540g$ de glucose ?

**Exercice 2** : La fermentation alcoolique du glucose donne $1,12L$ de gaz carbonique (volume mesuré dans les conditions normales). Attention.

1) Quelle est la masse de glucose contenue dans la solution ?
2) Quelle est la masse d'argent déposée par action d ce glucose sur un excès de nitrate d'argent ammoniacal ?
   On donne $M(Ag) = 108g/mol$

**Exercice 3** : On prépare un litre de solution aqueuse en dissolvant $100g$ de glucose dans l'eau pure.

1) On chauffe $10Cm^3$ de cette solution en présence d'un excès de liqueur de Fehling. Le précipité rouge obtenu est isolé par filtration, lavé, séché. Quelle est sa masse ?
2) On fait réagir $10Cm^3$ de glucose sur un excès de nitrate d'argent ammoniacal. Quelle masse maximale d'argent peut-on espérer obtenir ?
   On donne $M(Cu) = 64g/mol, M(Ag) = 108g/mol$

**Exercice 4** : Pour déterminer le taux de sucre dans le sang d'une personne, on procède à un prélèvement de $100Cm^3$ de son sang. On fait attaquer le glucose contenu dans les $100Cm^3$ par un excès de liqueur de Fehling. Il se forme $0,40g$ d'un précipité d'oxyde cuivreux $(Cu_2O)$

1) Ecrire l'équation bilan de la réaction qui se produit puis calculer la masse de glucose contenu dans ce prélèvement sanguin.
2) Sachant que le taux normal de sucre dans le sang humain est de $1g/L$ ; peut-on dire que cette personne soufre de diabète ?
   Données : $M(H) = 1gmol^{-1}$; $M(C) = 12gmol^{-1}$; $M(O) = 16gmol^{-1}$; $M(C_u) = 63,5gmol^{-1}$

**Exercice 5** : La préparation de l'éthanol peut se faire en deux étapes à partir de la canne à sucre.

On hydrolyse du saccharose en glucose et en fructose. Le glucose se fermente en donnant de l'éhanol et du gaz carbonique. La canne à sucre contient en masse 60% du saccharose.

1) Ecrire les équations bilan citées pour la formation de l'éthanol.
2) Quelle masse d'éthanol peut-on obtenir à partir de $57Kg$ de canne à sucre. ?
3) Quel est le volume du gaz dégagé lors de la préparation.

On donne :
$M(H) = 1gmol^{-1}$; $M(C) = 12gmol^{-1}$; $M(O) = 16gmol^{-1}$; $V_0 = 22,4L/mol$



Scanned by CamScanner

# LA CINÉTIQUE CHIMIQUE

1) **Les définitions** :

- **La cinétique chimique** : La cinétique chimique est l'étude de l'évolution d'une réaction chimique au cours du temps.
- **Réaction chimique** : Une réaction chimique est une transformation au cours de laquelle des espèces chimiques appelées réactifs disparaissent et donnent naissance à des nouvelles espèces appelées produits.

  Toute réaction chimique se traduit par un schéma réactionnel appelé équation bilan de la réaction.

  Soit $aA + bB \longrightarrow cC + dD$ l'équation d'une réaction chimique :

  - A et B sont des réactifs
  - C et D sont des produits
  - a, b, c et d sont des coefficients stœchiométriques.

  **Exercice d'application** : Soit la réaction du ~~persulfate~~ peroxodisulfate sur les ions iodures :

  $S_2O_8^{2-} + 2I^- \longrightarrow 2SO_4^{2-} + I_2$

  A l'instant initial, on introduit 1 mole de chaque réactif dans le milieu réactionnel.

  - Le mélange est-il stœchiométrique ?
  - A l'instant t=6min, il reste 0,1mol de $I^-$. Quelle est la composition du mélange réactionnel à cet instant ?

- **La concentration molaire ou molarité** : La concentration molaire est le rapport du nombre de mole par le volume. Elle se note C ou [ ] avec $C = \frac{n}{V}$

  Si $n_A = \frac{m_A}{M_A} \longrightarrow [A] = \frac{m_A}{M_A \cdot V}$.

  Si $n_A = \frac{V_A}{V_m} \longrightarrow [A] = \frac{V_A}{V_m \cdot V}$

  Solut° pure : $C_L = \frac{n_L}{V_L}$ ; impure : $C_N = \frac{n_{NaOH}}{V_{eau}}$ — acide

  ✱ En phase gazeuse : $PV = nRT \longrightarrow P = \frac{n}{V}RT \longrightarrow C = \frac{P}{RT}$

  - P est en $P_a$ alors
  - R=8,314 $J.mol^{-1}.K^{-1}$
  - T(°K)= t(°C)+273
  - C en mol/$m^3$=$10^{-3}$mol/L

  **N.B** : Si P est en atmosphère alors prendre R=0,082 $L.atm.mol^{-1}.K^{-1}$

2) **Les types de réactions chimiques** : Les réactions chimiques sont classées en fonction de leur vitesse.

- **Les réactions rapides** : Ce sont des réactions qui se produisent dès la mise en contact des réactifs.

  **Exemple** : Les combustions vives (explosion, réactions de précipitation)

  $Ag^+ + Cl^- \longrightarrow AgCl$

- **Les réactions lentes** : Ce sont des réactions qui se passent lentement. Elles peuvent durées des minutes voir des heures.
  - Réaction du peroxodisulfate sur les ions iodures

    $S_2O_8^{2-} + 2I^- \longrightarrow 2SO_4^{2-} + I_2$
  - Réaction d'estérification

    $CH_3COOH + C_2H_5\text{-}OH \rightleftharpoons CH_3COO\text{-}C_2H_5 + H_2O$



Scanned by CamScanner

- Réaction de saponification
  $CH_3COO\text{-}CH_3 + NaOH \rightarrow CH_3COONa + CH_3\text{-}OH$
- Dismutation ou décomposition de l'eau oxygénée
  $2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$
- L'hydrolyse du saccharose
  $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$
  Glucose fructose

- **Les réactions infiniment lentes** : Ce sont des réactions bien que possibles mais qui ne produisent pas à la température ambiante.
  $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$

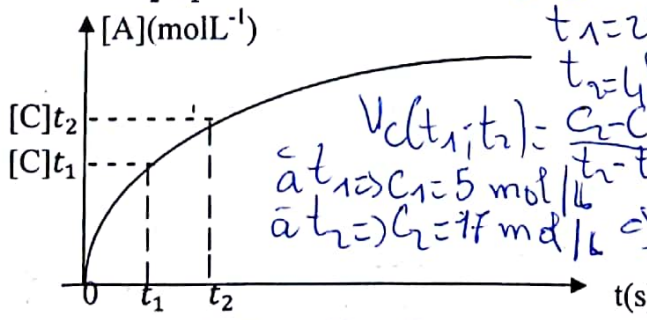
3) **Les méthodes d'étude cinétique** : On distingue 2 méthodes d'étude cinétique des réactions chimiques : la méthode physique et la méthode chimique

- **La méthode physique** : Elle consiste à étudier les variations d'une grandeur physique liée à la concentration. Le graphe des variations de cette grandeur en fonction du temps permet de déterminer la vitesse de la réaction à chaque instant.
  **Exemple** : le pouvoir rotatoire, la densité, l'indice de réfraction et la conductivité électrique… sont des grandeurs physiques à partir desquelles on peut suivre l'évolution d'une réaction chimique.
- **La méthode chimique** : Elle consiste à introduire un mélange de réactifs dans un tube. A faire des séries de prélèvements et dosages. Les résultats de prélèvements et dosages permettent de tracer la courbe d'apparition ou de disparition de l'un des composés. A partir de cette courbe on peut déterminer la vitesse d'apparition ou de disparition des différents corps.

4) **Les vitesses moyennes d'apparition et de disparition d'un corps et le temps de demi-réaction**:

- **Vitesse moyenne d'apparition d'un corps entre 2 dates** : La vitesse moyenne d'apparition d'un corps entre 2 dates $t_1$ et $t_2$ est égale au quotient de la variation de la concentration de ce corps entre $t_1$ et $t_2$ par la variation du temps $\Delta t = t_2 - t_1$.

$V_C(t_1, t_2) = \frac{[C]_{t2} - [C]_{t1}}{t_2 - t_1}$ mol L$^{-1}$ s$^{-1}$

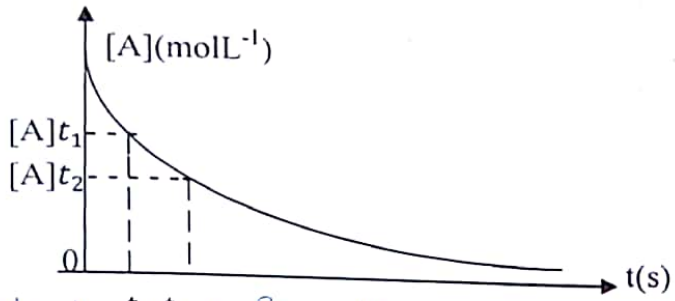



[C] = $t^2$ + 1
$t_1$ = 2h
$t_2$ = 4h.
$V_C(t_1;t_2) = \frac{C_2 - C_1}{t_2 - t_1}$
à $t_1$ ⇒ $C_1$ = 5 mol/L
à $t_2$ ⇒ $C_2$ = 17 mol/L ⇒ $V_C(t_1,t_2) = \frac{17-5}{4-2}$

- **Vitesse moyenne de disparition d'un corps entre 2 dates** : La vitesse moyenne de disparition d'un corps entre 2 dates $t_1$ et $t_2$ est égale à l'opposé du quotient de la variation de la concentration de ce corps entre $t_1$ et $t_2$ par la variation du temps $\Delta t = t_2 - t_1$. alors $V_A(t_1, t_2) = -\frac{[A]_{t2} - [A]_{t1}}{t_2 - t_1}$



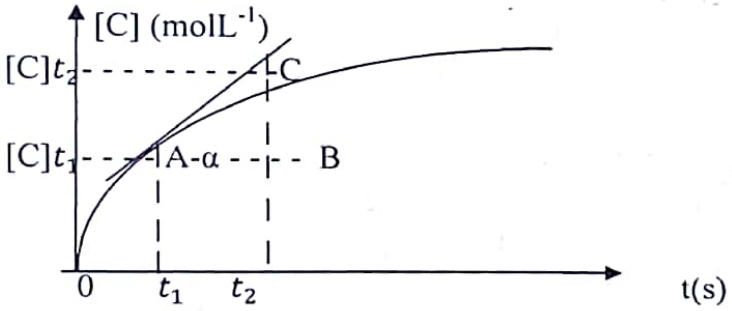
Scanned by CamScanner




instantanée de format° ↘

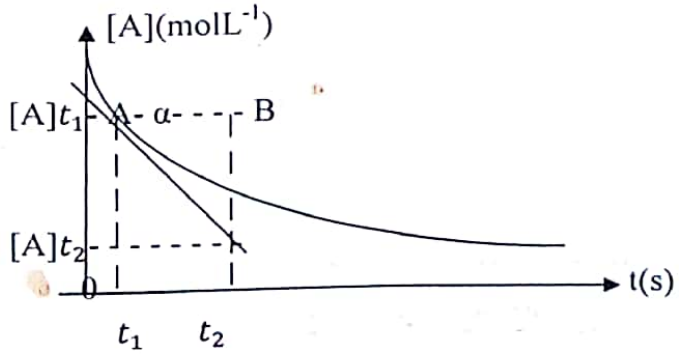
- **Vitesse moyenne d'apparition d'un corps à une date** : La vitesse moyenne d'apparition d'un corps à une date $t_1$ est égale au coefficient directeur de la tangente à la courbe d'apparition de ce corps au point d'abscisse $t_1$.

$$\begin{cases} V_C(t_1) = \tan\alpha = \frac{BC}{AB} = \frac{[C]_2-[C]_1}{t_2-t_1} \\ V_C(t_1) = \frac{d[C]}{dt} \end{cases}$$




- **Vitesse moyenne de disparition d'un corps à une date** : La vitesse moyenne de disparition d'un corps à une date $t_1$ est égale à l'opposé du coefficient directeur de la tangente à la courbe de disparition de ce corps au point d'abscisse $t_1$.

$$\begin{cases} V_A(t_1) = -\tan\alpha = -\frac{BC}{AB} = -\frac{[A]_{t2}-[A]_{t1}}{t_2-t_1} \\ V_A(t_1) = -\frac{d[A]}{dt} \end{cases}$$

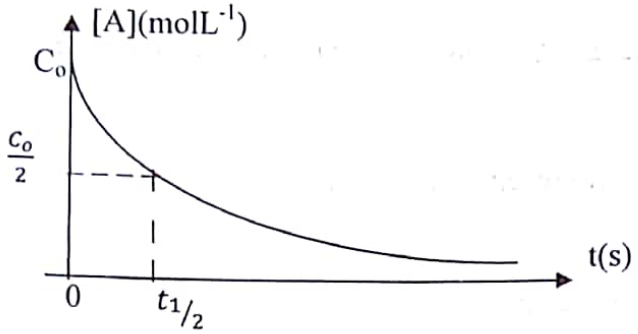



- **Temps de demi-réaction** : Le temps de demi réaction est le temps au bout duquel la moitié de la concentration initiale des réactifs disparaît.

  Soit $C_o$ la concentration initiale d'un réactif : $t_{1/2} \rightarrow C = \frac{C_o}{2}$



Scanned by CamScanner




- **La vitesse globale d'une réaction chimique** : Soit aA + bB → cC + dD l'équation bilan d'une réaction :

  Par définition la vitesse cette réaction est : $V = -\frac{1}{a}\frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b}\frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{c}\frac{d[C]}{dt} = \frac{1}{d}\frac{d[D]}{dt}$

5) **Les facteurs cinétiques** :

- **Définition** : Un facteur cinétique est un paramètre variable indépendant permettant augmenter la vitesse d'une réaction chimique.
  Les facteurs cinétiques sont : la température, le catalyseur et la concentration.
- **Influence de la température** : La température est le 1er facteur cinétique. La vitesse d'une réaction augmente avec l'élévation de la température.
  **Exemple** : La synthèse de l'eau est infiniment lente à la température ambiante mais elle devient explosive à 200°C.
- **Influence du catalyseur** : La vitesse d'une réaction augmente avec l'introduction d'un catalyseur dans le milieu réactionnel.
  **Exemple** : La synthèse de l'eau est infiniment lente mais elle devient explosive en présence de la mousse de platine.
- **Influence de la concentration** : La vitesse d'une réaction augmente avec l'augmentation de la concentration de l'un des réactifs.
  **N.B** : La vitesse d'une réaction est maximale à t=0 car à cet instant la concentration est plus grande.

6) **Expression de la vitesse d'une réaction chimique** : Soit aA + bB → cC + dD l'équation bilan d'une réaction :

- **En fonction des concentrations des réactifs** : La concentration étant un facteur cinétique alors la vitesse d'une réaction s'écrit :
  $V = k[A]^a * [B]^b$ avec k (la constante de vitesse et dépend de la température)
- **En fonction des pressions partielles des réactifs** : En phase gazeuse :

$$\begin{cases} [A]=\frac{P_A}{RT} \\ [B]=\frac{P_B}{RT} \end{cases} \rightarrow V=k\left(\frac{P_A}{RT}\right)^a * \left(\frac{P_B}{RT}\right)^b \rightarrow V=k(P_A)^a * (P_B)^b * RT^{-(a+b)}$$

7) **Ordre d'une réaction chimique** : Soit aA + bB → cC + dD l'équation bilan d'une réaction :

- **La molécularité** : La molécularité de cette réaction par définition est le nombre : a+b.
  La molécularité d'une réaction simple ne dépasse pas 3.



Scanned by CamScanner

- **Ordre d'une réaction simple** : L'ordre d'une réaction simple est égal à sa molécularité.
- **Réaction d'ordre 1** :
  - **Définition** : Ce sont des réactions du type $A \rightarrow B + B'$. Ce sont des réactions de composition
  - **Etude théorique** :

| | $A$ | $\rightarrow$ | $B$ | $+$ | $B'$ |
|---|---|---|---|---|---|
| A t=0 | $C_0$ | | 0 | | 0 |
| A t≠0 | $C=C_o-x$ | | x | | x |

  - ✓ **Loi de transformation** : La vitesse de cette réaction est

    D'une part $V = -\frac{d[A]}{dt}$

    D'autre part V=k[A]

    $|\ V=V \rightarrow -\frac{d[A]}{dt}=k[A] \rightarrow -\int_{C_o}^{C}\frac{d[A]}{[A]} = k\int_o^t dt$

    $-\ln[A]\Big|_{C_o}^{C} = kt\Big|_0^t \rightarrow \ln\frac{C_o}{C}=kt$ ou $C=C_o e^{-kt}$

    SSQSSQSSSSQ
  - ✓ **La constante de vitesse** :

    $\ln\frac{C_o}{C}=kt \rightarrow k=\frac{1}{t}\ln\frac{C_o}{C}$ avec k en $s^{-1}$
  - ✓ **Le temps de demi-réaction** :

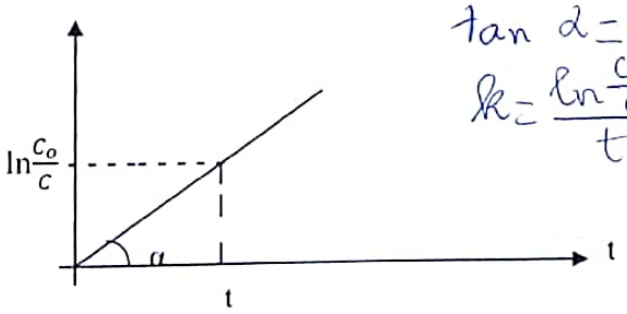
    $t_{1/2} \rightarrow C=\frac{C_o}{2} \rightarrow t_{1/2}=\frac{ln2}{k}$ avec $t_{1/2}$ en s

    **N.B** : Le temps de demi-réaction d'une réaction d'ordre 1 ne dépend pas de la concentration initiale.
  - ✓ **Comment démontrer qu'une réaction est d'ordre global 1** :

    **Méthode 1** : On montre que le graphe de $\ln\frac{C_o}{C}=kt$ est une droite

$\tan\alpha = \frac{\Sigma \ln\frac{C_o}{C}}{\Sigma t} \Rightarrow$ **tg α = k**

$k = \frac{\ln\frac{C_o}{C}}{t}$




    **Méthode 2** : On calcule $k=\frac{1}{t}\ln\frac{C_o}{C}$ pour toutes les dates sauf à t=0 et on trouve que k est constant.

    **Méthode 3** : $C=C_o e^{-kt}$ on a donc : $\begin{cases}\text{si } t=0 \rightarrow C=C_o \\ \text{si } t \rightarrow \infty \rightarrow C=0\end{cases}$

en appliquant les limites





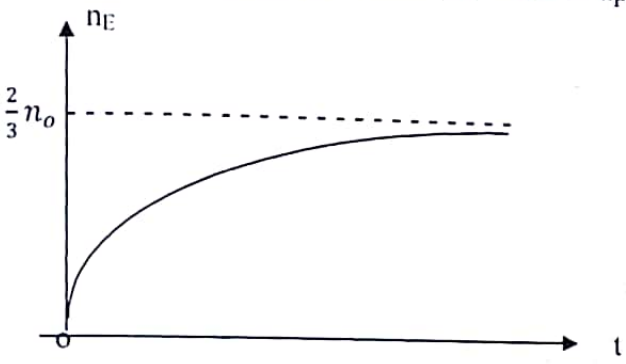

Scanned by CamScanner

- **Définition** : L'estérification est la réaction d'un acide carboxylique sur un alcool. On obtient un ester et de l'eau.

