République Du Mali

Un Peuple-Un But-Une Foi

PHYSIQUE



T.S.E

Edition: 2018

BADJIE KONE

PROFESSEUR PRINCIPAL

DE PHYSIQUE-CHIMIE

Préface

Dans ce 21e 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 visant 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 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.

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.BADIÈDIOURTÉ, M.BAKARY COULIBALY pour leur disponibilité;
- A tous mes collègues des établissements publics et privés partout au Mali et dans le monde ;
- A M. KALIDOUMARICO 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 BouillaguiFadiga (L.B.F)*
  - *Le Lycée Baminata Coulibaly (L.BA.C)*
  - *Le Lycée BéydiKonandji (L.B.K.A)*

Cours-Exercices de Physique----------01--138

Mouvement du centre d'inertie d'un solide----------01--11

Mouvement du projectile-Champ de pesanteur----------12--17

Mouvement des particules chargées-Champ électrique----------18--24

Mouvement des particules chargées-Champ magnétique----------25--34

Mouvement des satellites----------35--40

Energies interne-Calorimétrie----------41--45

Induction électromagnétique----------46--53

Auto-induction ou self induction----------54--56

Applications de l'induction électromagnétique----------57--63

Généralité sur les mouvements vibratoires----------64--69

Son----------70--70

Interférences mécaniques----------71--75

Interférences lumineuses----------76--80

Rayonnement laser----------81--81

Oscillateurs mécaniques libres----------82--97

Oscillateurs électriques libres----------98--105

Oscillateurs mécaniques forcés----------106--107

Oscillateurs électriques forcés----------108--121

Puissances----------122--122

Ondes électromagnétiques----------123--125

Effet photoélectrique----------126--129

Effet thermoélectronique----------130--130

Radioactivité ----------131--135

Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène----------136--138

Sujet BAC2014 et corrigé----------

Sujet BAC 2015 et corrigé----------

Sujet BAC 2016 et corrigé----------

Sujet BAC 2017 et corrigé----------

MOUVEMENT DU CENTRE D'INERTIE D'UN SOLIDE

A) Cinématique :

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

- **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 $(o, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$

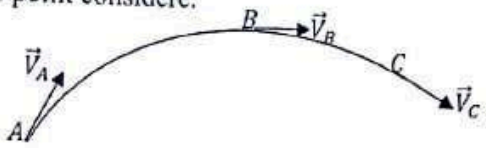
$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x \\ y \\ z \end{cases}$ Alors le vecteur-position s'écrit : $\overrightarrow{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$

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

Le vecteur-vitesse du mobile est: $\vec{V} = V_x\vec{i} + V_y\vec{j} + V_z\vec{k}$ 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.

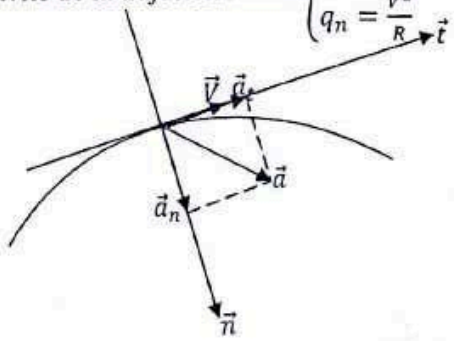


- Accélération : L'accélération est la dérivée de la vitesse par rapport au temps. C'est aussi la dérivée seconde de l'abscisse par rapport au temps $a = \frac{dV}{dt}$

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

Avec $\begin{cases} a_x = \frac{dV_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \\ a_y = \frac{dV_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} \\ a_z = \frac{dV_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2} \end{cases}$ 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 $(\vec{n}, \vec{t})$ le vecteur-accélération est donné par $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t$ et est dirigé vers la concavité de la trajectoire avec $\begin{cases} a_t = \frac{dV}{dt} \\ q_n = \frac{V^2}{R} \end{cases}$



- **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.

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

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

$t$dans2 $\rightarrow y = (x-1)^2 + 3(x-1) + 4 = x^2 - 2x + 1 + 3x - 3 + 4$

$\rightarrow y = x^2 + x + 2$ 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 montrer qu'un mouvement est plan, on suppose un troisième axe puis on montre qu'il n'y a pas de mouvement suivant cet axe.

1) **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 et l'accélération est nulle.

2) **Mouvement rectiligne uniformément varié** : C'est un mouvement dont la trajectoire est une droite et le vecteur-accélérateura 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 uniformément varié 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. Elle peut s'annuler à une date $t = -\frac{V_o}{a}$. 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: $V_x^2 - {V_{ox}}^2 = 2a_x(x - x_o)$

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

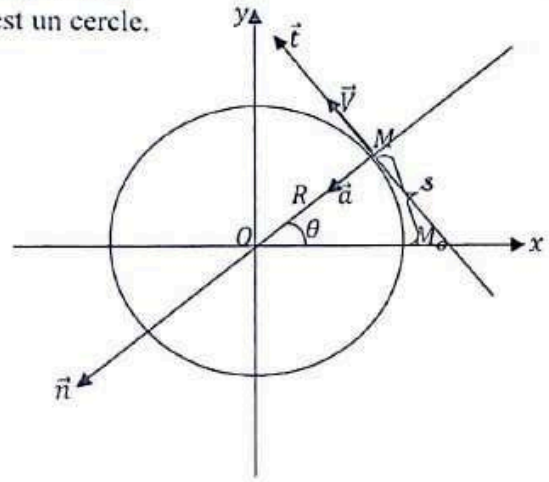
3) **Mouvement circulaire uniforme** :

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

N.B : Dans un mouvement circulaire uniforme la vitesse est constante mais l'accélération existe. Cette accélération est due au fait que le vecteur-vitesse change de direction et de sens.

- **Caractéristiques** : Dans un mouvement circulaire uniforme :

❖ Les abscisses sont des fonctions affines du temps
❖ Les vitesses sont constantes
❖ L'accélération est normale
❖ La trajectoire est un cercle.



✓ **Les abscisses** : $\begin{cases} s = Vt + s_o \ \ en\ m & abscisse\ curviligne\ ou\ linéaire \\ \theta = \omega t + \theta_o\ en\ rad & abscisse\ angulaire \end{cases}$

Angulaire :

✓ **Relation entre les abscisses** :Dans le triangle : $\sin\theta = \frac{s}{R} \rightarrow s = R\sin\theta$

Avec θ faible $\sin\theta \approx \theta \rightarrow s = R\theta$

✓ **Les vitesses** : $\begin{cases} \frac{ds}{dt} = V\ en\ m/s & vitesse\ linéaire \\ \frac{d\theta}{dt} = \dot{\theta} = \omega\ en\ rad/s & vitesse\ angulaire \end{cases}$

✓ **Relation entre les vitesses** : on a : $s = R\theta \rightarrow \frac{ds}{dt} = R\frac{d\theta}{dt} \rightarrow V = R\omega$

✓ **L'accélération** : Dans la base de Frénét : $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t$

$$\vec{a}\vec{V}\perp \begin{cases} a_t = \frac{dV}{dt} = 0 \\ Or\ a_n = \frac{V^2}{R} \end{cases} \rightarrow a = a_n \rightarrow a = \frac{V^2}{R}$$

On sait que $V = R\omega \rightarrow a = \frac{(R\omega)^2}{R} \rightarrow a = R\omega^2$

✓ **La période** : D'une manière générale, la période est le temps au bout duquel un mouvement se répète identiquement à lui-même.

Dans un mouvement circulaire, la période est le temps mis par un mobile pour effectuer un tour complet de sa trajectoire.

$$\text{à } t = 0 \rightarrow \theta_o = 0 \rightarrow s = Vt$$

Pour un tour $\begin{cases} s = 2\pi R \\ t \rightarrow T \end{cases} \rightarrow 2\pi R = VT \rightarrow T = \frac{2\pi R}{V}$

On sait que $V = R\omega \rightarrow T = \frac{2\pi R}{R\omega} \rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega}$

✓ **La fréquence**:D'une manière générale, la fréquence est le nombre de période.

Dans un mouvement circulaire, c'est le nombre de tours effectué par un mobile en une seconde. C'est l'inverse de la période. $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} \rightarrow \omega = 2\pi f$

4) **Mouvement sinusoïdal** :

- **Définition** : C'est un mouvement dont la grandeur caractéristique est une fonction sinusoïdale du temps.

  On a: $x = X_m \cos(\omega t + \varphi)$

  X_m: Amplitude ou élongation maximale ou position maximale ou l'abscisse maximale

  ω : La pulsation en rad/s

  φ : La phase à l'origine ou phase à $t = 0$ en rad

  $\omega t + \varphi$: La phase à $t \neq 0$

  x : Abscisse ou élongation ou position ou la distance en m

  N.B : X_m et φ sont déterminer à l'instant $t = 0$

- **Ses équations horaires** :

$$\begin{cases} x = X_m \cos(\omega t + \varphi) \\ V = -\omega X_m \sin(\omega t + \varphi) \\ a = -\omega^2 X_m \cos(\omega t + \varphi) \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x = X_m \cos(\omega t + \varphi) \\ V = -V_m \sin(\omega t + \varphi) \\ a = -a_m \cos(\omega t + \varphi) \end{cases} ;\ V_m = \omega X_m \text{ et } a_m = \omega^2 X_m$$

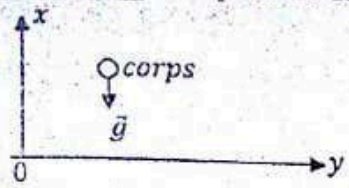
Remarque : $a = \ddot{x} = -\omega^2 X_m \cos(\omega t + \varphi) \rightarrow \ddot{x} = -\omega^2 x \rightarrow \ddot{x} + \omega^2 x = 0$ équation différentielle.

B) **Dynamique** :

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

1) **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 : $\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

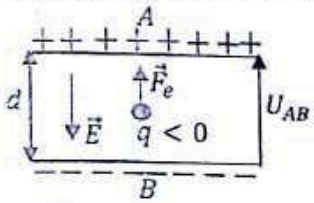
Exemple 1 : Corps lancé dans un champ de pesanteur :



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

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 un champ électrique uniforme :

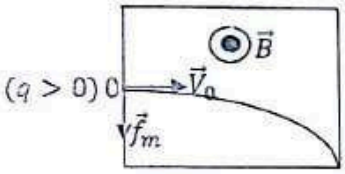


$\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

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 $a = \frac{|q|E}{m}$

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

Exemple 3 :Proton dans un champ magnétique uniforme :



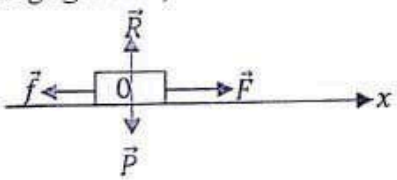
$\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$

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

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

Exemple 4 :Skieur tiré à l'aide d'une corde (Les forces de frottement n'étant pas négligeables)



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

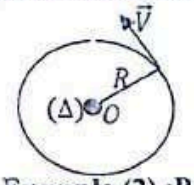
Or $\sum \vec{F}_{ex} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{F} + \vec{f} \rightarrow m\vec{a} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{F} + \vec{f}$

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

2) **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).

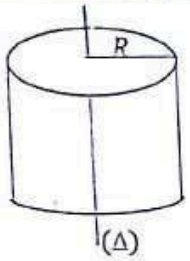
- **Energie mécanique** : L'énergie mécanique d'un système est la somme deses énergies cinétique et potentielle. $E_m = E_C + E_P$
- **Energie cinétique** : L'énergie cinétique est l'énergie due à la vitesse.
- Pour un solide en translation : $E_C = \frac{1}{2}mV^2$ en J
- Pour un solide en rotation : 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)
- 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

Exemple (1) : Pour un solide en mouvement circulaire :



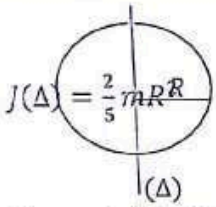
$$J(\Delta) = mR^2$$

Exemple (2) : Pour un cylindre homogène :

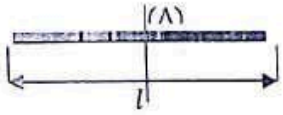


$$J(\Delta) = \frac{1}{2}mR^2$$

Exemple (3) : Pour une sphère (bille) :



Exemple (4) : Pour une tige homogène :



$$J(\Delta) = \frac{1}{12}ml^2$$

- **Théorème de l'énergie cinétique** :

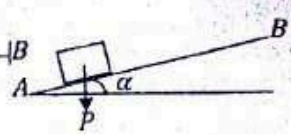
Enoncé : La variation de l'énergie cinétique entre deux (2) points A et B est égale à la somme des travaux de toutes les forces extérieures appliquées à ce corps entre ces points. $\Delta E_{C_{(A,B)}} = \sum W_{\vec{F}_{ex(A,B)}}$

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

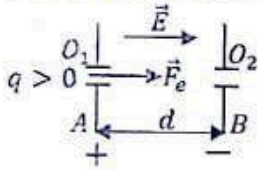
- **Dans le champ de pesanteur** :



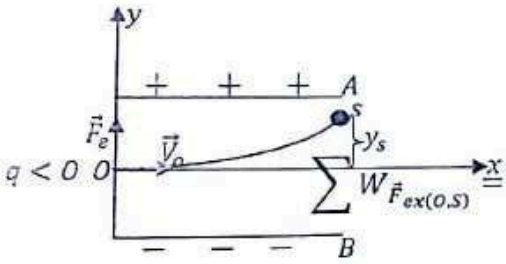
On a : $\sum W_{\vec{F}_{ex(A.B)}} = W_{\vec{P}_{(A.B)}} = \begin{cases} Ph = mgh \\ 0 \\ -Ph = -mgh \end{cases}$



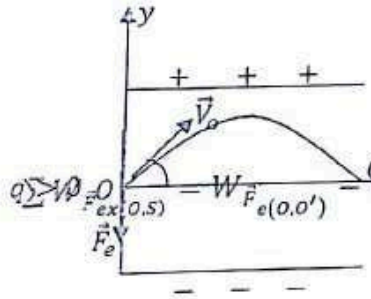
- **Dans le champ électrique**:



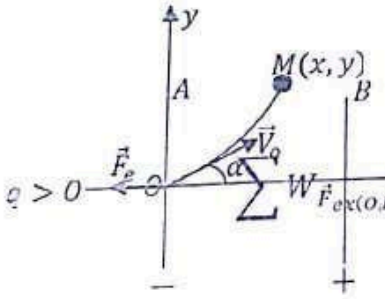
On a: $\sum W_{\vec{F}_{ex(A.B)}} = W_{\vec{F}_{e(A.B)}} = F_e d$ avec $F_e = |q|E = \frac{|q|U}{d} \rightarrow \sum W_{\vec{F}_{ex(A.B)}} = |q|U$



$\sum W_{\vec{F}_{ex(O.S)}} = W_{\vec{F}_{e(O.S)}} = F_e . y_s = |q|E . y_s$



$\sum W_{\vec{F}_{ex(O.S)}} = W_{\vec{F}_{e(O.O')}} = 0$ car $(\vec{F}_e, \overrightarrow{OO'}) = 0$



$\sum W_{\vec{F}_{ex(O.M)}} = W_{\vec{F}_{e(O.M)}} = -F_e . x_s = -|q|E . x_s$

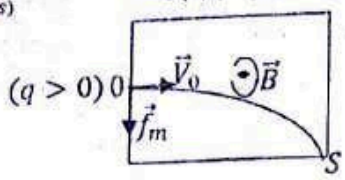
- **Dans le champ magnétique**:

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
- Energie potentielle élastique : $E_p = \frac{1}{2}Kx^2$ (K est la constante de raideur du ressort)
- Energie potentielle de torsion : $E_p = \frac{1}{2}C\alpha^2$ (C est la constante de torsion du fil)
- Energie potentielle de pesanteur : $E_{pp} = W_P = \begin{cases} mgh \\ 0 \\ -mgh \end{cases}$

$E_{P_A} = +mgh$ (au dessus de la référence)

Par convention on a : $h = o \rightarrow E_P = 0$(à la référence)

$E_{P_B} = -mgh$ (au dessus de la référence)

3) **Le travail d'une force** :Le travail d'une force est donné par le produit scalaire de la force et le déplacement.$W_{\vec{F}} = \vec{F}.\vec{d} = F \times d\cos(\vec{F}, \vec{d})$

Exemple (1) :Travail de la force motrice ou force de traction $\vec{F}$:

$W_{\vec{F}_{(A,B)}} = F \times d\cos(\vec{F}, \vec{l})$ Or$(\vec{F}, \vec{l}) = 0 \rightarrow \cos 0 = 1$

D'où$W_{\vec{F}_{(A,B)}} = F.l$

Exemple (2) :Le travail de la force de frottement $\vec{f}$:

$W_{\vec{f}_{(A,B)}} = f \times l\cos(\vec{f}, \vec{l})$ Or$(\vec{f}, \vec{l}) = \pi \rightarrow \cos\pi = -1$

D'où $W_{\vec{f}_{(A,B)}} = -f.l$

Exemple (3) :Le travail de la réaction $\vec{R}$:

$W_{\vec{R}_{(A,B)}} = R \times l\cos(\vec{R}, \vec{l})$ or$(\vec{R}, \vec{l}) = \frac{\pi}{2} \rightarrow \cos\frac{\pi}{2} = 0$

D'où$W_{\vec{R}_{(A,B)}} = 0$

N.B : Le travail de la réaction d'un support est toujours nul car elle est toujours perpendiculaire au plan.

Mouvement du centre d'inertie d'un solide

4) **Loi de conservation de l'énergie mécanique** :

- **Système conservatif** : Un système conservatif est un système qui n'est soumis à aucune force de frottement $\Delta E_m = 0$
- **Système non conservatif** : Un système non conservatif est un système soumis à des forces de frottements $\Delta E_m = W_{frott} < 0$
- **Loi de conservation** : L'énergie mécanique d'un système conservatif est constante. C'est-à-dire : $E_{m(initiale)} = E_{m(finale)} = C^{te}$.

EXERCICES SUR LE MOUVEMENT DU CENTRE D'INERTIE D'UN SOLIDE

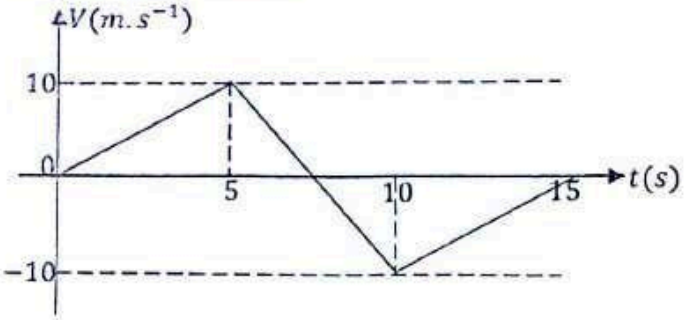
Exercice 1 : Les parties 1 et 2 sont indépendantes

1) Un élève en retard pour son cours de physique, alors qu'il se trouve à la distance de $20m$ de la station, voit son autobus démarrer. L'autobus est animé d'un mouvement rectiligne uniformément varié d'accélération $a_1 = 0{,}80\ ms^{-2}$
L'élève court à la vitesse constante $V_2 = 6{,}0ms^{-1}$. Rattrapera-t-il l'autobus ?
Si oui calculer la durée de sa course et la distance qu'il a parcourue.

2) La représentation graphique de la vitesse $V = f(t)$ d'un mobile est donnée par la figure qui suit :

a) Calculer les accélérations du mobile au cours des trois phases du mouvement.

b) Calculer l'espace parcouru par le mobile au cours de chaque phase et en déduire l'espace total parcouru.



Exercice 2 :Un point M d'un solide est animé d'un mouvement circulaire uniforme ; il décrit une trajectoire circulaire de rayon $R = 20Cm$ à raison de 2400 trs/ min.

1) Déterminer numériquement :

a) La fréquence et la période du mouvement du point M

b) Les vitesses linéaire et angulaire du point M

c) L'accélération du point M.

2) Sur un schéma représenter la trajectoire et, à un instant t, le vecteur $\vec{V}$ et le vecteur-accélération $\vec{a}$ du point M.

Exercice 3 : Un système est mis en mouvement sinusoïdal de pulsation$\omega = 10rad/s$
Ecrire les équations horaires du mouvement du système dans chacun des cas suivants :

$a)$ à $t = 0$ $\begin{cases} x_o = 2Cm \\ V_o = 0 \end{cases}$ $b)$ à $t = 0$ $\begin{cases} x_o = -2Cm \\ V_o = 0 \end{cases}$

$c)$ à $t = 0$ $\begin{cases} x_o = 0 \\ V_o = 0{,}2m/s \end{cases}$ $d)$ à $t = 0$ $\begin{cases} x_o = 0 \\ V_o = -0{,}2m/s \end{cases}$

$e)$ à $t = 0$ $\begin{cases} x_o = 1\ Cm \\ V_o = 0{,}1m/s \end{cases}$

Exercice 4 :Dans un stand de fête foraine, un objet S, de masse $m = 5Kg$, assimilable à un point matériel, est placé sur des rails horizontaux de longueurAB. Pour tester sa force, une personne pousse cette masse avec une force $\vec{F}$ constante, horizontale, pendant une durée$t = 3s$.

1) a) Déterminer la nature du mouvement de S, en supposant que S glisse sans frottement sur les rails en partant de la position de repos.

b) Sachant qu'à la fin de la période de lancement S a une vitesse égale à $6m/s$, calculer la valeur numérique de la force $\vec{F}$ appliquée.

c) Calculer la distance de lancement AB et le travail effectué par la personne.

2) Arrivé en B, S doit s'élever sur un plan incliné d'un angle $\alpha = 30°$ par rapport au plan horizontal.

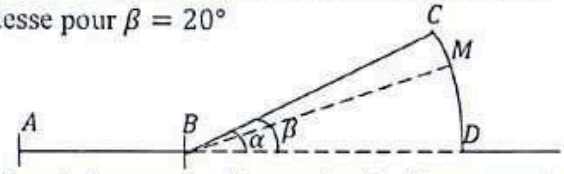
a) En supposant les frottements négligeables et le plan incliné suffisamment long, quelle longueur devrait parcourir l'objet S sur le plan incliné jusqu'à ce que sa vitesse s'annule ? On prendra $g = 10m.s^{-2}$.

b) En réalité, on constate que S parcourt une distance $BC = l_1 = 3m$ le long du plan incliné. En supposant que les frottements sont équivalents à une force unique $\vec{f}$ parallèle au plan incliné et dirigée en sens contraire du vecteur-vitesse $\vec{V}$, calculer la norme de $\vec{f}$.

3) A l'extrémité C du plan incliné BC, le mobile S aborde sans vitesse une piste circulaire CD de centre B et de rayon $l_1 = BC = 3m$. La position de l'objet sur la piste circulaire CD est repérée par l'angle $\beta = (\overrightarrow{BD}, \overrightarrow{BM})$. Les frottements seront négligés.

Exprimer en fonction de l_1, α, β et g, la vitesse de S au point M.

Calculer cette vitesse pour $\beta = 20°$



Exercice 5 : La piste de lancement d'un projectile M comprend une partie rectiligne horizontale ABC et une partie circulaire CD, centrée en O, de rayon $R = 1m$, d'angle au centre $\alpha = 60°$ et tel que OC est perpendiculaire à AC. Le projectile M, assimilable à un point matériel de masse $m = 0{,}5Kg$, est lancé suivant AB de longueur $1m$ avec une force constante et ne s'exerçant qu'entre A et B.

1) a) Déterminer l'intensité minimale F_o de la force $\vec{F}$ pour que le projectile arrive en D.

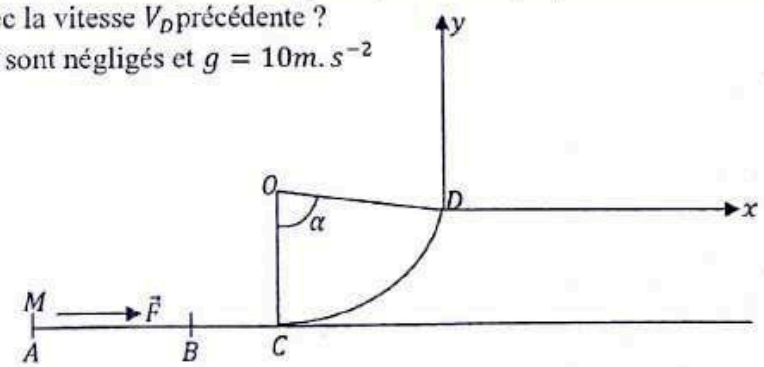
b) L'intensité de la force est égale à $150N$. Donner la valeur numérique de la vitesse V_D avec laquelle le projectile quitte la piste.

2) a) Etablir l'équation de la trajectoire du solide au-delà de D dans un repère orthogonal d'origine D.

b) Quelle est la hauteur maximale atteinte au-dessus de l'horizontale ABC ?

3) Quelle est l'intensité de la force exercée par la piste sur le projectile au moment de la quitter en D avec la vitesse V_D précédente ?

Les frottements sont négligés et $g = 10m.s^{-2}$



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 $\vec{g}$ crée 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 $\vec{P} = m\vec{g}$.

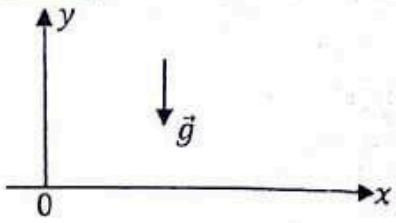
- Les caractéristiques du vecteur champ de pesanteur $\vec{g}$:

  Point d'application : tout point de l'espace

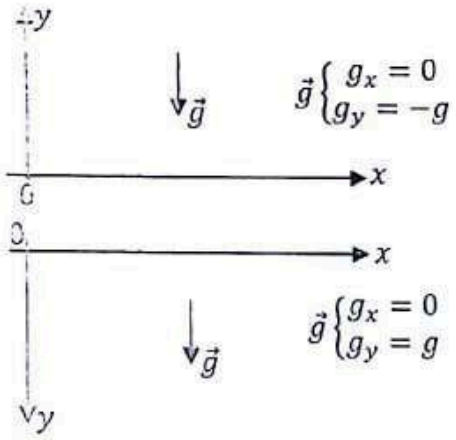
  $\vec{g}$ Direction : verticale

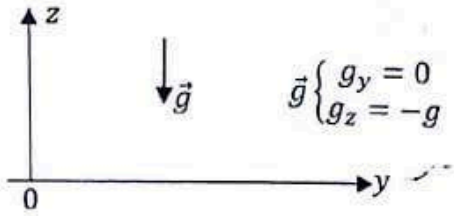
  Sens : toujours dirigé vers le bas

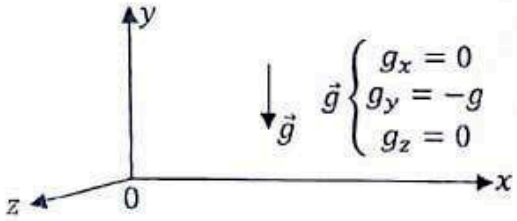
  Intensité : g ou g_o=9,81N/Kg



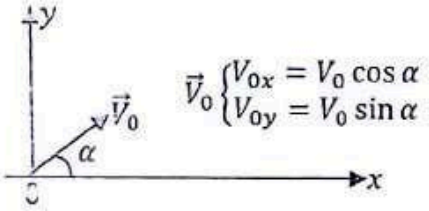
- Les coordonnées du vecteur champ de pesanteur $\vec{g}$ dans un repère :

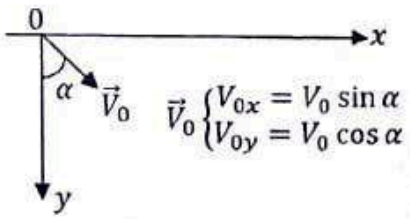


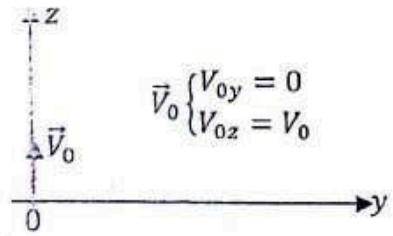


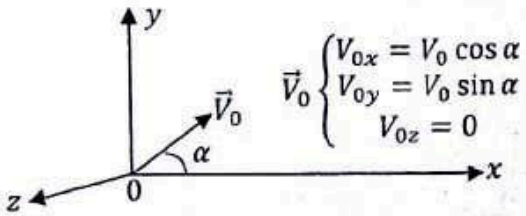


- Les coordonnées du vecteur-vitesse $\vec{V}_o$ dans un repère :

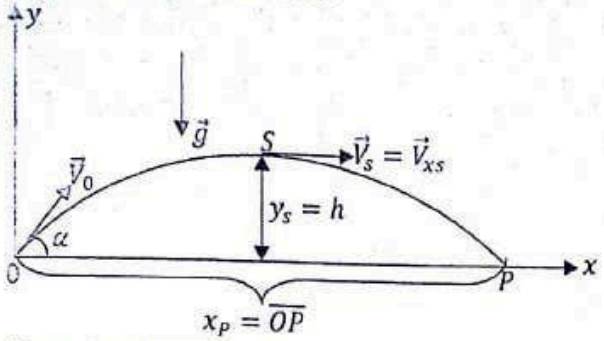








2) **Projectile dans un champ de pesanteur** : Soit un projectile de masse m lancé dans le champ de pesanteur à partir d'un point O avec un vecteur-vitesse initial $\vec{V}_o$ faisant un angle α avec l'horizontale.



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

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

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

$$\text{A } t = 0, \overrightarrow{OG_0} \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{cases} ; \vec{V}_0 \begin{cases} V_{0x} = V_0 \cos\alpha \\ V_{0y} = V_0 \sin\alpha \end{cases}$$

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

  - **Nature de la trajectoire** :
  - **Equation de la trajectoire** :

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

tdans(2) $\rightarrow y = \frac{-g}{2V_0^2 \cos^2\alpha} x^2 + x \tan\alpha$ (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 du projectile sur le sol. C'est l'abscisse x_P du point P.
  - **Expression** :

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

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

$$y_P = \frac{-g}{2V_0^2 \cos^2\alpha} {x_P}^2 + x_P \tan\alpha$$

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

$\rightarrow x_P = \frac{2V_0^2\cos\alpha\sin\alpha}{g} \rightarrow x_P = \frac{V_0^2\sin 2\alpha}{g}$ *en m*. Avec $\sin 2\alpha = 2\cos\alpha\sin\alpha$

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

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

- 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 :

$V_P = \sqrt{V_{xP}^2 + V_{yP}^2}$

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

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

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

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

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

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

Les coordonnées de la vitesse au sommet sont :

$\vec{V}_s\begin{cases} V_{xs} = V_0\cos\alpha \\ V_y = 0\ car\ \vec{V}_s \perp oy \end{cases}$ Alors $V_s = \sqrt{(V_o\cos\alpha)^2 + 0} \rightarrow V_s = V_o\cos\alpha$

Autre méthode de détermination de l'expression de la flèche : On peut utiliser la loi de conservation de l'énergie mécanique: $E_{m(o)} = E_{m(s)}$

Or $\begin{cases} E_{m(o)} = E_{C(o)} + E_{P(o)} = \frac{1}{2}mV_o^2 + 0 \\ E_{m(s)} = E_{C(s)} + E_{P(s)} = \frac{1}{2}mV_s^2 + mgh \end{cases} \rightarrow \frac{1}{2}mV_o^2 = \frac{1}{2}mV_s^2 + mgh$

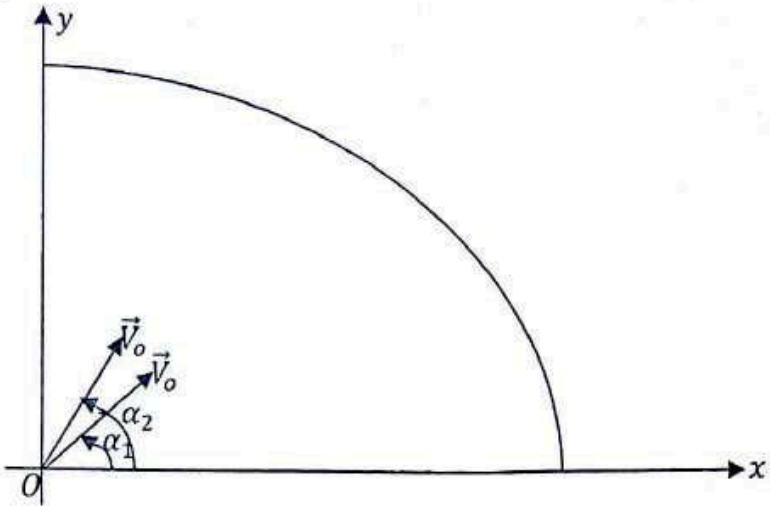
$\leftrightarrow V_o^2 = V_s^2 + 2gh \rightarrow V_o^2 - V_s^2 = 2gh \leftrightarrow V_o^2 - V_o^2\cos^2\alpha = 2gh$ Or $h = y_s$

$\rightarrow V_o^2(1 - \cos^2\alpha) = 2gy_s$ On sait que $\cos^2\alpha + \sin^2\alpha = 1 \rightarrow 1 - \cos^2\alpha = \sin^2\alpha$

D'où $V_o^2\sin^2\alpha = 2gy_s \rightarrow y_S = \frac{V_o^2\sin^2\alpha}{2g}$

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

- **La parabole de sûreté** :
  - Définition : La parabole de sûreté est la courbe enveloppante contenant toutes les trajectoires d'un projectile, lancé avec la même vitesse initiale V_o, mais des angles de tirs α diffétents.