  $R\text{-}COOH + R'\text{-}OH \rightleftharpoons R\text{-}COO\text{-}R' + H_2O$

- **Etude expérimentale** : **Expérience de Berthelot** : Un mélange équimolaire d'acide acétique et d'éthanol est introduit dans plusieurs tubes scellés placés dans une étuve maintenue à la température constante.

  Pour suivre l'évolution de la réaction au cours du temps, des séries de prélèvement et dosage de l'acide sont effectués à des dates successives $t_1$, $t_2$,.... à l'aide d'une solution de soude de concentration $C_b$. Cela permet de déterminer les quantités de matière d'acide restant à chaque instant et par conséquent d'évaluer les quantités de matière d'ester formées et de tracer la courbe d'apparition de l'ester.




Les résultats expérimentaux permettent de constater les faits suivants :

- Les quantités de matière d'ester formés augmentent lentement : l'estérification est une réaction lente.
- La température du milieu réactionnel reste constante : l'estérification est une réaction athermique.
- A un moment donné, le milieu réactionnel n'évolue plus, la vitesse de la réaction est nulle : l'estérification est une réaction limitée.

- **Analyse des résultats expérimentaux** :

$CH_3\text{-}COOH + C_2H_5\text{-}OH \rightleftharpoons CH_3COO\text{-}C_2H_5 + H_2O$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| A t=0 | $n_o$ | $n_o$ | 0 | 0 |
| A t≠0 | $n_A=n_o-x$ | $n_o-x$ | $x=n_E$ | x |

$n_A$ (le nombre de mol d'acide restant à chaque instant) est déterminer à l'équivalence acido-basique. Or à l'équivalence $n_A=n_B$ où $n_B= C_bV_b$ et $n_A=n_o-n_E \rightarrow n_E=n_o-n_A$

- **Les facteurs cinétiques de l'estérification** : sont : la température, le catalyseur, la concentration et la nature des corps engagés.

- **Influence de la température** : La vitesse de l'estérification augmente avec l'élévation de la température.

  **Exemple** : Dans le cas de l'acide éthanoïque et l'éthanol, la limite est atteinte :
  - ✓ A 15°C après 15 ans
  - ✓ A 100°C dans moins de 100heures
  - ✓ A 200°C dans moins de 24 heures

- **Influence du catalyseur** : Les ions $H_3O^+$ catalyse l'estérification.



Scanned by CamScanner

- **Influence de la concentration** : La vitesse de l'estérification augmente avec l'augmentation de la concentration de l'acide ou de l'alcool.
- **Influence de la nature des corps engagés** : La vitesse de l'estérification dépend de la nature de l'alcool et de l'acide engagé :
  - ✓ Avec le même acide, un alcool primaire s'estérifie plus vite qu'un alcool secondaire et un alcool secondaire plus vite qu'un alcool tertiaire.
  - ✓ Aussi un acide carboxylique s'estérifie d'autant plus que sa chaine carbonée est courte et simple (sans ramification).

- **Les facteurs de limite** :
- **Limite** : La limite est l'état où le milieu réactionnel n'évolue plus. A la limite la vitesse de la réaction est nulle.
- **Facteur de limite** : Un facteur de limite est un paramètre variable indépendant dont la modification fait déplacer l'état de limite.

  Les facteurs de limite de l'estérification sont : la concentration et la nature des corps engagés.

  **N.B** : La température et le catalyseur ne sont pas des facteurs de limite car ils permettent d'atteindre plus vite la limite mais ne change pas l'état de limite.

✓ **Influence de la concentration** : La limite de l'estérification dépend de la concentration de l'acide et de l'alcool :

**Exemple** : Dans la réaction de l'acide éthanoïque sur l'éthanol, on obtient les résultats suivants à la limite :

| $n_o$ (alcool) | $n_o$ (acide) | $n_E$ (ester à la limite) |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 2/3=0,67 |
| 1 | 2 | 0,87 |
| 1 | 3 | 0,97 |

✓ **Influence de la nature des corps engagés** : La limite de l'estérification dépend de la classe de l'alcool et de la nature de l'acide engagé.

**Exemple** : Avec le même acide, un alcool primaire s'estérifie mieux qu'un alcool secondaire et un alcool secondaire mieux qu'un alcool tertiaire.

- **L'hydrolyse** :
- **Définition** : L'hydrolyse est la réaction d'un ester avec l'eau en milieu acide. On obtient un acide carboxylique et un alcool : C'est la réaction inverse de l'estérification.

  $R\text{-}COO\text{-}R' + H_2O \rightleftharpoons R\text{-}COOH + R'\text{-}OH$
- **Etude expérimentale** : L'hydrolyse étant la réaction inverse de l'estérification alors les conditions expérimentale de l'hydrolyse sont les mêmes que celles de l'estérification.
- **Les facteurs cinétiques de l'hydrolyse** : sont : La température, le catalyseur, la concentration et la nature de l'ester.
- **Les facteurs de limite de l'hydrolyse** : sont la concentration et la nature de l'ester.

**Exercice d'application** :

On étudie la réaction d'estérification entre l'acide acétique et alcool éthylique. A l'instant initial, on introduit une mole d'acide et d'alcool dans le milieu réactionnel.



Scanned by CamScanner

a) Ecrire l'équation bilan de la réaction

b) On dose à température constante l'acide restant dans le milieu réactionnel d'heure en heure à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $2molL^{-1}$ et $V_b$ désigne le volume de $OH^-$ (volume de soude versé à chaque instant à l'équivalence). On obtient le tableau suivant :

| t en h | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_bCm^3$ | 500 | 305 | 225 | 195 | 180 | 175 | 170 | 165 | 165 |

b)a) Compléter le tableau suivant en déterminant à chaque instant les quantités de matière d'acide restant et d'ester formé

b)b) Tracer la courbe d'apparition de l'ester en fonction du temps.

b)c) Que peut-on dire de la composition du mélange réactionnel au-delà de t=7heures.

c) En utilisant la courbe tracée :

c)a) Déterminer de 2 manières différentes la date à laquelle la moitié de l'éthanol initial a été consommé.

c)b) Déterminer la vitesse d'apparition de l'ester à t=3heures.

c)c) Déterminer la vitesse d'apparition de l'ester entre les instants t=5heures et t=6heures et en déduire celle de disparition de l'acide entre ces instants.

d) Comment évolue la vitesse de formation de l'ester au cours du temps et pourquoi. Comment peut-on accélérer cette réaction ?

**9) La catalyse :**

- **Définition** : La catalyse est l'apport d'un catalyseur dans un milieu réactionnel en vue de provoquer ou d'activer une réaction chimique.

  **NB** : **Un catalyseur** : est une substance chimique permettant d'accélérer la vitesse d'une réaction chimique tout en restant intact après la réaction.

  On distingue 2 types de catalyse : la catalyse homogène et la catalyse hétérogène.

- **Catalyse homogène** : La catalyse homogène est la catalyse dans laquelle le mélange réactionnel et le catalyseur constituent une même phase.

  **Exemples** :

  - Les ions $H_3O^+$ dans l'estérification
  - $Fe^{3+}$ dans la dismutation de l'eau oxygéné
  - L'autocatalyse : est la catalyse dans laquelle l'un des produits formés est catalyseur de la réaction (c'est le cas de $Mn^{2+}$ dans l'oxydation de l'acide oxalique).

    $5C_2H_2O_4 + 2MnO_4^- + 6H_3O^+ \xrightarrow{Mn^{2+}} 10CO_2 + 14H_2O + 2Mn^{2+}$
  - La catalyse enzymatique ou catalyse biologique : est la catalyse dans laquelle les catalyseurs sont des enzymes ou protéines sécrétés par l'organisme (la salive dans l'alimentation).

- **Catalyse hétérogène** : La catalyse hétérogène est la catalyse dans laquelle le mélange réactionnel et le catalyseur constituent des phases différentes.

  **Exemples** :

  - La mousse de platine (solide) dans la synthèse de l'eau
  - Le nickel (solide) dans l'hydrogénation des alcènes



Scanned by CamScanner

- **Caractères communs et distinctifs des catalyseurs** :
- **Caractères communs** :
  - Tout catalyseur active une réaction chimique et reste intac~~e~~ intacte après réact°
  - Le même catalyseur catalyse la réaction directe et son inves~~—~~n inverse
    **Exemple** : le cas des ions $H_3O^+$ dans l'estérification et l'hy~~l~~r~~e~~ hydrolyse
  - Un catalyseur est sélectif et peut orienter une réaction chimiq~~ue~~ chimique
    **Exemple** : la décomposition de l'éthanol conduit à l'éthanal en présence de Cu à l'éthylène en présence du $Al_2O_3$.
  - Un catalyseur peut déclencher une réaction chimique
    **Exemple** : le cas de la mousse de platine dans la synthèse d'eau
- **Caractères distinctifs** : catalyse hr constituent
  - Dans la catalyse homogène, le mélange réactionnel et le cat~~al~~ sel~~—~~ituent la même phase alors que dans la catalyse hétérogène le mélan~~ge~~ réac~~tion~~l et le catalyseur constituent des phases différentes.
  - Dans la catalyse homogène, le catalyseur utilise des intermédiaires qui lui permettent de rester intact après la réaction
  - Alors que dans la catalyse hétérogène, la réaction se passe sur sur~~face~~ solide du catalyseur. Les dimensions et l'état de surface du catalyseur influent sur la vitesse de la réaction.

**10) Mécanisme réactionnel** :

- **Les définitions** :
- **Acte élémentaire** : On appelle acte élémentaire, un choc intermoléculaire
Une réaction simple se fait en un seul acte élémentaire.
- **Radical ou centre actif** : Un centre actif est un atome ou group d'atome ayant un électron célibataire.
  Les centres actifs sont symbolisés par les lettres marquées d'un point.
  **Exemples** : $\dot{A}, \dot{C}l, \dot{I}, \dot{C}_2H_5$
  **N.B** : La grande réactivité chimique des centres actifs est due à leur électron célibataire.
- **Réaction en chaine** : Une réaction en chaine est une réaction comportant 3 phases sont : l'initiation, la propagation et la rupture.
- **Chainon de réaction** : On appelle chainon de réaction, l'ensemble des actes élémentaires d'une phase.
- **Mécanisme réactionnel** : On appelle mécanisme réactionnel, l'ensemble des actes élémentaires se produisant dans une réaction depuis la mise en contact des réactifs jusqu'à l'apparition des produits.
- **Réaction photochimique** : Une réaction photochimique est une réaction qui se passe en présence de la lumière.
  Dans une réaction photochimique le rôle de la lumière est d'apportée l'énergie nécessaire à la dissociation des molécules en centres actifs.
- **Energie lumineuse** : L'énergie lumineuse est l'énergie apportée (ou contenue) dans une radiation de longueur d'onde λ. On a: E=hγ or $\gamma=\frac{c}{\lambda}$ $\Rightarrow E=h\frac{c}{\lambda}$



Scanned by CamScanner

- $h=6.6210^{-34}$Js (constante de Planck)
- $C=310^{8}ms^{-1}$(célérité de la lumière)
- $\gamma$ est la fréquence de la lumière en $H_z$ : nu
- E est l'énergie en J
- $\lambda$ est la longueur d'onde en m : lamda

- **Energie de liaison** : L'énergie de liaison d'une molécule est l'énergie qu'il faut fournir à cette molécule pour la dissocier en centre actif.

  **N.B** : Pour qu'une radiation de longueur d'onde $\lambda$ puisse déclencher une réaction chimique, il faut que l'énergie apportée $E \geq \frac{E_0}{N}$ avec

  - $E_0$ Est l'énergie de liaison par mol en $Jmol^{-1}$
  - $N=6.0210^{23}mol^{-1}$ est le nombre d'Avogadro

  A la limite $E=E \leftrightarrow h\frac{C}{\lambda}=\frac{E_0}{N} \rightarrow \lambda=\frac{hCN}{E_0}$

- **Les différentes phases d'une réaction en chaine** : Les différentes phases d'une réaction en chaine sont : l'initiation, la propagation et la rupture
- **L'initiation** : L'initiation ou amorçage ou commencement est le déclenchement de la réaction. Elle est photochimique.

  Au cours de cette phase il y a création de centres actifs.
- **La propagation** : Au cours de cette phase il y a disparition des centres actifs crées lors de l'initiation, création de nouveaux centres actifs et régénération des centres actifs disparus.
- **La rupture** : C'est la recombinaison des centres actifs.
- **Exemples de réactions en chaine** :
- **La monochloration du méthane** : $CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3\text{-}Cl + HCl$
  - Initiation : $Cl_2 \rightarrow \dot{Cl} + \dot{Cl}$
  - Propagation : $CH_4 + \dot{Cl} \rightarrow \dot{CH_3} + HCl$

    $CH_3^{\cdot} + Cl_2 \rightarrow CH_3\text{-}Cl + Cl^{\cdot}$
  - Rupture : $CH_3^{\cdot} + Cl^{\cdot} \rightarrow CH_3\text{-}Cl$ (1)

    $Cl^{\cdot} + Cl^{\cdot} + M \rightarrow Cl_2 + M^{*}$ (2)

    $CH_3^{\cdot} + CH_3^{\cdot} \rightarrow C_2H_6$ (3)

  Remarque : M est un partenaire de choc et $M^{*}$ signifie que M a reçu un surplus d'énergie.

  M n'existe pas dans (1) et (3) car l'énergie libérée est perdue sous forme de vibration le long de C-H

- **La monobromuration de l'éthane** : $C_2H_6 + B_{r2} \rightarrow C_2H_5\text{-}B_r + HB_r$
  - Initiation : $B_{r2} \rightarrow B_r^{\cdot} + B_r^{\cdot}$
  - Propagation : $C_2H_6 + B_r^{\cdot} \rightarrow C_2H_5^{\cdot} + HB_r$

    $C_2H_5^{\cdot} + B_{r2} \rightarrow C_2H_5\text{-}B_r + B_r^{\cdot}$
  - Rupture : $C_2H_5^{\cdot} + B_r^{\cdot} \rightarrow C_2H_6$

- **La monoiodation du méthane** : $CH_4 + I_2 \rightarrow CH_3\text{-}I + HI$
  - Initiation : $I_2 \rightarrow I^{\cdot} + I^{\cdot}$



Scanned by CamScanner

- Propagation : $CH_4 + I^{\cdot} \rightarrow CH_3^{\cdot} + HI$
  $CH_3^{\cdot} + I_2 \rightarrow CH_3\text{-}I + I^{\cdot}$
- Rupture : $CH_3^{\cdot} + I^{\cdot} \rightarrow CH_3\text{-}I$

- **La synthèse de HCl** : $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2H\text{-}Cl$
  - Initiation : $Cl_2 \rightarrow Cl^{\cdot} + Cl^{\cdot}$
  - Propagation : $H_2 + Cl^{\cdot} \rightarrow H^{\cdot} + HCl$
    $H^{\cdot} + Cl_2 \rightarrow HCl + Cl^{\cdot}$
  - Rupture : $H^{\cdot} + Cl^{\cdot} \rightarrow HCl$

loi de transformat°:
C'est la fonct° à partir de laquelle on étudie l'évolution d'1 réact°.

$A \longrightarrow B + B'$

| | | | |
|---|---|---|---|
| à $t=0$ | $C_0$ | 0 | 0 |
| $t \neq 0$ | $C = C_0 - x$ | $x$ | $x$ |

$\begin{cases} V = k[A] \\ V = -\frac{d[A]}{dt} \end{cases} \Rightarrow -\frac{d[A]}{dt} = k[A]$.

$-\int_{C_0}^{C} \frac{d[A]}{[A]} = k\int_0^t dt \Rightarrow -\ln[A]\Big|_{C_0}^{C} = kt\Big|_0^t$.

$\ln C_0 - \ln C = kt \Rightarrow \ln\frac{C_0}{C} = kt$

$C = C_0 e^{-kt}$ or $C = C_0 - x$

$C_0 - x = C_0 e^{-kt} \Rightarrow x = C_0 - C_0 e^{-kt}$.

$$\boxed{x = C_0\left(1 - e^{-kt}\right)}$$

Mq $V_{t_{1/2}} = \frac{kC_0^2}{4}$

1ère Méthode : $V = k[A]^2$ or $[A] = C$

$V = kC^2$ or $t_{1/2} \Rightarrow C = \frac{C_0}{2} \Rightarrow \boxed{V_{t_{1/2}} = \frac{kC_0^2}{4}}$

2ème Méthode : $V = -\frac{d[A]}{dt}$ or $[A] = C$

$\boxed{V = -\frac{dC}{dt}}$ $C = \frac{1}{kt + \frac{1}{C_0}} \Rightarrow \frac{dC}{dt} = \frac{0 - k}{\left(kt + \frac{1}{C_0}\right)^2}$

$V = \frac{k}{\left(kt + \frac{1}{C_0}\right)^2}$

$V_{t_{1/2}} = \frac{k}{\left(kt_{1/2} + \frac{1}{C_0}\right)^2} = \frac{k}{\left(k \times \frac{1}{kC_0} + \frac{1}{C_0}\right)^2}$

$= \frac{k}{\left(\frac{2}{C_0}\right)^2} = \frac{k}{\frac{4}{C_0^2}}$

$$\boxed{V_{t_{1/2}} = \frac{kC_0^2}{4}}$$



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LA CINETIQUE CHIMIQUE

**Exercice 1** : La décomposition du $N_2O_5$ en solution dans le tétrachlorure de carbone est une réaction du premier ordre. On fait les mesures suivantes :

| $t(s)$ | 0 | 2225 |
|---|---|---|
| $[N_2O_5]\ (molL^{-1})$ | $1{,}5.10^{-2}$ | $1{,}35.10^{-2}$ |

1) Calculer la constante de vitesse.
2) A quel instant la concentration restante sera de $1{,}44.10^{-2} mol/L$
3) Calculer le temps de demi-réaction. Que devient ce temps si l'on doublait la concentration initiale.
4) Calculer la vitesse de la réaction au temps de demi-réaction de deux (2) manières.

**Exercice 2** : A $t = 0$, on introduit $10^{-2} mol$ d'acétate d'éthyle et $10^{-2} mol$ de soude dans un milieu réactionnel et le volume ainsi trouvé est de un litre. Au bout de $10 min$, on constate que 20% d'ester ont disparu.

1) Déterminer la constante de vitesse et le temps de demi-réaction sachant que la réaction est d'ordre 2.
2) Calculer la vitesse de la réaction en ce temps de deux (2) manières
3) a) A quel instant 60% d'acétate vont-il rester ?
   b) A quel instant 60% d'acétate vont-il disparaitre ?

**Exercice 3** : On mélange à la date $t = 0$, une mole d'éthanol et une mole d'acide acétique. On détermine la quantité de matière d'ester formée à la date $t$ ; elle est de la forme $n = \frac{0{,}67t}{17+t}$ $(t\ en\ h\ et\ n\ en\ mol)$

1) Quelle est la vitesse moyenne de formation de l'ester pour $t = 0$ et $t = 50h$
2) Quelle est la vitesse de formation de l'ester pour $t = 20h$
3) On recommence l'expérience à $t = 0$ avec $0{,}01 mol/L$ d'alcool et $0{,}01 mol/L$ d'acide, les quantités d'ester formé en fonction du temps sont :

| $t(s)$ | 0 | 180 | 240 | 300 | 360 |
|---|---|---|---|---|---|
| $[ester]\ en\ molL^{-1}$ | 0 | $2{,}6.10^{-3}$ | $3{,}17.10^{-3}$ | $3{,}66.10^{-3}$ | $4{,}11.10^{-3}$ |

a) Montrer, à partir du tableau, que la réaction est d'ordre global 2.
b) Calculer la constante de vitesse à $25°C$ ainsi que le temps de demi-réaction et la vitesse à cet instant.

**Exercice 4** : La synthèse du bromure d'hydrogène à partir dibrome et du dihydrogène s'écrit : $Br_2 + H_2 \rightarrow 2HBr$

Le mécanisme de cette réaction s'effectue selon :

$Br_2 \rightarrow 2\dot{B}r$
$\dot{B}r + H_2 \rightarrow HBr + \dot{H}$
$\dot{H} + HBr \rightarrow H_2 + \dot{B}r$
$\dot{H} + Br_2 \rightarrow HBr + \dot{B}r$
$\dot{B}r + \dot{B}r + M \rightarrow Br_2 + M^*$

1) Mettre en évidence les trois étapes de ce mécanisme.
2) Quels sont les radicaux qui interviennent dans ce mécanisme.



Scanned by CamScanner

3) Ce mécanisme est-il le même que celui de la synthèse chlorure d'hydrogène.
4) Sachant qu'il faut apporter $192Kj$ pour transformer une mole de bibrome en deux moles d'atomes de brome, calculer la longueur d'onde maximale des radiations lumineuses qui permettent d'initier cette réaction.
On donne : constante de Planck= $6{,}62.10^{-34}J.s$, constante d'Avogadro $= 6{,}02.10^{23}/mol$, célérité de la lumière=$3.10^{8}m/s$

**Exercice 5** : Dans tout l'exercice le volume molaire des gaz, considéré comme parfaits est $V_m = 24L/mol$.
On veut étudier, à la température, la cinétique de la décomposition de l'eau oxygénée.
L'équation bilan s'écrit : $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$

1) A la date $t = 0$ debut de l'expérience, la solution contient $6.10^{-2}mol$ d'eau oxygénée et son volume $V_s = 1L$, considéré comme constant au cours de la réaction. Pour étudier l'avancement de la réaction, on mesure à pression constante, le volume de dioxygène $V(O_2)$ dégagé au cours du temps.

a) Exprimer la quantité de matière du dioxygène $n(O_2)$ formée à la date $t$ en fonction de $V(O_2)$ et $V_m$
b) En déduire à la même date, la quantité de matière d'eau oxygénée disparue puis la concentration en eau oxygéné restante notée $C$
c) Les résultats de l'expérience sont indiqués dans le tableau suivant

| $t(min)$ | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 60 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V(O_2)$ | 0 | 0,16 | 0,27 | 0,36 | 0,44 | 0,5 | 0,54 | 0,59 | 0,61 | 0,68 |
| $C(mol/L)$ | $6.10^{-2}$ | | | | | | | | | |

Compléter le tableau et tracer le graphe représentant les variations de $C$ en fonction du temps.

2) L'étude complète de cette réaction montre que la vitesse $V(t)$ est liée à la concentration $C$ par une relation du type $V = kC$ avec $k = 7{,}9.10^{4}\ s^{-1}$
a) Cette relation est-elle compatible avec les résultats du 1)d) ?
b) D'après les résultats du cours, prévoir qualitativement l'évolution de la constante $k$ appelée constante de vitesse, en fonction du temps.

**Exercice 6** : On se propose d'étudier la réaction de saponification d'un ester : l'éthanoate d'éthyle. A la date $t = 0$, on mélange un volume $V_1 = 0{,}5L$ d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire $C_1 = 2{,}0.10^{-2}mol/L$ avec un volume $V_2 = 0{,}5L$ d'une solution d'éthanoate d'éthyle de concentration molaire $C_2 = 2{,}0.10^{-2}mol/L$. Il se forme de l'éthanoate de sodium et de l'éthanol.

1) Ecrire l'équation bilan de la réaction.
2) Par dosage acido-basique, on détermine la concentration de l'hydroxyde de sodium restant la date $t$.
a) Montrer qu'on peut déduire la concentration molaire de l'éthanol notée $[C_2H_5 - OH]$ à la date $t$.
b) Calculer $[C_2H_5 - OH]$ à la date $t = 25min$, sachant que la concentration molaire des ions $OH^-$ est de $0{,}62.10^{-2}mol/L$
3) En dosant de temps de temps les ions hydroxyde de la solution on obtient les résultats suivants :



Scanned by CamScanner

| $t(\text{min})$ | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $[OH^-]$ $(10^{-2}mol/L$ | 0,8 | 0,67 | 0,57 | 0,5 | 0,44 | 0,4 | 0,33 | 0,29 |
| $[C_2H_5-OH]$ | | | | | | | | |

a) Compléter le tableau ci-dessus en calculant la concentration molaire de l'éthanol.
b) Tracer la courbe de variation de $[C_2H_5-OH]$ en fonction du temps.
Echelles : $1Cm$ pour $10min$; $1Cm$ pour $10^{-3}mol/L$
c) A quelle date la vitesse de formation de l'éthanol est-elle la plus grande ?
d) A quelle date la concentration molaire de l'éthanol sera-t-elle de $0{,}53.10^{-2}mol/L$ ?
4) Calculer la vitesse moyenne de l'éthanol entre les dates $t_1 = 20min$ et $t_2 = 45min$
5) Définir la vitesse instantanée d'apparition de l'éthanol.
- La déterminer pour $t_3 = 10min$ et $t_4 = 60min$
- Comment varie la vitesse au cours du temps ? Justifier cette évolution.

Exo d'applicat°: Soit la réact° du peroxodisulfate sur les ions iodures :

$S_2O_8^{2-} + 2I^- \longrightarrow 2SO_4^{2-} + I_2$

A l'instant initial, on introduit $10.10^{-2}$ mol.$L^{-1}$ de chaque réactif dans le milieu réactionnel et on obtient les variat° de la concentrat° du diode en fonct° du temps : (Voir en bas).

1.) Tracer graphiquement des variat° de la concentrat° du diode en fonct° du temps. Echelles : En abscisse : 1cm pour 1mn
En ordonnée : 1cm pour $10^{-2}$ molL$^{-1}$

2.) Déterminer graphiquement :
a.) La vitesse moyenne de formation de $I_2$ entre 2 et 4 mn
b.) la vitesse instantanée de formation de $I_2$ à la date t = 4 minutes
c.) La vitesse moyenne de disparit° de $I^-$ entre 2 et 4 mn.
d.) le temps de demi-réaction.

3.) a.) A quel instant il apparait $7.10^{-2}$ mol $L^{-1}$ de $I_2$ dans le milieu réactionnel ?
b.) A quel instant il reste $7.10^{-2}$ mol $L^{-1}$ de $S_2O_8^{2-}$ dans le milieu réactionnel.

| t(min) | 0 | 2 | 4 | 6 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|
| $[I_2]$ (Cmol $L^{-1}$) | 0 | 4 | 6 | 7,5 | 9 |



Scanned by CamScanner

# LES ÉQUILIBRES CHIMIQUES

1) **Les définitions** :

- **Equilibre chimique** : L'équilibre chimique est l'état où deux réactions inverses se limitent mutuellement.
  A l'équilibre le milieu réactionnel n'évolue plus et $(V_1 = V_2)$
  On distingue 2 types d'équilibres : l'équilibre homogène et équilibre hétérogène.
- **Equilibre homogène** : L'équilibre homogène est l'équilibre dans lequel le milieu réactionnel constitue une seule phase.
  **Exemples** : $PCl_5 \rightleftarrows PCl_3 + Cl_2$ (g, g, g)
  $CH_3 - COOH + C_2H_5 - OH \rightleftarrows CH_3 - COO - C_2H_5 + H_2O$ (l, l, l, l)
- **Equilibre hétérogène** : L'équilibre hétérogène est l'équilibre dans lequel le milieu réactionnel constitue plusieurs phases.
  **Exemples**: $C_aCO_3 \rightleftarrows C_aO + CO_2$ (s, s, g)
  $3F_e + 4H_2O \rightleftarrows F_{e_3}O_4 + H_2$ à 800°C (s, g, s, g)
- **Facteurs d'équilibre** : Un facteur d'équilibre est un paramètre variable indépendant dont la modification fait déplacer l'état d'équilibre.
  Les facteurs d'équilibre sont : la température, la pression et la concentration.
- **Coefficient de dissociation** : Le coefficient de dissociation ou degré de dissociation d'un corps est le quotient de son nombre de mole dissout par son nombre de mole initial. $\alpha = \frac{x}{n_o}$ ou $\alpha = \frac{n}{n_o}$ ou $\alpha = \frac{2x}{n_o}$ (la valeur du nombre dissout dépend des équations bilans des réactions)

  **N.B** : En phase gazeuse on a :

➢ $\frac{P_A}{P_t} = \frac{n_A}{n_t} \rightarrow P_A = \frac{n_A P_t}{n_t}$

$P_A$ : Pression du corps $A$ à l'équilibre, $P_t$ : Pression totale de tous les corps à l'équilibre

$n_o$ : Nombre de mole du corps $A$ à l'équilibre, $n_t$: nombre de mole total à l'équilibre

➢ $\frac{d_A}{d_o} = \frac{n_o}{n_t}$

$d_A$ : Densité à l'équilibre, $d_o$ : densité initiale du corps $A$

$n_A$ : Nombre de mole initial $A$ , $n_t$ : nombre de mole total à l'équilibre

- **Phase** : Une phase est un constituant ou un ensemble de constituant ayant les mêmes propriétés en tout ses points.
  - 1gaz → 1phase
  - Plusieurs gaz → 1phase
  - 1 liquide → 1phase
  - Plusieurs liquides miscibles → 1phase
  - 1 solide → 1phase
  - Plusieurs solides → plusieurs phases



Scanned by CamScanner

- **Variance d'un système** : La variance d'un système à l'équilibre est le nombre maximal de facteurs d'équilibres que l'on peut faire varier en même temps sans rompre l'équilibre considéré.

  **N.B**: La variance d'un système à l'équilibre ne dépasse pas trois.

2) **Les lois quantitatives de l'équilibre : Lois d'action de masses de Waague et de Guldberg**:

- **Pour un système homogène** : Soit l'équilibre homogène suivant :

$$aA + bB \rightleftarrows cC + dD$$

➢ **Enoncé relative aux concentrations molaires** : Dans un système homogène à température constante, il existe un rapport constant $K_C$ proportionnel au produit de la concentration des corps formés élevés à la puissance de leur coefficient stœchiométrique et inversement proportionnel au produit de la concentration des corps engagés élevés à la puissance de leur coefficient stœchiométrique.

$K_C = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$ Avec $K_C$ la constante d'équilibre relative aux concentrations molaires et dépend de la température.

**Démonstration** :

La vitesse de la réaction est :

$$\begin{cases} \text{-dans le sens 1 : } V_1 = K_1 * [A]^a * [B]^b \rightarrow K_1 = \frac{V_1}{[A]^a \cdot [B]^b} \\ \text{-dans le sens 2 : } V_2 = K_2 * [C]^c * [D]^d \rightarrow K_2 = \frac{V_2}{[C]^c \cdot [D]^d} \end{cases}$$

Par définition $K_C = \frac{k_1}{k_2} = \frac{V_1}{[A]^a \cdot [B]^b} * \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{V_2}$ or à l'équilibre $V_1 = V_2 \rightarrow K_C = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$

➢ **Enoncé relative aux pressions partielles** : Dans un système homogène à température constante, il existe un rapport constant $K_P$ proportionnel au produit de la pression partielle des corps formés élevés à la puissance de leur coefficient stœchiométrique et inversement proportionnel au produit de la pression partielle des corps engagés élevés à la puissance de leur coefficient stœchiométrique

$K_P = \frac{(P_C)^c \cdot (P_D)^d}{(P_A)^a \cdot (P_B)^b}$ Avec $K_P$ la constante d'équilibre relative aux pressions partielles et dépend de la température.

**Relation entre $K_P$ et $K_C$ :**

Soit $aA + bB \rightleftarrows cC + dD$ en phase gazeuse

D' après là loi des gaz parfaits on a : $PV = nRT \rightarrow P = \frac{n}{V}RT \rightarrow C = \frac{P}{RT}$

La vitesse de la réaction est donc:

$$\begin{cases} \text{-dans le sens 1 : } V_1 = K_1 * (P_A)^a * (P_B)^b * RT^{-(a+b)} \rightarrow K_1 = \frac{V_1}{(P_A)^a \cdot (P_B)^b \cdot RT^{-(a+b)}} \\ \text{-dans le sens 2 : } V_2 = K_2 * {P_C}^c * {P_D}^d * RT^{-(c+d)} \rightarrow K_2 = \frac{V_2}{(P_C)^c \cdot (P_D)^d \cdot RT^{-(c+d)}} \end{cases}$$

Par définition $K_C \frac{k_1}{k_2} = \frac{V_1}{(P_A)^a \cdot (P_B)^b \cdot RT^{-(a+b)}} * \frac{(P_C)^c \cdot (P_D)^d \cdot RT^{-(c+d)}}{V_2}$ à l'équilibre $V_1 = V_2$

$\rightarrow K_C \frac{(P_C)^c \cdot (P_D)^d}{(P_A)^a \cdot (P_B)^b} * RT^{-[(c+d)-(a+b)]}$

$$\begin{cases} K_P = \frac{(P_C)^c \cdot (P_D)^d}{(P_A)^a \cdot (P_B)^b} \\ \Delta n = (c+d) - (a+b) \end{cases}$$



Scanned by CamScanner

Alors $K_C = K_P * (RT)^{-\Delta n}$ ou $K_C = \frac{K_P}{(RT)^{\Delta n}}$

- **Pour un système hétérogène** : Les lois d'action de masses s'écrivent en ne tenant compte que des corps gazeux.

Soit $aA + bB \rightleftarrows cC + dD$

g s s g

$K_C = \frac{[D]^d}{[A]^a}$ et $K_P = \frac{(P_D)^d}{(P_A)^a}$ donc $K_C = K_P * (RT)^{-(d-a)}$ ou $K_C = \frac{K_P}{(RT)^{d-a}}$

**Exercice d'application** : on réalise la réaction d'estérification entre l'éthanol et l'acide éthanoïque à température constante.

a) On part d'un mélange équimolaire d'une mole d'acide éthanoïque et d'éthanol. Calculer $K_c$.

b) On part maintenant de 3 moles d'acide éthanoïque et de 2 moles d'éthanol. Quelle est, à cette même température, la composition du mélange à l'équilibre ?

3) **Les lois qualitatives de l'équilibre : Lois de déplacement** : Le déplacement des équilibres se fait selon le principe de modération de Lechatelier.

**Principe de modération de Léchatelier** : La modification de l'un des facteurs d'équilibre fait déplacer l'équilibre dans le sens contraire à ce facteur.

- **Influence de la température** : **Loi de Vant'Hoff** : Dans un système à l'équilibre à pression constante :

➢ Lors d'une élévation de température, l'équilibre se déplace dans le sens endothermique (sens qui consomme de la chaleur).

➢ Lors d'une diminution de la température, l'équilibre se déplace dans le sens exothermique (sens qui dégage de la chaleur).

**Exemple** : $PCl_5 \underset{(2)}{\overset{(1)}{\rightleftarrows}} PCl_3 + Cl_2 + Q$

✓ Lors d'une élévation de température, l'équilibre se déplace dans le sens 2

✓ Lors d'une diminution de température, l'équilibre se déplace dans le sens 1

- **Influence de la pression** : **Loi de Lechatelier** : Dans un système à l'équilibre à température constante :

➢ Lors d'une augmentation de pression, l'équilibre se déplace dans le sens qui va vers les plus petits nombres de moles gazeuses.

➢ Lors d'une diminution de pression, l'équilibre se déplace dans le sens qui va vers les plus grands nombres de moles gazeuses.

**Exemple** : $PCl_5 \underset{(2)}{\overset{(1)}{\rightleftarrows}} PCl_3 + Cl_2$

$1V_m$ $1V_m$ $1V_m$

✓ Lors d'une augmentation de pression, l'équilibre se déplace dans le sens 2

✓ Lors d'une diminution de pression, l'équilibre se déplace dans le sens 1

- **Influence de la concentration** : **Loi de modération** : Dans un système à l'équilibre à température constante : de Lechatelier

➢ Lorsqu'on augmente la concentration d'un corps, l'équilibre se déplace dans le sens de disparition de ce corps.

➢ Lorsqu'on diminue la concentration d'un corps, l'équilibre se déplace dans le sens d'apparition de ce corps.



Scanned by CamScanner

- Lorsqu'on élimine un corps la réaction devient totale dans le sens de formation de ce corps

  **Exemple:** $CH_3 - COOH + C_2H_5 - OH \rightleftarrows CH_3 - COO - C_2H_5 + H_2O$

- ✓ Lorsqu'on augmente la concentration de l'acide, l'équilibre se déplace dans le sens 1
- ✓ Lorsqu'on diminue la concentration de l'acide, l'équilibre se déplace dans le sens 2
- ✓ Lorsqu'on élimine le $H_2O$, la réaction devient totale dans le sens 1

4) **Règle des phases de Gibbs** : La règle des phases de Gibbs permet de calculer la variance d'un système à l'équilibre. On a : $V = C + k - \varphi$

- $C$ est le nombre de constituants indépendants avec $C = n - 1$
- $n$ est le nombre total de constituants
- $\varphi$ est le nombre de phase
- $k = 2$ : Lorsque la température et de la pression ont une influence sur le système à l'équilibre et
- $k = 1$ Si l'un de ces 2 facteurs (température ou pression) n'a pas d'influence sur le système à l'équilibre alors. /.

Si V=3 on dit que V trivariant

## Suite de l'exo 7 de cinétique Chimique:

3.) Construire sur papier millimétré la courbe $X = f(t)$
Echelles : 1cm pour 2min et 1cm pour $5.10^{-3}$ mol/L

- Calculer la vitesse moyenne de disparition de l'eau oxygénée entre les instants t=10min et t=20min.
- Déterminer graphiquement les vitesses instantanées aux dates t=0 et t=15min.