N.B : α_1 est l'angle de tir tendu et α_2 l'angle de tir en cloche tel que $\alpha_1 < \alpha_2$

- Equation de la parabole de sûreté : On sait que : $y = \frac{-g}{2V_0^2 Cos^2 \alpha} x^2 + x \tan \alpha$

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

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

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 $V_C = 50m.s^{-1}$.

Déterminer les angles de tirs qui permettent d'atteindre la cible.

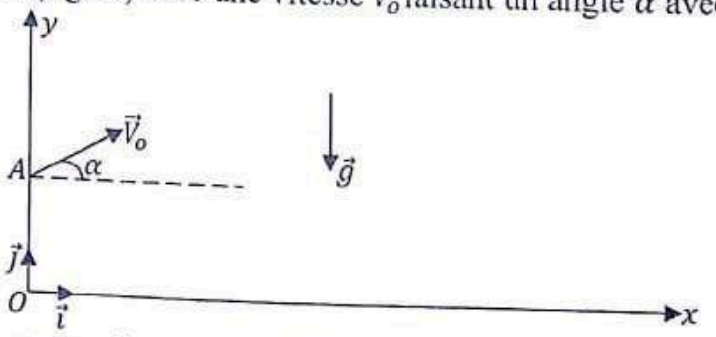
On prendra $g = 10m.s^{-2}$.

Exercice 3 : Dans tout cet exercice, on considérera la balle comme un point matériel et on négligera l'action de l'air.

Pour effectuer un service, un joueur de tennis lance une balle verticalement vers le haut à partir un point situé à $1{,}60m$ au dessus du sol ; il la frappe avec sa raquette lorsqu'elle atteint le sommet de sa trajectoire situé à $0{,}40m$ plus haut. Elle part alors avec une vitesse V_o horizontale et doit passer au-dessus d'un filet de hauteur $0{,}90m$. La distance du joueur au filet est $12m$.

1) Avec quelle vitesse le joueur lance –t-il la balle verticalement ?
2) Etablir dans un repère, que l'on définira, l'équation de la trajectoire de la balle après le lancement avec la raquette.
3) Quelle doit être la valeur de V_o pour que la balle passe au dessus du filet ?
   Quelle est lors de ce passage la direction du vecteur-vitesse de la balle.

Exercice 4 : Une bille M considérée comme ponctuelle est lancée, dans le champ de pesanteur, d'un point A (figure) avec une vitesse $\vec{V}_o$ faisant un angle α avec l'horizontale.



a) Exprimer les vecteur- vitesse $\vec{V}$ et position $\overrightarrow{OM}$ en fonction du temps t, des vecteurs $\overrightarrow{OA}, \vec{V}_o$, et $\vec{g}$. Montrer que la trajectoire est située dans le plan contenant $\vec{V}_o$

b) Exprimer les vecteurs $\vec{V}$ et position $\overrightarrow{OM}$ dans la base $(\vec{i}, \vec{j})$. En déduire les équations horaires du mouvement : $t \to x(t)$ et $t \to y(t)$

c) Etablir l'équation cartésienne de la trajectoire : $x \to y(t)$

21/187

d) En quel point et en quelle date la bille coupe t- elle le plan horizontal $(O,\vec{i},\vec{j})$
On donne e $g = 10ms^{-2}, \alpha = 60°, OA = 0{,}5m$ et $V_o = 5m/s$

Exercice 5 :Un projectile assimilable à un point matériel est lancé d'un point O à la date $t = 0$ dans le champ de pesanteur terrestre supposé uniforme. Son mouvement est étudié dans le repère $(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ considéré comme galiléen. Les frottements sont supposés négligeables et on donne $V_o = 10m/s$ et $g = 10ms^{-2}$

1) On désigne par S le point culminant de la trajectoire.

a) Déterminer l'équation cartésienne de la trajectoire et calculer les coordonnées de S.

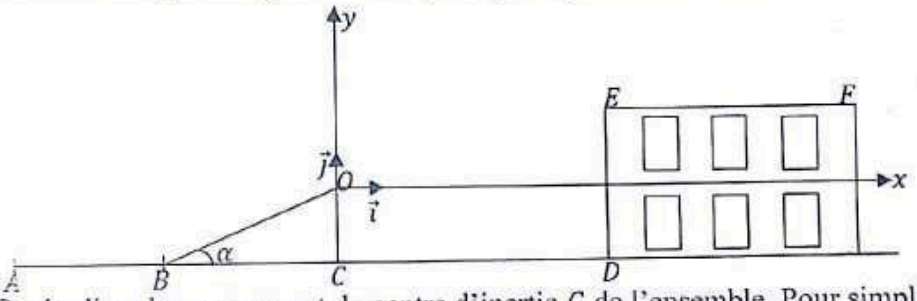
b) Quelles sont les coordonnées du vecteur-vitesse au point S ? En déduire la date de passage en ce point.

2) A la date $t = 0$on lance verticalement vers le haut, à partir du pied de la verticale passant par le point S, un deuxième projectile.

a) Avec quelle vitesse initiale doit-on lancer ce projectile pour qu'il rencontre le premier au point S.

b) Quelles sont les vitesses respectives des deux projectiles à l'instant de la rencontre ?

Exercice 6 :Un cascadeur, quittant un point A sur le plan horizontal, veut sauter avec sa voiture sur la terrasse horizontale EF d'un immeuble. Il utilise un tremplin BOC formant un angle α avec le sol horizontal $ABCD$ et placé à la distanceCD de l'immeuble(OC et DE sont les parois verticales).
La masse du système (automobile-pilote) est égale à une tonne.



On étudiera le mouvement du centre d'inertie G de l'ensemble. Pour simplifier le problème, on considérera les frottements comme inexistants dans la phase aérienne et admettra qu'à la date initiale le centre d'inertie G quitte le point O avec la vitesse $\vec{V_o}$ et qu'il est confondu avec le point E à l'arrivée. On donne$g_o = 10m.s^{-2}$

1) Déterminer la nature du mouvement du système entre B et O.

2) Etablir, dans le repère $(O,\vec{i},\vec{j})$ l'équation de la trajectoire du centre d'inertie G du système entre O et E.

3) a) Calculer la valeur de la vitesse en m/s et en Km/h ainsi que l'angle α pour que le système arrive en E avec un vecteur-vitesse $\vec{V_E}$ horizontal.
On donne $CD = 15m; DE = 10m; OC = 8m$.

b) Calculer la valeur de la vitesse $\vec{V_E}$ de l'arrivée de l'automobile en E.

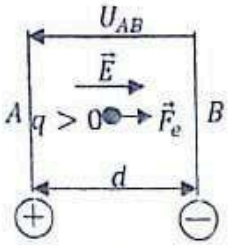
4) En considérant qu'une fois l'automobile sur la terrasse, les frottements sont équivalents à une force constante $\vec{f}$ parallèle au déplacement et de valeur $500N$.
Calculer la valeur de la force de freinage qui permettra au véhicule de s'arrêter après un trajet $EF = L = 100m$

22/187

APPLICATION DE LA R.F.D AUMOUVEMENT 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 :



Point d'application : entre les plaques
$\vec{E}$ 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 $\vec{F}_e$:

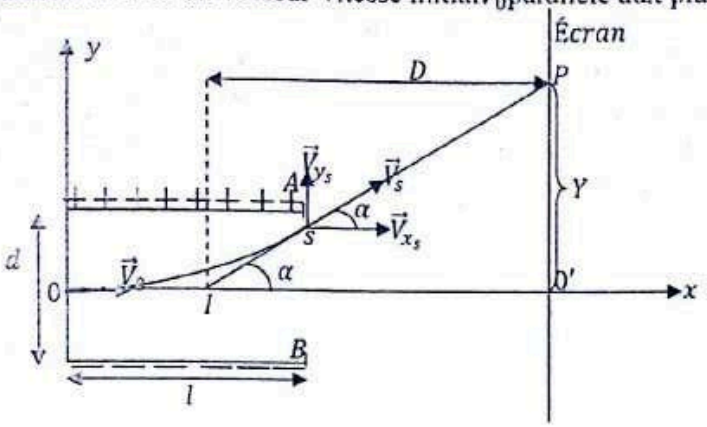
Point d'application : à la particule
Direction : celle de $\vec{E}$
$\vec{F}_e$ Si $q > 0$ alors $\vec{F}_e$ et $\vec{E}$ ont même sens
Sens : dépend de q
Si $q < 0$ alors $\vec{F}_e$ et $\vec{E}$ sont de sens contraires
Intensité : $F_e|q|E$ en N

- 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 ($^1_1H^+$)	$q = +e = +1{,}6.10^{-19}C$	$m_p = \mu = 1{,}67.10^{-27}Kg$
$^{35,5}_{17}Cl^-$	$q = -e$	$m = 35{,}5\mu$
$^{23}_{11}N_a^+$	$q = +e$	$m = 23\mu$
$^{4}_{2}H_e^{2+}$	$q = +2e$	$m = 4\mu$
$^{68}_{30}Z_n^{2+}$	$q = +2e$	$m = 68\mu$

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

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

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

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

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 : $t = \frac{x}{V_0}$

tdans $2 \rightarrow y = \frac{eU}{2mdV_0^2}x^2$ 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}

- **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 aussi déviation angulaire.
  - **Expression** :

✓ on a : $\tan\alpha = \frac{V_{ys}}{V_{xs}} = \frac{\frac{eUl}{mdV_0}}{V_0} = \frac{eUl}{mdV_0^2} \rightarrow \alpha = \tan^{-1}(\frac{eUl}{mdV_0^2})$

✓ Ou $\tan\alpha = \frac{dy_s}{dx_s}$ or $y_s = \frac{eU}{2mdV_0^2}x_s^2 \rightarrow \tan\alpha = \frac{eUx_s}{mdV_0^2} = \frac{eUl}{mdV_0^2} \rightarrow \alpha = \tan^{-1}(\frac{eUl}{mdV_0^2})$

- **La déflexion électrostatique** :
  - **Définition** : La déflexion électrostatique est le déplacement$(O'P)$ du spot sur l'écran. On l'appelle aussi déviation linéaire de la particule sur l'écran.

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

    On a : $\tan\alpha = \frac{O'P}{O'I} = \frac{Y}{D} \rightarrow Y = D\tan\alpha \rightarrow Y = \frac{eUlD}{mdV_0^2}$ en $\vec{m}$

    Remarque : $\frac{elD}{mdV_0^2} = K = C^{te} \rightarrow Y = KU$ 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 de mesure de la tension électrique.
- **Description** : L'oscilloscope comprend trois (3) parties essentielles : le canon à électrons, le système de déviations et l'écran fluorescent.
  - **Le canon à électrons** : qui produit un faisceau homocinétique d'électrons.
  - **Le système de déviation** : constitué des plaques P_1 et P_2 horizontales pour une déviation verticale et des plaquesP_1' et P_2' verticales pour une déviation horizontale.
  - **L'écran fluorescent** : où l'impact des électrons produit un spot lumineux en un point P.

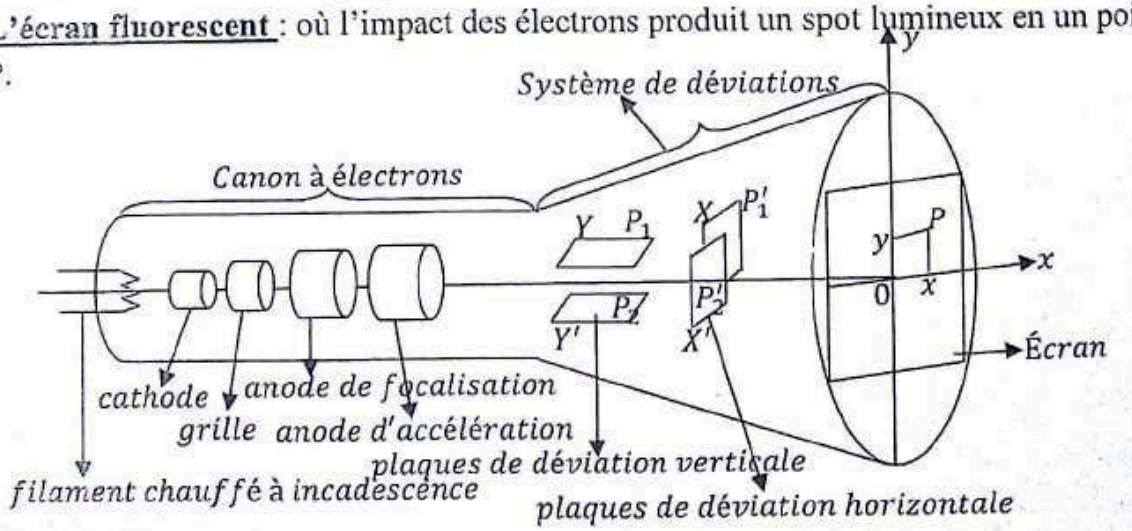


Schéma de l'oscilloscope

25/187

Mouvement des particules chargées-Champ électrique uniforme

- **Fonctionnement** : Le principe de fonctionnement de l'oscilloscope est basé sur la déflexion électrostatique :

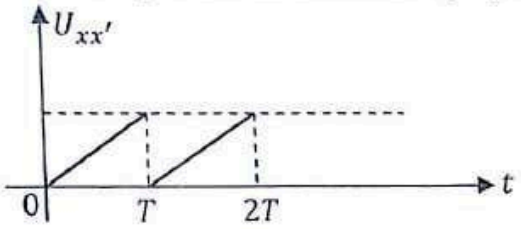
Lorsque la tension à mesurer est appliquée aux bornes de P_1 et P_2 des plaques horizontales, cela entraine sur l'écran une déflexion y proportionnelle à cette tension.

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

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 cette tension.

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.



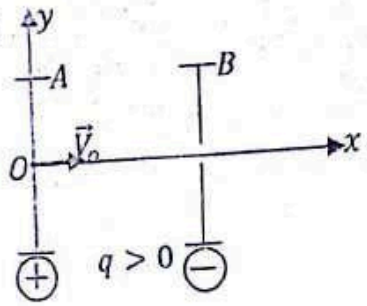
Sur une période$T$, $U_{xx'}$ est une droite alors $U_{xx'} = aT$ par conséquent x dépend du temps et T est appelée base des temps.

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. /.

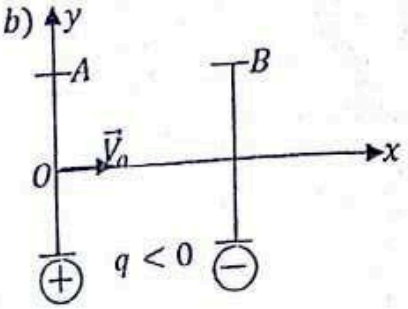
EXERCICES SUR LES PARTICULES CHARGÉE DANS UN CHAMP ÉLECTRIQUE UNIFORME

Exercice 1 :Dans chacun des cas suivant donner 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 $\vec{V}_o$

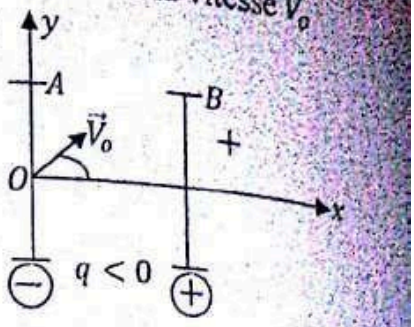
a)



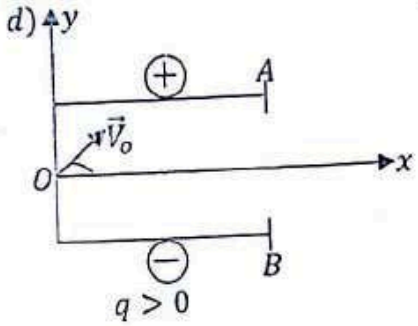
b)



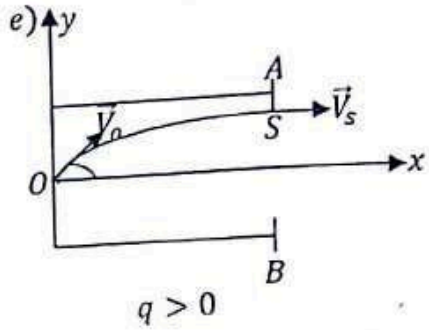
c)



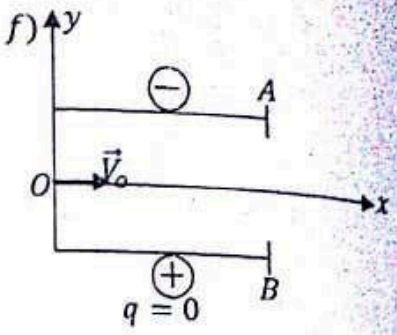
d)



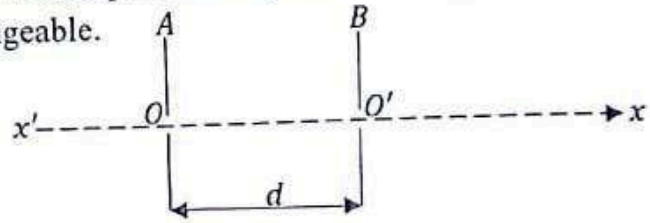
e)



f)



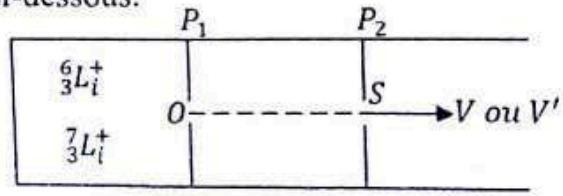
Exercice 2 : Un proton H^+ est animé d'une vitesse$V_o = 1500Km.s^{-1}$. Il pénètre entre deux électrodes A et B sous tension et distantes de $d = 10Cm$ parallèlement aux lignes de champ électrostatique. Il décrit un mouvement rectiligne accéléré suivantOO'. On admettra que le champ est uniforme entre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



1) Le proton arrive en O' avec une vitesse de $2000Km.s^{-1}$. 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 $^6_3L_i^+$ et $^7_3L_i^+$ 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.

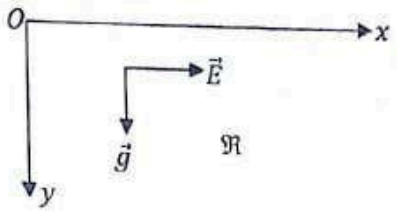


1) Déterminer la direction et le sens du champ électrique $\vec{E}$ et en déduire le signe de la tension $U = U_{P_1P_2}$ que l'on établit entre P_1 et P_2.

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

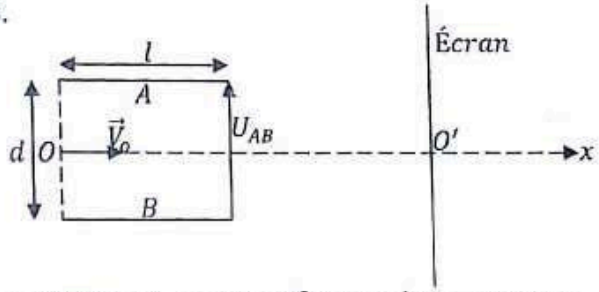
3) Application numérique : $|U| = 10^4 V; e = 1{,}6.10^{-19} C;\ \mu = 1{,}67.10^{-27} Kg$
Calculer en S les énergies cinétiques des ions en joule (J) ensuite en électro-volt (eV)ainsi que leur vitesse respective.

Exercice 4 : Une boule métallique chargée de masse m et de charge q positive pénètre sans vitesse initiale en O dans une région $\mathfrak{R}$ de l'espace où règnentsimultanément deux (2) champs électrique $\vec{E}$ et de pesanteur $\vec{g}$



a) Inventorier les forces extérieures appliquées à la boule.
b) Déterminer les coordonnées du vecteur-accélération $\vec{a}$ du mouvement dans le système d'axes indiqué sur la figure.
c) En déduire la nature de la trajectoire de ce mouvement.

Exercice 5 :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 : $U_{AB} = 1000V;\ V_0 = 1{,}8.10^9 Cm.s^{-1}; d = 2Cm; l = 10Cm; L = 50Cm$

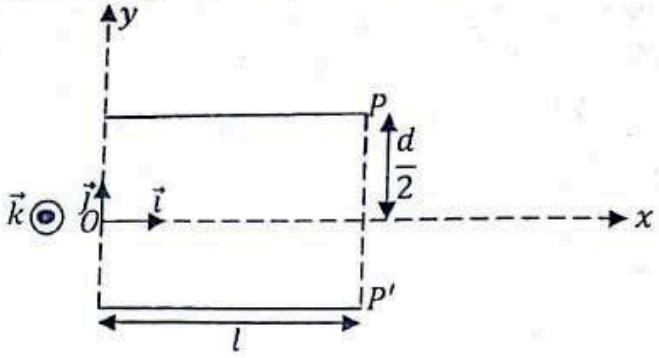
1) a) Déterminer le signe des plaques A et B.
b) Représenter en la justifiant les vecteurs : champ, force et accélérateur.
2) a) Montrer que la trajectoire de l'électron est plane à l'intérieur du champ.
b) En déduire les équations horaires et cartésienne de la trajectoire.
3) Le faisceau d'électron 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.

Mouvement des particules chargées-Champ électrique uniforme

Exercice 6 : 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.



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 $\vec{E}$.

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 àU.

c) Déterminer les coordonnées du vecteur-vitesse $\vec{V}_s$ en S ainsi que sa valeur et l'angle α que fait ce vecteur par rapport à l'axe(Ox).

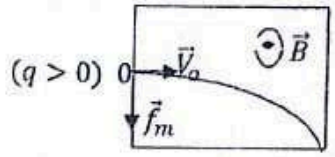
d) Calculer la durée de passage à l'intérieur du dispositif.

Données : $U = 400V$; $V_o = 10^7 ms^{-1}$ et $d = l = 4Cm$

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 magnétique qui s'applique à toute particule chargée en mouvement dans un champ magnétique uniforme.
  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 :
  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
  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 $(\vec{V},\vec{B}) = 0° \text{ ou } \pi\ rad \rightarrow \sin\alpha = 0 \rightarrow f_m = 0$ (alors la particule est au repos ou en mouvement rectiligne uniforme).

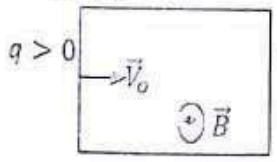


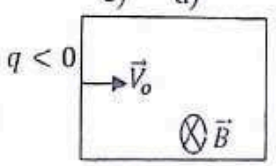
- Règle de la paume de la main droite : On peut déterminer le sens de $\vec{f}_m$ en appliquant la règle de la paume de la main droite. Dans ce cas :
  - Le bout des doigts → $\vec{V}$ si $q > 0$ et $-\vec{V}$ si $q < 0$
  - La main : ouverte si $\vec{B}$ est sortant et fermée si $\vec{B}$ est rentrant
  - Le pouce → $\vec{f}_m$
- Règle des 3doigts de la main droite : Elle permet de déterminer le sens de $\vec{V} \wedge \vec{B}$ par conséquent le sens de $\vec{f}_m$
  - Pouce → $\vec{V}$
  - Index → $\vec{B}$ on a : $\vec{B}$ (rentrant) et $\vec{B}$ (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

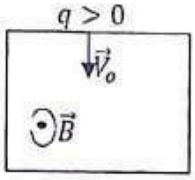
Exercice d'application : Dans chacun des cas suivants déterminer le sens de $\vec{f}_m$ ou le signe de la particule ou le sens de $\vec{B}$ et tracer l'allure de la trajectoire.

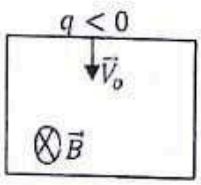
a) b)



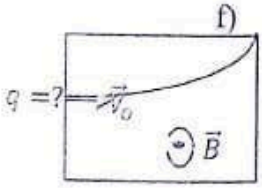


c) d)

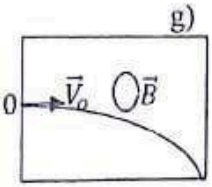


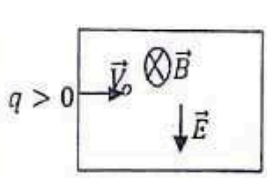


e) f)



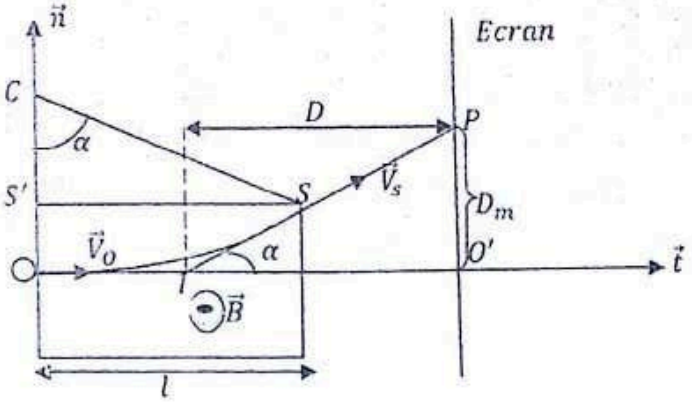
g)





30/187

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 initial $\vec{V}_o$ 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 $ma = |q|vB \sin\alpha \rightarrow a = \frac{|q|vB\sin(\vec{V},\vec{B})}{m}$

    $q = -e \rightarrow |q| = e$

    $\sin(\vec{V},\vec{B}) = 1$ Alors $a = \frac{eV_oB}{m}$

    Dans le repère de Frenet

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

    $a_t = 0$ (1)

    $\vec{a} \perp \vec{V}_o \rightarrow \vec{a}$

    $a_n = \frac{{V_o}^2}{R}$ (2)

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

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 α 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 :$\tan\alpha = \frac{O'P}{IO'} = \frac{D_m}{D} \rightarrow D_m = D\tan\alpha$

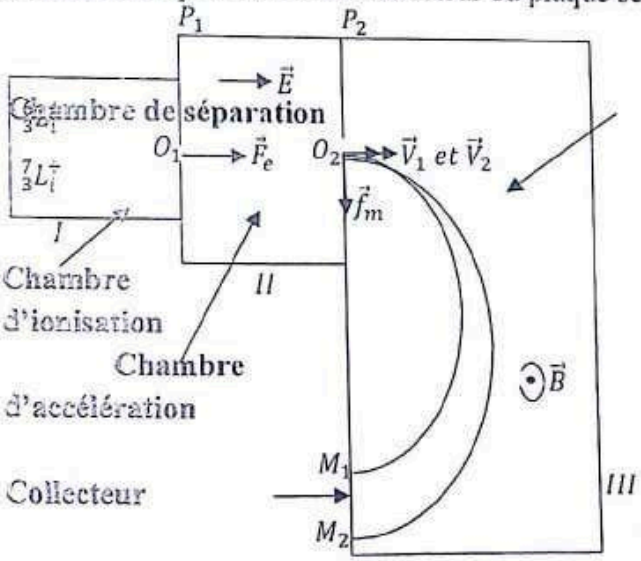
    Si α est faible alors $\tan\alpha = \sin\alpha = \alpha = \frac{elB}{mV_o}$ d'où$D_m = \frac{elBD}{mV_o}$

    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 mêmenuméro 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.

➢ **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 $V_{O_1} = 0 \rightarrow EC_i = |q|U$

$\begin{cases} Pour\ {}^6_3L_i^+ \rightarrow |q| = e \rightarrow EC_1 = eU \\ Pour\ {}^7_3L_i^+ \rightarrow |q| = e \rightarrow EC_2 = eU \end{cases} \rightarrow EC_1 = EC_2 = eU$ Alors les ions possèdent la même énergie cinétique en O_2

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

$$\begin{cases} EC_1 = |q|U \rightarrow \frac{1}{2}m_1V_1^2 = |q|U \rightarrow V_1 = \sqrt{\frac{2|q|U}{m_1}} \\ EC_2 = |q|U \rightarrow \frac{1}{2}m_2V_2^2 = |q|U \rightarrow V_2 = \sqrt{\frac{2|q|U}{m_2}} \end{cases}$$

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

$$\begin{cases} Pour\ {}^6_3L_i^+ \rightarrow R_1 = \frac{m_1V_1}{|q|B} \rightarrow R_1 = \frac{m_1}{|q|B}\sqrt{\frac{2|q|U}{m_1}} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2|q|Um_1^2}{m_1|q|^2}} \rightarrow R_1 = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m_1U}{|q|}} \\ Pour\ {}^7_3L_i^+ \rightarrow R_2 = \frac{m_2V_2}{|q|B} \rightarrow R_2 = \frac{m_2}{|q|B}\sqrt{\frac{2|q|U}{m_2}} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2|q|Um_2^2}{m_2|q|^2}} \rightarrow R_2 = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m_2U}{|q|}} \end{cases}$$

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

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

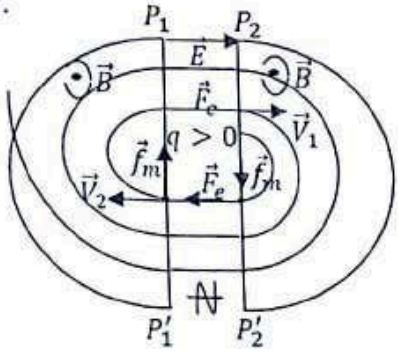
Or $m_1 = A_1\mu$ et $m_2 = A_2\mu$ alors $\frac{R_2}{R_1} = \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$

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

- **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 appelésdees.
  - **Description et fonctionnement** : A l'intérieur de chaquedees 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: $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t$

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

  (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

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

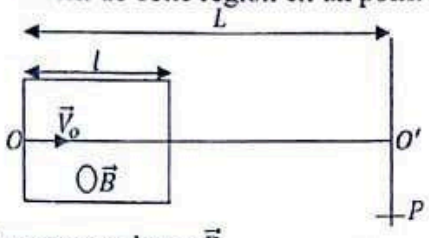
  La vitesse V_o négligéable devant $V_{max} \rightarrow \Delta E_{Cmaxi} = \frac{1}{2}mV_{max}^2$

  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. /.

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.

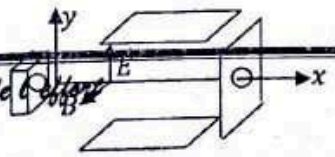


1) Préciser l'orientation du vecteur champ $\vec{B}$.
2) On considère l'angle $\alpha = (\overrightarrow{CS}, \overrightarrow{CO})$. Montrer que $\sin\alpha = \frac{l}{R}$
3) Quelle est la nature du mouvement des électrons une fois sortis du champ ?
4) Les électrons heurtent, en un point P un écran situé 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 α 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 : Pour obtenir un faisceau homocinétique à l'entrée d'un spectromètre de masse, on place avant la chambre de déviation un sélecteur de vitesse (filtre de Wien). Ce filtre ne laissera passer par une ouverture O que les particules ayant une certaine vitesse V_0 et déviera les particules ayant une vitesse différente.
Le principe du filtre considéré est le suivant :

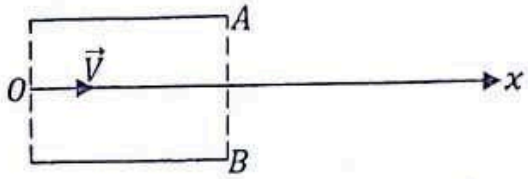
- Des particules chargées positivement sont projetées dans l'appareil suivant l'axe des abscisses ;
- Deux plaques parallèles distantes de d entre lesquelles existe une tension U produisent un champ électrique $\vec{E}$;
- Dans toute la région où règne $\vec{E}$ existe un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ orthogonal à $\vec{E}$ et à l'axe des abscisses.

1) On observe que pour une certaine vitesse V_0 les particules ne sont pas déviées. Montrer que $V_0 = \frac{E}{B}$
2) Décrire comment seront déviées les particules de vitesse $V > V_0$ et celles de vitesse $V < V_0$.
3) Calculer V_0 dans le cas où $B = 0{,}10T; d = 0{,}5Cm$ et $U = 50V$.



Exercice 3 :Des particules chargées négativement pénètrent avec diverses vitesses colinéaires, horizontales, entre les armatures Aet 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.

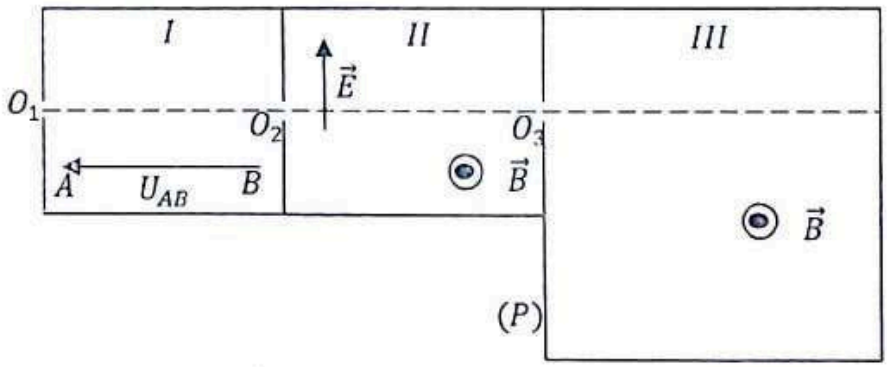
Dans la zone où règne le champ électrique$\vec{E}$, on produit également un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme, orthogonal à $\vec{E}$ et à l'axe Ox (voir figure). Le poids des particules est négligeable. On donne$d = 0{,}5Cm; B = 0{,}1T; U = 50V$.