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LES EQUILIBRES CHIMIQUES

**Exercice 1** : Soit les équilibres chimiques suivants :

1) $2NH_3 \rightleftharpoons N_2 + 3H_2$
2) $3F_e + 4H_2O \quad F_{e_3}O_4 + 4H_2$ à $800°C$
3) $C_aCO_3 \quad C_aO + CO_2 + 49{,}5Kcal$
4) $2H_2 + O_2 \quad 2H_2O - 136{,}64\ Kcal$
5) $2SO_2 + O_2 \quad 2SO_3 + Q(J)$

a) Comment évolue les équilibres 1, 2 et 5 lors d'une augmentation de pression.
b) Comment évolue les équilibres 3, 4 et 5 lors d'une diminution de température
c) Dans quel sens se déplace l'équilibre 5 lorsqu'on augmente la concentration de $SO_2$
d) Comment évolue la réaction 2 lorsqu'on supprime $H_2$.
e) Calculer la variance de chaque système à l'équilibre.

**Exercice 2** :

1) On fait agir de l'acide acétique sur l'éthanol ; sachant qu'on est parti d'une mole d'acide et d'alcool, calculer la constante d'équilibre relative aux concentrations molaires.
2) L'équilibre précédent étant atteint on ajoute une mole d'acide. Dans quel sens l'équilibre est-il déplacé et pourquoi ? Quelle est la composition du mélange obtenu à l'équilibre.

**Exercice 3** : On mélange à $t = 0$, $138g$ d'acide méthanoique ; $64g$ de méthanol et $18g$ d'eau à une certaine température.
Déterminer la composition du mélange à l'équilibre sachant qu'en partant d'un mélange équimolaire d'acide méthanoïque et de méthanol à la même température, on obtient 90% d'ester.

Attention trimestre

**Exercice 4** : On considère l'équilibre homogène en phase gazeuse :
$PCl_5 \rightleftharpoons PCl_3 + Cl_2 + Q$

1) Prévoir sur cet équilibre une augmentation de température et une diminution de pression puis calculer sa variance.
2) Exprimer la constante d'équilibre $K_P$ en fonction du coefficient de dissociation $\alpha$ de $PCl_5$ et de la pression totale $P$ régnant à l'équilibre.
3) Sachant qu'à une certaine température de $20°C$, 40% de $PCl_5$ sont dissociés sous une pression de 2 atmosphères, calculer $K_P$ et $K_C$ à cette température.
On donne $R = 0{,}082U.S.I$ constante des gaz parfaits
4) Trouver la composition du mélange lorsque le coefficient de dissociation $\alpha = 60\%$
5) Déterminer le coefficient de dissociation lorsque la pression totale à l'équilibre vaut $P = 1atm$

Attention trimestre

**Exercice 5** : Le dioxyde d'azote et son dimère sont en équilibre selon l'équation :
$N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$
Sous la pression d'une atmosphère à $45°C$, la densité par rapport à l'air du mélange est 2,34.

1) Calculer les pressions partielles des deux (2) constituants en fonction du degré de dissociation $\alpha$ de $N_2O_4$
2) Calculer $\alpha$



Scanned by CamScanner

3) Calculer $K_P$ et $K_C$ à cette température.
4) Déterminer la composition du mélange à la même température sous une pression de $10atm$ sachant qu'on est parti d'une mole de $N_2O_4$

**Exercice 6 :**

On mélange $57,2mL$ d'acide acétique et $109mL$ du 3-méthylbutan-1-ol. On obtient un ester dont la saveur et l'odeur sont celle de la banane.

1) Ecrire l'équation bilan de la réaction et nommer l'ester former.
2) Les masses volumiques des réactifs sont :
- Acide acétique : $1,05.10^3 g/L$
- 3-méthylbutan-1ol : $0,81.10^3 g/L$

a) Quelle est, en mol, la composition du mélange initiale ?
b) Calculer la constante d'équilibre $K_C$ sachant qu'à l'équilibre il reste $20g$ d'acide dans le mélange.

3) Dans ce mélange à l'équilibre, on verse 57,2mL d'acide acétique. Dans quel sens se déplacera l'équilibre ? en déduire la quantité de matière de l'ester formé.

Exo 7 de cinétique: On veut étudier, en fonct° du temps, la décomposit° de l'eau oxygéné $H_2O_2$ en eau et dioxygène
Pour cela, on verse de l'eau oxygéné dans un ballon qui contient déja une ptite quantité de solut° de chlorure de fer ($Fe^{3+} + Cl^-$), les ions $Fe^{3+}$ servant de catalyseur
A $t=0$, la concentrat° molaire en $H_2O_2$ est égale à $6.10^{-2}$ mol/l dans un volume total de liquide de 40mL. Le ballon est maintenu a température constante pdt toute la durée de l'opérat°.
A l'aide d'un dispositif approprié, on mésure le volume $V_{O_2}$ de dioxygene dégagé, sous une pression constante, à des instants $t$ et on obtient les resultats suivants :

| t(min) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{O_2}$(mL) | 0 | 6,25 | 10,9 | 14,6 | 17,7 | 21,05 |

1) Ecrire l'équat° bilan de la réact° de décomposit° de l'eau oxygénée.
2) Sachant que le volume d'un gaz dans les condit° de l'expérience vaut 24 L/mol, déduire des résultats obtenus la concentrat° X en (mol $L^{-1}$) d'eau oxygénée restant aux divers instants considérés.



Scanned by CamScanner

# ACIDES ET BASES EN SOLUTION AQUEUSE-NOTION DE $P^H$

1) **Les définitions** :

- **Solution aqueuse** : On appelle solution aqueuse toute solution dont le solvant est l'eau.
- **Solvant** : Le solvant est la substance en grande quantité capable de dissoudre d'autre corps.
- **Soluté** : Le soluté est la substance dissoute dans le solvant.
- **Concentration molaire** : La concentration molaire est le rapport du nombre de mole par le volume. Elle se note C ou [A] avec $C_A = \frac{n}{V}$

✓ Pour une solution normale ou molaire : C=1mol/L
✓ Pour une solution décinormale ou décimolaire : $C=10^{-1}$mol/L
✓ Pour une solution centinormale ou centimolaire : $C=10^{-2}$mol/L
✓ Pour une solution millinormale ou millimolaire : $C=10^{-3}$mol/L

- **Dilution** : La dilution consiste à ajouter plus de solvant. Dans ce cas :
- La concentration de la solution diminue : $C_2 < C_1$
- Le volume de la solution augmente : $V_2 > V_1$
- Le nombre de mole de la solution reste constante : n (avant dilution)=n (après dilution)

$\rightarrow n_1 = n_2 \leftrightarrow C_1V_1 = C_2V_2 \rightarrow C_2 = \frac{C_1V_1}{V_2}$ avec $V_2 = V_1 + v$ et $v$ est le volume ajout

**Application** : On fait dissoudre 0,4g de $N_aOH$ dans 400 $Cm^3$ d'eau.

a) Calculer la concentration $C_1$ de la solution.
b) On complète le volume de la solution à 1L en ajoutant de l'eau. Quelle est la concentration $C_2$ de la nouvelle solution ?
c) Quel volume d'eau doit-on ajouter à la dernière solution pour que l'on ait $C_3 = \frac{1}{2}C_2$ ?

2) **Le solvant l'eau** : L'eau est un composé polaire de formule $H_2O$. Sa formule développée est : $H^+ \quad O^- \quad H^+$

NB L'eau est le solvant le plus utilisé. C'est un solvant dissociant, ionisant et solvatant.

- **La dissociation** : Les composés ioniques suivant : $N_aCl$, $N_aOH$, KCl, KOH, $K_2C_{r2}O_7$, $KM_nO_4$ sont dissociés en solution aqueuse en :

$N_aCl \longrightarrow N_a^+ + Cl^-$ (solution de chlorure de sodium)
$N_aOH \longrightarrow N_a^+ + OH^-$ (solution de soude)
$KCl \longrightarrow K^+ + Cl^-$ (solution de chlorure de potassium)
$KOH \longrightarrow K^+ + OH^-$ (solution d'hydroxyde de potassium)
$K_2C_{r2}O_7 \longrightarrow 2K^+ + C_{r2}O_7^{-2}$ (solution de dichromate de potassium)
$KM_nO_4 \longrightarrow K^+ + M_nO_4^-$ (solution de permanganate de potassium)

- **L'ionisation** : Les composés polaires suivant : HCl, $HB_r$, HI, $H_2SO_4$, $HNO_3$ sont ionisés dans l'eau en :

$HCl + H_2O \longrightarrow Cl^- + H_3O^+$ (solution d'acide chlorhydrique)
$HB_r + H_2O \longrightarrow B_r^- + H_3O^+$ (solution d'acide bromhydrique)
$HI + H_2O \longrightarrow I^- + H_3O^+$ (solution d'acide iodhydrique)



Scanned by CamScanner

$H_2SO_4 + 2H_2O \longrightarrow SO_4^{2-} + 2H_3O^+$ (solution d'acide sulfurique)

$HNO_3 + H_2O \longrightarrow NO_3^- + H_3O^+$ (solution d'acide nitrique)

- **La solvatation** : Les ions en solution aqueuse sont entourés de molécules d'eau : ils sont solvatés.

**Application** : On mélange 2 solutions $S_1$ et $S_2$

$S_1$ : 0,5L d'iodure de potassium KI de concentration $0,4 mol L^{-1}$.

$S_2$ : 0,5L de peroxodisulfate de potassium $K_2S_2O_8$ de concentration $0,2 mol L^{-1}$.

a) Ecrire les équations de dissolutions de KI et $K_2S_2O_8$.

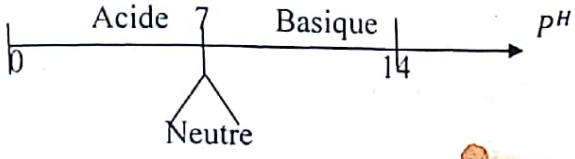
b) Calculer les concentrations des ions $I^-$ et $S_2O_8^{2-}$ dans la solution S

3) **Le $P^H$ d'une solution** :

- **Définition** : Le $P^H$ d'une solution est l'opposé du logarithme décimal de la concentration des ions hydroniums ou ions oxoniums ($H_3O^+$).

$P^H = -Log[H_3O^+] \rightarrow [H_3O^+] = 10^{-PH}$

Le $P^H$ d'une solution est compris entre 0 et 14 :




- Si $P^H < 7$ alors la solution est acide et dans ce cas $[H_3O^+] > [OH^-]$
- Si $P^H > 7$ alors la solution est basique et dans ce cas $[H_3O^+] < [OH^-]$
- Si $P^H = 7$ alors la solution est neutre et dans ce cas $[H_3O^+] = [OH^-]$

- **Autoprotolyse de l'eau** : L'autoprotolyse de l'eau est l'équilibre ionique de l'eau.

$H_2O \longrightarrow H^+ + OH^-$

$H_2O + H^+ \longrightarrow H_3O^+$

$2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$

- **Produit ionique de l'eau** : Le produit ionique de l'eau est la constante $K_e$ de l'équilibre ionique de l'eau.

$2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$

On a: $K_e = [H_3O^+] \times [OH^-] \rightarrow [OH^-] = \frac{K_e}{[H_3O^+]}$

$K_e$ depend de la température: à 25°C $K_e = 10^{-14}$

4) **Acide fort- base forte** :

- **Acide fort** : Un acide fort est un acide qui se dissocie totalement dans l'eau.

**Exemples** : $HCl + H_2O \longrightarrow Cl^- + H_3O^+$

$HI + H_2O \longrightarrow I^- + H_3O^+$

**N.B** :

- Dans une solution d'acide fort il n'y a pas de molécule d'acide fort.
- De 2 acides forts l'acide le plus fort est celui dont le $P^H$ est plus petit par conséquent $[H_3O^+]$ plus grande.

Des solutions $S_1$, $S_2$, $S_3$: Si $P^{H_1} < P^{H_2} < P^{H_3} \rightarrow [H_3O^+]_1 > [H_3O^+]_2 > [H_3O^+]_3$ alors $S_1 > S_2 > S_3$

- **Base forte** : Une base forte est une base qui se dissocie totalement dans l'eau.

**Exemples** : $N_aOH \longrightarrow N_a^+ + OH^-$



Scanned by CamScanner

$KOH \longrightarrow K^+ + OH^-$

**N.B** :

- Dans une solution de base forte il n'y a pas de molécule de base forte.
- De 2 bases fortes la base la plus forte est celle dont le $P^H$ est plus grand par conséquent $[H_3O^+]$ plus petit.

▪ **Solution d'acide chlorhydrique** : L'acide chlorhydrique est un acide fort de formule HCl. On obtient une solution d'acide chlorhydrique en dissolvant le HCl dans l'eau.

- **Equation de dissolution** : $HCl + H_2O \longrightarrow Cl^- + H_3O^+$
- **La concentration** : est : $[HCl]_o = [Cl^-] = [H_3O^+] = C_a = \frac{n_o(HCl)}{V}$
- **Le $P^H$ de la solution** : est : $P^H = -LogC_a$ pour $10^{-6} \leq C_a \leq 10^{-2}$molL$^{-1}$
  Le $P^H \approx 7$ pour $C_a < 10^{-6}$ molL$^{-1}$
- **Inventaire qualitatif** : Il s'agit de citer toutes les espèces en solution.
  **N.B** : Dans une solution aqueuse sont présents les ions $H_3O^+$ et $OH^-$. Ils proviennent de l'autoprotolyse de l'eau.
  Les espèces en solution d'acide chlorhydrique sont : $H_3O^+$, $OH^-$, $Cl^-$.
- **Inventaire quantitatif** : Il s'agit de calculer la concentration des espèces citées. Pour cela on utilise :

- La définition du $P^H$ : $P^H = -Log[H_3O^+] \rightarrow [H_3O^+] = 10^{-PH}$
- Le produit ionique de l'eau : $K_e = [H_3O^+] \times [OH^-] \rightarrow [OH^-] = \frac{K_e}{[H_3O^+]}$
- L'électro-neutralité: $\sum[cations] = \sum[anions] \rightarrow [H_3O^+] = [OH^-] + [Cl^-]$
  Pour montrer que l'acide est fort. Il faut montrer que $[HCl]_r$ est nulle et pour cela on utilise :
- Equation de conservation de la matière: (ECM) : $[HCl]_o = [Cl^-] + [HCl]_r$
  $\rightarrow [HCl]_r = [HCl]_o - [Cl^-]$ Or $[HCl]_o = [Cl^-] = C_a \rightarrow [HCl]_r = C_a - C_a = 0$

▪ **Solution de soude** : La soude est une base forte de formule $N_aOH$. On obtient une solution de soude en dissolvant le $N_aOH$ dans l'eau.

- **Equation de dissolution** : $N_aOH \longrightarrow N_a^+ + OH^-$
- **La concentration** : est : $[N_aOH]_o = [N_a^+] = [OH^-] = C_b = \frac{n_o(N_aOH)}{V}$

  Le $P^H$est: $P^H = -Log[H_3O^+]$ or $[H_3O^+] = \frac{K_e}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{C_b} \rightarrow P^H = 14 + LogC_b$

  D'où le $P^H$ d'une solution de base forte est :
  $P^H = 14 + LogC_b$ pour $10^{-6} \leq C_b \leq 10^{-1}$molL$^{-1}$
  Le $P^H \approx 7$ pour $C_b < 10^{-6}$ molL$^{-1}$

$P^H = -\log\left(\frac{10^{-14}}{C_b}\right)$

- **Inventaire qualitatif** : Les espèces en solution de soude sont : $N_a^+$, $H_3O^+$ et $OH^-$
- **Inventaire quantitatif** :

- $[H_3O^+] = 10^{-PH}$
- $[OH^-] = C_b = \frac{K_e}{[H_3O^+]}$
- D'après E.N : $[N_a^+] + [H_3O^+] = [OH^-]$
- D'après E.C.M : $[N_aOH]_o = [N_a^+] + [N_aOH]_r \rightarrow [N_aOH]_r = [N_aOH]_o - [N_a^+]$
  Or $[N_aOH]_o = [N_a^+] = C_b \rightarrow [N_aOH]_r = C_b - C_b = 0$ alors la soude est une base forte. / .



Scanned by CamScanner

# LES COULPES ACIDE-BASE

1) **Les définitions** :

- **Acide :** Selon Bronsted, un acide est un composé capable de céder un proton $H^+$.
  $AH \longrightarrow A^- + H^+$
- **Base** : Selon Bronsted, une base est un composé capable de capter un proton $H^+$.
  $B^- + H^+ \longrightarrow BH$
- **Acide faible** : Un acide faible est un acide qui se dissocie partiellement dans l'eau.
  $AH + H_2O \rightleftharpoons A^- + H_3O^+$ (AH est l'acide et $A^-$ sa base conjuguée)
  **N.B** : Tous les acides carboxyliques sont des acides faibles.
  **Exemple:** $CH_3\text{-}COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3\text{-}COO^- + H_3O^+$
- **Base faible** : Une base faible est une base qui se dissocie partiellement dans l'eau.
  $B + H_2O \rightleftharpoons BH^+ + OH^-$
  **N.B** : L'ammoniac et les amines sont des bases faibles.
  **Exemple** : $NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$
- **Couple acide base :** Un couple acide base est un couple constitué d'un acide faible et de base conjuguée.
  Un couple acide-base est noté : $AH/A^-$
  **Exemples** : $CH_3\text{-}COOH/CH_3\text{-}COO^-$ et $NH_4^+/NH_3$
  Acide éthanoïque ion éthanoate ion ammonium ammoniac
- **Constante d'acidité** : La constante d'acidité d'un couple acide –base est la constante $K_a$ de l'équilibre de dissociation de cet acide.
  $AH + H_2O \rightleftharpoons A^- + H_3O^+$ $pK_a$ : potentiel
  On a : $K_a = \frac{[A^-]\cdot[H_3O^+]}{[AH]_r}$ et $P^{Ka} = -LogK_a$ (Pour une solution acide)
  Et $K_a = \frac{[B]_r\cdot[H_3O^+]}{[BH^+]}$ ( Pour une solution basique)
  **N.B** : $P^{Ka} = -LogK_a \rightarrow K_a = 10^{-P^{Ka}}$
- **Coefficient d'ionisation** : Le coefficient d'ionisation $\alpha$ d'un acide faible est le quotient de la concentration de sa base conjuguée par sa concentration ~~restante~~ initiale.
  Elle se note : $\alpha = \frac{[A^-]}{[AH]_0}$.

2) **Force d'un acide et base faible** :

- De 2 acides faibles, l'acide le plus fort est celui dont le $K_a$ du couple est plus grand par conséquent $P^{Ka}$ plus faible.
- L'introduction d'un halogène (Cl, $B_r$, I, F) dans la molécule d'un acide augmente son acidité.
  **Exemple** : $CH_2Cl\text{-}COOH > CH_3\text{-}COOH$
- De 2 bases faibles, la base la plus forte est celle dont le $K_a$ du couple est plus petit par conséquent $P^{Ka}$ plus grand.
  **Exemples** :

– Les amines sont plus fortes que l'ammoniac.
– Les amines aromatiques sont plus fortes que les amines aliphatiques.