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 4 :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 plaques Aet 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 enO_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 $^{19}K^+$ 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).

Exercice 5 : On admettra que la masse d'un atome $^A_Z X$ est égale à A unités de masse atomique μ.

Des particules de charge q et de masse m sont émises en un point S avec une vitesse négligeable. Devant S est placée une plaque métallique P percée d'un trou O (figure a) L'ensemble est placé dans le vide. On néglige le poids des particules par rapport aux autres forces et leurs vitesses restent faibles devant la célérité de la lumière.

1) On établit entre S et P une tension $U_1 = V_S - V_P$. Etablir l'expression de la vitesse V_o des particules en O en fonction de q, m et U_1

2) Au-delà de P le champ électrostatique est nul et règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ perpendiculaire au plan de la figure.

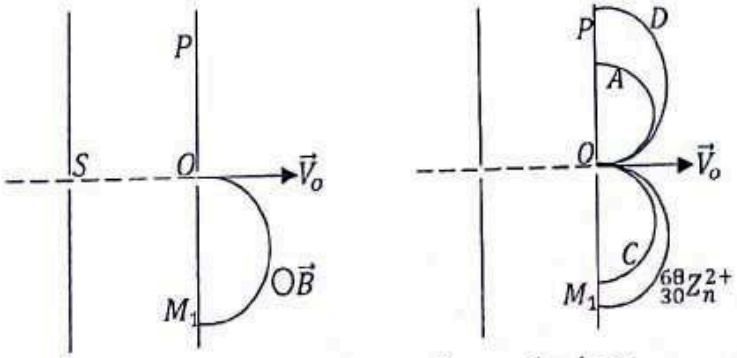
a) Dans quel plan se déplacent alors les particules ?

b) Le rayon de la trajectoire circulaire d'une particule étant donné par $R = \frac{mV_o}{|q|B}$. Exprimer ce rayon en fonction de $|q|, m; B$ et U_1

c) Les particules étudiées étant les ions isotopes du Zinc, $^{68}Z_n^{2+}$ de masse m_1 et ; $^{70}Z_n^{2+}$ de masse m_2, on observe le point d'impact des ions $^{68}Z_n^{2+}$ au point M_1 tel que $OM_1 = 20Cm$ (fig.a). En déduire le sens de $\vec{B}$.

d) M_2 étant le point d'impact des ions $^{70}Z_n^{2+}$, calculer OM_2

3) Pour identifier des ions désignés par A, D et C, portant chacun une charge absolue $e = 1{,}6.10^{-19}C$, on les introduit successivement en O avec la même vitesse $\vec{V_o}$ que les ions $^{68}Z_n^{2+}$. Les trajectoires obtenues sont représentées sur la figure b et leurs rayons ont pour valeur : $R_A = 5{,}59Cm$; $R_D = 10{,}30Cm$; $R_C = 6{,}76Cm$.



a) Justifier le signe de la charge portée par chacun des ions.

b) Déterminer les masses m_A, m_D et m_C en unité de masse atomique, pour chaque ion.

c) Dans la liste ci-dessous, identifier les ions A, D et C.
$^{39}K^{+}$; $^{23}N_a^{+}$; $^{35}Cl^{-}$; $^{19}F^{-}$

Exercice 6 :Un accélérateur de particules, de type cyclotron, est constitué par les deux moitiés D_1 et D_2 d'une boîte cylindrique, plate, horizontale, sciée suivant un plan diamétral.

Ces deux moitiés sont légèrement écartée l'une de l'autre d'une distance d (voir figure). Au centre du dispositif une source S émet des protons dont la vitesse est nulle.

D_1etD_2 sont placées dans un champ magnétique uniforme vertical et constant $\vec{B}$dont la direction est parallèle à l'axe des deux demi boîtes cylindriques.

Entre D_1 et D_2sur l'espace d agit un champ électrique uniforme $\vec{E}$ dont la direction est normale au plan de section diamétral de la boîte cylindrique.

1- **Action du champ électrique $\vec{E}$** :

a) Calculer l'accélération a prise par ce proton ; quelle est la nature du mouvement ?

b) Etablir, en fonction de U, e, et m, l'expression de la vitesse V_1de cette particule au moment où elle pénètreD_1.

2- **Action du champ magnétique $\vec{B}$** : Le proton pénètre dans D_1

a) Montrer qu'il est animé d'un mouvement circulaire uniforme.

b) Montrer que le temps de transitdu proton pour décrire ce demi-cercle est indépendant de V_1 et calculer sa valeur.
Données: $e = 1{,}6.10^{-19}C; m = 1{,}67.10^{-27}Kg; U = 4000V; B = 1{,}03T; d = 10^{-2}m$

3- Effet cyclotron :

Au moment précis où le proton quitteD_1, on inverse le sens de $\vec{E}$, le proton pénétrera ainsi dans D_2 ; quant il quitteD_2, on inverse à nouveau le sens de $\vec{E}$ et ainsi de suite.

A la sortie de D_1, le proton possède la vitesse $\vec{V}_1$; il pénètre dans D_2 avec la vitesse $\vec{V}_2$

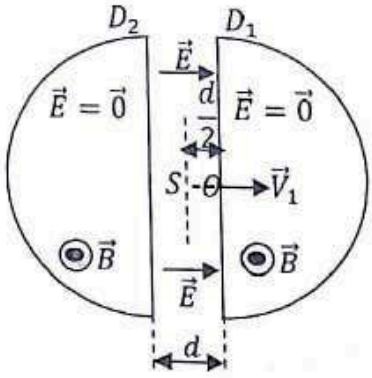
a) Exprimer V_2^2 en fonction de V_1^2

b) Exprimer les carrés des vitesses de pénétration successives V_3^2 dansD_1, V_4^2 dans D_2 en fonction de V_1^2

c) En déduire l'expression du carré de la vitesse V_n^2 en fonction de n et de V_1^2

d) En utilisant le résultat précédent, calculer le rayon R_n en fonction de R_1 et de n.
Donner la valeur de n pour $R_n = 0{,}14m$et c

e) Calculer la vitesse correspondante.



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

1) **Expression du champ gravitationnel terrestre** :

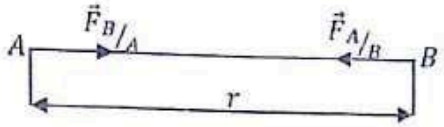
- **La loi gravitationnelle de Newton** : la force d'interaction mutuelle entre deux (2) corps A et B situés à la distance r l'un de l'autre est proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelle au carré de leur distance. $F = \frac{Gm_Am_B}{r^2}$

$G = K = \varepsilon = 6{,}6710^{-11}$ (Constante gravitationnelle en Nm^2Kg^{-2}

m_A et m_B en Kg

r (Distance de A à B en m)

F en N



- **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 située à la distance r de son centre est : $F = \frac{GM_Tm}{r^2}$ or $F = mg_h$

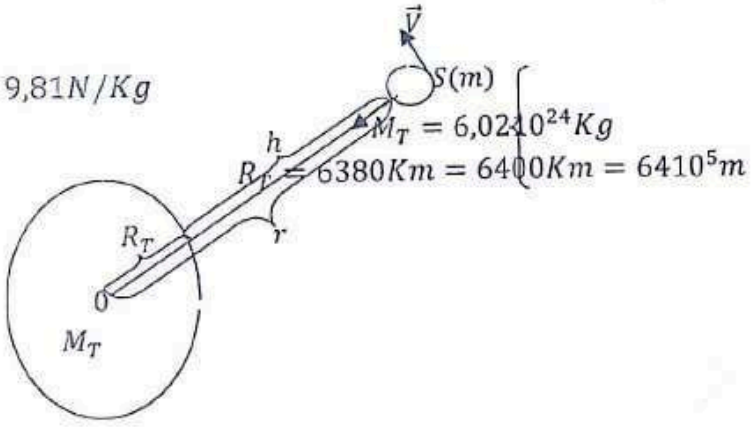
Avec $F = F$ on aura : $mg_h = \frac{GM_Tm}{r^2} \rightarrow g_h = \frac{GM_T}{r^2}$ en N/Kg

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

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

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

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



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)

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

$\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{g}_h \rightarrow m\vec{a} = m\vec{g}_h \rightarrow \vec{a} = \vec{g}_h$ 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 $\vec{a} \perp \vec{V} \rightarrow \begin{cases} a_t = 0 \ (1) \\ a_n = \frac{V^2}{r} = \frac{V^2}{R_T+h} (2) \end{cases}$

$(1) \rightarrow a_t = 0 \rightarrow \frac{dV}{dt} = 0 \rightarrow V = cste$ 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 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 3e loi de Kepler** : La 3e loi de Kepler est l'une des conséquences de la période.

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

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

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 $T = 86400s$
- Son altitude de positionnement est environ $h = 36000Km$

- **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 $h = 0 \rightarrow \frac{1}{2}mV_o^2 = \frac{GM_T m}{R_T}$

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

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 ω_o 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

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 $E_C$et E_P.
   c) Exprimer l'énergie mécanique totale du satellite en fonction de K, M, m, Ret h.

Exercice 5 :

1) Rappeler la loi de la gravitation universelle. On notera G la constante de gravitation et on prendra $G = 6{,}67.10^{-11}USI$.
2) Satellite en **orbite circulaire** : La terre est assimilée à une sphère homogène de masse M_T, de centre T et de rayon $R_T = 6380Km$. On admettra que la force de gravitation, quelle exerce sur les objets situés à une distance $r > R_T$ de son centre T, est la même que si toute la masse M_T était concentrée en T. Un satellite artificiel de la terre, de masse m, est en orbite circulaire à l'altitude$h = 300Km$ au dessus de la terre.

Mouvement des satellites-Champ de gravitation

a) Montrer que le mouvement du satellite est uniforme. Déterminer l'expression de sa vitesse en fonction de $r = R_T + h$, Get M_T. Pourquoi le mouvement du satellite est-il indépendant de sa masse.

b) on sait que $V = 7740m/s$. Calculer la masse de la terre.

) **Descente du satellite** : Pendant cette phase, le champ de pesanteur $\vec{g}$ est supposé uniforme ($g \simeq 10m.s^{-2}$). L'axe des Z est choisit parallèle à $\vec{g}$ et de sens opposé. Le sol terrestre supposé horizontal est pris comme plan xOy des coordonnées.

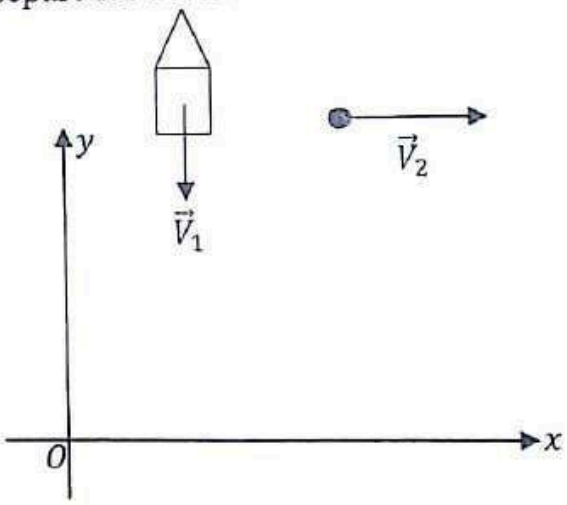
On suppose que le satellite, freiné par un parachute, descend d'un mouvement vertical rectiligne, de vitesse $V_1 = 10m/s$

Le satellite étant arrivé au point M_o de coordonnées$(x_o = 0;\ y_o = 0;\ z_o = 3{,}0Km)$, à un instant pris comme origine des temps, une balise radio est éjectée horizontalement du satellite dans le plan xOzavec le vecteur-vitesse $\vec{V}_2(V_2 = 2m/s)$ par rapport au satellite : cela signifie qu'au point M_o, la balise radio a par rapport à la terre, le vecteur-vitesse initiale : $\vec{V}_o = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$.

Le mouvement du satellite est supposé non modifié par l'éjection de la balise. Celle-ci tombe dans le champ de pesanteur terrestre, les frottements de l'air étant supposés négligeable.

a) on appelle Z l'altitude instantanée du satellite, x_B, y_B et $z_B$les coordonnées instantanées de la balise. Déterminer les équations horaires $z_S(t), x_B(t), y_B(t)$ et $z_B(t)$.

b) Lequel des deux objets, le satellite ou la balise, touchera le sol le premier ? Quel est l'intervalle de temps qui sépare les deux arrivées ?



ÉNERGIE INTERNE-CALORIMÉTRIE

1) **Énergie interne d'un système** :

- **Définition** : L'énergie interne U d'un système est l'ensemble ou la somme des énergies mécaniques de l'ensemble des particules de ce système.
- **Premier principe de la thermodynamique** :
- **Principe de l'état initial et de l'état final** : La variation de l'énergie interne d'un système ne dépend que de son état initial et de son état final. $\Delta U = U_2 - U_1$

  Exemple : soit un ballon contenant de l'air :

  Pour passer de son état $I(P_1, V_1, T_1)$ à son état $II(P_2, V_2, T_2)$, on peut d'abord le chauffer puis le comprimé ou d'abord le comprimé puis le chauffé ou encore le chauffé et le comprimé en même temps. Dans tous les cas la variation de son énergie interne reste la même.

  Remarque : Lorsqu'un système n'échange que du travail et de la chaleur, la variation de son énergie interne est : $\Delta U = W + Q$
- **Principe de l'équivalence** : Lors d'une transformation cyclique, le système revient à son état initial alors la variation de son énergie interne est nulle :

$$\Delta U = 0 \rightarrow U_2 - U_1 = 0 \rightarrow U_2 = U_1$$

  Ou $\Delta U = 0 \rightarrow W + Q = 0 \rightarrow W = -Q$ et cela signifie que les quantités de chaleur et de travail sont égales en valeur absolue.

  - Lorsqu'un système reçoit du travail $(W > 0)$ alors il fournit de la chaleur $(Q < 0)$.
  - Lorsqu'un système reçoit de la chaleur $(Q > 0)$ alors il fournit du travail $(W < 0)$.

2) **La chaleur** :

- **Définition** : La chaleur ou énergie thermique est l'énergie mécanique microscopique désordonnée. Elle s'exprime en joule (J).
- **Mode de production** : La chaleur peut être obtenue soit par frottement $Q = -W = fl$, soit par choc, soit par le passage du courant, soit par certaines réactions chimiques.
- **Mode d'échange** : La chaleur s'échange spontanément des corps chauds vers les corps froids.

  On distingue la conduction thermique, la convection thermique et le rayonnement.
  - **Conduction thermique** : La conduction thermique est le transfert de la chaleur par l'intermédiaire de conducteur.
  - **Convection thermique** : La convection thermique est le transfert de la chaleur avec transport de la matière.
  - **Rayonnement** : Le rayonnement est le transfert de la chaleur dans le vide.

3) **Les grandeurs calorimétriques** : La calorimétrie est la partie de la physique qui a pour objet la mesure de la quantité de chaleur.

- **Capacité calorifique** : La capacité calorifique μ d'un corps est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à ce corps pour élever sa température d'un degré Celsius(1°).

  $\mu = \frac{Q}{\Delta t}$ (Q en J, Δt en °C ou °K et μ en $J°C^{-1}$ ou $J°K^{-1}$)

  Conséquence : la quantité de chaleur échangée est : $Q = \mu \Delta t$
- Pour $t_f > t_i$, le corps s'échauffe. La quantité de chaleur est : $Q_R = \mu(t_f - t_i)$ en J
- Pour $t_i > t_f$, le corps se refroidit. La quantité de chaleur est : $Q_C = \mu(t_i - t_f)$ en J

- **Chaleur massique** : La chaleur massique C d'un corps est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à $1Kg$ de ce corps pour élever sa température d'un degré Celsius (1°).

  $C = \frac{Q}{m\Delta t} \rightarrow Q = mC\Delta t$(Q en J, m en Kg, Δt en °C ou °K et C en J $Kg^{-1}°C^{-1}$ ou J $Kg^{-1}°K^{-1}$)

- Pour $t_f > t_i$, la quantité de chaleur reçue est : $Q_R = mC(t_f - t_i)$ en J
- Pour $t_i > t_f$, la quantité de chaleur cédée est : $Q_C = mC(t_i - t_f)$ en J

  Remarque : $\begin{cases} Q = \mu\Delta t \\ Q = mC\Delta t \end{cases} \rightarrow \mu = mC$

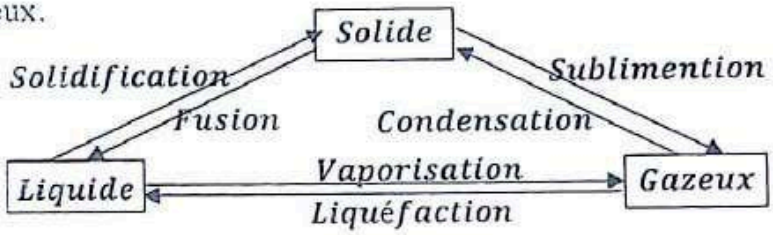
- **Chaleur latente** : La chaleur latente de changement d'état d'un corps est la quantité de chaleur reçue ou cédée par $1Kg$ de ce corps lors de ce changement physique.

  $L = \frac{Q}{m} \rightarrow Q = mL$ (Q en J, m en Kg et L en JKg^{-1})

  N.B : La chaleur latente de fusion L_f de la glace est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à $1Kg$ de cette glace pour qu'elle se fonde à 0°.

  Remarque :

- La matière peut se présenter sous trois états physiques : l'état solide, l'état liquide et l'état gazeux.



- Le changement d'état physique d'un corps se fait à température constante (la glace fond à $0°C$ et l'eau s'évapore à$100°C$.
- Les chaleurs latentes de changement d'état physique inverse sont égales :
  $L_f = L_S = 334.10^3 JKg^{-1}$
- Il ne peut avoir coexistence d'eau et de glace qu'à $0°C$.

4) **Equilibre thermique** :

- **Enceinte adiabatique** : Une enceinte adiabatique est un milieu qui n'a aucun échange de chaleur avec le milieu extérieur.

  Exemples : calorimètre, thermos congélateur, four …

- **Equilibre thermique** : L'équilibre thermique est l'état où deux (2) corps, initialement à des températures différentes, possèdent la même température après mélange.

  A l'équilibre thermique la quantité de chaleur cédée par le corps chaud est égale à la quantité de chaleur reçue par le corps froid: $Q_C = Q_R$.

- **Chaleur de réaction** : La chaleur de réaction est la quantité de chaleur dégagée ou absorbée par une réaction chimique.

  $Q = (\mu + \mu') \times (t_f - t_i)$ Pour une réaction exothermique

  $Q = (\mu + \mu') \times (t_i - t_f)$ Pour une réaction endothermique

  μ est la capacité calorifique du calorimètre

  μ' est la capacité calorifique du solvant avec $\mu' = mC_e$. /.

EXERCICES SUR LA CALORIMÉTRIE

Exercice 1: La valeur en eau d'un calorimètre est 250g.

a) Calculer sa capacité calorifique.

b) Quelle est la quantité de chaleur cédée par le calorimètre lorsqu'il se refroidit de 80°C à 15°C ? On donne C_e=4,18KjKg^{-1}°C^{-1}

Exercice 2:

1) Exprimer en fonction des grandeurs calorifiques convenables, la quantité de chaleur reçue par 500g de glace lors de son chauffage de -10°C à 110°C.

2) Exprimer en fonction des grandeurs calorifiques convenables, la quantité de chaleur cédée par 500g de vapeur d'eau lors de son refroidissement de 110°C à -10°C.

3) Montrer que la quantité de chaleur reçue par cette glace est égale à la quantité de chaleur cédée par la vapeur d'eau.

Exercice 3: On fait agir une quantité de chaleur Q_i sur 100g de glace à -10°C. Déterminer l'état physique final du système dans chacun des cas suivants :

a) Q_1=418Kj

b) Q_2=42,00Kj

c) Q_3=2400J et quelle est la température de ce état ?

d) Q_4=1,8Kj

On donne C_e=4,18KjKg^{-1}°C^{-1}, C_g=2,1KjKg^{-1}°C^{-1}, L_f=334KjKg^{-1} et L_s=2,26$10^3$KjKg^{-1}

Exercice 4:

1) Dans un calorimètre de capacité calorifique μ à la température de 20°C, on verse 200g d'eau chaude à 80°C. La température finale du système est 70°C. Calculer la capacité calorifique de ce calorimètre.

2) On y ajoute ensuite 100g de glace à -10°C. Quelle est la température finale à l'équilibre ?

On donne : C_e=4180jKg^{-1}°C^{-1} , C_g=2100jKg^{-1}°C^{-1}, L_f=33410^{3}jKg^{-1}

Exercice 5:

1) Un calorimètre de capacité calorimétrique μ est à la température de 20°C. On verse dans ce calorimètre 100g d'eau chaude à 85°C. La température d'équilibre est alors 70°C. Calculer la capacité calorifique de ce calorimètre.

2) On ajoute ensuite dans ce calorimètre 100g d'eau à 100°C. Quelle est la nouvelle température d'équilibre ?

3) L'équilibre précédant étant atteint, on introduit dans l'eau du calorimètre un bloc de glace de masse 100g à -10°C.

a) Toute la glace sera-t-elle fondue ?

b) Quelle est la température d'équilibre ?

4) On introduit ensuite 400g de glace à -20°C

a) Déterminer l'état physique final du système.

b) Quelle est la température d'équilibre ?

c) Quelles sont les masses de glace et d'eau en présence à l'équilibre ?

d) On donne C_e=4,2KjKg^{-1}°C^{-1} , C_g=2,1KjKg^{-1}°C^{-1}, L_f=334KjKg^{-1}

Exercice 6 :

Un réchaud électrique a une puissance thermique 1Kw. Il sert à chauffer 1L d'eau à la température de 14°C. Sachant que 60% de la chaleur sont retenus par l'eau, au bout de combien de temps l'eau commence t-il à bouillir ?

On donne : Chaleur massique de l'eau : C_e=4,18KjKg^{-1}°C^{-1}

Exercice 7 :

Dans une enceinte adiabatique, un cylindre creux en argent de masse 100g est à la température de 20°C. On y plonge un bloc d'aluminium de 25g à 500°C. Quelle est la température finale ?

On donne :C_{Al}=24.4jk^{-1}mol^{-1},C_{Ag}=25,4jk^{-1}mol^{-1},M_{Al}=27gmol^{-1}, M_{Ag}=108g mol^{-1}

Exercice 8 :

Dans l'enceinte adiabatique d'un calorimètre dont la température initiale est de 15°C, on introduit un bloc de cuivre de 200g à 100°C. La température finale est de 20°C.

1) Calculer la capacité calorifique totale du calorimètre.
2) On introduit ensuite 100g d'alliage pris aussi à la température de 100°C. La température finale est alors de 24°C. Calculer la chaleur massique de l'alliage.

On donne : C_{Cu}=398jKg^{-1}°C^{-1}

Exercice 9 :

Un calorimètre est constitué d'un vase en aluminium de chaleur massique 398jkg^{-1}°C^{-1} Sa masse est 80g et contient 200g d'eau à 20°C de chaleur massique 4,18kjKg^{-1}°C^{-1}

1) Calculer la capacité calorifique de l'ensemble.
2) On introduit dans ce calorimètre un bloc de glace de masse 30g pris dans le compartiment à glace d'un congélateur où la température est -17°C. Quelle est la température finale de l'ensemble ? C_g=2092jKg^{-1}°C^{-1}
3) Quelle masse de glace minimale doit-on introduire dans le calorimètre pour que sa température finale soit 0°C ?

Chaleur latente de fusion de la glace : L_f=335kjKg^{-1}

Exercice 10 : On chercheà réchauffer un mélange de glace et d'eau contenu dans trois bouteilles identiques A, B et C. Elles contiennent chacune les masses m_1=100g d'eau et m_2=200g de glace en équilibre à $\theta_0 = 0$°C. Chacune des bouteilles se composent comme une enceinte adiabatique.

1) Quel est l'état final dans chacune d'elles lorsqu'on a introduit respectivement dans A, B et C une masse :

a) m=100g d'eau à 70°C
b) m=200g d'eau à 70°C
c) m=300g d'eau à 70°C

2) Quelle est alors la température finale à l'équilibre.

On donne : la capacité calorifique de la bouteille μ=100j°C^{-1}, C_e=4,18jg^{-1}°C^{-1}, C_g=2,1jg^{-1}°C^{-1}, L_f=335jg^{-1}

Exercice 11 :

Martine a laissé couler le robinet d'eau frôide de sa baignoire, qui s'est remplie de 70L D'eau à la température$\theta_1 = 14$°C. Combien doit-elle ajouter d'eau chaude à la température$\theta_2 = 80$°C pour pouvoir prendre un bain à la température $\theta_3 = 38$°C?

Calorimétrie

Masse volumique de l'eau : $\rho = 1000 kg.m^{-3}$

Exercice 12 : Un calorimètre contient 350g d'eau à 16°C. La capacité calorifique du vase calorimètre et des accessoires est $80 j°C^{-1}$.

1) On plonge dans l'eau de ce calorimètre un morceau de glace de masse 50g prélevé à la température de -18°C. Quelle est la température finale d'équilibre sachant que toute la glace a fondu ?

2) On ajoute dans le calorimètre un morceau de glace de masse 50g toujours prélevé à la même température de -18°C. Reste-il de glace à l'équilibre ? Si oui quelle est la masse de glace restante et d'eau obtenue ?

On donne : C_e=4,18KjKg^{-1}°C^{-1}, C_g=2,1jg^{-1}°C^{-1}, L_f=334KjKg^{-1}.

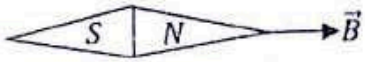
INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE

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 aimants artificiels).
- **Exemples d'aimants permanents** : Le barreau aimanté, l'aiguille aimantée etc....



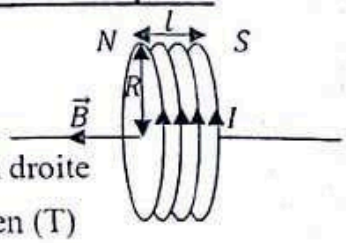
Barreau aimanté



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.

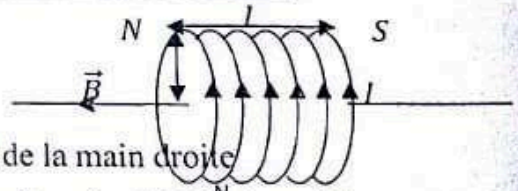
Caractéristiques du champ magnétique à l'intérieur d'une bobine plate :



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 et d_f le diamètre du fil.

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



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:$S = Ns(spire)ors(pire) = \pi R^2 \rightarrow S = \pi NR^2$

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

ρest 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 $S_f = \pi R_f^2 = \frac{\pi d_f^2}{4}$

Alors $r = \frac{\rho 2\pi RN}{\frac{\pi d_f^2}{4}} \rightarrow r = \frac{8\rho RN}{d_f^2}$ en Ω

2) **Flux d'induction** :

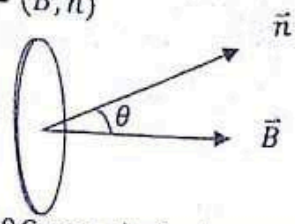
- **Définition** : On appelle flux d'induction le nombre de lignes de champ qui traverse une section donnée.

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

Sest 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.On donne $N = 100$ spires et l'induction magnétique est perpendiculaire au plan de la figure.

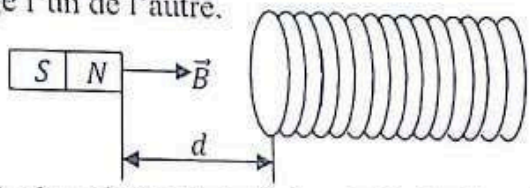
a) Après avoir faire un schéma clair, exprimé le flux d'induction à travers la bobine.

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 ousur$S$ou sur θ.

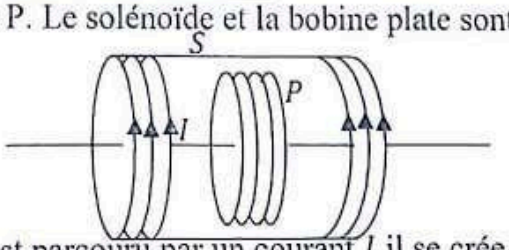
1erCas : Variation du flux en agissant sur B :

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



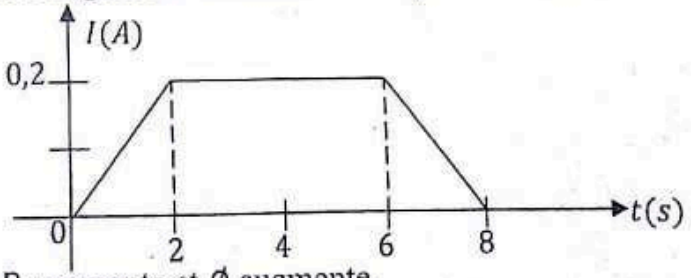
- Lorsqu'on approche le pôle Nord de l'aimant à la bobine, il y a augmentation du champ magnétique d'où augmentation du flux.
- Lorsqu'on éloigne le pôle Nord de l'aimant à la bobine, il y a diminution du champ magnétique d'où diminution du flux.

- **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.

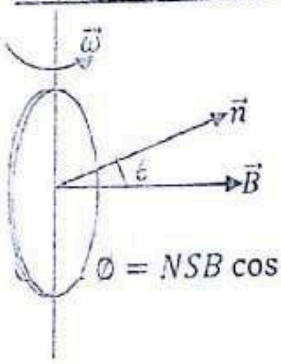
✓ Pour $t\epsilon[2,6]$; I est constant, B constant et $\emptyset$constant.

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

2ᵉCas : Variation du flux en agissant sur θ : On peut faire varier le flux d'induction en donnant des valeurs successives à θ.

- 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)

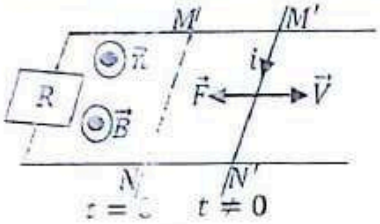
Cas particulier d'une bobine en rotation d'un champ magnétique :



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

3ᵉCas : Variation du flux en agissant sur S :

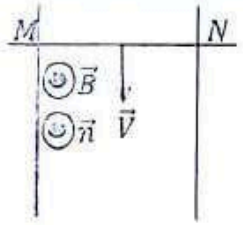
- **Cas d'un conducteur sur un rail** : Soit un conducteur MN de longueur l se déplaçant à vitesse constante $\vec{V}$ sur 2rails parallèles situés dans un champ magnétique $\vec{B}$.



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

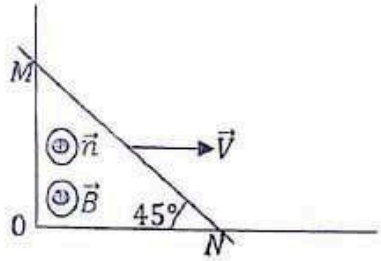
$$or\ S = MN.MM' et \begin{cases} MN = l \\ MM' = x = Vt \end{cases} \rightarrow S = lVt\ donc\ \emptyset = BlVt$$

- **Conducteur en chute libre** :



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

- **Cas particulier** :



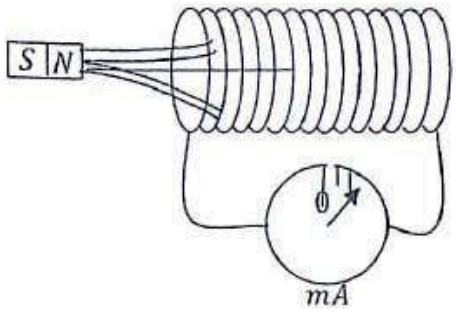
On a: $\emptyset = SB\ or\ S = \frac{1}{2}b.h$

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

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** :

Expérience1 : **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** :

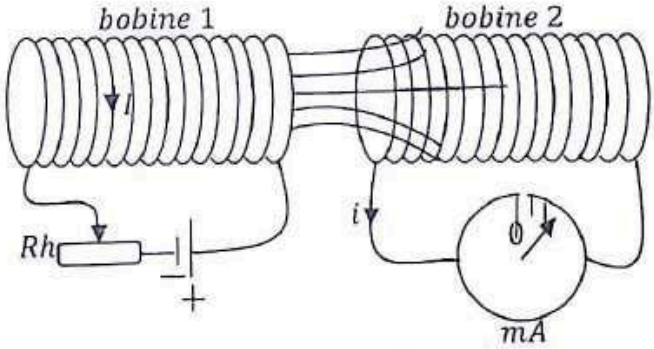
– Lorsque l'aimant et la bobine sontimmobiles, le milliampèremètre n'enregistre aucun courant.

– 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 dès qu'on arrête le mouvement relatif de l'aimant et de 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 circuit de la bobine. 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.

- **Expérience2** :**Courant variable dans une bobine** :On dispose de 2 bobines (bob_1et bob_2) coaxiales placées au voisinage l'une de l'autre. Le circuit de la bobine 1 est fermé sur un générateur et un rhéostat (Rh). Le circuit de la bobine 2 est fermé sur un milliampèremètre.



- **Observation** :

– A la fermeture comme à l'ouverture du circuit de la bobine 1, le milliampèremètre indique le passage d'un courant dans la bobine 2.

– Aussi lorsqu'on fait varier l'intensité du courant dans le circuit de la bobine 1, le milliampèremètre indique le passage d'un courant dans la bobine 2 et ce courant s'annule dès qu'on cesse les variations du courant I dans la bobine 1.

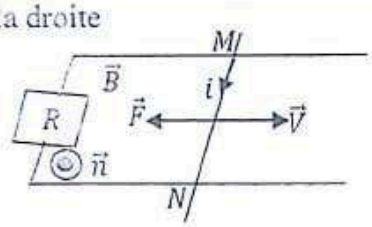
- Interprétation :

– A la fermeture ou à l'ouverture du circuit de la bobine 1, il y a variation du flux d'induction à travers les spires de la bobine 2. Cette variation du flux est à l'origine du courant dans la bobine2.

– De même toute variation du courant dans la bobine 1 entraine une variation du flux dans la bobine 2, cela entraine la naissance d'une f.é.m. (force électromotrice) dans la bobine 2 et par conséquent un courant induit i dans cette bobine.
Le phénomène observé est l'induction électromagnétique : la bobine 1 est l'inducteur et la bobine 2 est l'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 cette variation en créant une force électromagnétique appelée force de Laplace $\vec{F} = i\vec{l} \wedge \vec{B}$
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

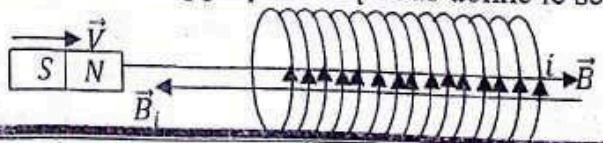


Point d'application : milieu de la tige MN
Direction : perpendiculaire au plan formé par $\vec{B}$ et MN
Sens : opposé à $\vec{V}$
Intensité : $F = Bil\sin\alpha$
Or $\alpha = (\vec{B}, l) = \frac{\pi}{2} \rightarrow \sin\alpha = 1 \rightarrow F = Bil$

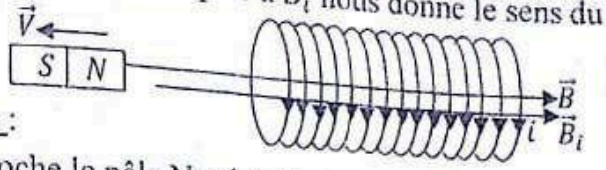
– Travail de la force $\vec{F}$: $W_{\vec{F}} = F \times d \rightarrow W_{\vec{F}} = Bild$ en J
– Puissance de la force $\vec{F}$: $P = \frac{W}{t}$ or $W = F \times d \rightarrow P = F \times \frac{d}{t} \rightarrow P = FV$ (Watt)
– Lorsque $\Delta\emptyset > 0 \rightarrow e < 0$ donc i circule dans 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 l'un au voisinage 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.



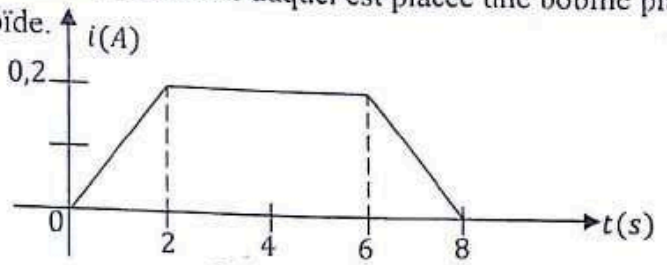
- Lorsqu'on éloigne le pôle Nord de l'aimant à la bobine, il y a diminution du champ magnétique. Le sens du courant induit est tel que par ses effets il s'oppose à cette diminution en créant un champ magnétique $\vec{B}_i$ de même sens que $\vec{B}$. La règle de la paume de la main droite appliquée à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



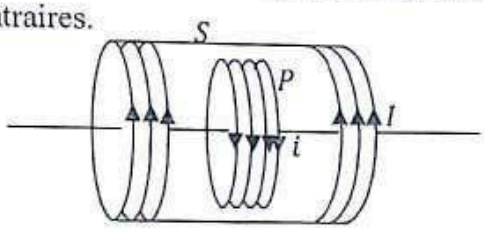
Règle générale :

- 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.

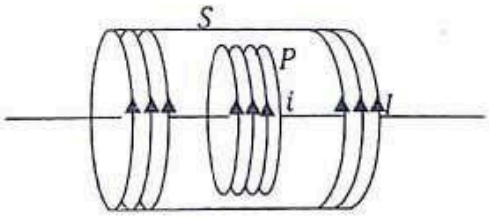


✓ Dans [0; 2],(fermeture du circuit du solénoïde), il y a augmentation du flux. Dans ce cas I et i sont de sens contraires.



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

✓ 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. $e = -\frac{d\emptyset}{dt}$ en V

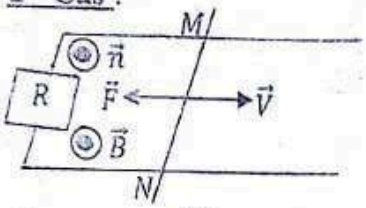
Le signe $(-)$ traduit la loi de Lenz.

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

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

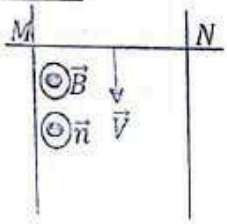
– **Aux bornes d'un conducteur les rails :**

1er Cas :



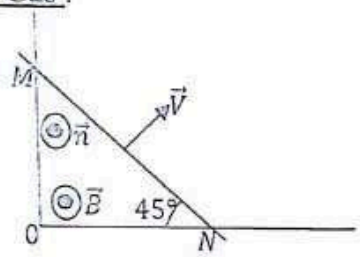
On a: $e = -\frac{d\emptyset}{dt}$ or $\emptyset = BlVt \rightarrow \frac{d\emptyset}{dt} = BlV$ alors $e = -BlV$

2e Cas :



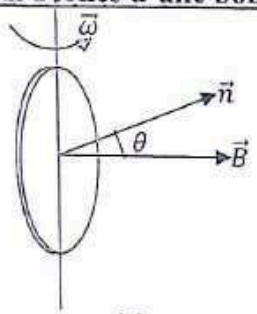
$$e = -\frac{d\emptyset}{dt} \text{ or } \emptyset = \frac{1}{2} glBt^2 \rightarrow \frac{d\emptyset}{dt} = glBt \text{ alors } e = -glBt$$

3e Cas :



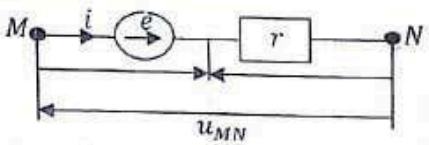
$$e = -\frac{d\emptyset}{dt} \text{ or } \emptyset = \frac{1}{2} BV^2t^2 \rightarrow \frac{d\emptyset}{dt} = BV^2t \text{ alors } e = -BV^2t$$

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



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

- **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.

N.B : Pour plusieurs résistances : $q = \frac{\Delta \emptyset}{\Sigma r}$

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

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 $\vec{f}_m = \vec{V} \wedge \vec{B}$.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 :

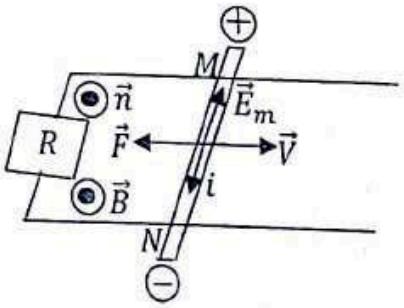
Point d'application : tout point entre M et N

Direction :(M, N)

Sens :de $- \rightarrow +$

Intensité :$E_m = VB \sin \alpha$

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



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 L d'une bobine est le coefficient de proportionnalité 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 $\emptyset_P = NSB$

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

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

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

Exercice d'application : Un solénoïde a pour caractéristiques :

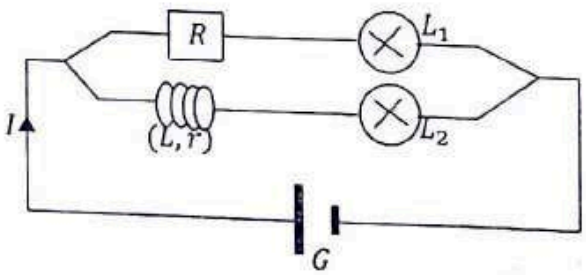
- La longueur est $l = 50Cm$
- Le nombre de spires par centimètre est 20
- Le diamètre de la bobine est $d = 4Cm$

a) Calculer la self de la bobine.

b) Calculer le flux propre lorsqu'on y ait 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)

- **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.
- Alors 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 faradav-Lenz** :

Énoncé : La force électromotrice auto induite est l'opposé de la dérivée du flux propre par rapport au temps $e = -\frac{d\emptyset}{dt}$ $or\ \emptyset = Li \rightarrow e = -L\frac{di}{dt}$

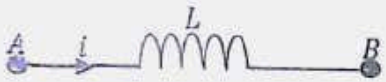
Le signe$(-)$ traduit la loi de Lenz.

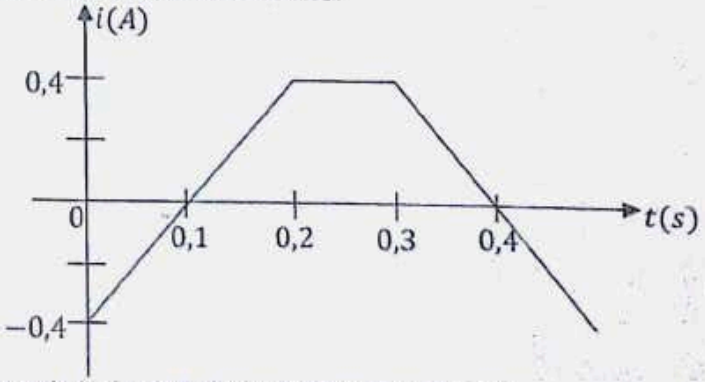
N.B : Pour un intervalle de temps Δt, la f.é.m. auto induite est : $e = -L\frac{\Delta i}{\Delta t}$

Exercice d'application : Soit une bobine d'inductance $L = 0{,}1H$ traversée par un courant comme l'indique la figure ci-dessous.

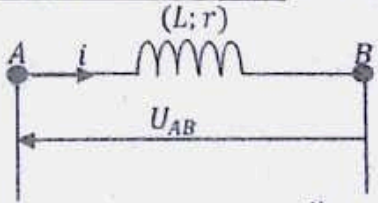
a) Calculer la f.é.m. auto induite dans chacun des intervalles.

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 $E_m = \frac{1}{2}Li^2$
- **Expression du courant dans un circuit inductif** :Soit un circuit inductif relié aux bornes d'un générateur de force électromotrice e_o

D'après la loi d'Ohm on a : $u_{AB} = ri + L\frac{di}{dt}$

➢ A la fermeture du circuit $u_{AB} = e_o$

$$e_o = ri + L\frac{di}{dt} \rightarrow L\frac{di}{dt} = e_o - ri \rightarrow \frac{di}{e_o - ri} = \frac{1}{L}dt \rightarrow \frac{-rdi}{e_o - ri} = -\frac{r}{L}dt$$

$$\rightarrow \frac{d(e_o - ri)}{e_o - ri} = -\frac{r}{L}dt$$

$$\rightarrow \int_0^i \frac{d(e_o - ri)}{e_o - ri} = -\frac{r}{L}\int_0^t dt \rightarrow \ln(e_o - ri)|_0^i = -\frac{r}{L}t\Big|_0^t \rightarrow \ln(e_o - ri) - lne_o = -\frac{r}{L}t$$

$$\rightarrow ln\frac{e_o - ri}{e_o} = -\frac{r}{L}t \rightarrow \frac{e_o - ri}{e_o} = e^{-\frac{r}{L}t} \rightarrow e_o - ri = e_o e^{-\frac{r}{L}t} \rightarrow ri = e_o - e_o e^{-\frac{r}{L}t}$$

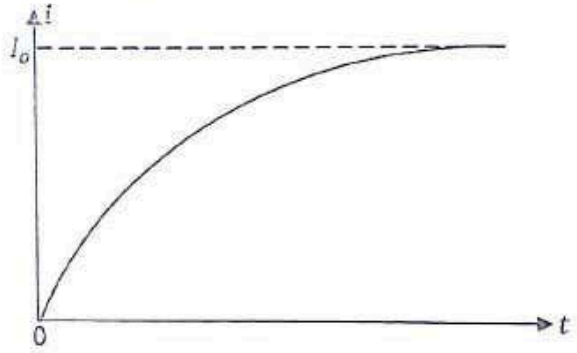
$$i = \frac{e_o}{r}\left(1 - e^{-\frac{r}{L}t}\right)$$

$I_o = \frac{e_o}{r}$et $\tau = \frac{L}{r}$(τ est la constante des temps)

alors l'intensité du courant est $i = I_o\left(1 - e^{-\frac{1}{\tau}t}\right)$

A $t = 0 \rightarrow i = 0$

Si $t \rightarrow \infty; i = I_o$



➢ A l'ouverture du circuit $u_{AB} = 0$

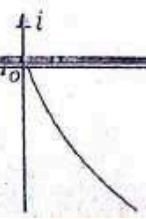
$$ri + L\frac{di}{dt} = 0 \rightarrow L\frac{di}{dt} = -ri \rightarrow \frac{di}{ri} = -\frac{1}{L}dt \rightarrow \frac{rdi}{ri} = -\frac{r}{L}dt \rightarrow \int_{I_o}^{i}\frac{rd}{ri} = -\frac{r}{L}\int_0^t dt$$

$$\rightarrow \ln ri|_{I_o}^{i} = -\frac{r}{L}t\Big|_0^t \rightarrow \ln ri - lnrI_o = -\frac{r}{L}t \rightarrow ln\frac{ri}{rI_o} = -\frac{r}{L}t \rightarrow ln\frac{i}{I_o} = -\frac{r}{L}t$$

$$\frac{i}{I_o} \rightarrow e^{-\frac{r}{L}t} \rightarrow i = I_o e^{-\frac{r}{L}t} \rightarrow i = I_o e^{-\frac{1}{\tau}t}$$

A $t = 0 \rightarrow i = I_o$

Si $t \rightarrow \infty; i = 0$



LES APPLICATIONS DE L'INDUCTION ÉLECTROMAGNETIQUE

1) **Les courants de Foucault** :

- Définition : Les courants de Foucault sont des courants qui prennent naissance dans des masses métalliques situées dans un champ magnétique variable ou en déplacement dans un champ magnétique uniforme.
- Applications :

– Les courants de Foucault sont à l'origine de graves incendies dans les installations électriques.

– Les courants de Foucault sont utilisés pour le freinage des véhicules lourds (métros, TGV).

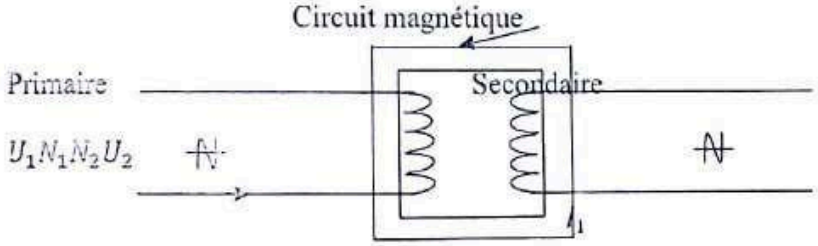
2) **Les transformateurs** :

- Définition : Un transformateur est un quadripôle qui permet la transformation simultanée de la tension et de l'intensité alternative.
- 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 enroulés autour du circuit magnétique. Il permet l'alimentation du transformateur.

– Le secondaire est un bobinage comportant N_2 tours de fil enroulés 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.



- 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 I_1. D'où créationd'un champ magnétique alternatif dans les spires du primaire Ces lignes de champ canalisées par le circuit magnétique arrivent au niveau du secondaire où il y a variation du flux et par conséquent une f.é.m. induite : le phénomène observé est le phénomène d'induction électromagnétique.
    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 $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2} = K$

- **Utilisation** : Les transformateurs sont utilisés 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: $\frac{U_2}{U_1} < 1 \rightarrow U_2 < U_1$

- **Survolteur ou élévateur de tension $K > 1$**: Ces types de transformateur sont utilisés 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** : $K = 1 \rightarrow U_2 = U_1$

3) **Les alternateurs** :

- **Définition** : Un alternateur est un générateur de tension alternative.

  On distingue les alternateurs à induit tournant et les alternateurs à induit fixe.

- **Alternateur à induit tournant** : Soit un cadre tournant à la vitesse ω dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$.

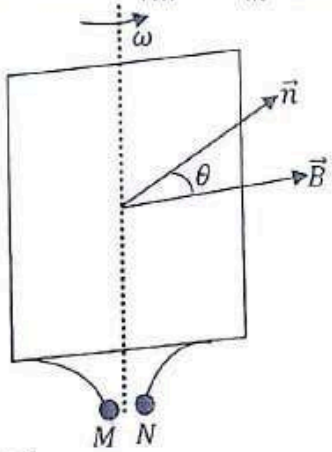
  Avec $\omega = 2\pi n$ et n le nombre de tours par seconde ou la fréquence

  On a : $U_{MN} = ri - e$ avec $r = 0$ et $e = -\frac{d\Phi}{dt}$ alors $U_{MN} = \frac{d\Phi}{dt}$

  Avec $\Phi = NSB\cos\theta$ et $\theta = \omega t \rightarrow \Phi = NSB\cos\omega t \rightarrow \frac{d\Phi}{dt} = -\omega NSB\sin\omega t$

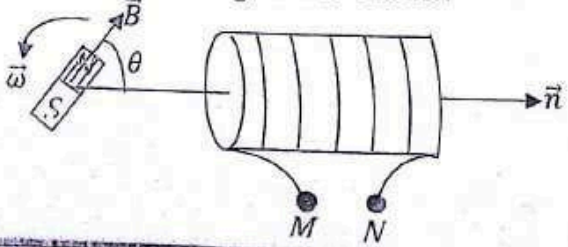
  Alors : $U_{MN} = -\omega NSB\sin\omega t$

  Cette tension est de la forme : $U_{MN} = U_m \sin\omega t$ avec $U_m = \left|-\omega NSB\right| \rightarrow U_{eff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$



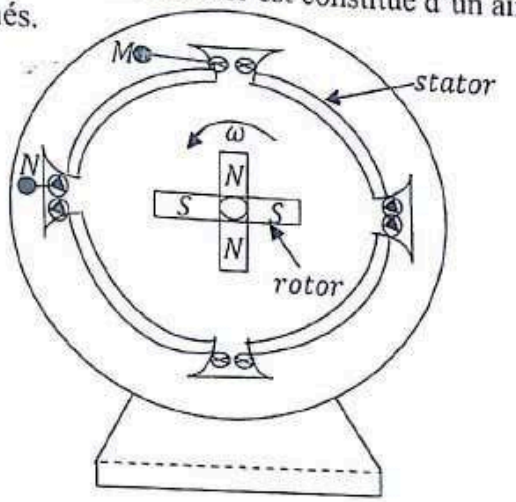
- **Alternateur à induit fixe** :

- **Inducteur possédant un seul pole Nord** : Soit un aimant tournant à la vitesse angulaire ω au voisinage d'une bobine.



$U_{MN} = -e = \frac{d\Phi}{dt}$ Or $\Phi = NSB\cos\theta \rightarrow \frac{d\Phi}{dt} = -\omega NSB\sin\omega t \rightarrow U_{MN} = -\omega NSB\sin\omega t$

- **Générateur multipolaire** : Soit un aimant comportant p pairs de pôles Nord alternés, Soit$n$ le nombre de tours par seconde.
  La fréquence est $f = pn$
  $U_{MN} = -e$ (eest la f.e.m. totale induite)$\rightarrow e = 2pe_1$ avec e_1 la f.é.m. induite par un seul pole Nord.
  $e_1 = -\frac{d\Phi}{dt}$ Or $\Phi_1 = NSB\cos\theta \rightarrow \frac{d\Phi_1}{dt} = -\omega NSB\sin\omega t \rightarrow e_1 = \omega NSB\sin\omega t$
  $\rightarrow e = 2p\omega NSB\sin\omega t \rightarrow$avec$\omega = 2\pi f$ et $f = pn \rightarrow \omega = 2\pi pn$
  Alors $e = 4\pi np^2NSB\sin 2\pi npt \rightarrow U_{MN} = -4\pi np^2NSB\sin 2\pi npt$
  $\rightarrow U_m = 4\pi np^2NSB \rightarrow U_{eff} = \frac{4\pi np^2NSB}{\sqrt{2}}$
- **Alternateur industriel** :
- **Définition** : Un alternateur industriel est un générateur de tension alternative.
- **Description** : L'alternateur industriel comprend deux (2) parties essentielles :
  - Un induit fixe appelé stator. Le stator comporte plusieurs bobines montées en série.
  - Un inducteur tournant appelé rotor. Le rotor est constitué d'un aimant comportant p paire de pole Nord alternés.



- **Principe de fonctionnement** : Lorsque le rotor tourne à la vitesse angulaireω, il y a variation du flux d'induction dans les spires du stator. Cela entraine la naissance d'une f.é.m. induite dans le stator. Par conséquent il s'établit aux bornes du stator une tension alternative sinusoïdale.
- **Expression de la tension aux bornes du stator** :
  Si n est le nombre de tours par seconde du stator alors la fréquence est$f = np$
  $\rightarrow \omega = 2\pi np$
  Alors la f.é.m. induite par un seul pole Nord est :
  $e_1 = -\frac{d\Phi}{dt}$ Or $\Phi_1 = NSB\cos\theta \rightarrow \frac{d\Phi_1}{dt} = -\omega NSB\sin\omega t \rightarrow e_1 = \omega NSB\sin\omega t$
  $\rightarrow e = 2p\omega NSB\sin\omega t \rightarrow$avec$\omega = 2\pi f$ et $f = pn \rightarrow \omega = 2\pi pn$
  Alors $e = 4\pi np^2NSB\sin 2\pi npt \rightarrow E_m = 4\pi np^2NSB \rightarrow E_{eff} = \frac{4\pi np^2NSB}{\sqrt{2}}$
  Etla tension aux bornes du stator est :$U_{MN} = -e \rightarrow U_m = 4\pi np^2NSB\sin 2\pi npt$

$\rightarrow U_{MN} = -4\pi np^2 NSB \sin 2\pi npt \rightarrow U_m = 4\pi np^2 NSB \rightarrow U_{eff} = \frac{4\pi np^2 NSB}{\sqrt{2}}$.

EXERCICES SUR L'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE ET AUTO-INDUCTION

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

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

Exercice 2 :Une bobine d'inductance 0,1 H et de résistance 5 Ω 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'instantt_1, $i = 300\ mA$ et $\frac{di}{dt} = 2\ As^{-1}$

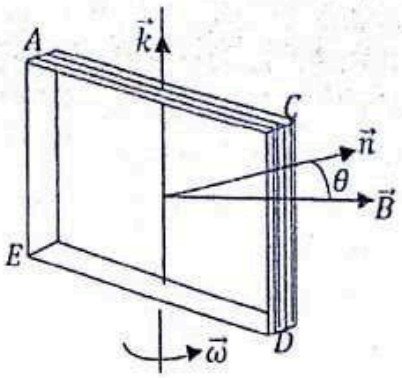
a) Calculer la tension aux bornes de la bobine à l'instant t_1.
b) Calculer l'énergie emmagasinée par la bobine à cet instant.

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 temps.
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 $1\ Cm = 1\ Volt$)

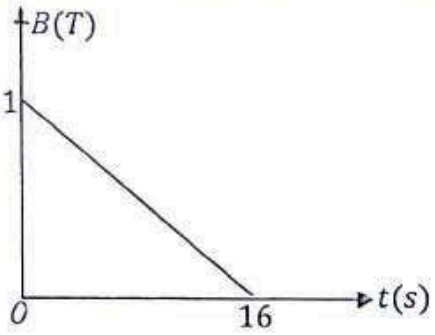
Exercice 4 : Principe de l'alternateur : Un cadre indéformable $ACDE$, d'aire S, comportant N spires, peut tourner autour d'un axe fixe Δ passant par les milieux des cotés AC et DE. Ce cadre est placé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ orthogonal à Δ. Les spires sont orientées dans le sens$ACDE$. La normale au plan de cadre fait un angle θ, 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 ω autour de l'axe Δ 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 $N = 150; S = 90\ Cm^2; B = 0{,}6\ T$



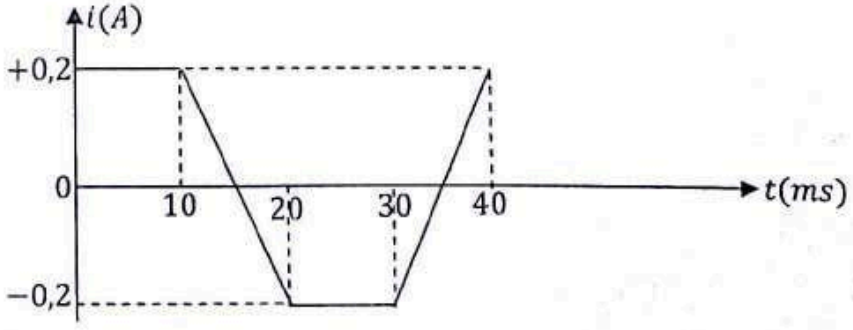
Exercice 5:Un cadre carré est constitué par 200 spires de fil de cuivre isolé. Le coté du carré mesure $4Cm$. Ce cadre est placé perpendiculairement au champ magnétique uniforme d'intensité $B = 1T$ d'un électro-aimant. Les extrémités du fil sont reliées aux bornes d'un milliampèremètre de résistance $r = 2\Omega$.

1) On diminue le courant d'alimentation de l'électro-aimant de façon que B varie comme l'indique la courbe ci-contre.
   Calculer la f.é.m. induite dans le cadre.
2) Si la résistance du cadre est $R = 8\Omega$, calculer l'intensité du courant induit.



Exercice 6 : 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.



3) 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 en fonction du temps.

Exercice 7 : Une bobine B de diamètre faible par rapport à sa longueur $l = 50\ Cm$ comporte 2500 spires. Elle est parcourc 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 : $i = -1\ A$ 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 8 : Un solénoïde de $30\ Cm$ de longueur et de $2\ Cm$ de rayon comporte 1000 spires jointives en cuivre ; de résistivité $\rho = 1{,}7.10^{-8}\Omega.m$ et le diamètre du fil est $d_f = 1mm$

Calculer les caractéristiques électriques (résistance et inductance) de la bobine.

Exercice 9 : Deux rails conducteur AA' et CC', parallèles, de résistance négligeable, séparés par une distance $l = 25Cm$, sont placés dans un plan horizontal. Une tige 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 :

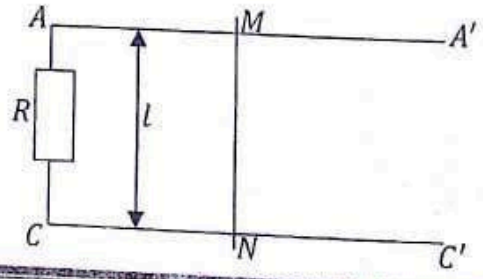
a) Calculer la force électromotrice induite,

b) Calculer l'intensité du courant induit,

c) Déterminer le sens du courant induit.

3) Retrouver le sens du courant induit en utilisant la loi de Lenz.

4) Montrer qu'une force électromagnétique est créée au cours du déplacement du barreau. Dans quel sens est-elle dirigée ?



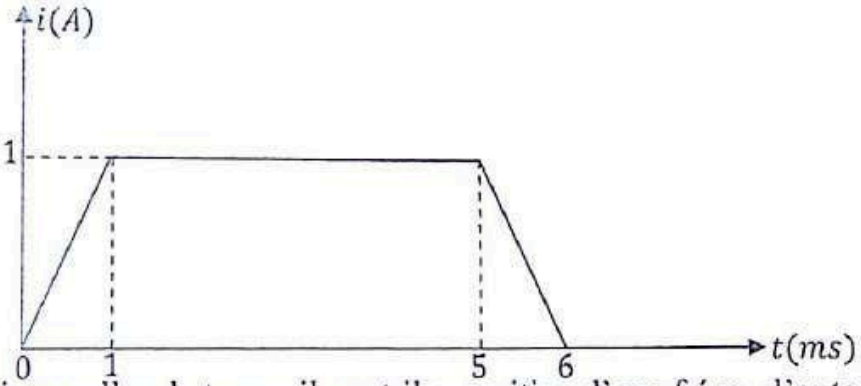
Applications de l'induction électromagnétique

Exercice 10 : 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.

Exercice 11 : Soit une bobine de longueur $l = 40Cm$ comportant 1250 spires par mètre de longueur et de rayon $R = 2Cm$ parcourue par un courant $i = 5A$.

1) De quel type de bobine s'agit-il ? Pourquoi ? Donner les caractéristiques de l'induction magnétique créée 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 fonction du temps comme l'indique la figure ci-dessous.



a) Pour quels intervalles de temps il y a-t-il apparition d'une f.é.m. d'auto induction ? et pourquoi ?
b) Déterminer la force électromotrice d'auto induction qui apparait aux bornes de la bobine pour chacune des trois phases.
c) Tracer le graphe $e = f(t)$ pour $t\epsilon[0; 6ms]$
d) La résistance de la bobine vaut 2Ω. Donner l'expression littérale de la tension aux bornes de la bobine.
Représenter graphiquement la variation de cette tension en fonction du temps.

GÉNÉRALITÉ SUR LES MOUVEMENTS VIBRATOIRES

1) **Mouvement périodique** : Un mouvement périodique est un mouvement qui se répète identiquement à lui-même à des intervalles de temps successifs appelés période.

Exemples :

- Mouvement de révolution de la terre autour d'elle-même,
- Le rythme cardiaque,
- La vibration d'une corde de guitare etc....

Un tel mouvement est caractérisé par sa période et sa fréquence.

a) Période : La période est le temps au bout duquel un phénomène se reproduit identiquement à lui-même. On la note T et s'exprime en seconde (s).

b) Fréquence : La fréquence est le nombre de périodes. On la note N ou f et s'exprime en Hertz (H_z).

c) **Mouvement vibratoire** : c'est un mouvement oscillatoire de faible amplitude dont l'élongation est de la forme : $y = A\sin(\omega t + \varphi)$

A est l'amplitude ou l'abscisse maximale ou élongation maximale en m

$\omega t + \varphi$ est la phase à $t \neq 0$

φ la phase à $t = 0$

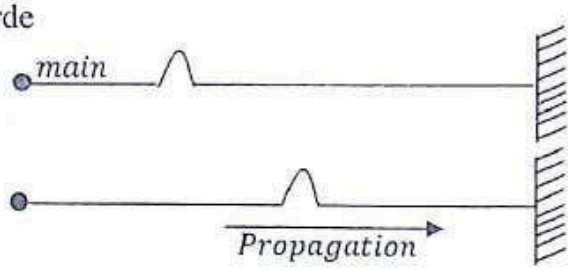
2) Les ondes **progressives périodiques** :

a) Les définitions :

- Signal : Un signal est une cause qui provoque la variation d'une grandeur physique. On distingue deux types de signal :

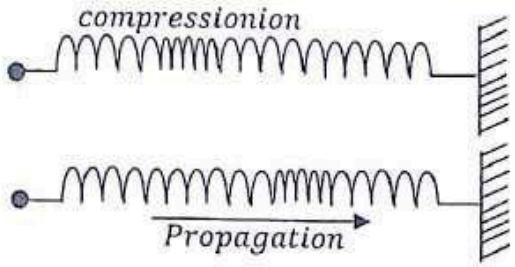
- Signal **transversal** : Un signal est dit transversal lorsque les modifications provoquées sont perpendiculaires au sens de déplacement du signal.

Exemple : une corde



- Signal **longitudinal** : Un signal est dit longitudinal lorsque les modifications provoquées sont colinéaires au sens de déplacement du signal.