3) **Zone de prédominance acido-basique** : $AH + H_2O \rightleftharpoons A^- + H_3O^+$



Scanned by CamScanner

On sait que: $K_a = [H_3O^+] * \frac{[A^-]}{[AH]_r}$

Or $P^{Ka} = -LogK_a \rightarrow P^{Ka} = -Log([H_3O^+] * \frac{[A^-]}{[AH]_r})$

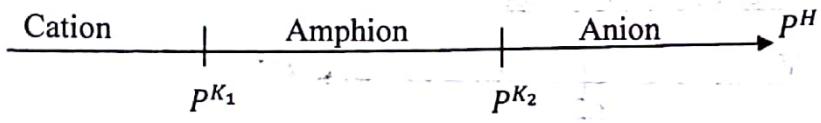
$\rightarrow P^{Ka} = -Log\,[H_3O^+] - Log\frac{[A^-]}{[AH]_r} \rightarrow P^{Ka} = P^H - Log\frac{[A^-]}{[AH]_r}$

$\rightarrow P^H = P^{Ka} + Log\frac{[A^-]}{[AH]_r} \rightarrow P^H - P^{Ka} = Log\frac{[A^-]}{[AH]_r}$

- Pour $P^H > P^{Ka} \rightarrow [A^-] > [AH_r]$alors la forme basique est prépondérante
- Pour $P^H < P^{Ka} \rightarrow [A^-] < [AH_r]$alors la forme acide est prépondérante
- Pour $P^H = P^{Ka} \rightarrow [A^-] = [AH_r]$alors la solution est tampon.

**N.B** : A un acide $\alpha$ aminé correspond 2 couples acide-base :
Le couple cation/Amphion et le couple Amphion/anion

- On attribue au couple cation/Amphion $P^{K_1}$
- Et au couple Amphion/anion le $P^{K_2}$ tel que $P^{K_1} < P^{K_2}$

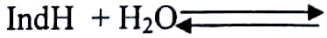



4) **Propriétés générales des acides et bases faibles** :

- La dilution d'un acide faible est différente de celle d'un acide fort :
  - ➢ Lorsqu'on dilue 10 fois un acide fort, son $P^H$ augmente de 1.
  - ➢ Lorsqu'on dilue 10 fois un acide faible, son $P^H$ augmente de :
  - – 0,5 pour un acide très faible.
  - – De 0,5 à 1 pour un acide peu faible ou $0{,}5 < P^H < 1$.
- Un acide faible ne réagit pas sur sa base conjuguée de même une base faible ne réagit sur son acide conjugué.
- Un acide faible réagit totalement sur une base forte de même une base faible réagit totalement sur un acide fort.
- Dans une solution d'acide faible il existe une molécule d'acide faible et de même dans une solution de base faible, il existe une molécule de base faible.

5) **Les indicateurs colorés** :

- **Définition** : Un indicateur coloré est un couple acide base dont la couleur forme acide est différente de la couleur forme basique.
  Un indicateur est noté : IndH/ $Ind^-$



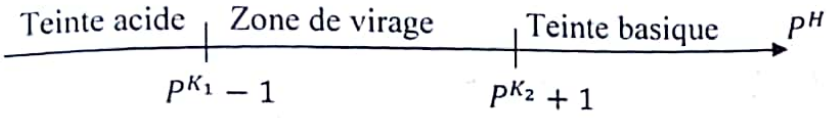

$K_{ai} = \frac{[Ind^-]*[H_3O^+]}{[IndH]_r}$ et $P^{Kai} = -LogK_{ai}$

- Pour $P^H > P^{Kai} \rightarrow [Ind^-] > [IndH_r]$alors la couleur est forme basique
- Pour $P^H < P^{Kai} \rightarrow [Ind^-] < [IndH_r]$alors la couleur est forme acide
- Pour $P^H = P^{Kai} \rightarrow [Ind^-] = [IndH_r]$alors la couleur est intermédiairement tampon.



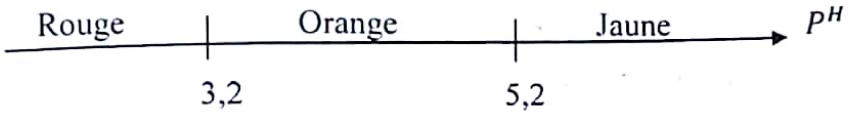
Scanned by CamScanner

- **Zone de virage** : La zone de virage d'un indicateur est l'ensemble des $P^H$ pour lesquels l'indicateur change de couleur.
  La zone de virage d'un indicateur est telle que $P^{K_{a1}} - 1 \leq P^H \leq P^{K_{a1}} + 1$




- **Exemples d'indicateurs colorés** :

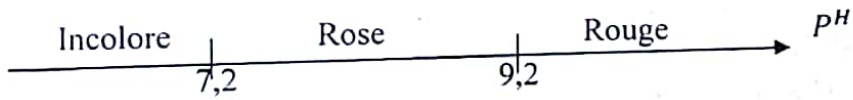
Hélianthine :




Bleu de bromothymol




Phénolphtaléine






Scanned by CamScanner

# LES RÉACTIONS ACIDO-BASIQUES ET LA SOLUTION TAMPON

1) **Les définitions** :

- **Dosage** : Doser une solution, c'est déterminer la concentration de cette solution.
  **N.B** : Un acide est dosé par une base et une base par un acide.
  **Principe** : Soit le dosage d'une solution acide par une solution de base :
  Le principe consiste à ajouter à la solution acide des gouttes de la solution basique jusqu'à l'équivalence.
- **Equivalence acido-basique** : L'équivalence acido-basique est lorsque le nombre de moles de l'acide dans la solution est égal au nombre de moles de la base.
  A l'équivalence : $n_a = n_b \rightarrow C_a V_a = C_b V_b$
  $\rightarrow c_A = \frac{C_b V_b}{V_a}$
- **Point d'équivalence** : Le point d'équivalence est le point $E$ sur la courbe de dosage de coordonnées :
  $E \begin{cases} V_b \\ pH \end{cases}$ s'il s'agit du dosage d'un acide par une base et

  $E \begin{cases} V_a \\ pH \end{cases}$ s'il s'agit du dosage d'une base par un acide.
- **Point de demi-équivalence** : Le point de demi-équivalence est le point $E_{1/2}$ sur la courbe de dosage de coordonnées :
  $E_{1/2} \begin{cases} \frac{V_b}{2} \\ pH = pKa \end{cases}$ S'il s'agit du dosage d'un acide faible par une base forte et

  $E_{1/2} \begin{cases} \frac{V_a}{2} \\ pH = pKa \end{cases}$ S'il s'agit du dosage d'une base faible par un acide fort

2) **Les réactions acido-basiques** :

- **Réaction de dosage entre un acide fort et une base forte** : Soit la soude et l'acide chlorhydrique en solution :

$$N_a OH \longrightarrow N_a^+ + OH^-$$
$$HCl + H_2O \longrightarrow Cl^- + H_3O^+$$
$$N_a^+ + OH^- + H_3O^+ + Cl^- \longrightarrow 2H_2O + N_a^+ + Cl^-$$

On aura: $OH^- + H_3O^+ \longrightarrow 2H_2O$
Donc $N_a^+$ et $Cl^-$ sont des ions spectateurs.

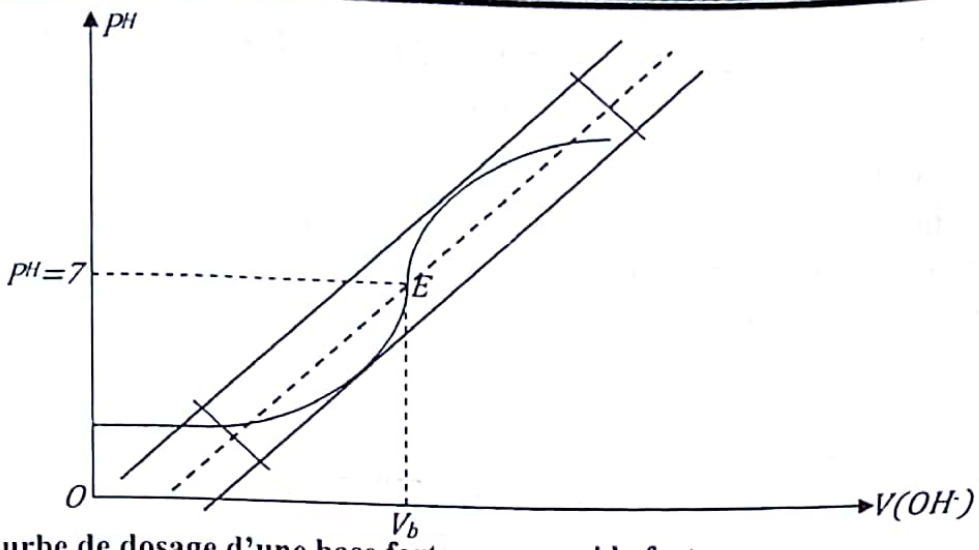
$[Na^+] = \frac{n_1}{V_t} = \frac{C_1 V_1}{V_1 + V_2}$
$[Cl^-] = \frac{n_2}{V_t} = \frac{C_2 V_2}{V_1 + V_2}$

**N.B** : Dans chacun des deux (2) cas suivants, à l'équivalence, le $pH$ est 7 et l'indicateur convenable est le bleu de bromothymol (BBT).

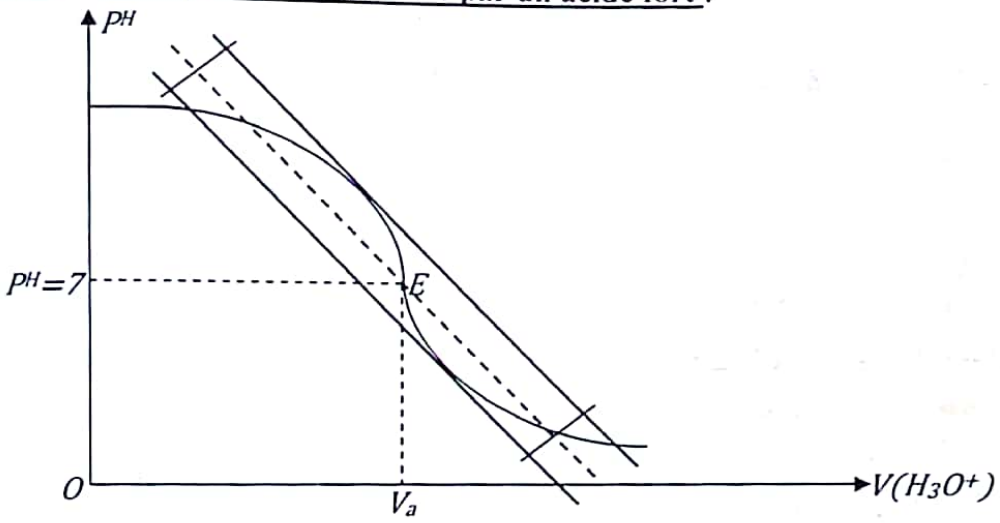
- **Courbe de dosage d'un acide fort par une base forte** :



Scanned by CamScanner




- **Courbe de dosage d'une base forte par un acide fort** :



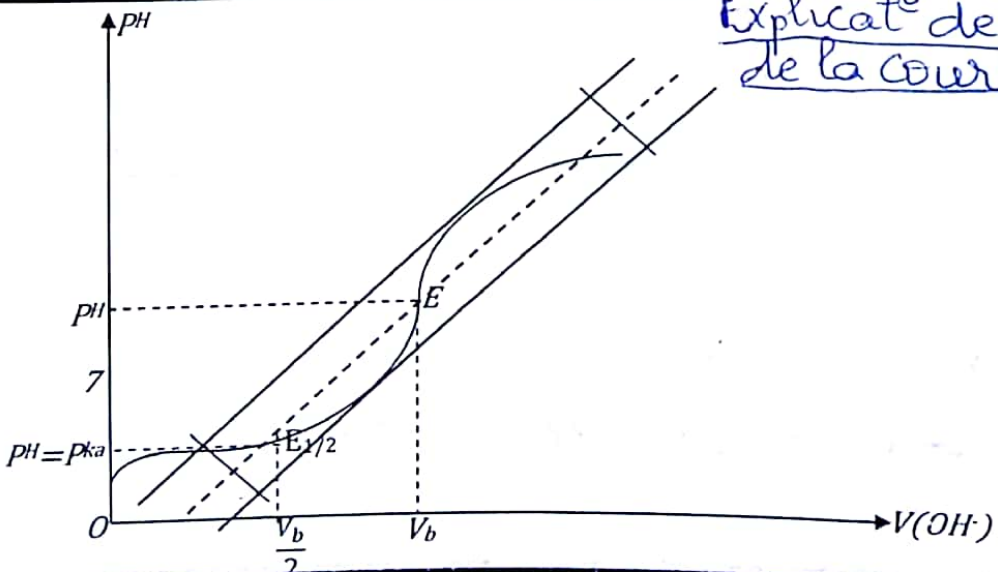

- **Réaction de dosage d'un acide faible par une base forte** : C'est une réaction totale de neutralisation.

  $R\text{-}COOH + OH^- \longrightarrow R\text{-}COO^- + H_2O + Na^+$

  **N.B**: A l'équivalence, le $P^H > 7$ et l'indicateur coloré convenable est la phénolphtaléine.

- **Courbe de dosage d'un acide faible par une base forte** :

Explicat° de la représentat de la courbe





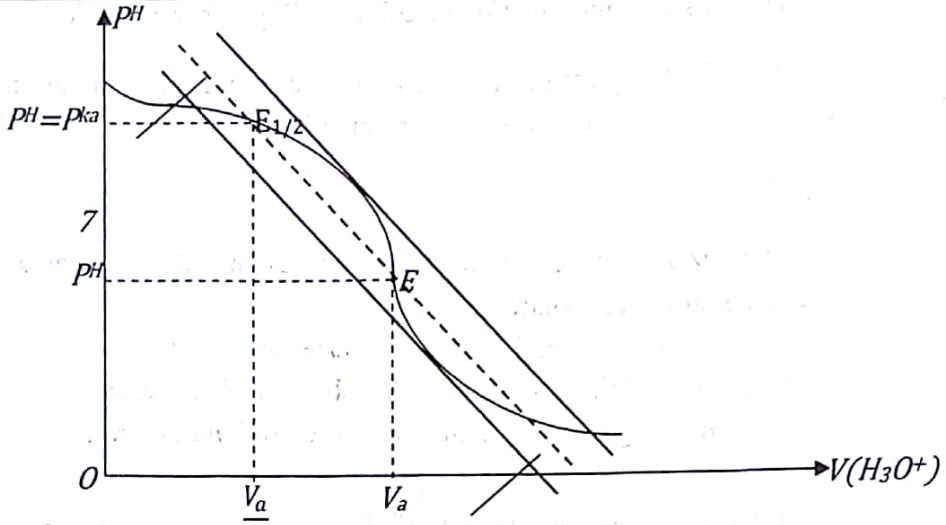

Scanned by CamScanner

- **Réaction de dosage d'une base faible par un acide fort** : C'est une réaction totale de neutralisation.

$R\text{-}NH_2 + H_3O^+ + Cl^- \longrightarrow R\text{-}N^+H_3 + H_2O + Cl^-$

**N.B** : A l'équivalence, le $P^H < 7$ et l'indicateur coloré convenable est l'hélianthine.

- **Courbe de dosage d'une base faible par un acide fort** :




3) **Solution tampon** :

- **Définition** : Une solution tampon est une solution équimolaire d'un acide faible et de base conjuguée.
- **Propriétés** : Dans une solution tampon :
- $P^H = P^{Ka}$
- Le nombre de mole d'acide faible est égale au nombre de mole de sa base conjuguée.
- Le $P^H$ d'une solution tampon ne varie pas lors d'une dilution modérée.
- Le $P^H$ d'une solution tampon varie très peu lors de l'addition de faible quantité d'acide fort ou de base forte.
- **Applications** : Les solutions tampon sont utilisées en chimie et en biologie :
- **En chimie** : les solutions tampons sont utilisées pour la réalisation des réactions à $P^H$ constant.
- **En biologie** :
  - Le sang humain est tamponné à 7,4.
  - Certains médicaments sont tamponnés (effervescent).
- **Préparation** : On peut préparer une solution tampon de deux (2) manières :

**1ere Méthode** : Elle consiste à introduire simultanément la même quantité de l'acide faible et de sa base conjuguée dans l'eau.

**Exemple** : Pour préparer une solution tampon de $CH_3\text{-}COOH / CH_3COO^-$, on introduit en même temps dans l'eau le même nombre de mole de $CH_3\text{-}COOH$ et $CH_3\text{-}COO^-$

**2e Méthode** : Elle consiste à neutraliser la moitié de la quantité de l'acide faible ~~et à~~ en ajoutant ~~ajouter~~ de l'eau. /



Scanned by CamScanner

# EXERCICES SUR LES SOLUTIONS AQUEUSES, LES COUPLES ACIDE-BASE ET LES RÉACTIONS ACIDO-BASIQUES

**Exercice 1** : On considère une solution de chlorure d'hydrogène dont le $P^H$ est égal à 3

1) Inventorier qualitativement et quantitativement les espèces chimiques en solution.
2) Montrer que l'acide chlorhydrique est un acide fort.

**Exercice 2** :

a) Quel volume gaz ammoniac $NH_3$ faut-il dissoudre dans $300mL$ d'eau distillée pour obtenir une solution decimolaire ?
Volume molaire dans les conditions de l'expérience : $24Lmol^{-1}$
La dissolution se produit sans variation de volume de la solution.

b) La solution a un $P^H$ égal 11,1. Calculer la concentration des ions $H_3O^+$ et $OH^-$ quelle contient.
Est-ce une solution acide, basique ou neutre ?

**Exercice 3** : Le mélange des solutions $S_1$ et $S_2$ ci-dessous s'effectue sans contraction ni dilatation.

$S_1$ : Solution d'hydroxyde de sodium de concentration $0{,}3mol/L$ et de volume $200mL$

$S_2$ : Solution d'hydroxyde de potassium de volume $400mL$ et de $P^H = 12{,}6$

1) Calculer les quantités de matières de $N_a^+$ et $OH^-$ dans $S_1$ ainsi que les quantités de matières de $K^+$ et $OH^-$ dans $S_2$
2) Calculer les concentrations de $N_a^+$, $K^+$ et $OH^-$ dans le mélange des solutions $S_1$ et $S_2$
3) Quel est le $P^H$ de cette solution ?

**Exercice 4** : On mélange un volume $V$ d'une solution $S_1$ d'acide éthanoïque de concentration molaire volumique $0{,}2\ molL^{-1}$ avec le même volume d'une solution $S_2$ d'éthanoate de sodium de concentration molaire volumique $0{,}1\ molL^{-1}$. Le $P^H$ de la solution obtenu est égal à 4,5.

1) Quelles sont les espèces chimiques présentes dans le mélange ?
Quel équilibre chimique s'établit-il ?
2) Calculer les concentrations des espèces chimiques en solution et déterminer le $P^{K_a}$ du couple $CH_3 - COOH/CH_3 - COO^-$

**Exercice 5** : On fait dissoudre $0{,}1mol$ de chlorure d'ammonium $NH_4Cl$ dans l'eau. On obtient un litre de solution.