Exemple : un ressort



- Onde : C'est une série de signaux qui se suivent à des intervalles de temps réguliers appelés période.
- Célérité : La célérité d'une onde est la vitesse de propagation de l'onde. Elle se note C ou V

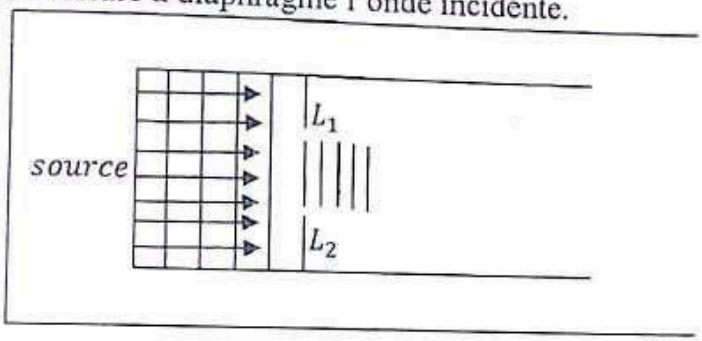
N.B : La vitesse de propagation dans une corde est donnée par $V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$

Avec $\begin{cases} F \text{ tension du tendeur en } N \\ \mu = \frac{m}{l} \text{ masse linéique en } Kg/m \end{cases}$

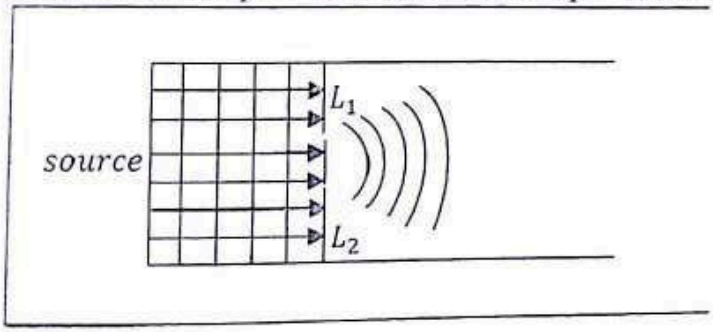
Remarque : Le déplacement d'une corde étant un mouvement rectiligne uniforme alors la longueur de la corde est :

- Pour un fuseau : $L = Vt$ or pour un fuseau $t = \frac{T}{2} \rightarrow L = \frac{VT}{2}$
- Pour K fuseau : $L = KVt \rightarrow L = \frac{KVT}{2}$
- Longueur d'onde : La longueur d'onde λ est la distance parcourue par une onde en une période. Elle est donnée par : $\lambda = CT$ ou $\lambda = \frac{C}{f}$
- Milieu de propagation d'une onde : Le milieu de propagation d'une onde est l'aire dans laquelle se propagecette onde.
  Exemples : l'eau, l'air, les verres.
- Ondes progressives périodiques : c'est une onde mécanique émise par une source ayant un mouvement périodique.
  Elle est caractérisée par une double périodicité temporaire (T) et spatiale (λ)

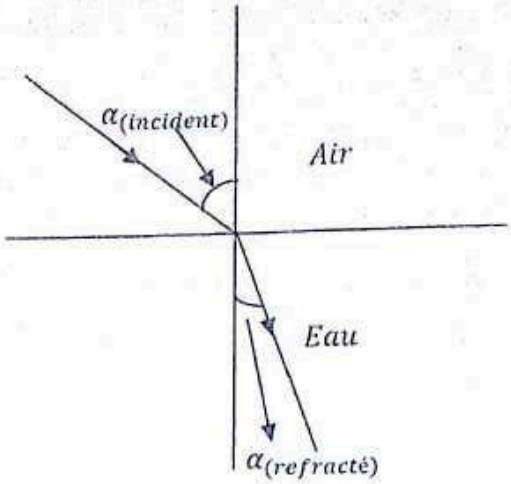
b) Diffraction : C'est le comportement d'une onde lorsqu'elle rencontre un obstacle.
1er cas : Lorsque l'ouverture de l'obstacle est grande par rapport à la longueur d'onde incidente. Les ondes se propageant sans perturbation importante, restent rectilignes. On dit que l'ouverture à diaphragmé l'onde incidente.



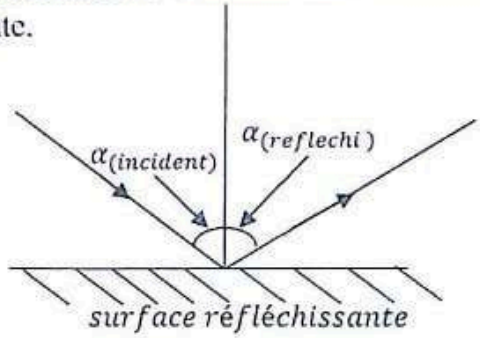
2e cas : Lorsque l'ouverture de l'obstacle est très petite (fente) par rapport à la longueur d'onde incidente. L'onde rectiligne donne naissance à une onde circulaire centrée sur la fente. On dit que l'onde est diffractée par la fente.



c) Réfraction : C'est la déviation d'une onde progressive d'un milieu à un autre.



d) Réflexion : C'est la déviation d'une onde dans le même plan lorsqu'elle rencontre une surface réfléchissante.



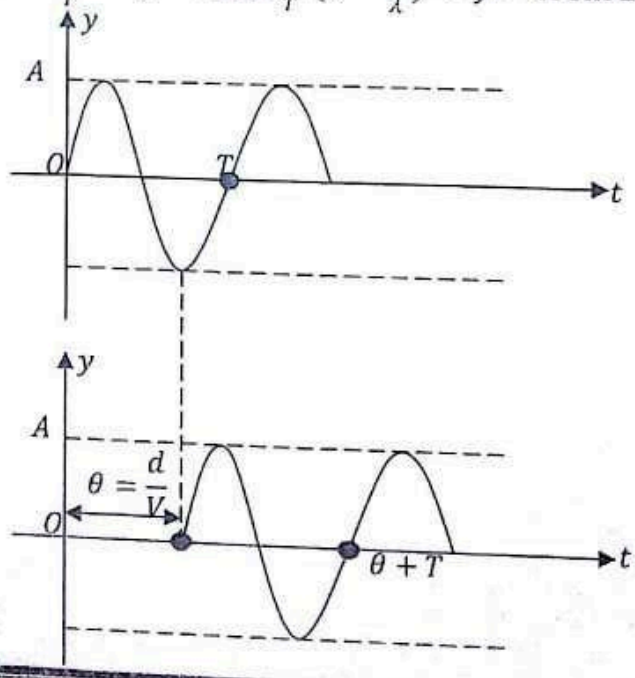
3) Double périodicité : Soit un point M d'abscisse y par rapport à la source. On observe que le mouvement de M est en retard de $\theta = \frac{d}{V}$ sur celui de la source en O.

A $t = 0$, l'élongation est : $y = A \sin \frac{2\pi}{T} t$.

A l'instant antérieur $(t - \theta)$ elle est : $y = A \sin \frac{2\pi}{T}(t - \theta)$

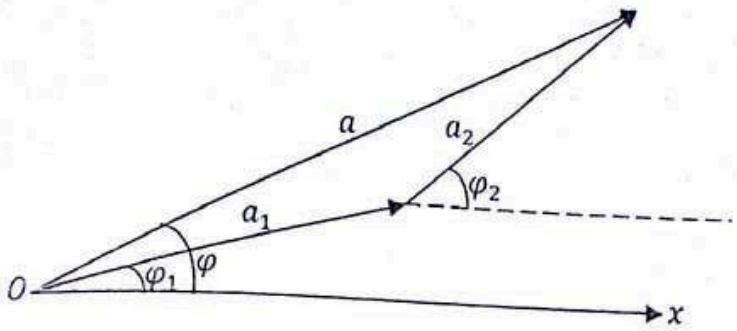
Avec $\theta = \frac{d}{v} \rightarrow y = A \sin \frac{2\pi}{T}(t - \frac{d}{V})$

Or $\lambda = VT \rightarrow V = \frac{\lambda}{T} \rightarrow y = A \sin \frac{2\pi}{T}(t - \frac{dT}{\lambda}) \rightarrow y = A \sin 2\pi(\frac{t}{T} - \frac{d}{\lambda})$



4) **Détermination de l'amplitude a et de la phase à l'origine φ d'un mouvement résultant:**

a) Soit $y_1 = a_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$ et $y_2 = a_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$ et $y = y_1 + y_2$
Avec $y = a \sin(\omega t + \varphi)$



✓ L'amplitude : $a = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$

✓ $\tan\varphi = \frac{a_1\sin\varphi_1 + a_2\sin\varphi_2}{a_1\cos\varphi_1 + a_2\cos\varphi_2}$

b) Soit $y_1 = a_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$ et $y_2 = a_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$ et $y = y_1 + y_2$
Avec $y = a \sin(\omega t + \varphi)$

✓ L'amplitude : $a = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2\cos(\omega_2 - \omega_1)t}$

✓ $\tan\varphi = \frac{a_1\sin(\omega_1 t) + a_2\sin(\omega_2 t)}{a_1\cos(\omega_1 t) + a_2\cos(\omega_2 t)}$

N.B: Dans le cas où le mouvement est négatifou donné en Cosinus on le transforme en Sinus positif

Remarque : $\begin{cases} -\sin\alpha = \sin(\alpha + \pi) \\ \cos\alpha = \sin(\alpha + \frac{\pi}{2}) \\ -\cos\alpha = \sin(\alpha - \frac{\pi}{2}) \end{cases}$

EXERCICES SUR LES MOUVEMENTS VIBRATOIRES

Exercice 1 :Trois mouvements vibratoires ont pour équation :

$y_1 = 5\sin(\omega t + \frac{\pi}{3})$; $y_2 = 4\cos(\omega t - \frac{3\pi}{4})$et $y_3 = 3\sin\omega t$

Déterminer l'amplitude et la phase à l'origine de :

1) $y = y_1 + y_2$
2) $y = y_1 + y_3$
3) $y = y_2 - y_3$

Exercice 2 : Deux mouvements vibratoire ont pour équation :$y_1 = 5\sin(100\pi t + \frac{\pi}{3})$ et $y_2 = 4\sin(100\pi t - \frac{\pi}{2})$

1) Calculer la fréquence et la période.
2) Représenter $y_1$et$y_2$pardes vecteurs de Fresnel sur un même repère.
3) Représenter graphiquement$y_1$et $y_2$dans un même repère.
4) Déterminer l'amplitude et la phase à l'origine de :

a) $y = y_1 + y_2$
b) $y = y_2 - y_1$

Exercice 3 :Une source vibratoire anime une corde avec une fréquence de $40Hz$ à une vitesse de propagation de $20m/s$ et une amplitude de $2m$

1) Calculer la pulsation et la période.
2) Calculer la longueur d'onde.
3) Etablir l'équation de l'onde à l'origine.
4) Etablir l'équation de l'onde à $4Cm$ et à $10Cm$ de l'origine.

Exercice 4 :Soit une corde animée d'un mouvement vibratoire, l'onde produit se propage à une vitesse de $30m/s$. La longueur d'onde est de $0{,}5m$.

1) Calculer la fréquente et la période du mouvement ;
2) Calculer la longueur de la corde pour une formation de 3 fuseaux ;
3) Calculer le nombre de fuseaux si la longueur de la corde était 1,5m ;
4) a) Etablir une relation entre la tension F, la fréquence N, le nombre de fuseaux K, la longueur L et la masse linéique μ.

b) On donne la masse linéique égale à $0{,}25Kg/m$. Calculer la tension du tendeur F,

c) On fixe le poids du tendeur à $250N$. Calculer la masse linéique.

Exercice 5 :Un vibreur entretenu électriquement est animé d'un mouvement sinusoïdal de fréquence $50Hz$.L'extrémité du vibreur est fixée à l'extrémité d'une corde. La célérité des ondes produises est de $10m/s$ et l'amplitude $a = 4m$.

1) Calculer la longueur d'onde.
2) Etablir l'équation de l'onde à l'origine.
3) Etablir l'équation de l'onde à $20Cm$ puis $25Cm$ de l'origine.
4) Calculer le nombre de fuseaux si la longueur de la corde est de $40Cm$.
5) Représenter ce nombre de fuseaux par un schéma.

Calculer la distance entre le premier nœud et le troisième nœud.

Exercice 6 :

L'équation du mouvement de l'extrémité O d'une corde est $y_o = \sin 10\pi t$ en Cm.

Généralité sur les mouvements vibratoires

1) En déduire la fréquence de la vibration.
2) Sachant que la vibration se propage le long d'une corde avec une célérité de $12m/s$, en déduire la longueur d'onde.
3) Quelle est l'équation du mouvement d'un point M situé à $0{,}6Cm$ de l'extrémité O ?
4) Tracer la sinusoïde des temps du point M.
5) Tracer la sinusoïde des espaces à l'instant $t = 1s$.

SON

1) Définition : Le son est une perturbation mécanique du milieu ambiant perçue par l'homme au moyen des ses oreilles.

   Remarque : Un bruit est un son indésirable.

   N.B : L'oreille d'un humain ne perçoit que des sons dont la fréquence est comprise entre $20H_Z$ et $20KH_Z$ ou $20H_Z \leq N \leq 20KH_Z$

- Pour $N < 20H_Z$ nous avons un infra-son (son très faibles)
- Pour $N > 20KH_Z$ nous avons un ultra-son (sont très grand)

  L'infra et ultra son ne sont pas audible par l'homme par contre un éléphant perçoit un infra-son et un chien un ultra-son.

2) Production : Le son résulte de la mise en vibration d'un corps ou d'un ensemble de corps.On a comme générateur de son ou source sonore : les solides tels que corde d'une guitare, une cloche, un haut-parleur, une masse d'air soufflée etc.…

3) Propagation du son : Un cout de cloche parvient à l'oreille d'une personne se trouvant à quelques centimètres sous forme de bruit et nous observons que la sensation s'affaiblit lorsque la personne s'éloigne de la source. On peut donc dire que le son se propage dans le vide avec une vitesse inférieure à celle de la lumière.

4) Célérité du son dans un gaz : La célérité du son dans un gaz est donnée par la formule de Laplace suivante : $V = C = \sqrt{\frac{P*C_P}{\rho*C_V}}$

   P : La pression du gaz

   ρ : La masse volumique avec $\rho = \frac{m}{V}$

   C_P : Chaleur massique à pression constante

   C_V : Chaleur massique à volume constant.

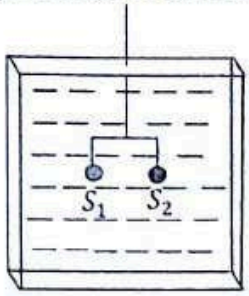
5) Les facteurs qui influent le son : Ce sont la température, la pression…

INTERFÉRENCES MÉCANIQUES

1) Les définitions :

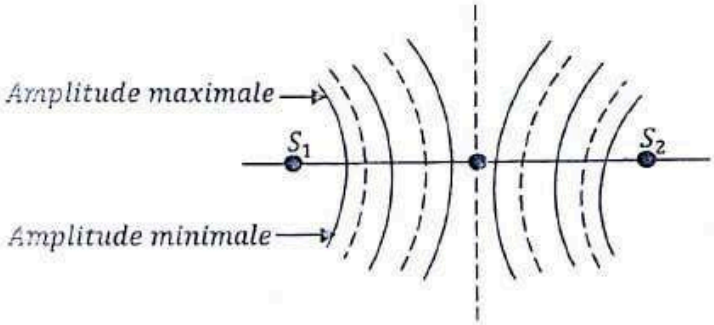
- Interférence mécanique : L'interférence mécanique est la superposition deux (2) ondes émises par deux (2) sources synchrones et cohérentes dans une zone. Cette zone est appelée champ d'interférences.
- Sources synchrones : Ce sont deux (2) sources ayant la même période.
- Sources cohérentes : Ce sont deux (2) sources ayant une différence de phase constante.

2) Expérience de mise en évidence :On dispose d'une fourche munie de deux (2) pointsS_1 et S_2et fixées à l'extrémité d'un vibreur. Ces deux (2) points S_1 et S_2 constituent deux sources synchrones et cohérentes et sont placées à la surface de l'eau.



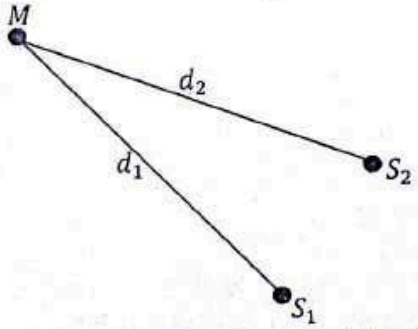
Lors du mouvement du vibreur, on observe à la surface libre du liquide des rides fixes et nette dont la forme est hyperboliques entre S_1 etS_2. Il y a donc, dans cette zone, une superposition d'ondes émises par S_1 et S_2 : c'est l'interférencemécanique.

N.B : Ces rides sont appelés lignes ou franges d'interférences.



3) Equation du mouvement résultant : Soit M un point de la surface de l'eau situé à la distance $d_1$deS_1 et à la distance d_2 de S_2.

Avec un choix convenable, l'instant initial $t = 0$, l'élongation des deux (2) sources S_1 et S_2 a pour expression $y_{o_1} = y_{o_2} = a_0 \sin\frac{2\pi}{T}t$



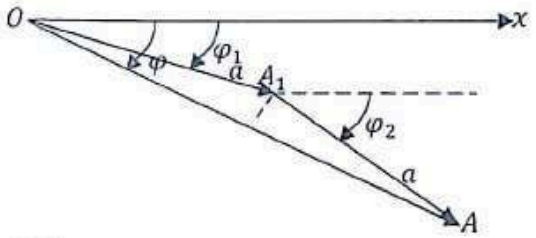
✓ Lorsque les deux (2) sources S_1 et S_2 vibrent chacune indépendamment alors :

- L'onde venant de S_1 impose au point M une élongation $y_1 = a\sin 2\pi(\frac{t}{T} - \frac{d_1}{\lambda}) \rightarrow$ $y_1 = a\sin(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi d_1}{\lambda})$ Posons $\varphi_1 = \frac{-2\pi d_1}{\lambda}$ alors $y_1 = a\sin(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_1)$
- et celle venant de S_2impose au point Mune élongation $y_2 = a\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{d_2}{\lambda}\right) \rightarrow$ $y_2 = a\sin(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi d_2}{\lambda})$Posons$\varphi_2 = \frac{-2\pi d_2}{\lambda}$ alors $y_2 = a\sin(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_2)$

✓ Lorsque les deux sources S_1 et S_2vibrent simultanément, l'élongation est $y = y_1 + y_2$ avec $y = A\sin(\frac{2\pi t}{T} + \varphi)$

N.B : Pour déterminer l'amplitude A et la phase φ du mouvement résultant, on peut utiliser :

- **Construction de Fresnel ou méthode géométrique** :La vibration résultante est: $y = y_1 + y_2 \rightarrow A\sin(\frac{2\pi t}{T} + \varphi) = a\sin(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_1) + a\sin(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_2)$



Pour la phase φ :

On a : $\varphi = \frac{\varphi_1+\varphi_2}{2} = \frac{-\frac{2\pi d_1}{\lambda} - \frac{2\pi d_2}{\lambda}}{2} \rightarrow \varphi = -\frac{\pi(d_1+d_2)}{\lambda}$

Pour l'amplitude A :

Dans le triangle $(A_1\hat{O}H)$ isocèle on a : $\cos\left(\frac{\varphi_1-\varphi_2}{2}\right) = \frac{\frac{A}{2}}{a} \rightarrow \frac{A}{2} = a\cos\left(\frac{\varphi_1-\varphi_2}{2}\right) \rightarrow$

$$A = 2a\cos\left(\frac{\varphi_1-\varphi_2}{2}\right) = 2a\cos\left(\frac{\frac{-2\pi d_1}{\lambda} - \left(\frac{-2\pi d_2}{\lambda}\right)}{2}\right) \rightarrow A = 2a\cos\frac{\pi(d_2-d_1)}{\lambda}$$

- **Méthode analytique ou trigonométrique** : On a : $y = y_1 + y_2$

$$y = a\sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_1\right) + a\sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_1\right) = \left[a\sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi d_1}{\lambda}\right) + \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi d_2}{\lambda}\right)\right]$$

Or $\sin p + \sin q = 2\sin\frac{p+q}{2}\cos\frac{p-q}{2}$

$$y = 2a\left[\cos\left(\frac{\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi d_1}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} + \frac{2\pi d_2}{\lambda}}{2}\right) \times \sin\left(\frac{\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi d_1}{\lambda} + \frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi d_2}{\lambda}}{2}\right)\right]$$

$$y = 2a\cos\frac{\pi(d_2-d_1)}{\lambda} \times \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{\pi(d_1+d_2)}{\lambda}\right) \leftrightarrow y = A\sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi\right)$$

Alors$\varphi = -\frac{\pi(d_1+d_2)}{\lambda}$et $A = 2a\cos\frac{\pi(d_2-d_1)}{\lambda}$

N.B :$d_2 - d_1$ est appelée différence de marche avec $\delta = d_2 - d_1$

4) **Interférence constructive** :L'interférence est constructive lorsque l'amplitude Ade la vibration résultante est maximale. L'amplitude A est maximale si et seulement si :

$$\cos\frac{\pi(d_2-d_1)}{\lambda}=\pm1 \leftrightarrow \pi\frac{d_2-d_1}{\lambda}=K\pi \rightarrow d_2-d_1=K\lambda \rightarrow \delta=K\lambda \; avec\; K\in\mathbb{Z}$$

A chaque valeur de K correspond une hyperbole.

Pour $K=0$ les points appartiennent à la médiatrice du segment S_1S_2

Pour $K\neq 0$ les points appartiennent à une famille d'hyperboles dont les centres sont S_1 et S_2.

Le nombre de franges d'amplitudes maximales : Soit d la distance S_1S_2

On a: $d_2-d_1=K\lambda$

$$d_2+d_1=d$$

$$2d_2=K\lambda+d \rightarrow d_2=\frac{K\lambda+d}{2}$$

Or $0<d_2\leq d \leftrightarrow 0<\frac{K\lambda+d}{2}\leq d \rightarrow 0<K\lambda+d\leq 2d \rightarrow -d<K\lambda\leq d \rightarrow$

$-\frac{d}{\lambda}<K\leq\frac{d}{\lambda}$ Ou $-\frac{S_1S_2}{\lambda}\leq K\leq\frac{S_1S_2}{\lambda}$

Exemple :

N.B : Lorsque la différence de marche est égale à un multiple entier de la longueur d'onde alors les deux (2) mouvements sont en phases.

5) Interférence **destructive** : L'interférence est destructive lorsque l'amplitude A de la vibration résultante est nulle et par conséquent le point M ne vibre plus.

$$\cos\pi\frac{d_2-d_1}{\lambda}=0 \rightarrow \pi\frac{d_2-d_1}{\lambda}=(2K'+1)\frac{\pi}{2}\rightarrow d_2-d_1=(2K'+1)\frac{\lambda}{2}$$

$$\rightarrow \delta=(2K'+1)\frac{\lambda}{2}\; avec\; K'\in\mathbb{Z}$$

Les points qui obéissent à cette condition appartiennent à une autre famille d'hyperboles de centre S_1 et S_2 qui s'intercalent les précédentes. A chaque valeur de K' correspond une hyperbole.

Le nombre de **franges d'amplitudes nulles** : Soit d la distance S_1S_2

On a: $d_2-d_1=(2K'+1)\frac{\lambda}{2}$

$$d_2+d_1=d$$

$$2d_2=(2K'+1)\frac{\lambda}{2}+d\rightarrow d_2=(2K'+1)\frac{\lambda}{4}+\frac{d}{2}$$

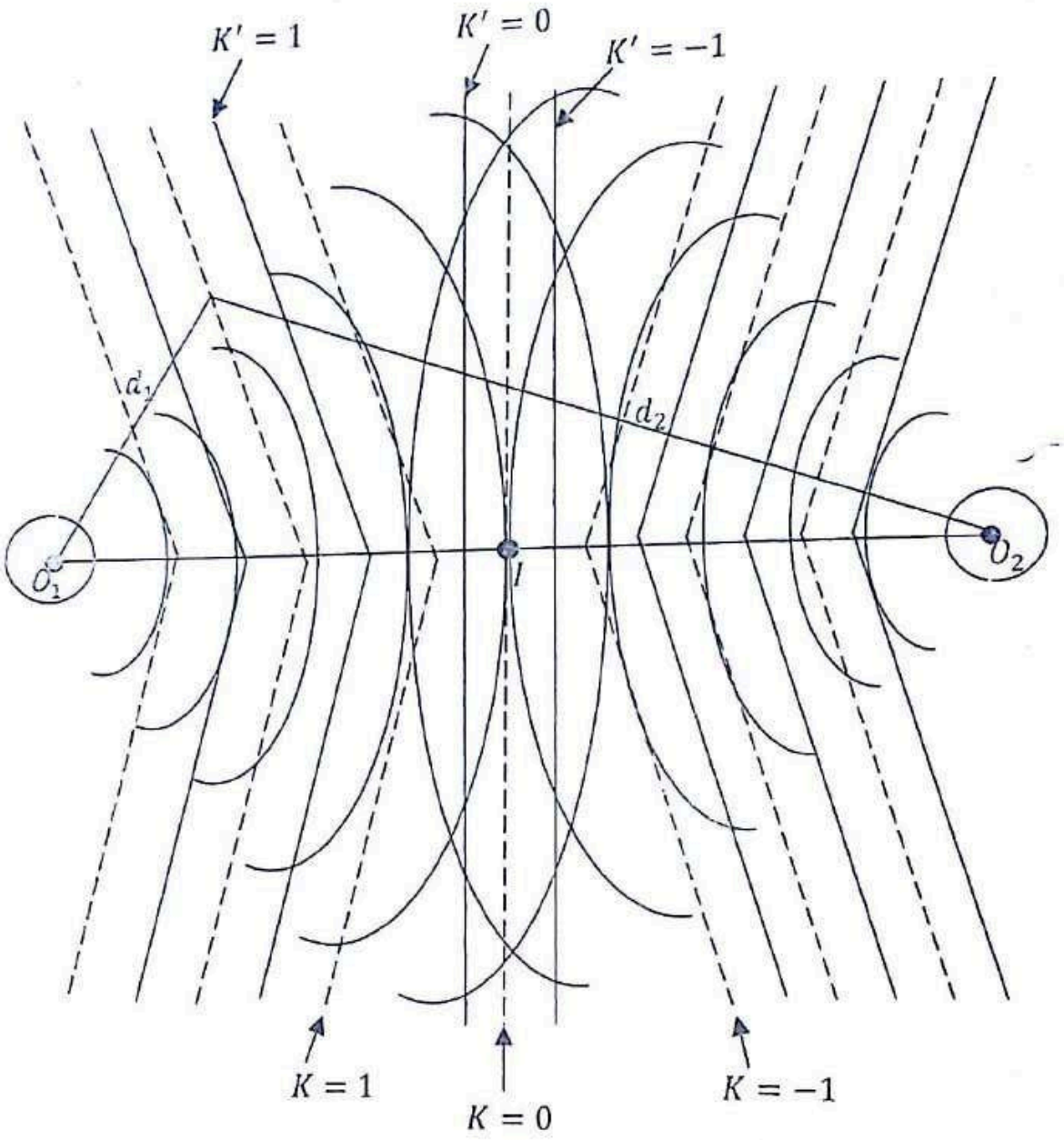
Or $0<d_2\leq d \leftrightarrow 0<(2K'+1)\frac{\lambda}{4}+\frac{d}{2}\leq d \rightarrow -\frac{d}{2}<(2K'+1)\frac{\lambda}{4}\leq\frac{d}{2}$

$$-\frac{4d}{2\lambda}<2K'+1\leq\frac{4d}{2\lambda}\rightarrow -\frac{2d}{\lambda}<2K'+1\leq\frac{2d}{\lambda}\rightarrow -\frac{2d}{\lambda}-1<2K'\leq\frac{2d}{\lambda}-1$$

$-\frac{d}{\lambda}-\frac{1}{2}<K'\leq\frac{d}{\lambda}-\frac{1}{2}$ ou $-\frac{S_1S_2}{\lambda}-\frac{1}{2}\leq K'\leq\frac{S_1S_2}{\lambda}-\frac{1}{2}$

Exemple :

Le mouvement est nul au point de la surface libre pour lesquels la différence de marche est égale à un multiple impair de la demi-longueur d'onde. L'amplitude est donc minimale.


K′ = 1
K′ = 0
K′ = −1
d1
d2
O1
O2
I
K = 1
K = 0
K = −1

EXERCICES SUR LES INTERFÉRENCES MÉCANIQUES

Exercice 1 : Sur la surface d'un liquide se propage avec la célérité $V = 1m/s$, deux sources synchrones S_1 et S_2 d'équation $y = a \sin \omega t$ de fréquence $10Hz$ et d'amplitude $5Cm$ l'un de l'autre.

1) Trouver le mouvement résultant en un point M situé d_1 de S_1 et d_2 de S_2.
2) Calculer l'amplitude d'un point M situé à la distance $d_1 = 10Cm$ et $d_1 = 8{,}66Cm$.
3) Trouver le nombre de point d'amplitude nulle entre S_1 et S_2.

Exercice 2 : Une lame reliée à un vibreur est munie d'une fourche dont les deux pointes disposées verticalement sont terminées par deux extrémités S_1 et S_2 affleurant au repos la surface de l'eau d'une cuve. La distance S_1S_2 est $5{,}3Cm$. Les points S_1 et S_2 sont animés de mouvement sinusoïdaux de fréquence $f = 25Hz$ et d'amplitude $a = 5mm$.

La célérité des ondes à la surface de l'eau est $C = 20Cm/s$. On admet que la surface de l'eau est suffisamment grande et qu'il n'y a pas de réflexion des ondes sur les bords du récipient.

1) Ecrire l'équation horaire des mouvements de S_1 et S_2 en précisant l'origine des dates choisie.
2) Décrire l'aspect de la surface de l'eau et interpréter le phénomène.
3) On considère un point M de la surface de l'eau situé à la distance $d_1 = 3{,}2Cm$ de S_1 et la distance $d_2 = 3Cm$ deS_2. L'onde progressive issue de S_1 tend à provoquer un déplacement y_1 de M et l'onde issue de S_2 un déplacement y_2 de M.

a) Déterminer les expressions des élongations $y_1(t)$ et$y_2(t)$.
b) En utilisant la représentation de Fresnel, déterminer l'équation horaire du point M. On admet que l'amplitude des vibrations provoquées par S_1 et S_2 reste constante.
c) Calculer l'élongation de M à la date $t = 2{,}5s$.

4) Combien y a-t-il de points de point au repos sur le segment S_1S_2 ? Préciser les positions de ces points par rapport à S_1 ouS_2.

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 λ.

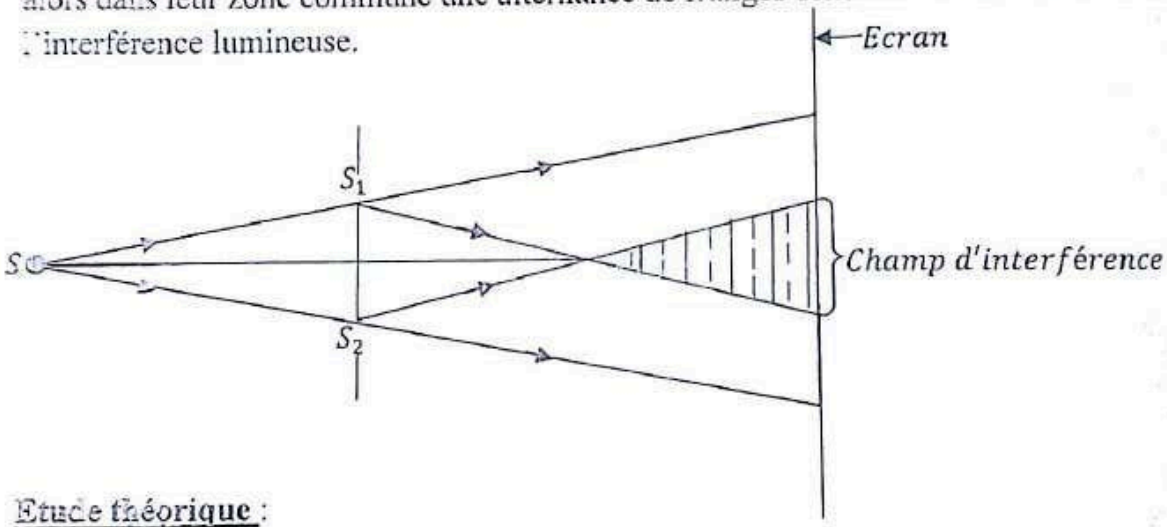
  On sait que $\lambda = CT$ or $T = \frac{1}{f} \rightarrow \lambda = \frac{c}{f}$ en m
- **Frange** : On appelle frange un rai ou un rayon lumineux.

  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)**

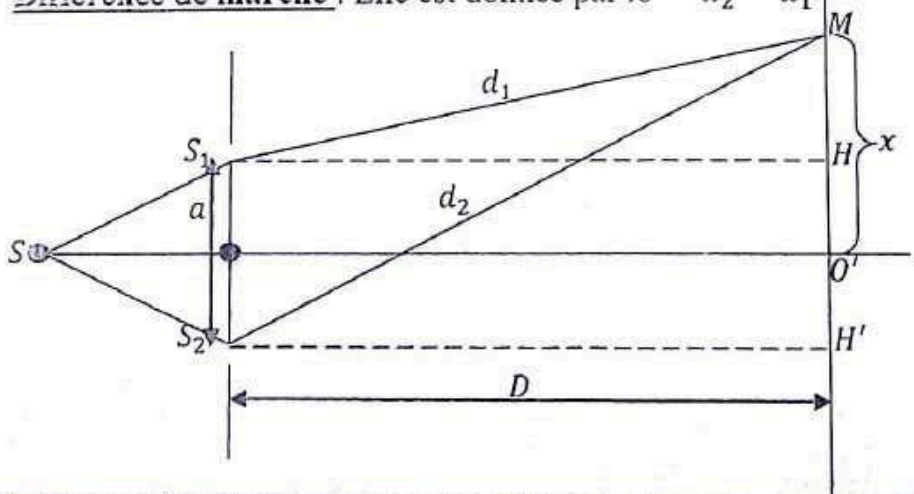
On dispose d'une source monochromatique S, de deux (2) fentes S_1 et S_2 placées perpendiculairement à la source et distantes de a. Devant les fentes est placé un écran fluorescent E distant de D des fentes.

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 : $\delta = d_2 - d_1$



En considérant le triangle (S_1HM) : $d_1^2 = D^2 + (x - \frac{a}{2})^2$

De même dans le triangle $(S_2H'M)$: $d_2^2 = D^2 + (x + \frac{a}{2})^2$

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 :

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

Alors $2\delta D = 2ax \rightarrow \delta = \frac{ax}{D}$ est la différence de marche.

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 $K' = 0 \rightarrow x'_o = \frac{\lambda D}{2a}$ 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 :

$$x'_1 - x'_o = \frac{3\lambda D}{2a} - \frac{\lambda D}{2a} = \frac{\lambda D}{a}$$

$$x'_2 - x'_1 = \frac{5\lambda D}{2a} - \frac{3\lambda D}{2a} = \frac{\lambda D}{a}$$

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

Le champ d'interfrange se présente comme suite :



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 $K' = n - 1$ et n est le nombre de franges brillantes.

  Exemple : La position de la 5^e frange obscure à partir de la frange centrale :

  On a $n = 5 \rightarrow K' = 4 \rightarrow x' = \frac{(2*4+1)}{2} i \rightarrow x' = \frac{9}{2} i$

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.

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

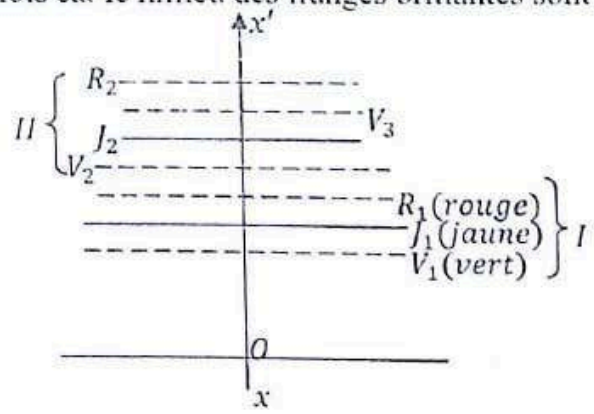
or $0{,}4\mu m \leq \lambda \leq 0{,}8\mu m \rightarrow 0{,}4\mu m \leq \frac{2ax'}{(2K'+1)D} \leq 0{,}8\mu m \rightarrow$

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

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 le milieu des franges brillantes sont décalés.



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 distant de $a = 1mm$. La source principale de lumière 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 $L = 2{,}50m$ des deux trous.

a) Préciser la nature 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 éclaire 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 , situé 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 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 : $S_1S_2 = a = 1{,}2mm;\ \lambda = 0{,}558\mu m; D = 2m$

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 est à $3mm$ de la frange centrale sachant que la longueur d'onde λ 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 recule l'écran de $70Cm$, l'interfrange devient$i_2 = 0{,}56mm$. Calculer la longueur d'onde de la lumière utilisée.

Exercice 5 : Une source éclaire deux fentes F_1 et F_2 distantes de $a = 1mm$. Un écran est situé à $1{,}8m$ du plan des fentes. La mesure de 15 interfranges donne $10{,}5mm$.

1) Calculer la longueur d'onde.
2) On remplace cette source par une source de longueur d'onde $\lambda = 0{,}8\mu m$. Calculer l'interfrange.

Exercice 6 : Une expérience d'interférence en lumière verte conduit aux résultats de mesure suivants :

- Distance séparant les centres de 11 franges brillantes consécutives : $10mm$
- Distance entre les fentes : $1{,}5mm$

- Distance entre le plan des fentes et l'écran : $2{,}80m$

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

Exercice 7 : Deux fentes de Young sont séparées de $0{,}5mm$. Elles se trouvent à une distance $D = 3m$ d'un écran placé perpendiculairement à la médiatrice des deux fentes.

Calculer l'interfrange correspondant respectivement à la lumière rouge ($\lambda = 800nm$) et violette ($\lambda = 400nm$). En déduire une caractéristique des franges brillantes obtenues en lumière blanche.

Exercice 8 : Une source S éclaire deux fentes S_1 et S_2 parallèles et distantes l'une de l'autre de $2mm$. La source S se trouve sur la perpendiculaire au plan des fentes, à égales 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 l'ondeλ. Des franges d'interférences 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 λ.
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 nombre et les longueurs d'ondes des cannelures noires.

Exercice 9 : A l'aide d'un dispositif interférentiel, on obtient deux sources lumineuses ponctuelles S_1 et S_2 synchrones et cohérentes, distantes de a. Quand le dispositif est éclairé par une lumière monochromatique de longueur d'onde λ, on observe des franges d'interférences sur un écran E placé orthogonalement au plan médiateur de S_1S_2 et situé à la distance $D = 2{,}5m$ du milieu H de S_1S_2.

1) Etablir la formule donnant l'interfrange et déterminer la distance$a$ entre S_1 et S_2 pour que, sur l'écran E, la distance entre le milieu de la sixième frange brillante et le milieu de la neuvième frange brillante situées de part et d'autre de la frange centrale, numérotée zéro, soit égale à $1{,}5Cm$ quand la lumière a pour longueur d'onde $\lambda = 0{,}650\mu m$.
2) Pour cette lumière d'onde $\lambda = 0{,}650\mu m$ déterminer la nature de la frange située en un point M de l'écran E distant de $2{,}5mm$ de la frange centrale O et le nombre (ou numéro) de cette frange.
3) Les sources S_1 et S_2 émettent une lumière blanche dont les radiations du spectre visible ont des longueurs d'ondes comprises entre $0{,}4\mu m$et $0{,}8\mu m$. On retire l'écran et on place la fente d'un spectroscope à $x = 3mm$ de la frange centrale, parallèlement aux franges. Quelle est l'origine des rais sombres que l'on observe et combien en dénombre-t-on ?

RAYONNEMENT LASER

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 l'onde), puis celui des infrarouges, visible, ultraviolet et commencent à s'appliquer aux rayons X.
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,
- En métrologie : étude de l'atmosphère. /.

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 lemouvement effectué par un oscillateur.
- Oscillateur mécanique :Un oscillateur mécanique est un système animé de mouvements de va et vient autour de à 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: $x = X_m \cos(\omega_o t + \varphi)$ en m

  $v = \dot{x} = -X_m \omega_o \sin(\omega_o t + \varphi)$ en ms^{-1}

  $a = \ddot{x} = -\omega_0^2 X_m \cos(\omega_o t + \varphi) \rightarrow \ddot{x} = -\omega_0^2 x \rightarrow \ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$ équation différentielle

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

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

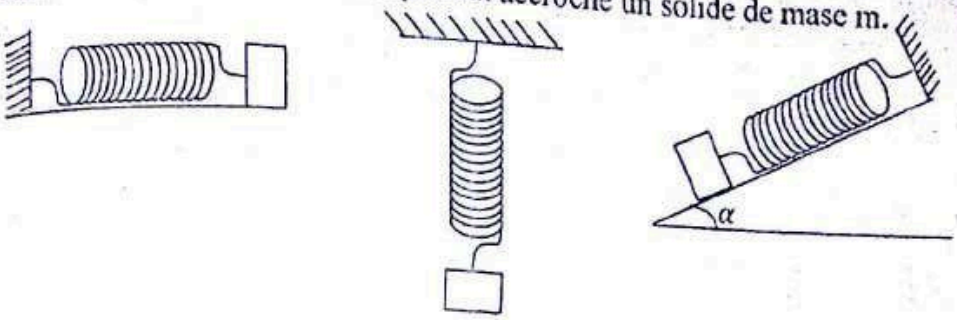
➢ Un oscillateur bat la seconde signifie sa période $T_o = 2s$

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

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

2) Pendules élastiques :

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

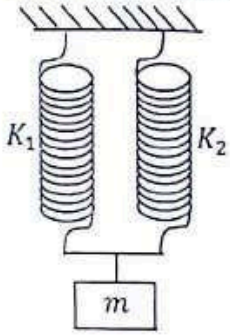


Le penduleélastique est caractérisé par la raideur k du ressort et la masse m du solide.

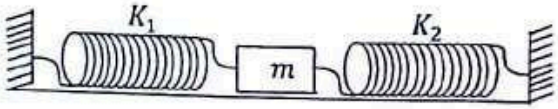
N.B : la raideur k d'un pendule élastique s'exprime en Nm^{-1}

Remarque :

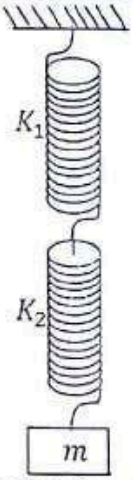
- **Ressort en parallèle** :



$K_e = K_1 + K_2$



- **Ressort en série** :



$$\frac{1}{K_e} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} \rightarrow K_e = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2}$$

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}

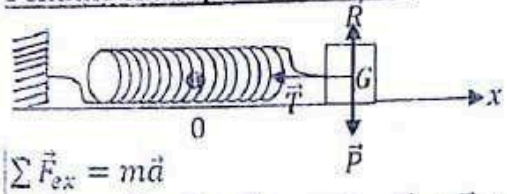
Oscillateurs mécaniques libres

- **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** :

➢ **Par une étude dynamique** :

✓ **Pendule élastique horizontal** :



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

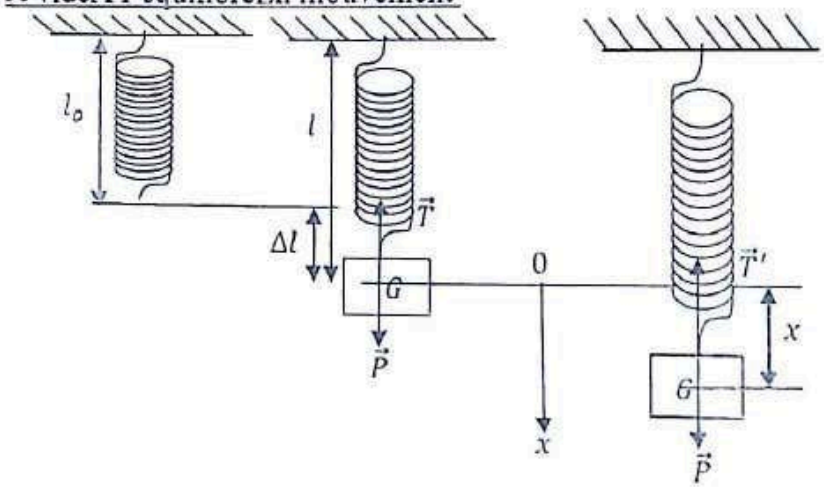
$\sum \vec{F}_{ex} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{T} \rightarrow m\vec{a} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{T}$

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

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

✓ **Pendule élastique vertical** :

A vide A l'équilibre En mouvement



A l'équilibre : $\sum \vec{F}_{ect} = \vec{0} \rightarrow \vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$

Suivant Ox: $P - T = 0 \rightarrow mg - k\Delta l = 0$

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

➢ **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

- **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

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

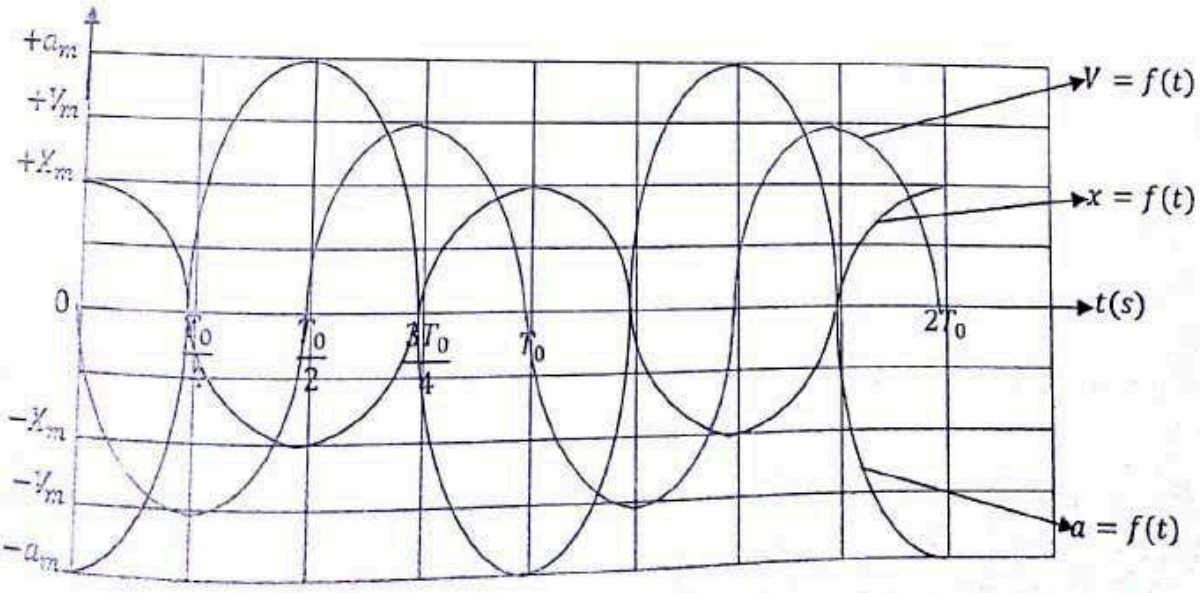
N.B : X_m et φ sont déterminées à l'instant $t = 0$

- **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	$-a_m$



- **Les énergies :**

➢ **Energie cinétique :** $E_C = \frac{1}{2}mV^2 \rightarrow E_C = \frac{1}{2}m(\frac{dx}{dt})^2 \rightarrow E_C = \frac{1}{2}m\omega_0^2X_m^2sin^2(\omega_0t+\varphi)$

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

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

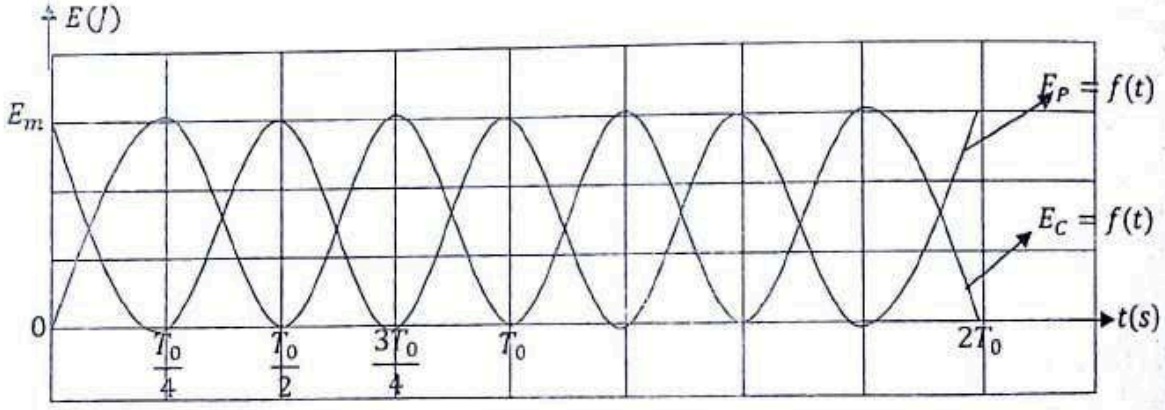
➢ **Energie mécanique :** L'énergie mécanique est la somme des énergies cinétique et potentielle : $E_m = E_C + E_P \rightarrow E_m = \frac{1}{2}mV^2 + \frac{1}{2}Kx^2 \rightarrow E_m = \frac{1}{2}m(\frac{dx}{dt})^2 + \frac{1}{2}Kx^2$

Ou $E_m = \frac{1}{2}KX_m^2sin^2(\omega_ot+\varphi) + \frac{1}{2}KX_m^2cos^2(\omega_ot+\varphi) \rightarrow E_m = \frac{1}{2}KX_m^2 = cste$ alors il y a transformation mutuelle entre E_C et E_P.

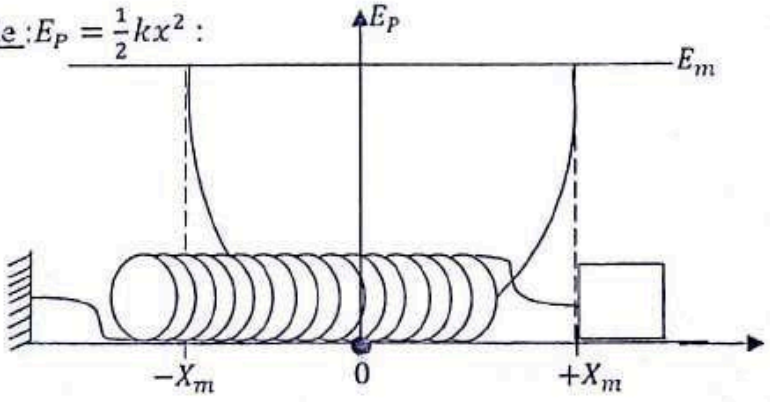
➢ **Graphe des énergies E_C et E_P :** Posons $\varphi = 0$, $\omega_o = \frac{2\pi}{T_o}$ et $E_m = \frac{1}{2}KX_m^2$

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

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



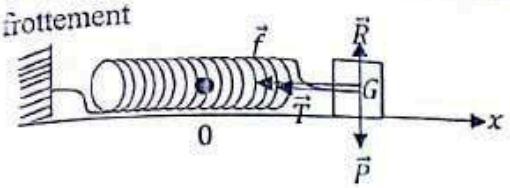
Le graphe de $E_P = \frac{1}{2}kx^2$ est une parabole alors le pendule élastique oscille dans un puits de potentiel parabolique entre $+X_m$ et $-X_m$.

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

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



- Equation différentielle :

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

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

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

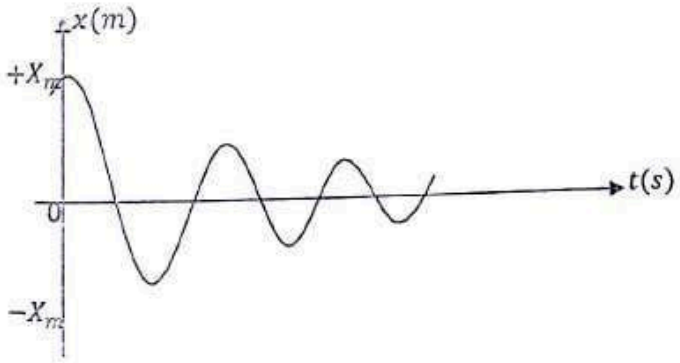
$$\begin{cases} a = \ddot{x} \\ T = Kx \\ f = \alpha v = \alpha\dot{x} \end{cases} \rightarrow m\ddot{x} = -kx - \alpha\dot{x} \rightarrow m\ddot{x} + \alpha\dot{x} + kx = 0 \rightarrow \ddot{x} + \frac{\alpha}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0$$

équation différentielle

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

- Discutions :

➢ Pour α faible : Les frottements sont faibles : le mouvement est pseudo périodique :

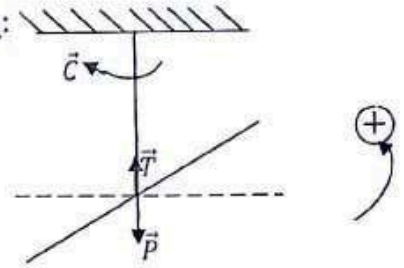


➢ Pour α grand : Les frottements sont importants : le régime est apériodique.



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.
  Lependule de torsion est caractérisé par laconstante de torsion Cdu 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 α son abscisse à la date$t$ quelconque.
  - **Equation différentielle** :
    - **Par une étude dynamique** :



D'après la R.F.D :

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

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

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

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

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

N.B : α_m et φ sont déterminées à l'instant $t = 0$

- Les énergies :

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

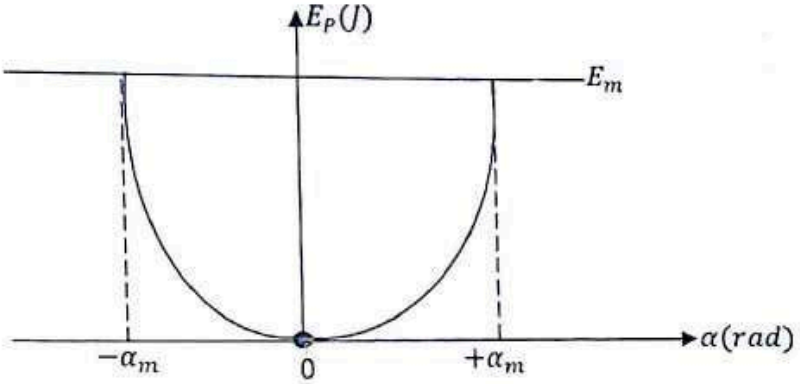
Or $\omega_0^2 = \frac{C}{J} \rightarrow E_C = \frac{1}{2} C\alpha_m^2 sin^2(\omega_o t + \varphi)$

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

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

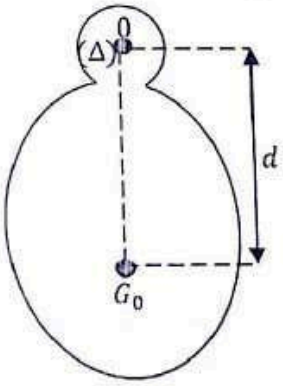


Quand $\alpha = \mp\alpha_m \rightarrow E_P = E_m \rightarrow E_C = 0$ car $\dot{\alpha} = 0$

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

4) Pendule pesant ou pendule composé :

- Définition : Un pendule pesant est un solide capable de tourner sous l'action de son poids autour d'un axe ne passant pas par son centre de gravité.

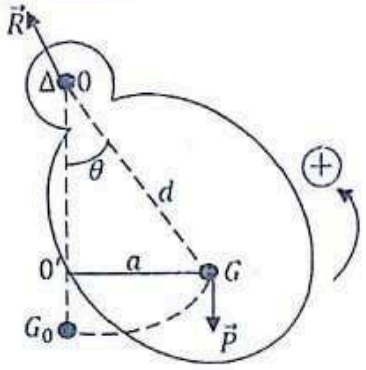


$J(\Delta) = J_0 + md^2$

- **Etude du mouvement de faible amplitude d'un pendule pesant** : Soit un pendule pesant de poids P et de moment d'inertie J.
  Lorsque le système est écarté de sa position et abandonné, il oscille entre $+\theta_m$ et $-\theta_m$
  Soit θ son abscisse à une date t quelconque.

- **Equation différentielle** :

➢ **Par une étude dynamique** :



$\sum \mathcal{M}\vec{F}_{ex/\Delta} = J\ddot{\theta}$

$$\sum \mathcal{M}\vec{F}_{ex/\Delta} = \mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} \rightarrow J\ddot{\theta} = \mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta}$$

$\mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} = 0$ Car sa direction rencontre l'axe de rotation Δ.

$\mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = -Pa \text{ Or } P = mgeta = dsin\theta \rightarrow \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = -mgdsin\theta$

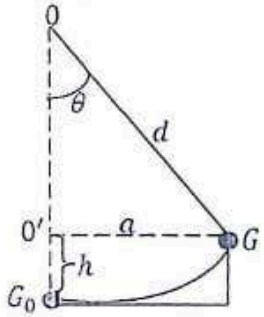
Avec θ faible on a $\sin\theta \approx \theta$ alors $\mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = -mgd\theta$

$\rightarrow J\ddot{\theta} = -mgd\theta \rightarrow J\ddot{\theta} + mgd\theta = 0 \rightarrow \ddot{\theta} + \frac{mgd}{J}\theta = 0$ équation différentielle

➢ **Par une étude énergétique** :

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

$\begin{cases} E_C = \frac{1}{2}J\dot{\theta}^2 \rightarrow \dot{E}_C = J\ddot{\theta}\dot{\theta} \\ E_P = +mgh \end{cases}$



$Or h = OG_o - OO' = d - d\cos\theta = d(1 - \cos\theta)$

$\rightarrow E_P = mgd(1 - \cos\theta) \rightarrow \dot{E}_P = mgd\dot{\theta}\sin\theta$

Pour θ faible on a $\sin\theta \approx \theta$ alors $\dot{E}_P = mgd\dot{\theta}\theta$

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

Or $\dot{\theta} \neq 0 \rightarrow J\ddot{\theta} + mgd\theta = 0 \rightarrow \ddot{\theta} + \frac{mgd}{J}\theta = 0$ equation différentielle

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

Or $h = OG_o - OO' = l - l\cos\alpha = l(1-\cos\alpha)$

$\rightarrow E_P = mgl(1-\cos\alpha) \rightarrow \dot{E}_P = mgl\dot{\alpha}\sin\alpha$

Pour α faible on a $\sin\alpha \approx \alpha$ alors $\dot{E}_P = mgl\dot{\alpha}\alpha$

Or $\dot{E}_C + \dot{E}_P = 0 \rightarrow ml^2\ddot{\alpha}\dot{\alpha} + mgl\dot{\alpha}\alpha = 0 \rightarrow \dot{\alpha}(l\ddot{\alpha} + g\alpha) = 0$

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

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

- **Pulsation propre** :$\omega_0 = \frac{g}{l} \rightarrow \omega_o = \sqrt{\frac{g}{l}}$ en rads^{-1}

- **Période propre** :$T_o = \frac{2\pi}{\omega_o} \rightarrow T_o = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ en s

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

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

- **Pendule simple synchrone d'un pendule pesant** : est le pendule simple de longueur l ayant même période que ce pendule pesant.

Pour le pendule pesant :$T_o = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgd}}$

Pour le pendule simple :$T_0' = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

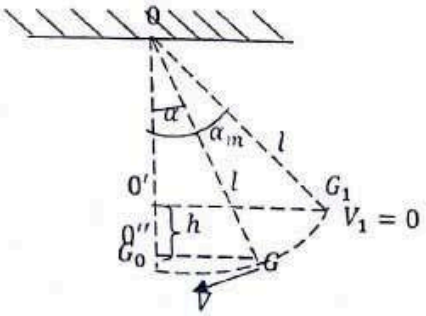
Le pendule simple est le synchrone du pendule pesant si et seulement si :

$T_0' = T_o \leftrightarrow \frac{l}{g} = \frac{J}{mgd} \rightarrow l = \frac{J}{md}$ en m.

- **Isochronisme de pendules** : Deux (2) pendules sont isochrones lorsque, oscillant avec des amplitudes différentes, ils ont même période.

Deux (2) pendules simples ayant même longueur l et effectuant des oscillations de faibles amplitudes sont nécessairement isochrones.

- **Expression de la vitesse linéaire** :



Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre G_1 et G

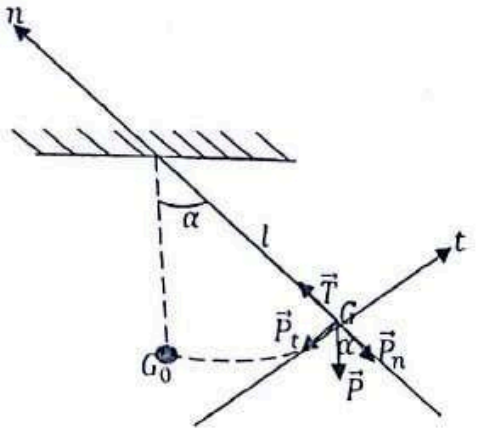
On a : $E_{cc} - E_{cG_1} = W_{P(G,G_1)} \rightarrow \frac{1}{2}mV^2 - \frac{1}{2}mV_1^2 = mgh$

Or $h = OO'' - OO' = l\cos\alpha - l\cos\alpha_m \rightarrow h = l(\cos\alpha - \cos\alpha_m)$ et $V_1 = 0$

Alors $\frac{1}{2}mV^2 = mgl(\cos\alpha - \cos\alpha_m) \rightarrow V = \pm\sqrt{2gl(\cos\alpha - \cos\alpha_m)}$

A la position d'équilibre $\alpha = 0 \rightarrow V = V_m \rightarrow V_m = \sqrt{2gl(1 - \cos\alpha_m)}$

- **Expression de la tension T du fil** :



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

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

Projetons les forces suivant l'axe de la normale :

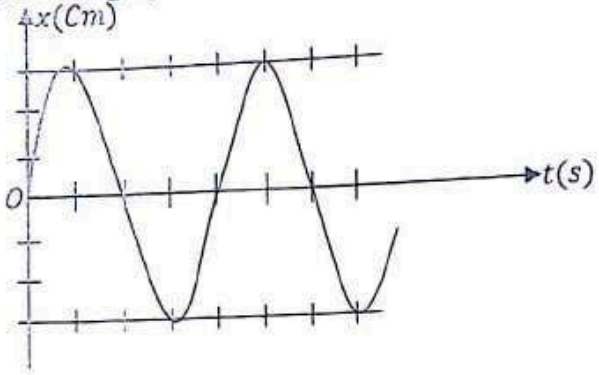
On aura : $-P_n + T = ma_n \rightarrow T = m\frac{V^2}{l} + mg\cos\alpha \rightarrow T = m(\frac{V^2}{l} + g\cos\alpha)$

D'où $T = m[2g(\cos\alpha - \cos\alpha_m) + g\cos\alpha] = 2mg\cos\alpha - 2mg\cos\alpha_m + mg\cos\alpha$

$\rightarrow T = 3mg\cos\alpha - 2mg\cos\alpha_m \rightarrow T = mg(3\cos\alpha - 2\cos\alpha_m)$ ./.

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 :



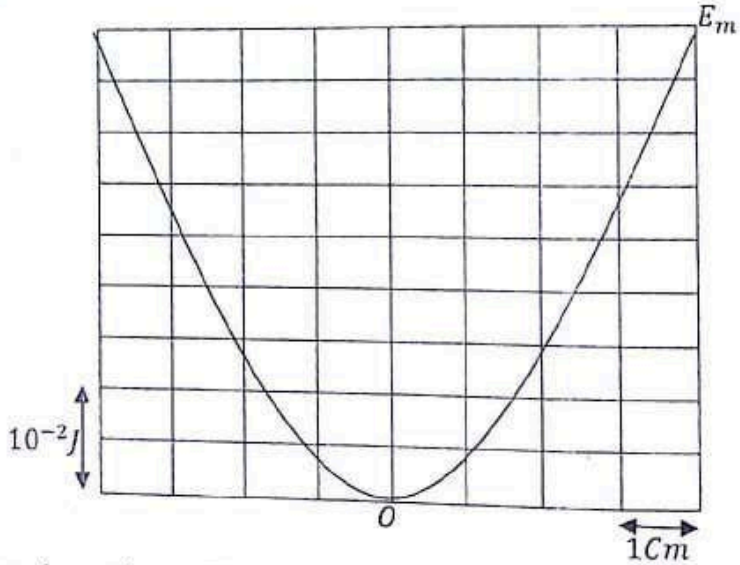
Horizontalement : $250ms/div$

Verticalement : $2Cm/div$

1) Déterminer X_m, ω_o et φ
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 : Le graphe $E_P(x)$ d'un pendule élastique est donné sur la figure suivante :



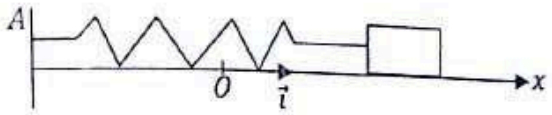
1) Montrer que le système effectue des oscillations.
2) Ecrire $x = f(t); V = f(t)$ en posant $x = X_m \sin(\omega_o t + \varphi)$ et sachant qu'à $t = 0$, $X_0 = +X_m$ et que la durée de 100 oscillations est $20s$

3) Déduire de ce qui précède les valeurs de K et m
4) Trouver V pour $x_1 = 0, x_2 = 1Cm, x_3 = 3Cm$

Exercice 3 : 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 $20N/m$

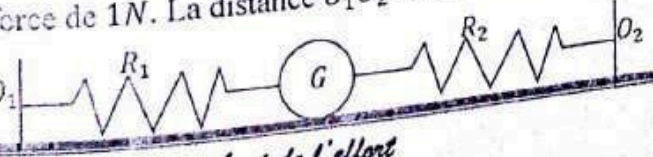
2) On fixe maintenant le ressort étudié comme l'indique la figure ; A est son extrémité fixe. On accroche à son autre extrémité un solide (S) de masse $m = 200g$. Ce solide peut se déplacer sans frottement le long de l'axe Ox. A l'équilibre, le centre d'inertie G du solide coïncide avec l'origine O du 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 ω_o de cet oscillateur et celle de sa période T_o. Calculer numériquement ω_o et T_o
- Vérifier que quelles que soient les valeurs de X_m et φ l'équation horaire $x(t) = X_m \cos(\omega_o t + \varphi)$ est solution de l'équation différentielle précédente.