Calculer le $K_a$ et le $P^{K_a}$ du couple ammonium/ammoniac sachant qu'à 25° le $P^H$ de la solution est 5,1



Scanned by CamScanner

**Exercice 6** : Une solution aqueuse d'acide éthanoïque de concentration molaire $10^{-2}mol/L$ a pour $P^H = 3{,}4$ à 25°

a) L'acide éthanoïque est-il un acide fort ou faible. Justifier votre réponse.
b) Ecrire l'équation bilan de la réaction qui accompagne la dissolution de cet acide dans l'eau et donner les coules acide-base de la réaction.
c) Calculer la concentration des différentes espèces chimiques présentes dans la solution.
d) En déduire le $P^{K_a}$ et le $K_a$ du couple mis en jeu.

**Exercice 7** : L'alanine est un acide $\alpha$ −aminé comportant 3 atomes de carbones.

a) Donner sa formule semi-développée et son nom systématique.
b) L'alanine existe exclusivement en solution ~~en solution~~ aqueuse sous la forme d'un ion dipolaire mixte. Donner la formule semi-développée et le nom de cet ion.
Quelles sont les autres formes ioniques susceptibles d'exister en solution aqueuse ?
c) On donne les $P^{K_a}$ suivants : $P^{K_{a1}} = 3{,}2$ ; $P^{K_{a2}} = 9{,}2$
Attribuer chacun de ces $P^{K_a}$ aux couples correspondants.
d) Quel est l'espèce prépondérant à $P^H = 1{,}2$ ; $P^H = 6$ ; $P^H = 11$

**Exercice 8** : On mélange $10Cm^3$ d'une solution d'acide éthanoïque de concentration $0{,}5mol/L$ et $15Cm^3$ d'une solution d'éthanoate de sodium de concentration $0{,}4mol/L$.
Le $P^H$ de la solution est 4,9.

$C_2H_5-NH_3Cl$
$C_2H_5-NH_2$

a) Calculer la concentration de chaque espèce chimique présente en solution.
b) Calculer le rapport $\frac{[A^-]}{[AH]_r}$
c) En déduire le $P^{K_a}$ ainsi que le $K_a$ du couple éthanoïque-éthanoate.

**Exercice 9** : L'équivalence acido-basique est obtenue en traitant une masse $m = 0{,}5g$ par litre d'un monoacide carboxylique saturé à chaine linéaire ne renfermant que les éléments carbone, hydrogène et oxygène par un volume $V = 56{,}8Cm^3$ de soude de concentration $10^{-1}molL^{-1}$.

a) Déterminer la masse molaire moléculaire de cet acide.
b) Déterminer sa formule brute et sa formule semi-développée.
c) A $P^H = 4{,}9$ ; calculer les différentes molarités des espèces chimiques présentes dans cette solution. En déduire le $P^{K_a}$ le couple $AH/A^-$

**Exercice 10** : A un volume $V_a = 40mL$ d'une solution d'acide benzoïque contenue dans un bécher, on ajoute progressivement à l'aide d'une burette, un volume $V_b$ d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_b = 5{,}0.10^{-2}mol/L$. Une électrode combinée plongée dans le bécher et reliée à un P$^H$-mètre permet de mesurer le $P^H$ au cours de cette addition. On obtient les résultats suivants :

| $V_b(mL)$ | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 11 | 11,5 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P^H$ | 2,9 | 3,5 | 3,9 | 4,2 | 4,5 | 4,9 | 5,25 | 5,6 | 8,2 |

| $V_b(mL)$ | 12,5 | 13 | 14 | 15 | 16 | 18 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P^H$ | 10,5 | 11,2 | 11,5 | 11,6 | 11,7 | 11,9 | 11,9 |



Scanned by CamScanner

1) Ecrire l'équation de la réaction de dosage.
2) Tracer la courbe $P^H = f(V_b)$
   Echelles : $1Cm$ représente $2mL$ ; $1Cm$ représente une unité de $P^H$
3) Déterminer graphiquement les coordonnées du point d'équivalence.
4) Justifier le fait que le $P^H$ à l'équivalence soit supérieur à 7.
5) Déterminer la concentration $C_a$ de la solution dosée.
6) Déterminer graphiquement le $P^{K_a}$ du couple benzoïque/benzoate.
7) Quand le $P^H = 6$, quelle est de l'espèce basique ou acide du couple , celle qui est prédominante ?
8) Parmi les indicateurs colorés du tableau ci-dessous, choisir celui qui convient pour ce dosage. Justifier votre réponse.

| Indicateurs colorés | Zone de virage |
|---|---|
| Rouge de méthyle | 4,2 – 6,2 |
| Rouge de crésol | 7,2 – 8,6 |

**Exercice 11** : Sous l'action de ferments lactiques, le lactose du lait se transforme progressivement en acide lactique de formule $CH_3 - CHOH - COOH$.

1) Quelles sont les différentes configurations de l'acide lactique ? Les représenter.
2) On fait réagir le chlorure de thionyle ($SOCl_2$) sur l'acide lactique. Ecrire l'équation de la réaction.
3) On se propose de doser l'acide lactique contenu dans le lait de vache. Pour cela, on verse $20mL$ de lait de vache et $20mL$ d'eau dans un bécher. On dose par une solution de soude de concentration $0{,}05molL^{-1}$. On obtient le tableau suivant :

| $V(mL)$ | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P^H$ | 2,5 | 3,2 | 3,6 | 3,9 | 4,2 | 4,6 | 4,9 | 7,5 | 11 |

| $V(mL)$ | 13,5 | 14 | 14,5 | 15 | 16 | 17 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $P^H$ | 11,2 | 11,3 | 11,4 | 11,5 | 11,6 | 11,65 |

a) Tracer le graphe représentant $P^H = f(V)$.
b) Déterminer les coordonnées du point d'équivalence ainsi que celle du point de demi-équivalence.
c) L'acide lactique est plus fort que l'acide propanoïque de $P^{K_a} = 4{,}9$ ?
d) Un critère de consommabilité du lait est que la masse d'acide lactique soit inférieure à $1{,}8gL^{-1}$. Le lait testé est-il consommable ?

Rétrouver la valeur de $P^{Ka} = 4{,}2$ à partir de la solut° initiale de l'acide.



Scanned by CamScanner

# ENGRAIS

1) **Définition** : Les engrais sont des substances organiques ou minérales apportées aux plantes pour leur fertilisation.
2) **Les types d'engrais** : On distingue : les engrais organiques et les engrais minéraux.

- **Les engrais organiques** : Ils sont d'origine animale : le fumier (les pailles mélangés aux excréments d'animaux), la compote (aliments sucrés fait avec des fruits cuits), les algues séchées, la cendre de bois.
- **Les engrais minéraux** : Ce sont des substances produites par l'industrie chimique (engrais azotés). On distingue :

• Les engrais simples : qui ne contiennent qu'un seul élément fertilisant comme l'azote
• Et les engrais composés ou ternaires ou NPK : qui en contiennent plusieurs comme l'azote, le phosphore et le potassium.

3) **Fabrication et rôle des engrais** : les engrais minéraux azotés sont pour la plupart obtenus à partir de l'ammoniac $NH_3$ lui-même obtenu par la synthèse du diazote de l'air et du dihydrogène : $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$

Ce pendant :

- L'urée $CO(NH_2)_2$ est obtenue à partir du dioxyde de carbone :
  $CO_2 + 2NH_3 \rightarrow CO(NH_2)_2 + H_2O$
- Les engrais composés NPK sont fabriqués par mélange d'un constituant ou par réaction entre les matières premières de base.

4) **Les principaux composants de l'engrais et leurs rôles** : Ce sont l'azote N, le phosphore P et le potassium K.

- **Rôle de l'azote** : L'azote joue un rôle essentiel dans la synthèse de la matière vivante. Il contient des éléments qui donnent à la plante sa couleur verte.
- **Rôle du phosphore** :

• Le phosphore est très mobile dans la plante et joue un rôle nutritif :
• Il participe à la plupart des activités biochimiques complexes.

- **Rôle du potassium** :

• Il favorise le développement des racines des végétaux,
• Il permet aux végétaux de résister à la chaleur.
• Il permet aux végétaux de résister aux maladies cryptogamiques (maladie causées par des champignons microscopiques).

5) **Avantages et inconvénients des engrais** :

Les engrais chimiques apportent aux plantes des compléments nutritifs leurs permettant d'améliorer leurs croissances et d'augmenter le rendement et la qualité des cultures.

Par contre ils comportent des risques :

- La terre s'appauvrit jusqu'à devenir stérile.
- L'utilisation d'engrais chimiques entraine des risques de pollution.



Scanned by CamScanner

MINISTÈRE DE L'EDUCATION NATIONALE

RÉPUBLIQUE DU MALI
Un Peuple-Un But-Une Foi

**********
CENTRE NATIONAL DES EXAMENS ET CONCOURS DE L'ÉDUCATION
**********

# EXAMEN DU BACCALAURÉAT MALIEN

## SESSION DE JUIN 2015
## Série: T. S. Exp
## ÉPREUVE: PHYSIQUE-CHIMIE

DURÉE: 3 heures
COEFFICIENT: 3

## SUJET

**La qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements, l'utilisation correcte des formules seront prises en compte dans l'appréciation des copies.**

## A *PHYSIQUE* (8 pts)

### I *COURS* (4 pts)

1) Un lanceur de poids, lance à partir d'un point O (0, 0) du repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$ dans le champ de pesanteur son poids avec une vitesse $\vec{V}_0$ faisant un angle α avec l'horizontal

a) Etablis les équations paramétriques horaires x(t), et y(t) du mouvement du poids *(1 pt)*
b) Donne l'équation littérale de la trajectoire du poids (0, 5 pt)
c) Définis la portée, la flèche et établis leurs expressions. *(1 pt)*

2) Une particule pénètre dans une région avec une vitesse initiale $\vec{V}_0$ où règne simultanément un champ électrique $\vec{E}$ et un champ magnétique $\vec{B}$. Les deux champs sont uniformes et perpendiculaires à $\vec{V}_0$.

Détermine la relation qui lie $V_0$, B et E pour que la particule ne subisse pas de déviation *(0,25 pt)*

Donne l'état de la déviation pour une vitesse $V > V_0$ et pour $V < V_0$ *(0, 5 pt)*

3) Définis la radioactivité α, la radioactivité $\beta^-$, la période ou demi-vie radioactive. *(0,75 pt)*



Scanned by CamScanner

## II *EXERCICE* :(4 pts)

### Etude d'une cellule photoélectrique

1) On se propose d'étudier une cellule photoélectrique à vide dont la cathode est en césium. On constate qu'un courant n'existe dans la cellule que si la cathode est éclairée par une lumière de longueur d'onde $\lambda$ telle que, $\lambda \leq \lambda_0$ avec $\lambda_0 = 0{,}66$ µm.

a) Explique qualitativement l'existence de cette limite. *(0, 5 pt)*

*b)* Calcule l'énergie minimale qu'il faut fournir pour extraire un électron du césium. *(0,5 pt)*

2) On utilise maintenant pour éclairer la cathode une lumière de longueur d'onde $\lambda = 0{,}5$ µm

*a)* Quelle sera la vitesse maximale des électrons à la sortie de la cathode ? *(1 pt)*

*b)* En prenant comme référence le potentiel de la cathode, calcule le potentiel $U_0$ de l'anode qui empêcherait l'arrivée des électrons sur cette électrode (potentiel d'arrêt). *(1 pt)*

3) La puissance lumineuse reçue par la cathode est de $10^{-2}$ W. sachant que le rendement quantique (rapport entre le nombre d'électrons émis et le nombre de photons frappant la cathode) est $5{,}0\times10^{-3}$, calcule l'intensité maximale du courant qui traversera la cellule à saturation. *(1 pt)*

On donne :
Constante de Planck : $h = 6{,}62\times10^{-34}$ J.s
Célérité de la lumière dans le vide : $C = 3\times10^{8}$ m.s$^{-1}$
Masse de l'électron : $m = 9\times10^{-31}$ kg
Charge de l'électron : $e = 1{,}6\times10^{-19}$ C

## *B CHIMIE :* (12 pts)

## I *COURS* : (4 pts)

1- On considère les composés suivants :

A: $CH_3 - CH_2 - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} - CH_2OH$

B: $CH_3 - CH_2 - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} - COOH$

C: $CH_3 - CH_2 - COCl$ D: $CH_3 - CH_2 - NH - CH_3$

E: $CH_3 - CH_2 - CO - O - CO - CH_2 - CH_3$

F: $CH_3 - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} - CH_2 - \underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}} - COOH$

*a)* Nomme les composés en précisant la fonction chimique de chacun d'eux *(1,5 pts)*

*b)* Quelles sont les molécules chirales ? Justifie ta réponse. Donne la représentation de Fischer de ces molécules. *(0,75 pt)*

2) Cite les facteurs qui influent sur la cinétique chimique. *(0,75 pt)*



Scanned by CamScanner

observe que le mélange réactionnel passe de la couleur orange à la couleur verte. Le composé B de l'oxydation de A donne un test positif avec la 2, 4-D.N.P.H ainsi qu'avec la liqueur de Fehling.

1)

a) Donne la fonction chimique du composé B. (0,5 pt)

b) Trouve la formule brute de A. (0,5 pt)

c) Donne la classe, la formule semi-développée et le nom de A sachant que sa molécule contient deux groupes méthyle. (1,5 pts)

d) La molécule de A est-elle optiquement active ? (0,5 pt)

e) Donne la formule semi-développée et le nom de B. (0,5 pt)

2) Lorsqu'on verse une solution acide de dichromate de potassium en excès sur A, on obtient le composé C. L'action du chlorure de thionyle $SOCl_2$ sur C donne le composé D. D agit sur une monoamine saturée non cyclique comportant 31,1% d'azote pour donner le produit E.

a) Ecris les formules semi-développées possibles de l'amine. Nomme-les. (1,5 pts)

b) L'amine utilisée est celle de la classe la plus élevée. Identifie-la. (0,25 pt)

c) Trouve les formules semi-développées et les noms des corps C, D et E. (0,75 pt)

On donne les masses atomiques molaires en $g.mol^{-1}$ : M (H) = 1 ; M (O) = 16 ; M (C) = 12 ; M (N) = 14

Suite :

Les Produits :

Produits scalaires de deux vecteurs :

$\vec{U}.\vec{V} = U \times V \cdot \cos(\vec{U}.\vec{V})$

Produits vectoriels de deux vecteurs

$\vec{U} \wedge \vec{V} = U \times V \sin(\vec{U}.\vec{V})$

sin



Scanned by CamScanner

# A connaître :

## Unités du Système international (S.I).

Les septs unités de base ou unités fondamentales du S.I. arbitrairement choisies sont :

- Unité de la longueur (L) → le mètre (m)
- Unité de la masse (M) → le Kilogramme (Kg).
- Unité de l'intensité du courant (I) → l'ampère (A).
- Unité de temps (T) → la seconde (s)
- Unité de la quantité de matière (Q) → la mole (mol)
- Unité de la température (Te) → le dégré Kelvin (°K)
- Unité de l'intensité lumineuse (Il) → la candéla (Cd)

## Multiples et sous multiples d'unité :

| | Multiples | Unités | Sous-multiples | |
|---|---|---|---|---|
| Déca (da) | $10^1$ | | $10^{-1}$ | Déci (d) |
| Hecto (h) | $10^2$ | | $10^{-2}$ | Centi (c) |
| Kilo (K) | $10^3$ | | $10^{-3}$ | Milli (m) |
| Méga (M) | $10^6$ | | $10^{-6}$ | Micro ($\mu$) |
| Giga (G) | $10^9$ | | $10^{-9}$ | Nano (n) |
| Téra (T) | $10^{12}$ | | $10^{-12}$ | Pico (p) |
| Péta (P) | $10^{15}$ | | $10^{-15}$ | Femto (f) |
| Exa (E) | $10^{18}$ | | $10^{-18}$ | Atto (a) |

## Calculs d'approximat°s

Les formules d'approximat° utilisées en trigo. pour les angles faibles ($0 < \alpha < 10$)

- $\sin\alpha \simeq \tan\alpha \simeq \alpha$ avec $\alpha$ en rad.
- $\cos\alpha \simeq 1 - \frac{\alpha^2}{2}$ avec $\alpha$ en rad.

Pour cette conversion, on utilise la relation :

$$\frac{\alpha}{180°} = \frac{\beta}{\pi rad} = \frac{\gamma}{200 gr}$$

Scanned by CamScanner

3) Définis une réaction de polymérisation. Ecris l'équation de la réaction de polymérisation du chlorure de vinyle. Donne le nom du polymère obtenu. *(1 pt)*

## *II* ***EXERCICE*** : (3 pts)

### Détermination de la constante d'équilibre relative aux concentrations molaires $K_c$

On fait réagir une mole d'acide éthanoïque avec une mole d'alcool isopropylique (propan-2- ol). L'équilibre est atteint lorsqu'il s'est formé 0,6 mol d'ester.

1) Ecris l'équation bilan de la réaction nomme les produits formés. *(1 pt)*
2) Quelle est la constante d'équilibre Kc de cette réaction ? *(0,5 pt)*
3) Si, à ce mélange à l'équilibre, on ajoute une mole d'ester, dans quel sens doit évoluer le système. *(0,25 pt)*
4) Quelle sera la composition du mélange dans le nouvel état d'équilibre ? *(1,25 pts)*

## *III* ***PROBLEME*** *:* (5 pts)

### Dosage d'un acide faible par une base forte ; courbe de titrage acide faible-base forte

On se propose d'étudier le dosage d'une solution aqueuse d'acide éthanoïque par une solution déci molaire d'hydroxyde de sodium. On verse progressivement la solution de soude dans un volume $V_a = 10\ cm^3$ de solution d'acide éthanoïque. Un pH-mètre rend compte de l'évolution du pH au cours de l'opération. Le tableau suivant traduit cette manipulation ($V_b$ représente le volume de base versé).

| $V_b\ (cm^3)$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| pH | 2,9 | 3,5 | 3,9 | 4,3 | 4,5 | 4,7 | 409 | 5,0 | 5,1 |

| $V_b\ (cm^3)$ | 9 | 9,5 | 10 | 10,5 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| pH | 5,4 | 6,0 | 8,8 | 11,0 | 11,7 | 12,2 | 12,5 | 12,6 | 12,7 |

1- Ecris l'équation bilan de la réaction acide – base qui se produit *(0,5 pt)*
Trace la courbe pH = f(Vb) traduisant la variation du pH en fonction de Vb.sur un papier millimétré *(2 pts)*

Echelle : 1 cm pour 1 $cm^3$
1 cm pour 1 unité de pH

2- A l'aide de la courbe, détermine :
- Le volume $V_E$ de soude versé à l'équivalence *(0,5 pt)*
- Le pKa du couple $CH_3COOH$ / $CH_3COO^-$ *(0,5 pt)*

3- Calcule la concentration molaire de la solution acide *(0,5 pt)*
4- Calcule les concentrations molaires des espèces présentes à la demi-équivalence. *(1 pt)*

*On rappelle que le produit ionique de l'eau est* $Ke = 10^{-14}$.



Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE
**********
CENTRE NATIONAL DES EXAMENS ET CONCOURS DE L'ÉDUCATION
**********

RÉPUBLIQUE DU MALI
Un Peuple-Un But-Une Foi

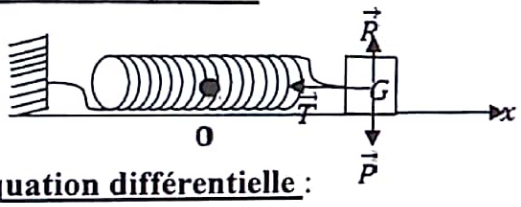
# EXAMEN DU BACCALAURÉAT MALIEN

**SESSION DE: JUIN 2014**
**Série: T.S.Exp**
**ÉPREUVE: PHYSIQUE-CHIMIE**
DURÉE: 3 heures
COEFFICIENT: 4

## CORRIGE
## A-PHYSIQUE : (8pts)

### I. COURS : (3pts)

1) **Schéma du système** :




(0,25pt)

- **Equation différentielle** :

$\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

$\sum \vec{F}_{ex} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{T} \rightarrow m\vec{a} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{T}$

Projetons les forces suivant $Ox \rightarrow ma = -T$

$$\begin{cases} a = \ddot{x} \\ T = Kx \rightarrow m\ddot{x} = -Kx \rightarrow m\ddot{x} + Kx = 0 \rightarrow \ddot{x} + \frac{K}{m}x = 0 \end{cases}$$ **(0,5pt)**

- **Déduction de la période** :

$\ddot{x} + \frac{K}{m}x = 0$ est de la forme $\ddot{x} + \omega_o^2 x = 0 \rightarrow \omega_o^2 = \frac{K}{m}$

or $T_o = \frac{2\pi}{\omega_o} \rightarrow T_o = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$ en s **(0,5pt)**

2) **Définitions** :

- **Effet photoélectrique** :
C'est l'émission d'électrons par un métal convenablement éclairé. **(0,25pt)**
- **Fusion nucléaire** :
C'est une réaction nucléaire au cours de laquelle deux (2) noyaux légers s'unissent pour former un noyau lourd. **(0,25pt)**
- **Fission nucléaire** :
C'est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau lourd fissible se divise sous l'action de neutron en deux (2) noyaux légers. **(0,25pt)**

3) **Les rayons X** :



Scanned by CamScanner

- **Nature** : Les rayons X sont des ondes électromagnétiques de longueur d'ondes comprises entre $10^{-12}m$ et $10^{-8}m$ **(0,5pt)**
- **Applications** : les rayons X sont utilisés :

❖ En médecine : dans la radiographie, la cardiologie, le scanneur

❖ Dans la lutte contre la fraude douanière (détection des faux billets, de drogue) **(0,5pt)**

## II. EXERCICE : (5pts)

**1) Déterminons :**

**a) Tension efficace U :**

$P = UI\cos\varphi \rightarrow U = \frac{P}{I\cos\varphi}$ **(0,5pt)**

AN: $U = \frac{400}{2*0,8} \rightarrow U = 250V$ **(0,5pt)**

**b) Calcul de R et $X = L\omega$ :**

❖ $P = RI^2 \rightarrow R = \frac{P}{I^2}$ **(0,5pt)** AN : $R = \frac{400}{(2)^2} \rightarrow R = 100\Omega$ **(0,25pt)**

❖ $\tan\varphi = \frac{X}{R} \rightarrow X = R\tan\varphi$ **(0,5pt)** AN : $X = 0,75 * 100 \rightarrow X = 75\Omega$ **(0,25pt)**

Ou $Z = \sqrt{R^2 + X^2} \rightarrow X = \sqrt{Z^2 - R^2}$

Or $\cos\varphi = \frac{R}{Z} \rightarrow Z = \frac{R}{\cos\varphi} = \frac{100}{0,8} \rightarrow Z = 125\Omega$ D'où $X = \sqrt{(125)^2 - (100)^2} = 75\Omega$

**2) Déterminons :**

**a) Valeur de C :**

$\tan\varphi' = \frac{X - \frac{1}{C\omega}}{R} \rightarrow R\tan\varphi' = X - \frac{1}{C\omega} \rightarrow C = \frac{1}{\omega(X - R\tan\varphi')}$ **(0,5pt)**

or $\omega = 2\pi N = 2 * 3,14 * 50 \rightarrow \omega = 314 rads^{-1}$

AN: $C = \frac{1}{2*3,14*50(75 - 100*0,48)} \rightarrow C = 1,18.10^{-4}F$ **(0,5pt)**

Ou $Z' = \sqrt{R^2 + \left(X - \frac{1}{C\omega}\right)^2} \rightarrow \left(X - \frac{1}{C\omega}\right)^2 = Z'^2 - R^2 \rightarrow X - \frac{1}{C\omega} = \pm\sqrt{Z'^2 - R^2}$

$\rightarrow \frac{1}{C\omega} = X \pm \sqrt{Z'^2 - R^2} \rightarrow C = \frac{1}{\omega(X \pm \sqrt{Z'^2 - R^2})}$ or $\cos\varphi' = \frac{R}{Z'} \rightarrow Z' = \frac{R}{\cos\varphi'} = \frac{100}{0.9}$

$\rightarrow Z' = 111,11\Omega$ Pour $\begin{cases} C_1 = \frac{1}{\omega(X + \sqrt{Z'^2 - R^2})} = 2,59.10^{-5}F \\ C_2 = \frac{1}{\omega(X - \sqrt{Z'^2 - R^2})} = 1,18.10^{-4}F \end{cases}$

**b) Tension efficace U' aux bornes de l'ensemble :**

$Z' = \frac{U'}{I} \rightarrow U' = IZ'$ **(0,5pt)**

AN: $U' = 2 * 111,11 \rightarrow U' = 222,22V$ **(0,5pt)**

**c) Explication :** L'E.D.M exige un facteur de puissance élevé pour éviter des pertes d'énergie dans les lignes électriques. Cela évite des pertes économiques. **(0,5pt)**

## B-CHIMIE :

## I. COURS :

**1) Facteurs d'équilibre** : Ce sont la température, la pression et la concentration **(0,75pt)**

- **Influence de la température : loi de Vant'Hoff** : Dans un système à l'équilibre à pression constante, une élévation de la température déplace l'équilibre dans le sens endothermique tandis qu'une diminution dans le sens exothermique. **(0,25pt)**



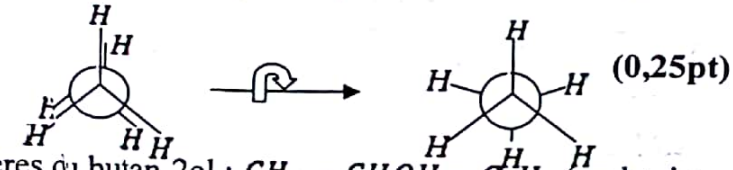
Scanned by CamScanner

- **Influence de la pression : loi de Lechatelier** : Dans un système à l'équilibre à température constante, une augmentation de la pression déplace l'équilibre dans le sens qui va vers les plus petits nombres de moles gazeux tandis qu'une diminution dans le sens qui va vers les plus grands nombres de moles gazeux. **(0,25pt)**
- **Influence de la concentration : loi de modération** : Dans un système à l'équilibre à température constante, une augmentation de la concentration de l'un des corps déplace l'équilibre dans le sens de disparition de ce corps tandis qu'une diminution dans le sens d'apparition du corps. **(0,25pt)**

2) **Définitions** :

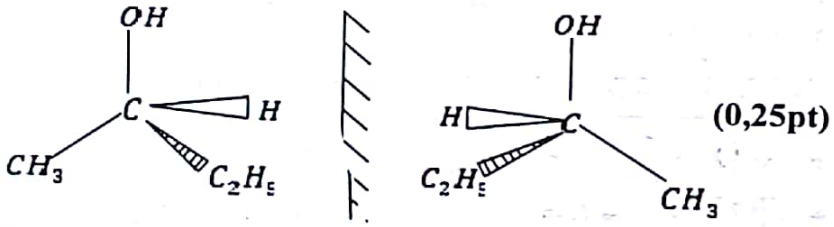
- **Stéréo-isomères de conformation** : Ce sont des stéréo-isomères qui ne diffèrent que par un angle de rotation autour des liaisons simples carbone-carbone. **(0,5pt)**
- **Stéréo-isomères de configuration** : Ce sont des stéréo-isomères non superposables à leur image dans un miroir plan. **(0,5pt)**
- **Différences** :

❖ Exemple : les conformères de l'éthane $CH_3 - CH_3$



**(0,25pt)**

❖ Exemple : Les énantiomères du butan-2ol : $CH_3 - CHOH - C_2H_5$ (ou les isomères Z, E)



**(0,25pt)**

## II. EXERCICE : (3pts)

1) a) **Equation bilan** : $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$ **(0,5pt)**
Saccharose — glucose — fructose

**b) F.s.d du glucose et fructose et nom des fonctions chimiques** :
Glucose : $CH_2OH - (CHOH)_4 - CHO$ **(0,5pt)**
Fonctions : alcool et aldéhyde. **(0,25pt)**
Fructose : $CH_2OH - CO - (CHOH)_3 - CH_2OH$ **(0,25pt)**
Fonctions : alcool et cétone. **(0,25pt)**

2) a) **Equation bilan** :
$CH_2OH - (CHOH)_4 - CHO + 2Cu(OH)_2 \rightarrow CH_2OH - (CHOH)_4 - COOH + Cu_2O + 2H_2O$
**(0,5pt)**

**La masse du glucose** : D'après le rapport stœchiométrique on a :

$$\frac{n(glucose)}{1} = \frac{n(Cu(OH)_2)}{2} = \frac{n(A_{gluconique})}{1} = \frac{n(Cu_2O)}{1} = \frac{n(H_2O)}{1}$$

$$\frac{n(glucose)}{1} = \frac{n(Cu_2O)}{1} \rightarrow \frac{m_g}{M_g} = \frac{m(Cu_2O)}{M(Cu_2O)} \rightarrow m_g = \frac{M_g \times m(Cu_2O)}{M(Cu_2O)}$$ **(0,25pt)**

AN: $m_g = \frac{0,4 \times 180}{143} \rightarrow m_g = 0,5g$ **(0,25pt)**



Scanned by CamScanner

**b) Vérification :**

- Taux de sucre dans 1 litre de sans de la personne :

  $100Cm^3 = 0{,}1L \rightarrow 0{,}5g$ de glucose

  Dans $1L \rightarrow m'_g$ alors $m'_g = \frac{1L*0.5g}{0.1L} \rightarrow m'_g = 5g$ **(0,25pt)**

- Taux normal de sucre : $1g$ par litre

  Conclusion : La personne, ayant $5g$ par litre, souffre donc de diabète. **(0,25pt)**

  Ou

  Taux de sucre dans le sang de la personne $C = \frac{0,5}{0,1} = 5g/L$ **(0,25pt)**

  Le taux normal $C_n = 1g/L$

  $C > C_n$ Donc la personne souffre de diabète. **(0,25pt)**

**III. PROBLEME : (6pts)**

**1) a) Fonction chimique de B :**

$A \rightarrow B \begin{cases} +DNPH \\ +L.F \end{cases} \rightarrow B$ est un aldéhyde **(0,5pt)**

**b) Formule brute de A :**

$A$ est un alcool de formule brute : $C_nH_{2n+2}O \rightarrow M = 14n + 18$

Or $M = 29 * d = 29 * 2{,}55 \rightarrow M = 73{,}95 \approx 74 \rightarrow M = 74gmol^{-1}$

Donc $14n + 18 = 74 \rightarrow n = \frac{74-18}{14} \rightarrow n = 4$ d'où $A: C_4H_{10}O$ **(0,5pt)**

**c) Classe, f.s.d et nom de A :**

Classe : $B$ étant un aldéhyde alors $A$ est un alcool primaire **(0,5pt)**

Formule semi-développée : $CH_3 - \underset{CH_3}{CH} - CH_2OH$ **(0,5pt)**

Nom : 2-méthylpropan-1ol **(0,5pt)**

**d)** $A$ n'est pas optiquement active car sa molécule n'est pas chirale. **(0,5pt)**

**e) F.s.d et nom de B :** $B: CH_3 - \underset{CH_3}{CH} - CHO$ 2-méthylpropanal **(0,5pt)**

**2) a) F.s.d possibles de l'amine :**

La formule brute des amines est : $C_nH_{2n+3}N \rightarrow M = 14n + 17$

D'après la loi des proportions on a : $\frac{14}{\%N} = \frac{M}{100} \rightarrow M = \frac{1400}{\%N} = \frac{1400}{31,1} \rightarrow M = 45gmol^{-1}$

$\rightarrow 14n + 17 = 45 \rightarrow n = \frac{45-17}{14} \rightarrow n = 2$ D'où sa formule brute est $C_2H_7N$ **(0,5pt)**

et on a : $\begin{cases} CH_3 - CH_2 - NH_2 & \textbf{éthanamine ou éthylamine (0,5pt)} \\ CH_3 - N - CH_3 & \textbf{N – méthylméthanamine ou diméthylamine (0,5pt)} \end{cases}$

**b) Identification** : L'amine utilisée est :

$CH_3 - NH - CH_3$ N-méthylméthanamine ou diméthylamine **(0,25pt)**

**c) F.s.d et noms des corps C, D et E :**

$C: CH_3 - \underset{CH_3}{CH} - COOH$ Acide 2-méthylpropanoïque **(0,25pt)**

$D: CH_3 - \underset{CH_3}{CH} - COCl$ Chlorure de2-méthylpropanoyle **(0,25pt)**

$E: CH_3 - \underset{CH_3}{CH} - CO\underset{CH_3}{N} - CH_3$ N,N-diméthyl,2-méthylpropanamide **(0,25pt)**



Scanned by CamScanner

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

**********

CENTRE NATIONAL DES EXAMENS ET CONCOURS DE L'ÉDUCATION

**********

RÉPUBLIQUE DU MALI

Un Peuple-Un But-Une Foi

# EXAMEN DU BACCALAURÉAT MALIEN

**SESSION DE: JUIN 2015**

**Série: T.S.Exp**

**ÉPREUVE: PHYSIQUE-CHIMIE**

DURÉE: 3 heures

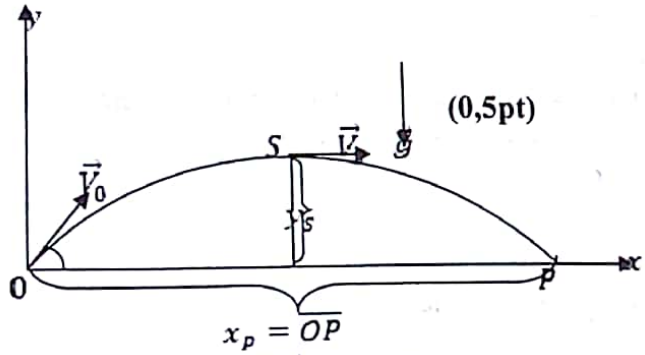
COEFFICIENT: 4

## CORRIGE

## A-PHYSIQUE : (8pts)

### I. Cours : (4pts)

**1) Les équations paramétriques $x(t)$ et $y(t)$:**




(0,5pt)

D'après la R.F.D : $\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

$\sum \vec{F}_{ex} = \vec{P} = m\vec{g} \rightarrow m\vec{a} = m\vec{g} \rightarrow \vec{a} = \vec{g}$ en module $a = g$

Dans le repère $(0, \vec{i}, \vec{j})$

A $t = 0$, $\overrightarrow{OG_0}\begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{cases}$ ; $\vec{V}_0\begin{cases} V_{0x} = V_0 \cos\alpha \\ V_{0y} = V_0 \sin\alpha \end{cases}$

A $t \neq 0$ $\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$ ; $\vec{V}\begin{cases} V_x = V_0 \cos\alpha \\ V_y = -gt + V_0 \sin\alpha \end{cases}$ $\overrightarrow{OG}\begin{cases} x = (V_0 \cos\alpha)t \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + (V_0 \sin\alpha)t \end{cases}$ (0,5pt)

**N.B** : accepter toute autre démarche correcte

- **Equation littérale de la trajectoire** :

Dans 1 on a : $t = \frac{x}{V_0 \cos\alpha}$

$t$ dans $2 \rightarrow y = \frac{-g}{2V_0^2 \cos^2\alpha}x^2 + x\tan\alpha$ (0,5pt)

- **La portée :**




Scanned by CamScanner

❖ **Définition** : C'est la distance du point de lancement au point de chute **(0,25pt)**

❖ **Expression** :

$P$ est élément de la trajectoire alors ses coordonnées vérifient cette équation :

$y_p = \frac{-g}{2V_0^2 Cos^2\alpha} x_p^2 + x_p tg\alpha$

Or $y_p = 0 \rightarrow \frac{-g}{2V_0^2 \cos^2\alpha} x_p^2 + x_p \tan\alpha = 0 \rightarrow x_p = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ **(0,25pt)**

▪ **La flèche** :

❖ **Définition** : C'est la hauteur maximale atteinte par le poids. **(0,25pt)**

❖ **Expression** :

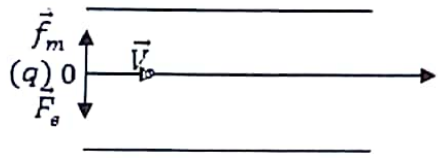
Au point S : $y_s = -\frac{1}{2} g t_s^2 + (V_o \sin\alpha) t$

Or $\begin{cases} V_{ys} = 0 \\ V_{ys} = -g t_s + V_o \sin\alpha \end{cases} \rightarrow -g t_s + V_o \sin\alpha = 0 \rightarrow t_s = \frac{V_o \sin\alpha}{g}$

Donc $y_s = \frac{V_o^2 \sin^2\alpha}{2g}$ **(0,25pt)**

**N.B** : accepter toute autre démarche correcte

2) **La relation entre $V_o$, E et $B$**:




Pour que la particule ne subisse aucune déviation il faut que $\vec{f}_m + \vec{F}_e = 0 \rightarrow \vec{f}_m = -\vec{F}_e$

En module $f_m = F_e \rightarrow qV_oB = qE \rightarrow V_oB = E \rightarrow V_o = \frac{E}{B}$ **(0,25pt)**

**Etat de la déviation** :

❖ Pour $V > V_o \rightarrow V > \frac{E}{B} \rightarrow VB > E \rightarrow qVB > qE \rightarrow f_m > F_e$ alors la particule sera déviée dans le sens de $\vec{f}_m$ **(0,25pt)**

❖ Pour $V < V_o \rightarrow V < \frac{E}{B} \rightarrow VB < E \rightarrow qVB < qE \rightarrow f_m < F_e$ alors la particule sera déviée dans le sens de $\vec{F}_e$ **(0,25pt)**

3) **Les définitions** :

▪ **Radioactivité $\alpha$** : Est la transformation spontanée d'un noyau père à un noyau fils avec émission d'hélium ou particule $\alpha$ **(0,25pt)**

▪ **Radioactivité $\beta^-$** : Est la transformation spontanée d'un noyau père à un noyau fils avec émission d'électron ou particule $\beta^-$ **(0,25pt)**

▪ **Période ou demi-vie radioactive** : est le temps au bout duquel la moitié des noyaux radioactifs initialement contenue dans un échantillon s'est désintégrée. **(0,25pt)**