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 φ 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 Δl 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 α_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 α que fait alors la tige avec sa position d'équilibre, α 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 $T_o = 4{,}20s$.

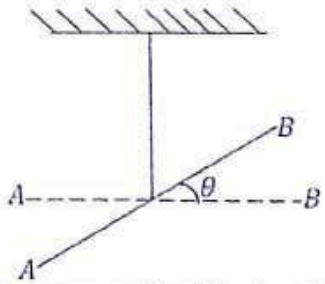
a) En déduire la constante de torsion du fil, J valant $320Kg.m^2$

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.

Exercice 6 : Pour déterminer le moment d'inertie et la constante de torsion d'un pendule de torsion, un opérateur réalise les deux expériences suivantes :

Expérience 1 : Il écarte la tige AB d'un angle θ et l'abandonne. La durée de 10 oscillations est alors $100s$

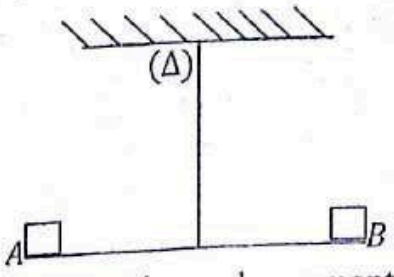


Expérience 2 : L'opérateur place aux extrémités A et B de la tige des surcharges constituées de deux masselottes identiques de masse $m = 100g$.

On donne $OA = OB = d = 10Cm$.

Il écarte alors la tige surchargée de sa position d'équilibre et l'abandonne. La durée de 10 oscillations est alors $105s$

Oscillateurs mécaniques libres



1) Déduire des deux expériences précédentes le moment d'inertie J_o de la tige par rapport à Δ et la constante de torsion C du fil.
2) L'opérateur enlève les surcharges et écarte de nouveau la tige de sa position d'équilibre d'un angle θ et l'abandonne sans vitesse à $t = 0$.

a) Etablir l'équation différentielle du système oscillant.
b) En déduire la nature des oscillations et les équations horaires du mouvement.
c) La tige AB étant en cuivre, elle oscille maintenant dans l'entrefer d'un aimant en U. Décrire qualitativement le mouvement ultérieur du système oscillant.

Donnée numérique : $\theta = \frac{\pi}{6} rad$

OSCILLATEURS ÉLECTRIQUES LIBRES

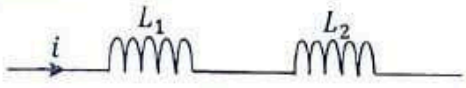
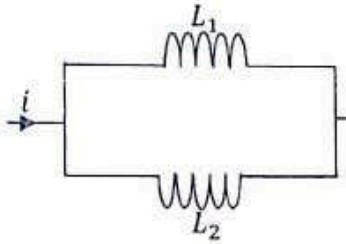
1) **Les définitions :**

- **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 à ses bornes. $C = \frac{q}{U} \rightarrow q = CU$ et q en Coulomb (C), U en Volt (V), C en Farad (F)

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

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

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

- **Capacité équivalente :**
  - **En série :**  $\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \rightarrow C_e = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$
  - **En parallèle :**  $C_e = C_1 + C_2$
- **Inductance équivalente :**
  - **En série :** 
  - **En parallèle :**  $\frac{1}{L_e} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \rightarrow L_e = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$

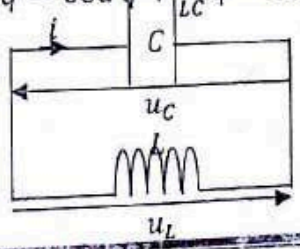
2) **Sens positif d'un circuit :**

1er 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 : $u_C = -u_L \rightarrow u_C + u_L = 0$

$\begin{cases} u_C = \frac{q}{C} = \frac{1}{C}q \\ u_L = ri - e \text{ Or } r = 0 \text{ et } e = -\frac{Ldi}{dt} \rightarrow U_L = \frac{Ldi}{dt} \text{ or } i = \frac{dq}{dt} \rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2} \text{ donc} U_L = L\frac{d^2q}{dt^2} \end{cases}$

Alors $\frac{1}{C}q + L\frac{d^2q}{dt^2} = 0 \rightarrow \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0$ ou $\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$ équation différentielle



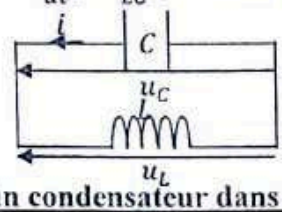
2ème Cas: A la décharge $i = -\frac{dq}{dt}$ avec $q = CU \rightarrow i = -\frac{CdU}{dt}$

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

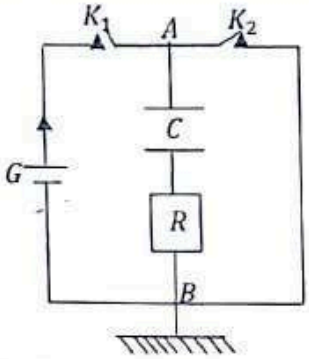
$$\begin{cases} u_C = \frac{q}{C} = \frac{1}{C}q \\ u_L = ri - e \text{ Or } r = 0 \text{ et } e = -\frac{Ldi}{dt} \rightarrow U_L = \frac{Ldi}{dt} \text{ or } i = -\frac{dq}{dt} \rightarrow \frac{di}{dt} = -\frac{d^2q}{dt^2} \end{cases}$$

donc $U_L = -L\frac{d^2q}{dt^2}$

Alors $\frac{1}{C}q - (-L\frac{d^2q}{dt^2}) = 0 \rightarrow \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0 \text{ ou } \ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$ équation différentielle

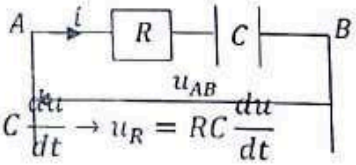


3) Charge et décharge d'un condensateur dans un résistor : Soit le montage suivant



- Charge du condensateur : K_2 étant ouvert, fermons K_1. On constate que le condensateur se charge.

$u_{AB} = u_R + u_C$



$$\begin{cases} u_C = u \\ u_R = Ri \text{ or } i = \frac{dq}{dt} = C\frac{du}{dt} \rightarrow u_R = RC\frac{du}{dt} \\ u_{AB} = E \end{cases}$$

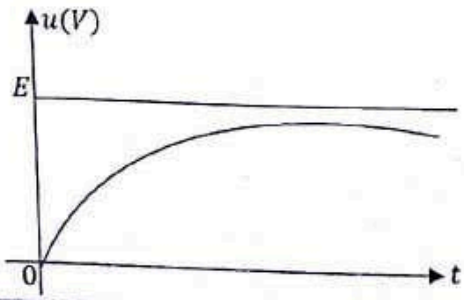
Alors $E = RC\frac{du}{dt} + u \rightarrow RC\frac{du}{dt} = E - u \leftrightarrow \frac{du}{E-u} = \frac{1}{RC}dt \rightarrow \int_0^u -\frac{du}{E-u} = -\frac{1}{RC}\int_0^t dt$

$$\rightarrow \ln(E-u)|_0^u = -\frac{1}{RC}\Big|_0^t \rightarrow \ln(E-u) - lnE = -\frac{1}{RC}t \rightarrow ln\frac{E-u}{E} = -\frac{1}{RC}t$$

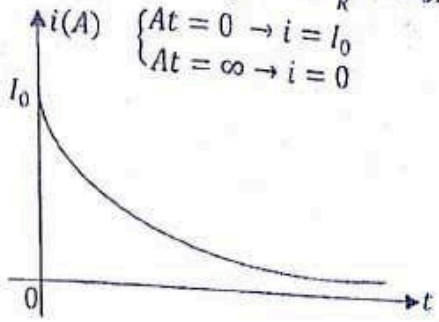
$$\rightarrow \frac{E-u}{E} = e^{-\frac{1}{RC}t} \rightarrow E - u = Ee^{-\frac{1}{RC}t} \rightarrow u = E - Ee^{-\frac{1}{RC}t} \rightarrow u = E\left(1 - e^{-\frac{1}{RC}t}\right)$$

$$\text{or } \tau = RC \rightarrow u = E(1 - e^{-\frac{1}{\tau}t})$$

$$\begin{cases} At = 0 \rightarrow u = 0 \\ At = \infty \rightarrow u = E \end{cases}$$



N.B: On a: $i = C\frac{du}{dt} \rightarrow i = -\left(-\frac{CE}{RC}e^{-\frac{1}{RC}t}\right) \rightarrow i = \frac{E}{R}e^{-\frac{1}{RC}t}$ or $I_0 = \frac{E}{R_0} \rightarrow i = I_0 e^{-\frac{1}{RC}t}$

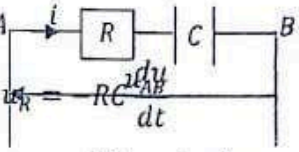


$\begin{cases} At = 0 \rightarrow i = I_0 \\ At = \infty \rightarrow i = 0 \end{cases}$

Conclusion: En fin de charge $U_C = U_0 = E$; $q_0 = CU_0$; $\varepsilon_e = \frac{1}{2}\frac{q_0^2}{C}$

- Décharge d'un condensateur : Isolons le générateur et fermons K_2. On constate que le condensateur se décharge dans le résistor.

$$u_{AB} = u_R + u_C$$



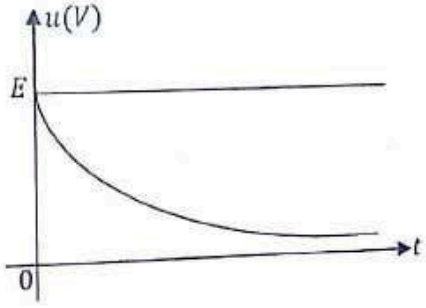
$$\begin{cases} u_C = u \\ u_R = Ri \text{ or } i = -\frac{dq}{dt} = -C\frac{du}{dt} \rightarrow u_R = -RC\frac{du}{dt} \\ u_{AB} = 0 \end{cases}$$

Alors $-RC\frac{du}{dt} + u = 0 \rightarrow -RC\frac{du}{dt} = -u \leftrightarrow \frac{du}{u} = \frac{1}{RC}dt \rightarrow \int_u^E \frac{du}{u} = \frac{1}{RC}\int_0^t dt$

$$\rightarrow \ln(u)\Big|_u^E = \frac{1}{RC}\Big|_0^t \rightarrow \ln E - \ln u = \frac{1}{RC}t \rightarrow \ln\frac{E}{u} = \frac{1}{RC}t$$

$$\rightarrow \frac{E}{u} = e^{\frac{1}{RC}t} \rightarrow u = Ee^{-\frac{1}{RC}t} \text{ or } \tau = RC \rightarrow u = Ee^{-\frac{1}{\tau}t}$$

$\begin{cases} At = 0 \rightarrow u = E \\ At = \infty \rightarrow u = 0 \end{cases}$



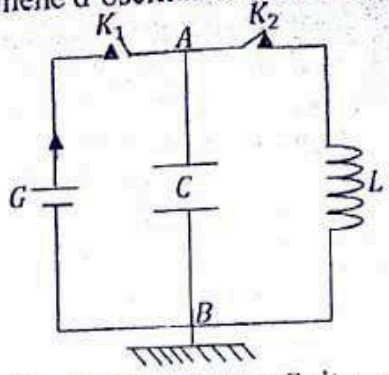
Conclusion : En fin de charge $U_C = 0$; $q_C = 0$; $\varepsilon_e = 0$; $i = 0$.

4) 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 versa.

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

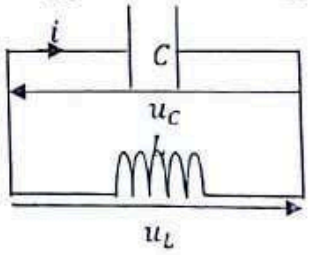


- **Etude des oscillations électriques libres** : Soit un circuit (L, C) oscillant librement
  - **Equation différentielle** :
    - **En appliquant la loi d'additivité des tensions ou loi des mailles** :

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

$$\begin{cases} U_C = \frac{q}{C} = \frac{1}{C}q \\ U_L = \frac{Ldi}{dt} \text{avec} r = 0 \text{ Or } i = \frac{dq}{dt} \rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2} \text{ alors } U_L = L\frac{d^2q}{dt^2} \end{cases}$$

Alors $\frac{1}{C}q + L\frac{d^2q}{dt^2} = 0 \rightarrow \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0$ *ou* $\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$ équation différentielle



- **En appliquant la conservation de l'énergétique totale** : D'après la conservation de l'énergie totale on a :

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

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

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

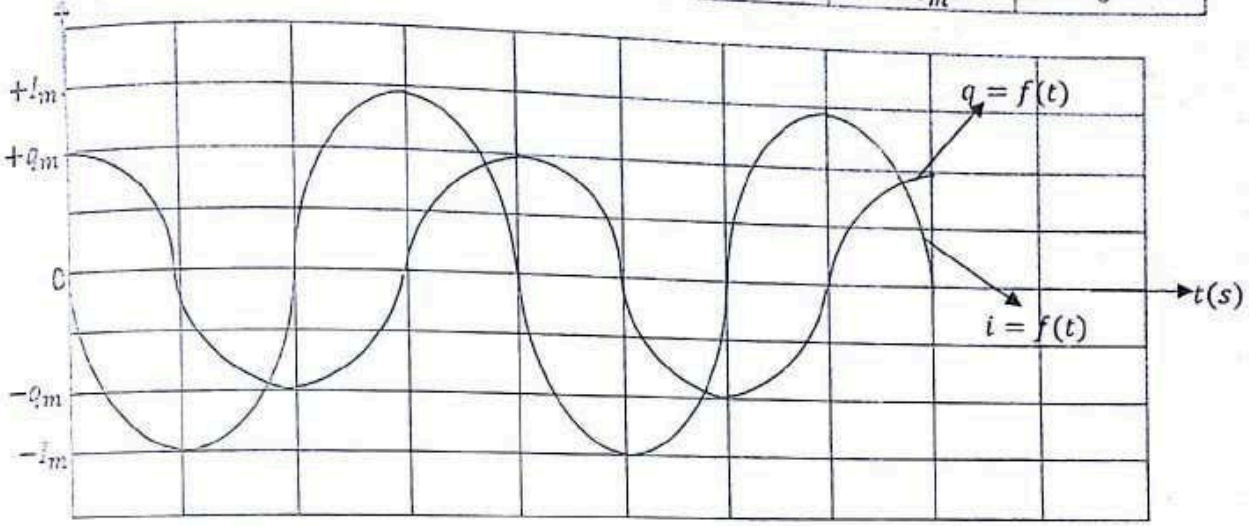
Remarque : $u = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C}\cos(\omega_o t + \varphi)$ posons $U_m = \frac{q_m}{C} \rightarrow u = U_m \cos(\omega_o t + \varphi)$

- 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



- 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** : $\varepsilon_m = \frac{1}{2}Li^2 \rightarrow \varepsilon_m = \frac{1}{2}L\left(\frac{dq}{dt}\right)^2$

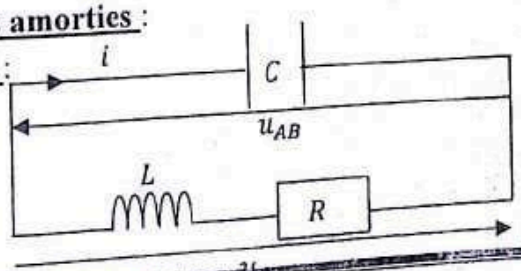
$\rightarrow \varepsilon_m = \frac{1}{2}L{\omega_o}^2 {q_m}^2 \sin^2(\omega_o t + \varphi)$ Or ${\omega_o}^2 = \frac{1}{LC} \rightarrow \varepsilon_m = \frac{1}{2}\frac{q_m^2}{C}\sin^2(\omega_o t + \varphi)$

- Energie totale **dans le circuit** : L'énergie totale est la somme des énergies électrique et magnétique : $\varepsilon_t = \varepsilon_e + \varepsilon_m \rightarrow \varepsilon_t = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} + \frac{1}{2}Li^2 \rightarrow \varepsilon_t = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} + \frac{1}{2}L\left(\frac{dq}{dt}\right)^2$

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 ε_e et ε_m.

5) Oscillations **électriques amorties** :

- Equation **différentielle** :



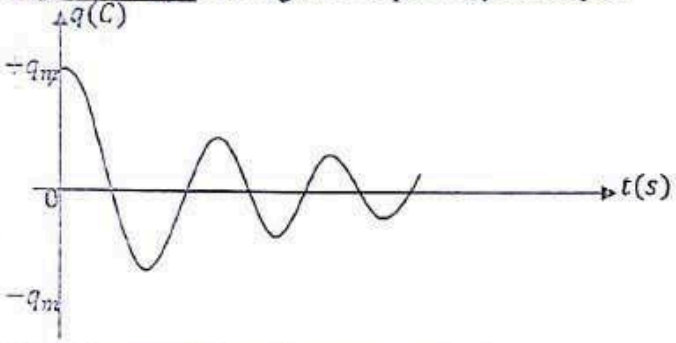
Appliquons la loi des mailles : $u_{AB} + u_{BA} = 0 \rightarrow u_C + u_R + u_L = 0$

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

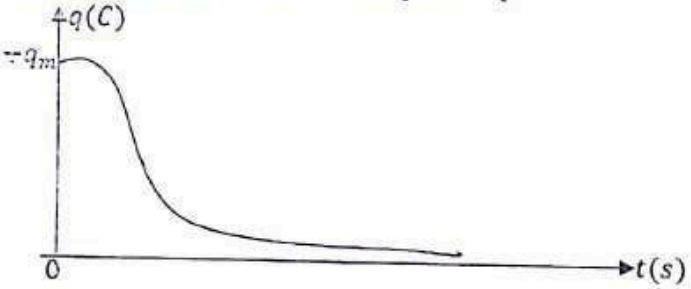
On aura donc : $\frac{1}{C}q + R\dot{q} + L\ddot{q} \rightarrow \ddot{q} + \frac{R}{L}\dot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$ equation différentielle.

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 grand :Le régime est apériodique.



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
$\dot{x} = v$	$\dot{q} = i$
$E_C = \frac{1}{2}mV^2$	$\varepsilon_m = \frac{1}{2}Li^2$
$E_P = \frac{1}{2}kx^2$	$\varepsilon_e = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$

$E_m = E_C + E_P = \frac{1}{2}mV^2 + \frac{1}{2}kx^2$ | $\varepsilon_t = \varepsilon_m + \varepsilon_e = \frac{1}{2}Li^2 + \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$

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 de résistance négligeable.

Le circuit est le siège d'oscillations électriques de fréquence $N_o = 800Hz$

a) Calculer la pulsation propre ω_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.

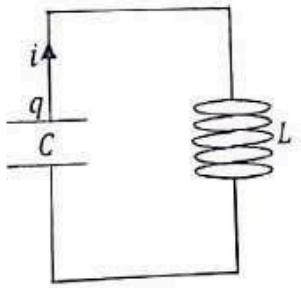
d) A quelle date la charge q est-elle pour la première fois :

- 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.

Oscillateurs électriques libres

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)

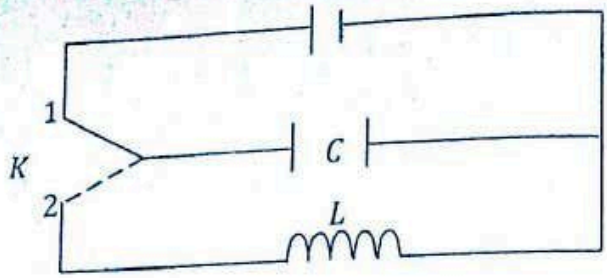


fig a

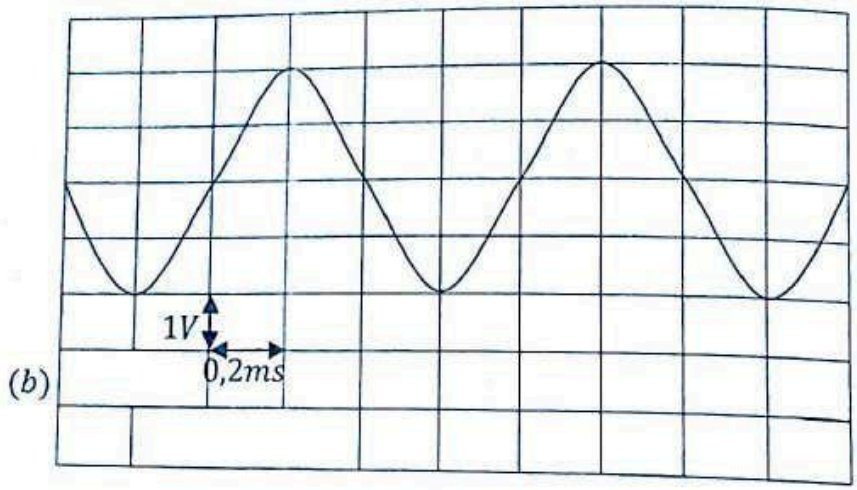


fig b -

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.

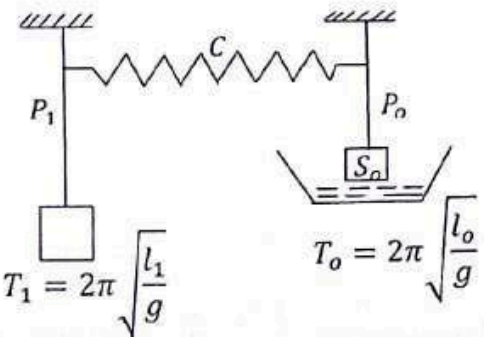
c) Calculer l'énergie totale du circuit.

OSCILLATEURS MÉCANIQUES FORCÉS

1) **Les définitions** :

- **Oscillateur** : Un oscillateur forcé est un système qui oscille avec une fréquence différente de sa fréquence propre.
  Exemples : un dipôle (RLC) fermé sur un générateur, un stade lors d'un match de foot
- **Excitateur** : Un excitateur est un système qui transmet de l'énergie à un résonateur.
  Exemples : le vent, un générateur de basse fréquence, le son etc.
- **Résonateur** : Un résonateur est un système qui reçoit de l'énergie d'un excitateur par l'intermédiaire d'un couplage.
  Exemples : un écouteur téléphonique, un stade, le tympan etc.
- **Couplage** : Un couplage est un système de transmission d'énergie entre un excitateur et un résonateur.
  Exemples : la chaine d'un vélo, la courroie d'une moto etc.
- **Résonance** : La résonance est lorsque la fréquence$N$ imposée par l'excitateur est égale à la fréquence propreN_o du résonateur.
  N.B : A la résonance la réponse du résonateur est maximale.
- **Bande passante à 3décibels** : La bande passante à 3dbs est l'ensemble des pulsations pour lesquelles la réponse du résonateur est supérieure ou égale à la réponse maximale divisée par$\sqrt{2}$.
- **Résonateur sélectif** : Un résonateur sélectif est un résonateur quioscille sur une bande très réduite de fréquence.
  Exemples : un poste radio, la station émettrice de l'ORTM, le cadre fermé d'un ampèremètre, l'écouteur d'un téléphone, un multimètre etc.
- **Résonateur amorti** : Un résonateur amorti est un résonateur qui oscille sur une large bande de fréquence.
  Exemples : le stade du 26 Mars lors d'un match de football, un bâtiment lors d'un orage, une salle de cinéma, le tympan de l'oreille, un haut-parleur, microphone etc.

2) **Expérience de mise en évidence des oscillations mécaniques forcée et de la résonance mécanique** : On dispose d'un pendule simpleP_1de longueur $l_1$de période$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}}$et de fréquence N_1 et d'un pendule P_o de longueur l_o de période $T_o = 2\pi\sqrt{\frac{l_o}{g}}$ etde fréquence N_o telle que $l_1 > l_o$donc $N_1 < N_o$. Les deux pendules sont reliés par un fil de couplage élastique C. Le solide S_o de P_o peut être immergé dans un liquide.



- **Mise en évidence des oscillations mécaniques forcées** : Faisons osciller le pendule P_1. On constate que le pendule P_o, initialement arrêté, effectue des vibrations avec la fréquence N_1 de P_1. Cette fréquence étant différente de sa fréquence propre N_o alors le pendule P_o est en oscillation mécanique forcée.

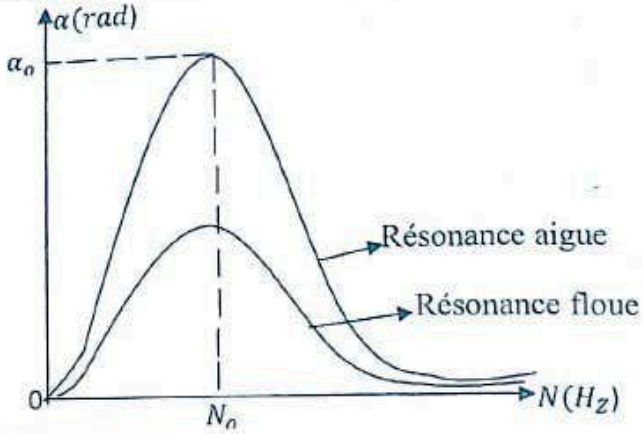
  N.B : P_1 est l'excitateur et P_o le résonateur.

  La réponse de P_o est l'élongation α.

- **Mise en évidence de la résonance mécanique** : Faisons osciller P_1 avec des fréquences de plus en plus grandes et on constate que l'élongation de P_o augmente en fonction des fréquences imposées et devient maximale lorsque la fréquence imposée N_1 est égale à la fréquence propre N_o du pendule P_o : c'est la résonance mécanique.

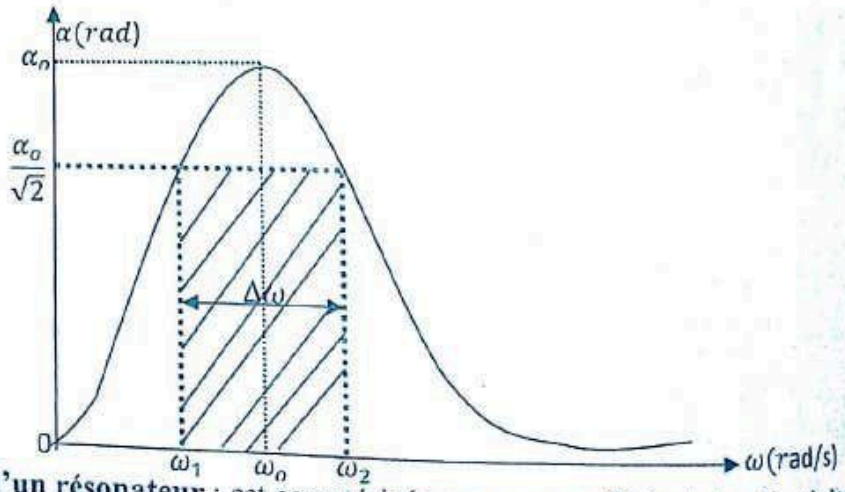
- Lorsque le solide S_o de P_o est légèrementimmergée, la courbe réponse $\alpha = f(N)$ présente un maximum très prononcé : c'est la résonance aigue.

- Lorsque le solide S_o de P_o est largement immergée, la courbe réponse $\alpha = f(N)$ est aplatie : c'est la résonance floue.



3) **Sélectivité d'un résonateur** :

- **La largeur de la bande passante à 3dbs** : est donnée par : $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ telles que $\alpha(\omega_1) = \alpha(\omega_2) = \frac{\alpha_o}{\sqrt{2}}$ ω_1 et ω_2 sont les limites de bande passante



- **La sélectivité d'un résonateur** : est caractérisée par son coefficient de sélectivité Q.

  Avec $Q = \frac{\omega_o}{\Delta\omega}$

  - Pour $\Delta\omega$ faible, Q est élevée : le résonateur est sélectif.
  - Pour $\Delta\omega$ grande, Q est faible : le résonateur est amorti.

OSCILLATEURS ÉLECTRIQUES FORCÉS:

CIRCUIT(R.L.C)

1) **Courant alternatif sinusoïdal** :

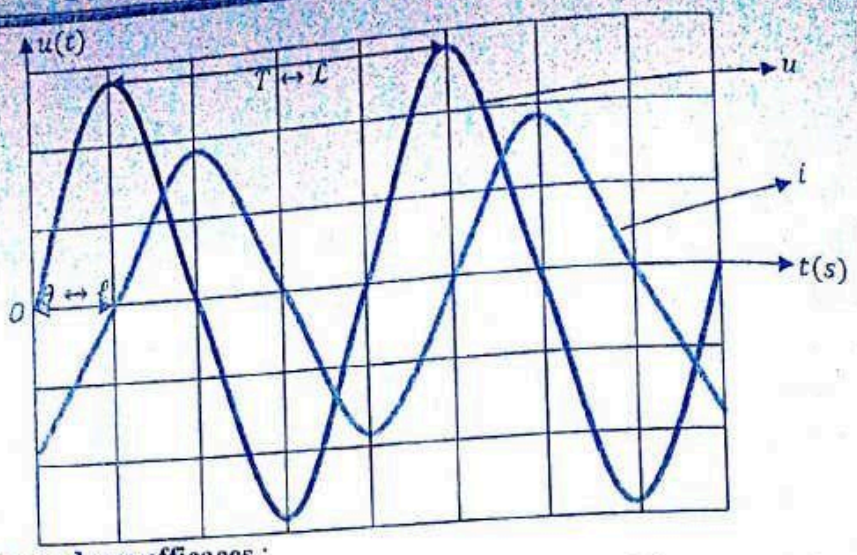
- **Définition** : Le courant alternatif sinusoïdal est un courant alternatif dont l'intensité et la tension sont des fonctions sinusoïdales du temps.
C'est un courant qui changedeux (2) fois de signe en une période d'où deux (2) alternances en une période.
- **Les grandeurs instantanées** :
- **L'intensité instantanée** : C'est une fonction sinusoïdale du temps :
Avec $i = I_m \cos(\omega t + \varphi_1)$
I_m : Intensité maximale en (A)
$\omega t + \varphi_1$: Phase à $t \neq 0$
φ_1 : Phase à l'origine ou phase à $t = 0$
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)
- **La tension instantanée** : C'est une fonction sinusoïdale du temps
Avec $u = U_m \cos(\omega t + \varphi_2)$
U_m : Tension maximale en (V)
$\omega t + \varphi_1$: Phase à $t \neq 0$
φ_1 : Phase à l'origine ou phase à $t = 0$
- **Le déphasage tension-intensité** : Le déphasage φ 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

Remarque : Le déphasage intensité-tension est donné par $\varphi_{i/u}$ avec $\varphi_{i/u} = -\varphi_{u/i}$

NB : **Attention au graphe** :

Avec le graphe on utilise : $\varphi = \omega\theta$ or $\omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow \varphi = \frac{2\pi\theta}{T}$
θ est le décalage horaire avec $\theta \rightarrow l$
T est la période avec $T \rightarrow \mathcal{L}$
Alors $\varphi = \frac{2\pi l}{\mathcal{L}}$. Après ce calcul, on vérifie la positon des courbes l'une par rapport à l'autre, ce qui permet donc de trouver la vraie valeur du déphasage.



- 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 $Q = Ri^2t$

    Iest 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 : $Q = RI_m^2(\int_0^T \frac{1}{2}dt + \frac{1}{2}\int_0^T \cos 2\omega t\, dt)$

    On a: $\frac{1}{2}\int_0^T \cos 2\omega t\, dt = \frac{1}{2}[\frac{1}{2\omega}\sin 2\omega t]_0^T = \frac{1}{4\omega}(\sin\frac{4\pi}{T} \times T - \sin\frac{2\pi}{T} \times 0) = 0$

    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 $Q = Ri^2t$

    Uest 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 : $Q = \frac{U_m^2}{R}(\int_0^T \frac{1}{2}dt + \frac{1}{2}\int_0^T \cos 2\omega t\, dt)$

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 proportionnalitéentre la tension efficace et l'intensité efficace.

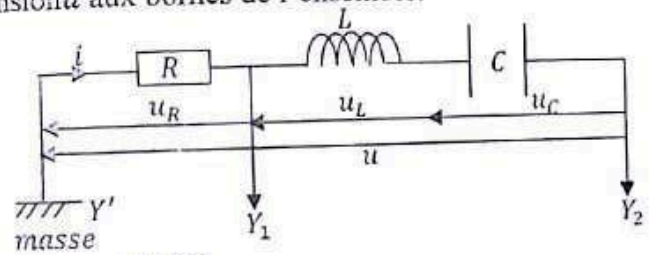
Elle se note : $Z = \frac{U}{I} = \frac{U_m}{I_m}$ (en Ω)

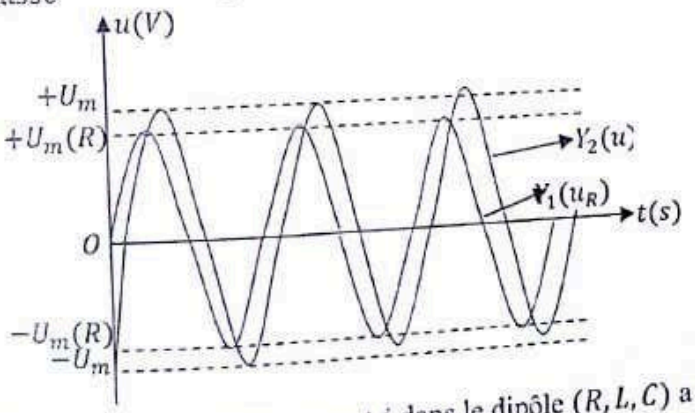
- Les effets du **courant alternatif sinusoïdal** :
  - **L'effet Joule** : L'effet Joule se traduit par le chauffage du conducteur ohmique lorsqu'il est traversé par un courant alternatif. $Q = Ri^2t$ (en Joule)
  - **L'effet magnétique** : L'effet magnétique se traduit par la création de champ magnétique 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** :

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 fréquenceN_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_1de 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_2permet de visualiser la tension imposée par le générateur par conséquent la tension$u$ aux bornes de l'ensemble.