**N.B** : accepter toutes les définitions correctes et les équations ne sont pas obligatoires

## II. Exercice : (4pts)

1) a) **Explication de l'existence d'une limite** :

Il s'agit des conditions indispensables à l'émission photoélectrique. Chaque métal est caractérisé par un seuil ($w \geq w_o$ ou $f \geq f_o$ ou $\lambda \leq \lambda_o$) **(0,5pt)**

b) **Calcul de l'énergie minimale** : $w_o = \frac{hC}{\lambda_o}$

**A.N** : $w_o = \frac{6{,}62.10^{-34} \times 3.10^8}{0{,}66.10^{-6}} \rightarrow w_o = 3.10^{-19} J$ **(0,5pt)**



Scanned by CamScanner

2) a) **La vitesse maximale** : $w = w_o + E_C \rightarrow E_C = w - w_o \rightarrow \frac{1}{2}mV_{Cmax}^2 = w - w_o$

$\rightarrow V_{Cmax} = \sqrt{\frac{2}{m}(w - w_o)}$ **(0,5pt)**

**A.N:** $\begin{cases} w = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,62.10^{-34} \times 3.10^8}{0.5.10^{-6}} = 3,97.10^{-19} J \\ m = 9.10^{-31} Kg \end{cases} \rightarrow V_{Cmax} = 4,64.10^5 m/s$ **(0,5pt)**

b) **Le potentiel $U_o$ de l'anode** :

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre la cathode et l'anode

$\Delta EC_{(C,A)} = \sum W_{Fex\,(C,A)} \leftrightarrow EC_A - EC_C = |q|U_{CA}$

$\begin{cases} EC_A = 0 \; car \; V_A = 0 \\ EC_C = \frac{1}{2}mV_{Cmax}^2 \\ U_{AC} = U_0 - U_C = U_0 \; avec \; U_c = 0 \end{cases} \rightarrow -\frac{1}{2}mV_{Cmax}^2 = eU_o \rightarrow U_o = -\frac{mV_{Cmax}^2}{2e}$ **(0,5pt)**

**A.N:** $U_o = \frac{9.10^{-31} \times (4,64.10^5)^2}{2 \times 1.6.10^{-19}} \rightarrow U_0 = -0,60V$ **(0,5pt)**

3) **L'intensité maximale $I_S$ du courant** :

$r = \frac{n}{n'}$ Avec $\begin{cases} n : nbre \; d'électrons \\ n' : nbre \; de \; photons \end{cases}$

- $q = ne = I_S t \rightarrow n = \frac{I_S t}{e}$
- $P = \frac{W}{t} = \frac{n' hC}{\lambda t} \rightarrow n' = \frac{P\lambda t}{hC}$

Alors $r = \frac{\frac{I_S t}{e}}{\frac{P\lambda t}{hC}} = \frac{I_S hCt}{eP\lambda t} \rightarrow r = \frac{I_S hC}{eP\lambda} \rightarrow I_S = \frac{reP\lambda}{hC}$ ou $I_S = \frac{reP}{w}$ **(0,5pt)**

**A.N** : $I_S = \frac{5.10^{-3} \times 1,6.10^{-19} \times 10^{-2} \times 0.5.10^{-6}}{6,62.10^{-34} \times 3.10^8} \rightarrow I_S = 2,015.10^{-5} A$ **(0,5pt)**

## B-CHIMIE :(12pts)

### I. Cours : (4,25pts)

1) a) **Nom et fonction chimique des composés** :

A: $CH_3 - CH_2 - \underset{CH_3}{\overset{}{|}}CH - CH_2OH$ 2-méthylbutan-1ol (fonction alcool primaire) **(0,25pt)**

B: $CH_3 - CH_2 - \underset{CH_3}{\overset{}{|}}CH - COOH$ Acide 2-méthylbutanoique (Acide carboxylique) **(0,25pt)**

C : $CH_3 - CH_2 - COCl$ Chlorure de propanoyle (Chlorure d'acyle) **(0,25pt)**

D : $CH_3 - CH_2 - NH - CH_3$

N-méthyléthanamine ou éthylméthylamine (Amine secondaire) **(0,25pt)**

E: $CH_3 - CH_2 - CO - O - CO - CH_2 - CH_3$ Anhydride propanoique (Anhydride d'acide) **(0,25pt)**

F: $CH_3 - \underset{CH_3}{\overset{}{|}}CH - CH_2 - \underset{NH_2}{\overset{}{|}}CH - COOH$

Acide 2-amino, 4-méthylpentanoique (Acide $\alpha$-aminé) **(0,25pt)**

b) **Identification des molécules chirales et justification** : ce sont A, B, F **(0,25pt)**

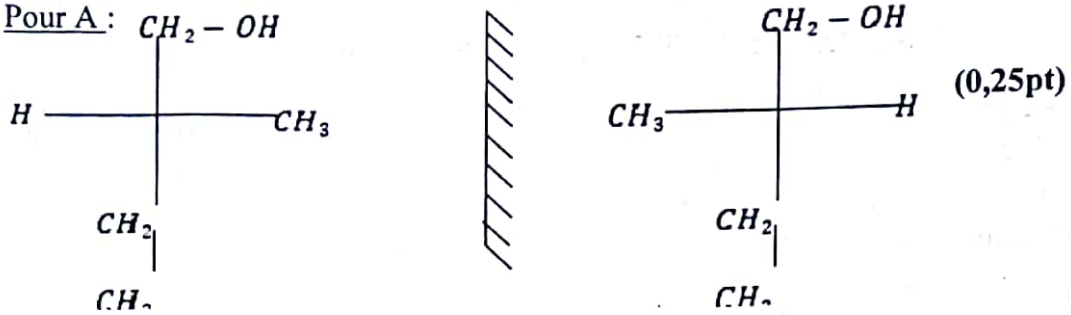
**Justification** : Elles possèdent un carbone asymétrique carbone (N°2) **(0,25pt)**



Scanned by CamScanner

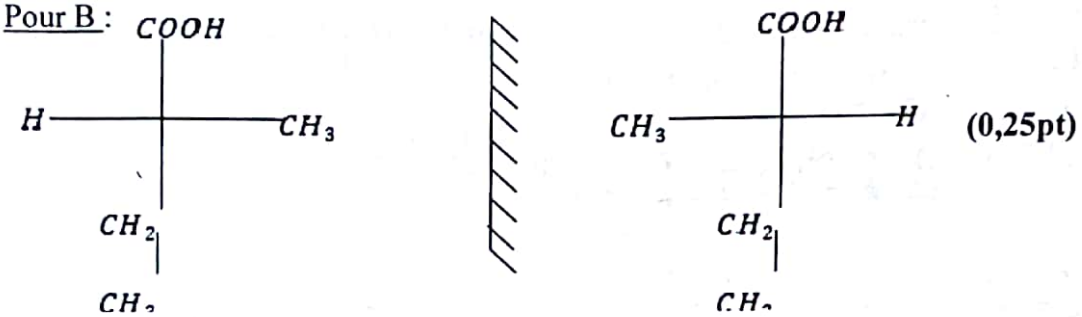
**c) Représentation de Fischer de ces molécules :**

Pour A :



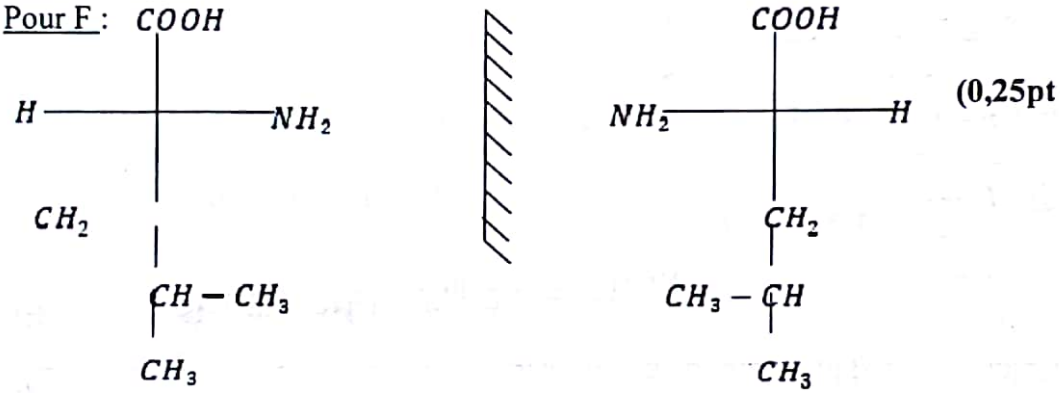
**(0,25pt)**

Pour B :



**(0,25pt)**

Pour F :



**(0,25pt)**

**2) Les facteurs de la cinétique :**

Ce sont : la température, le catalyseur et la concentration **(0,75pt)**

**3) Réaction de polymérisation :**

- **Définition :** C'est une réaction au cours de laquelle des molécules appelées monomères s'unissent pour donner une macromolécule appelée polymère **(0,25pt)**
- **Equation de polymérisation du P.V.C :**

$n\,CH_2 = CHCl \rightarrow -(CH_2 - CHCl)_n -$ **(0,25pt)**

- **Nom du polymère :** C'est le polychlorure de vinyle (P.V.C) **(0,25pt)**

**II. Exercice : (2,75pt)**

**1) Equation bilan et nom des produits formés :**

$CH_3\text{-}COOH + CH_3\text{-}CHOH\text{-}CH_3 \rightleftarrows CH_3\text{-}COO\text{-}CH(CH_3)\text{-}CH_3 + H_2O$ **(0,5pt)**

$CH_3\text{-}COO\text{-}CH(CH_3)\text{-}CH_3$: éthanoate d'isopropyle ou éthanoate de 1-méthyléthyle **(0,25pt)**

$H_2O$: eau **(0,25pt)**



Scanned by CamScanner

2) **La constante d'équilibre $K_C$**:

$K_C = \frac{[E]\cdot[H_2O]}{[Ac]\cdot[Al]}$ Or $[C] = \frac{n}{V} \rightarrow K_C = \frac{n(E)\cdot n(H_2O)}{n(Ac)\cdot n(Al)}$

$CH_3\text{-}COOH + CH_3\text{-}CHOH\text{-}CH_3 \rightleftarrows CH_3\text{-}COO\text{-}CH(CH_3)\text{-}CH_3 + H_2O$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| à $t = 0$ | 1 | 1 | 0 | 0 |
| à $l' \rightleftarrows$ | $1 - x$ | $1 - x$ | $x = 0,6$ | $x$ |
| *alors* $l' \rightleftarrows$ | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,6 |

Alors $K_C = \frac{x^2}{(1-x)^2}$ **(0,25pt)**

**A.N** : $K_C = \frac{0,6\cdot0,6}{0,4\cdot0,4} \rightarrow K_C = 2,25$ **(0,25pt)**

3) **Sens d'évolution du système** : En augmentant le nombre de mole de l'ester, sa concentration augmente. Alors le système évolue dans le sens de disparition de l'ester ou le sens d'hydrolyse ou le sens 2 **(0,25pt)**

4) **Composition du mélange du nouvel état d'équilibre** :

$CH_3\text{-}COOH + CH_3\text{-}CHOH\text{-}CH_3 \rightleftarrows CH_3\text{-}COO\text{-}CH(CH_3)\text{-}CH_3 + H_2O$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| à $t = 0$ | 0,4 | 0,4 | 1,6 | 0,6 |
| à $l' \rightleftarrows$ | $0,4 + x$ | $0,4 + x$ | $1,6 - x$ | $0,6 - x$ |

Alors $K_C = \frac{(1,6-x)(0,6-x)}{(0,4+x)(0,4+x)} = 2,25$

$\rightarrow 1,25x^2 + 4x - 0,6 = 0$ Avec $0 < x \leq 0,6$

$\Delta = 16(4 * 1,25 * 0,6) \rightarrow \Delta = 19 \rightarrow \sqrt{\Delta} = 4,36$

$x_1 = \frac{-4-4,36}{2*1,25} = -3,34$ à rejeter

$x_2 = \frac{-4+4,36}{2*1,25} = 0,14$ Alors $x = 0,14mol$

Donc la composition du mélange est :

| | $CH_3\text{-}COOH$ | $CH_3\text{-}CHOH\text{-}CH_3$ | $CH_3\text{-}COO\text{-}CH(CH_3)\text{-}CH_3$ | $H_2O$ |
|---|---|---|---|---|
| A t=0 | 0,4 | 0,4 | 1,6 | 0,6 |
| A l'équilibre | 0,4+0,14 =0,54 mol | 0,4+0,14 =0,54 mol | 1,6-0,14 =1,46 mol | 0,6-0,14 =0,46mol |
| | **(0,25pt)** | **(0,25pt)** | **(0,25pt)** | **(0,25pt)** |

## III. Problème : (5pts)

1) **Equation bilan** :

$CH_3 - COOH + OH^- \rightarrow CH_3 - COO^- + H_2O$ **(0,5pt)**

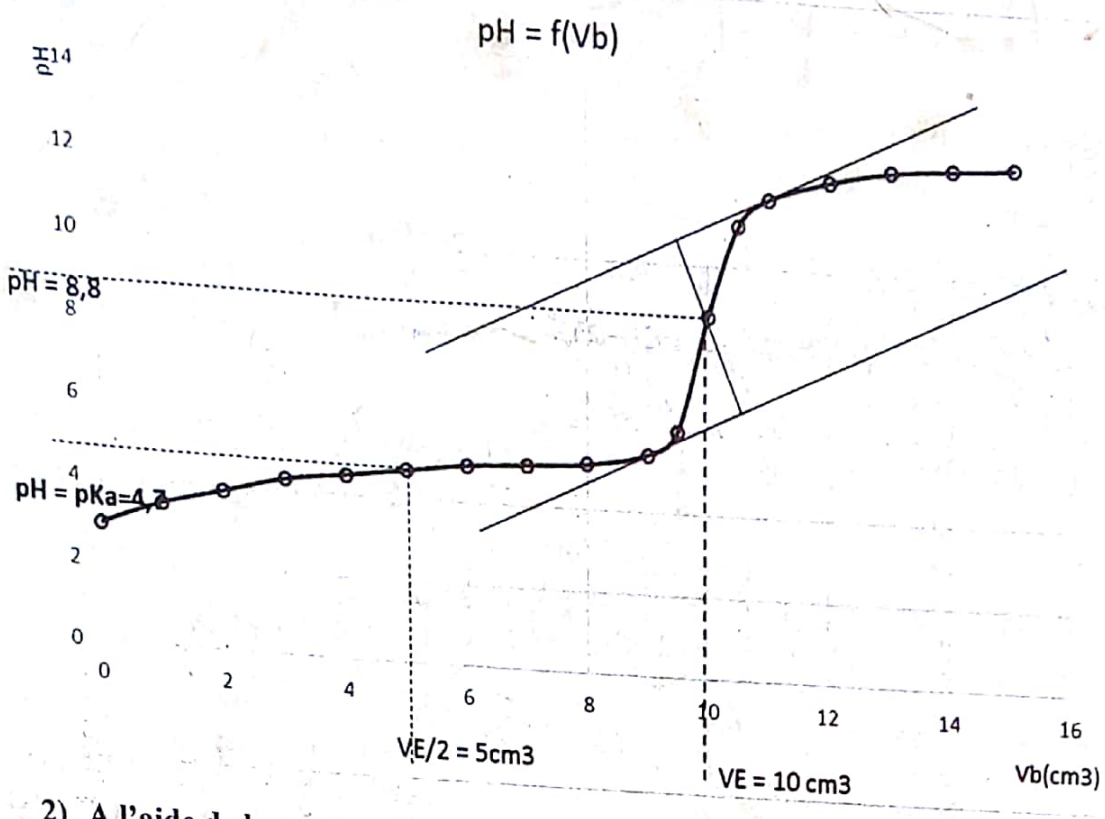
Ou

$CH_3 - COOH + (Na^+ + OH^-) \rightarrow CH_3 - COO^- + H_2O + Na^+$

**Tracé de la courbe** : (voir papier millimétré) **(2pts)**



Scanned by CamScanner




2) **A l'aide de la courbe, déterminons :**

- **Le volume $V_E$ à l'équivalence** : A l'équivalence, la courbe montre pH = 8,8
  $V_E = 10\ cm^3$ **(0,5pt) (ordre de grandeur)**
- **Le $P^{Ka}$ du couple** : Il correspond à la valeur du $P^H$ à la demi-équivalence c'est à dire pour un volume de soude $V_b = \frac{V_E}{2} = 5cm^3$. Par projection de cette valeur sur la courbe et sur l'axe des $P^H$, on trouve $P^{Ka} = 4,7$ **(0,5pt)**

3) **La concentration de l'acide** :

A l'équivalence acido-basique on a : $n_a = n_b \rightarrow C_a V_a = C_b V_E \rightarrow C_a = \frac{C_b V_E}{V_a}$

**A.N:** $C_a = \frac{10^{-1} \times 9,9}{10} \rightarrow C_a = 9,9.10^{-2} \approx 0,1 mol/L$ **(0,25pt)**

4) **La concentration des espèces en solution** :

Ce sont : $H_3O^+, OH^-, Na^+, CH_3 - COO^-$ et $CH_3 - COOH_r$

Au point de demi-équivalence $P^H = P^{Ka} = 4,7$

- $[H_3O^+] = 10^{-P^H}\ 10^{-4.7} = 1,995.10^{-5} \approx 2.10^{-5}$
  $\rightarrow [H_3O^+] = 2.10^{-5} mol/L$ **(0,25pt)**
- $[OH^-] = \frac{Ke}{[H_3O^+]} = \frac{10^{-14}}{2.10^{-5}} \rightarrow [OH^-] = 5.10^{-10} mol/L$ **(0,25pt)**
- $[Na^+] = \frac{n(Na^+)}{Vt} = \frac{C_b V_{E_{1/2}}}{V_a + V_{E_{1/2}}} = \frac{10^{-1} \times 5}{10+5} \rightarrow [Na^+] = 3,3.10^{-2} mol/L$ **(0,25pt)**
- D'après E.N : $[Na^+] + [H_3O^+] = [OH^-] + [CH_3 - COO^-]$
  $[CH_3 - COO^-] = [Na^+] + [H_3O^+] - [OH^-]$ or $H_3O^+$ est minoritaire et $OH^-$ u .m
  alors $[CH_3 - COO^-] = [Na^+] \rightarrow [CH_3 - COO^-] = 3,3.10^{-2} mol/L$ **(0,25pt)**
- $P^H = P^{Ka} \rightarrow [CH_3 - COOH]_r = [CH_3 - COO^-]$
  $\rightarrow [CH_3 - COOH]_r = 3,3.10^{-2} mol/L$ **(0,25pt)**



Scanned by CamScanner

$H-COOH/H-COO^-$ $H-COOH \Rightarrow 3,8 = pK_a$

$CH_3-COOH/CH_3-COO^-$ $CH_3-COOH \Rightarrow 4,8$ $4,9 = pK_a$

$NH_4^+/NH_3 \Rightarrow 9,2 = pK_a$





Scanned by CamScanner



Impressio
Centre d
Littératu
Evangélic
Sogoniko/
C L E 10-15-1

Scanned by CamScanner