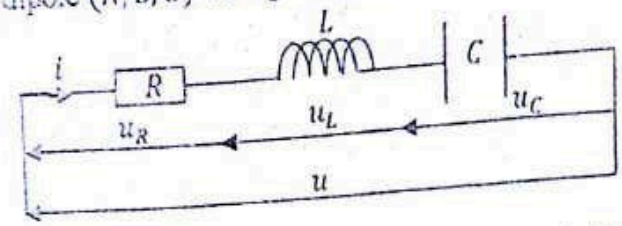




A la fermeture du circuit le courant i dans le dipôle (R, L, C) a même fréquence Nque la tension imposée par le générateur. Cette fréquence étant différente de la fréquence propre N_o du dipôle(R, L, C) alors le dipôle(R, L, C) est en

oscillationsélectriques 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



- **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 : $u = u_R + u_L + u_C$

$$\begin{cases} u_R = Ri \\ u_L = ri - e \text{Avec} r = 0 \text{ et } e = -L\frac{di}{dt} \rightarrow u_L = L\frac{di}{dt} \\ u_C = \frac{1}{C}q \text{ Or } q = it \rightarrow dq = idt \rightarrow q = \int idt \text{ donc } u_C = \frac{1}{C}\int idt \end{cases}$$

D'où $u = Ri + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int idt$ (équation différentielle)

- **Diagramme de Fresnel** : $u = Ri + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int idt$

$$\begin{cases} i = I_m \cos \omega t \\ \frac{di}{dt} = -\omega I_m \sin \omega t = I_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) \\ \int idt = \int (I_m \cos \omega t)dt = I_m \int \cos \omega t \, dt = \frac{I_m}{\omega} \sin \omega t = \frac{I_m}{\omega} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) \end{cases}$$

Alors on a : $U_m \cos(\omega t + \varphi) = RI_m \cos \omega t + L\omega I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{I_m}{C\omega} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$

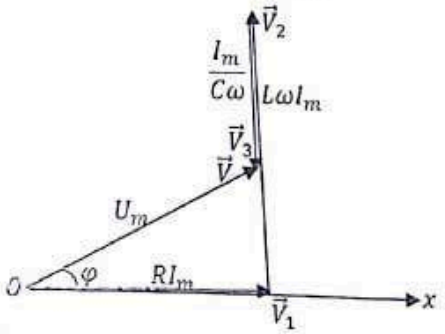
Ou : $U \cos(\omega t + \varphi) = RI \cos \omega t + L\omega I \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{I}{C\omega} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$

Soit (Ox) l'axe des phases :

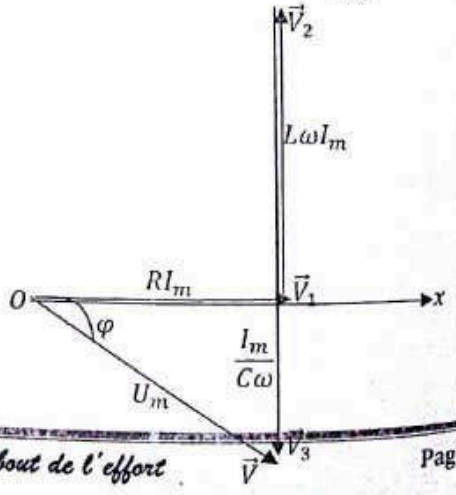
On a $\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3$

$$\begin{cases} |V| = U_m \\ V_1 = RI_m \\ V_2 = L\omega I_m \\ V_3 = \frac{I_m}{C\omega} \\ (0x, V) = \varphi \\ (0x, V_1) = 0 \\ (0x, V_2) = \frac{\pi}{2} \\ (0x, V_3) = -\frac{\pi}{2} \end{cases}$$

Pour $L\omega > \frac{1}{C\omega}$



Pour $L\omega < \frac{1}{C\omega}$



- **Caractéristiques du circuit(R, L, C)**:
- **Impédance du circuit** : Appliquons le théorème de Pythagore au diagramme de Fresnel :

$$U_m^2 = (RI_m)^2 + (L\omega I_m - \frac{I_m}{C\omega})^2 = I_m^2[R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2] \rightarrow \frac{U_m^2}{I_m^2}$$

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

$$\rightarrow \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2} \leftrightarrow Z = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2} (\text{en } \Omega)$$

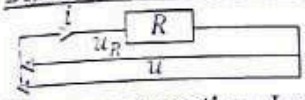
$\begin{cases} \frac{1}{Z} \text{ Est appelé admittance du circuit (en Siemens)} \\ L\omega - \frac{1}{C\omega} \text{ Est appelée réactance du circuit (en } \Omega) \end{cases}$

- **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 R.



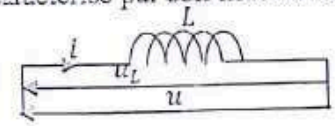
En courant continu :Le dipôle conducteur ohmique se laisse parfaitement traverser par le courant continu :$U = RI$

En courant alternatif :$Z_R = R$ et $\varphi = 0$ (le dipôleconducteur ohmique met la tension et l'intensité en phase) et $P = RI^2$

Et $U_m \cos(\omega t + \varphi) = RI_m \cos\omega t$



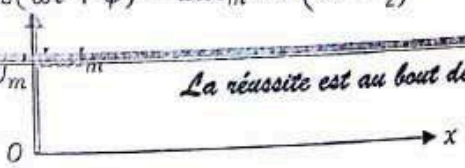
- **Dipôle self pure ou inductance pure** : C'est une bobine sans résistance. Il est caractérisé par son inductance L.



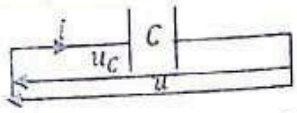
En courant continu : Le dipôle self pure est un court-circuit en courant continu $U = 0$

En courant alternatif :$Z_L = L\omega$ en Ω et$\varphi = +\frac{\pi}{2}$ rad (la self pure met la tension en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur l'intensité).

Et $U_m \cos(\omega t + \varphi) = L\omega I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$

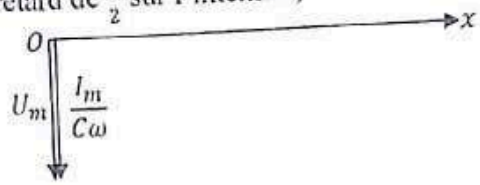


➢ Dipôle condensateur : Il est caractérisé par sa capacité C.

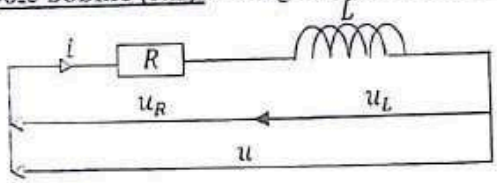


En courant continu :Le dipôle condensateur arrête complètement le courant continu : $I = 0$

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).



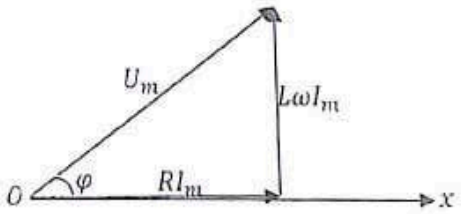
➢ Dipôle bobine (RL) :Le régime permanant s'établit avec un léger retard.



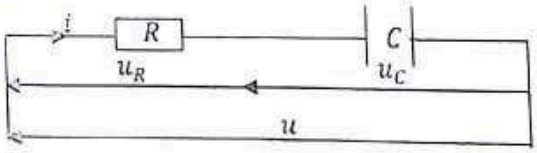
En courant continu :$U = RI \rightarrow R = \frac{U}{I}$

En courant alternatif :$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}$ avec $Z > R$ et $\tan\frac{L\omega}{R} > 0$

Et $U_m \cos(\omega t + \varphi) = RI_m \cos\omega t + L\omega I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$



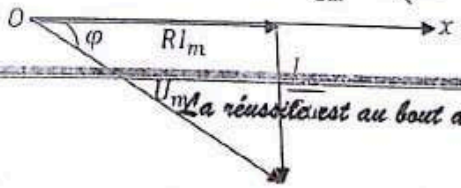
➢ Dipôle(RC):



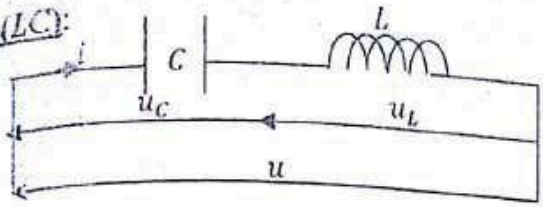
En courant continu : Le dipôle (R, C) arrête le courant continu.

En courant alternatif :$Z = \sqrt{R^2 + (\frac{1}{C\omega})^2}$ et $\tan\varphi = \frac{-1}{RC\omega} < 0$

$U_m \cos(\omega t + \varphi) = RI_m \cos\omega t + \frac{I_m}{C\omega}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$



➢ Dipôle(LC):



➢ En courant continu : Le dipôle (L, C) arrête le courant continu.

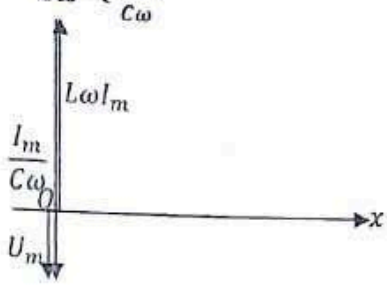
En courant alternatif : $Z = \left|L\omega - \frac{1}{C\omega}\right|$ et $\tan\varphi = \pm\frac{\pi}{2}$ rad

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

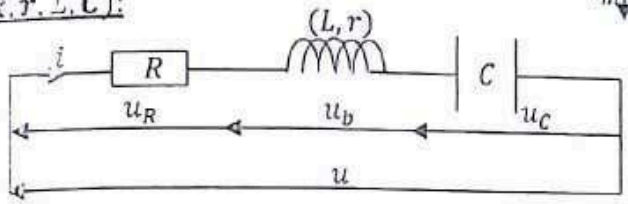
$L\omega > \frac{1}{C\omega}$



$L\omega < \frac{1}{C\omega}$



➢ Dipôle (R, r, L, C):

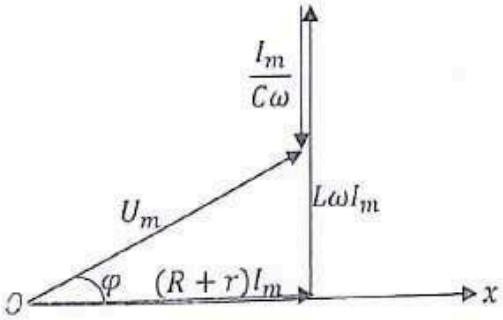


En courant continu : $U = (R + r)I \rightarrow r = \frac{U}{I} - R$

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

$P = (R + r)I^2$

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



Attentions à certains cas :

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 $Z_C = \frac{U_C}{I} \rightarrow U_C = \frac{I}{C\omega}$

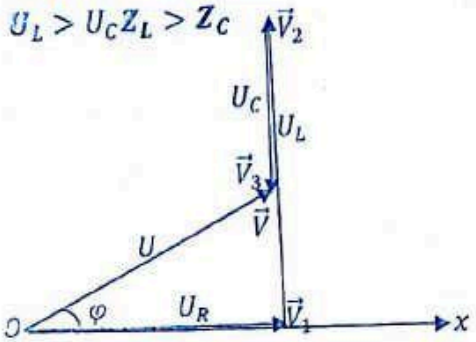
Donc $Z\cos(\omega t + \varphi) = Z_R \cos\omega t + Z_L \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + Z_C \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$

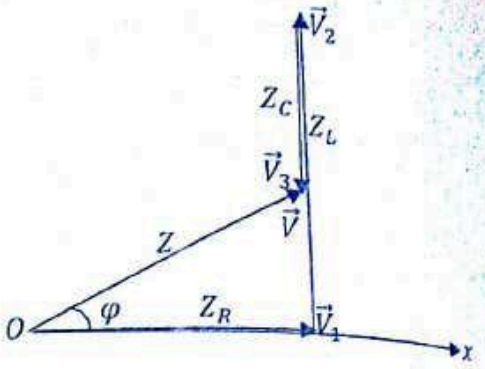
Ou $U\cos(\omega t + \varphi) = U_R \cos\omega t + U_L \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + U_C \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$

Donc la construction de Fresnel en fonction des tensions efficaces et impédances est :

Pour le circuit inductif

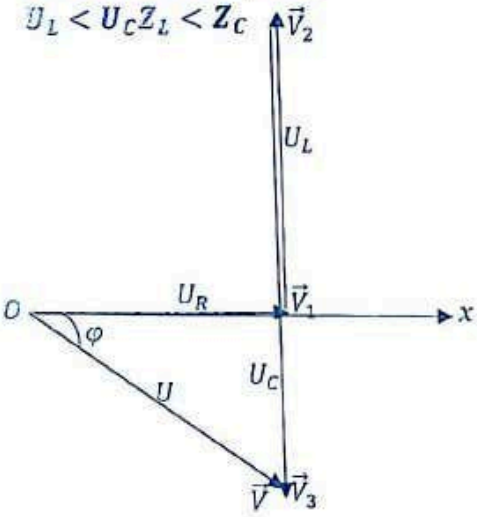
$U_L > U_C Z_L > Z_C$

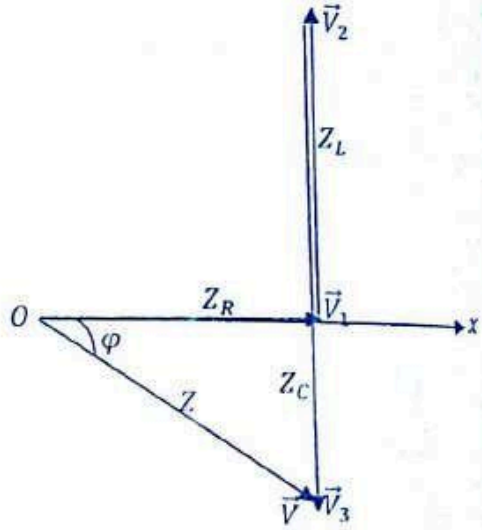




Pour le circuit capacitif

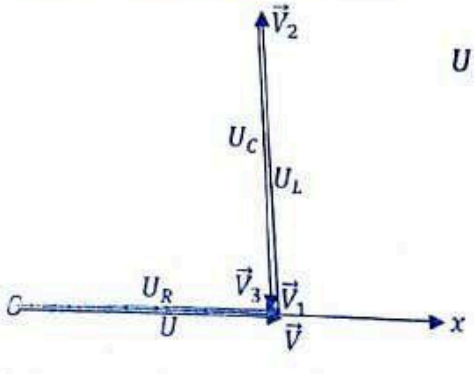
$U_L < U_C Z_L < Z_C$

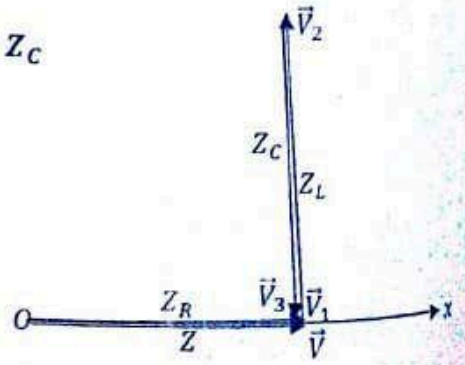




Pour le circuit à la résonance

$U_L = U_C Z_L = Z_C$





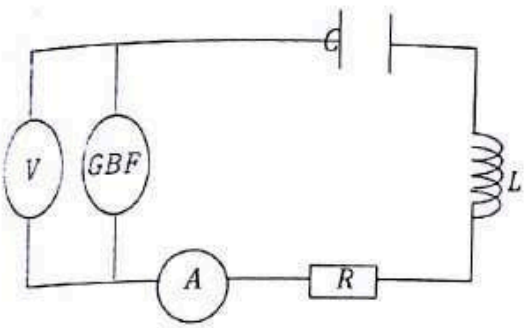
Dans le cas où $L\omega > \frac{1}{C\omega}$ on a d'après le théorème de Pythagore :

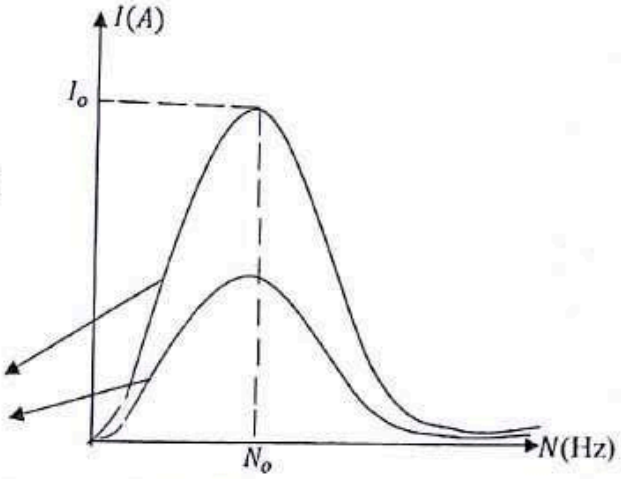
$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$ or $Z = \frac{U}{I} \rightarrow Z = \frac{\sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}}{I}$ ou $Z = \sqrt{Z_R^2 + (Z_L - Z_C)^2}$

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$N$ variable, d'un dipôle(R, L, C)de fréquenceN_o, d'un voltmètre et d'un ampèremètre. La résistance du conducteur ohmique estvariable.
La valeur de la tension efficace imposée par le générateur étant maintenue constante, fixons une valeur de la résistance$R$ et faisons varier la fréquence de la tension imposée par le générateur. On constate que l'intensité efficace du courant dans le circuit augmente avec la fréquenceimposée et devient maximale lorsque la fréquence$N$ imposée par le générateur 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 estgrand, la courbe réponse $I = f(N)$est aplatie : c'est la résonance floue.





Resonance aigue
Resonance floue

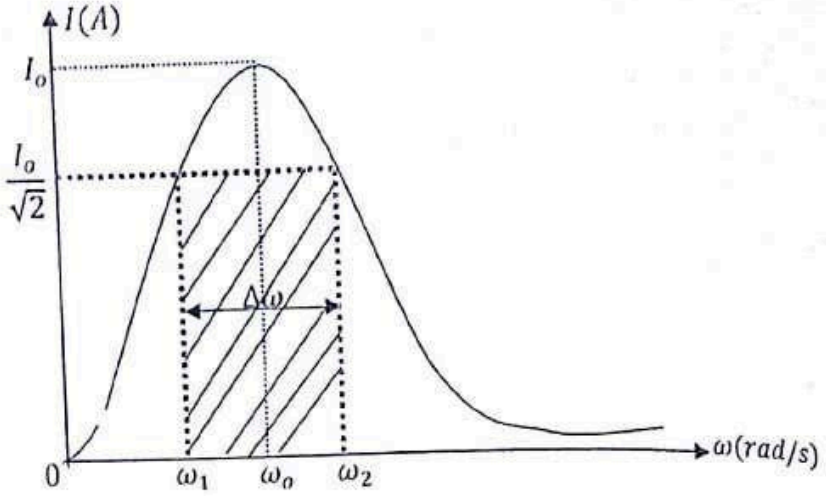
- **Caractéristique de la résonance** : A la résonance d'intensité :
  - La fréquence$N$ du générateur est égale à la fréquence propreN_o du dipôle(R, L, C) :
$$N = N_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \rightarrow \omega = \omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$
  - L'impédance est minimale :$Z = R \rightarrow L\omega_o - \frac{1}{C\omega_o} = 0 \rightarrow L\omega_o = \frac{1}{C\omega_o} \rightarrow LC\omega_o^2 = 1$
  - L'intensité efficaceI_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 :$\varphi = 0 \rightarrow \cos\varphi = 1$

  N.B : Pour un dipôle (R, r, L, C) à la résonance on a :
$$\begin{cases} Z = R + r \\ I_o = \dfrac{U}{R + r} \end{cases}$$

- **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 ω_1 et ω_2 les limites de la bande passante tels que $I(\omega_1) = I(\omega_2) = \frac{I_o}{\sqrt{2}}$



- **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 : $Z^2(\omega_1) = Z^2(\omega_1) = Z^2 = 2R^2$

  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 $\begin{cases} L\omega - \frac{1}{C\omega} = -R \ (1) \\ L\omega - \frac{1}{C\omega} = R \ (2) \end{cases}$

  $(1) \leftrightarrow L\omega - \frac{1}{C\omega} = -R \rightarrow L\omega - \frac{1}{C\omega} + R = 0 \rightarrow LC\omega^2 + RC\omega - 1 = 0$

  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 $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{RC+\sqrt{\Delta}+RC-\sqrt{\Delta}}{2LC} = \frac{2RC}{2LC} \rightarrow \Delta\omega = \frac{R}{L}$ (rad/s) avec $\Delta\omega = 2\pi\Delta f$

  alors $\Delta f = \frac{R}{2\pi L}$ (H_z)

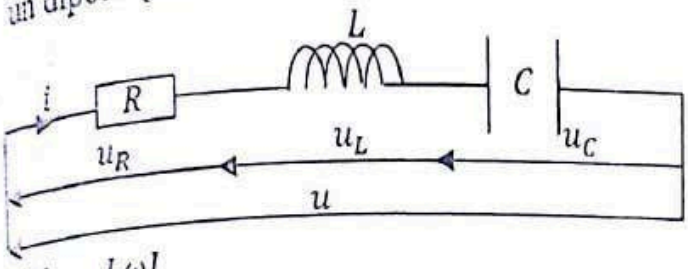
- **La sélectivité d'un circuit (R.L.C)** :
- **Coefficient de surtension Q** : Le coefficient de surtension d'un circuit est le facteur de qualité Q de ce circuit. Il est donné par: $Q = \frac{\omega_o}{\Delta\omega}$
  - Si R est faible $\rightarrow$ $\Delta\omega$ est faible alors Q est grand donc le circuit (R, L, C) est sélectif. Dans ce cas $10 < Q \leq 100$

Oscillateurs électriques forcés-Circuit RLC

- Si Rest grande → $\Delta\omega$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 → $\Delta\omega = \frac{R}{L}$ 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 tensionsU_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 $I = I_o = \frac{U}{R}$

$$\begin{cases} U_L = L\omega_o I_o = L\omega_o \times \frac{U}{R} = \frac{L\omega_o}{R} \times U \rightarrow U_L = QU \\ U_C = \frac{I_o}{C\omega_o} = \frac{1}{C\omega_o} \times \frac{U}{R} = \frac{1}{RC\omega_o} \times U \rightarrow U_C = QU \end{cases}$$

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 $U_L + U_C = -L\omega_o I_o \sqrt{2} \sin\omega_o t + L\omega_o I_o \sqrt{2} \sin\omega_o t = 0$. /.

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

2^{e}cas : un conducteur ohmique de résistance R en série avec un condensateur de capacité C.

3^{e}cas : 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.

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 :

- 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 différence de potentiel 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 différences de potentiel qui existe alors entre les extrémités, d'une part de la bobine et d'autre part du condensateur.

Exercice 5 : On réalise, entre deux points Aet B, une portion de circuit en disposant en série une résistance pure R_1, une 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 $f = 50Hz$. La tension efficace U_{AB} aux bornes du générateur est constante et égale à $5V$. 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 $R_1 = 1{,}1.10^2\Omega$; $R_2 = 0{,}10.10^2\Omega$; $L = 1{,}0H$; $C = 1{,}0.10^{-5}F$
2) On conserve les valeurs de R_1 et R_2et 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 :

a) Tracer la courbe de variation de I en fonction de C.
b) Reprendre l'expression de I et justifier

Exercice 5 : Un générateur de courant alternatif maintient entre ses bornes A et B une tension sinusoidale dont la valeur maximale $U_m = 282{,}8V$ et de fréquence $N = 60Hz$
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 $0{,}1H$ et $1H$.

1) Quelle est la valeur efficace U de la tension entre les points A et B.
2) En utilisant la construction 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 $L = 0{,}797H$. 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 $10min$ dans la bobine et dans le condensateur ainsi que le facteur de puissance du circuit.
4) Quelle doit être la valeur L_o de 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.

Exercice 6 :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	100	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.

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)
- Expression : Soit $i = I_m \cos \omega t$ et $u = U_m \cos(\omega t + \varphi)$

$$\mathcal{P} = u.i = U_m.I_m \cos(\omega t + \varphi).\cos \omega t$$

$$\begin{cases} U_m = U\sqrt{2} \\ I_m = I\sqrt{2} \end{cases}$$

$$\cos(\omega t + \varphi).\cos \omega t = \frac{1}{2}[\cos(\omega t + \varphi + \omega t) + \cos(\omega t + \varphi - \omega t)]$$

$$= \frac{1}{2}[\cos(2\omega t + \varphi) + \cos \varphi]$$

$$\mathcal{P} = \frac{U\sqrt{2}.I\sqrt{2}}{2}[\cos(2\omega t + \varphi) + \cos \varphi] \rightarrow \mathcal{P} = UI[\cos(2\omega t + \varphi) + \cos \varphi] \text{(en Watt)}$$

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 : $\mathcal{E} = \mathcal{P}t$

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: $PT = UIT \cos \varphi \rightarrow P = UI \cos \varphi$

P en Watt

$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$ (Facteur de puissance)

- 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 : $S^2 = P^2 + Q^2 \rightarrow S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

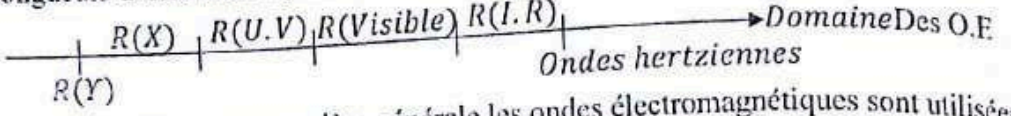
ONDES ÉLECTROMAGNETIQUES

1) **Définition, 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



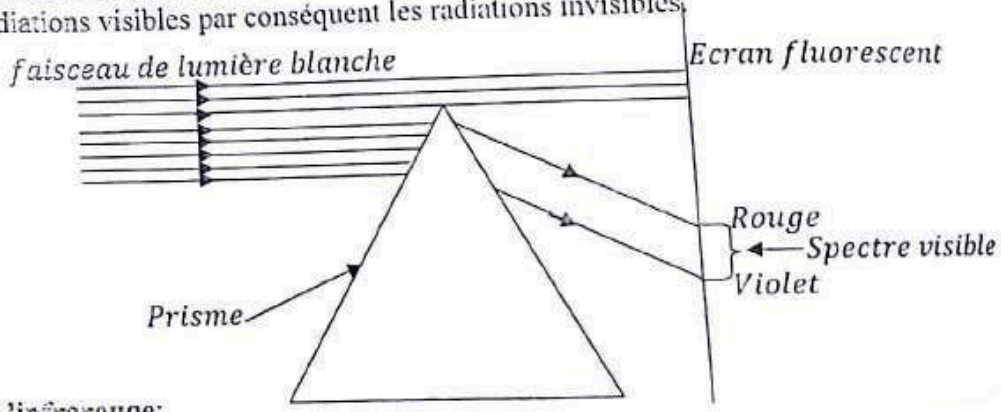
➢ **Applications** : D'une manière générale les ondes électromagnétiques sont utilisées en télécommunication.

➢ **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**: 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.

- **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.

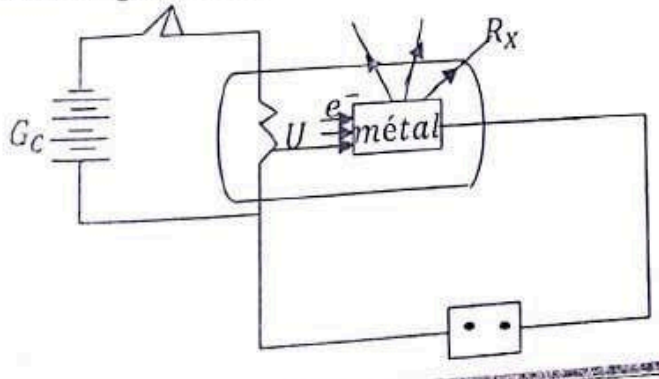
  N.B : Ce pendant les I.R peuvent provoquer certaine ophtalmie (inflammation de l'œil).

- **L'ultraviolet** :
- **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 : $10^{-12} \leq \lambda \leq 10^{-8}$m ou $10^{-2}\dot{A} \leq \lambda \leq 100\dot{A}$m avec $1\dot{A} = 10^{-10}$m.
- **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.



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.

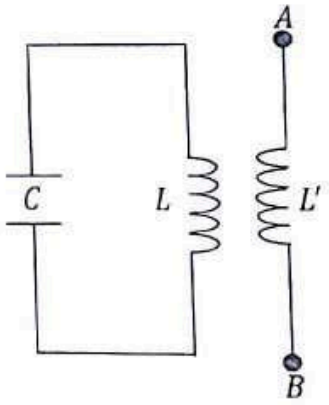
- **Propriété d'absorption** : Les rayons X ont mêmes propriétés que les U.V : ionisation, luminescence, absorption par l'eau.

➢ **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.

EFFET PHOTOÉLECTRIQUE

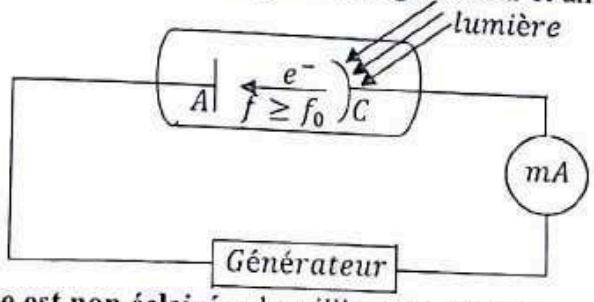
1) Les définitions :

- **L'effet photoélectrique** :L'effet photoélectrique est l'émissiond'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 maximaleλ_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'arrêtde la tension minimaleU_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 contenu dans un flux lumineux.

2) **Expérience de mise en évidence de l'effet photoélectrique dans le vide**:

- Expérience: L'effet photoélectrique peut être mis en évidencedans le vide à partir de la cellule photoélectrique. La cellule photoélectrique est une ampoule constituée d'un tubeoù règne un vide très poussé et transparente aux U.V.A l'intérieur de ce 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 $f \geq f_0$, 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:

✓ Pour le fonctionnement de certains dispositifs mécaniques (portes de garages, escaliers roulants, 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 :

$$E = E_0 + E_C \; ou \; W = W_0 + W_c \rightarrow W_C = W - W_0$$

$$\begin{cases} W = hf = \frac{hC}{\lambda}(énergie\ totale) \\ W_0 = hf_0 = \frac{hC}{\lambda_0}(travail\ d'extraction) \rightarrow \frac{1}{2}mV_C^2 = hC\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right) \\ W_C = E_C = \frac{1}{2}mV_C^2(énergie\ cinétique) \end{cases}$$

$$\rightarrow V_C = \sqrt{\frac{2hC}{m}\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right)}$$

- Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre la cathode et l'anode :

Ou $\Delta E_{(C,A)} = \sum W_{\vec{F}ex(C,A)} \leftrightarrow \frac{1}{2}mV_A^2 - \frac{1}{2}mV_C^2 = eU_0 \rightarrow V_A = \sqrt{\frac{2eU_0}{m} + V_C^2}$

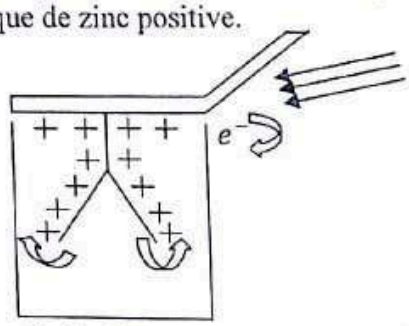
N.B : $1eV = 1{,}6.10^{-19}J$ donc $1KeV = 1{,}6.10^{-19} \times 10^3 J = 1{,}6.10^{-16}J$

4) Effet photoélectrique dans l'air:

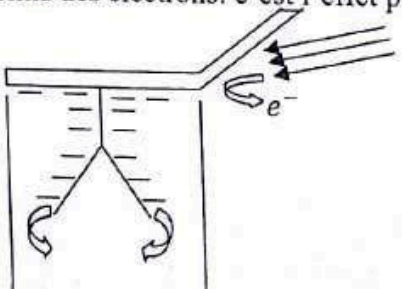
Expérience de Hertz: L'effet photoélectrique peut être mis en évidence dans l'air à partir de l'expérience d'Hertz.

Une plaque de zinc bien taillée est placée sur le plateau d'un électroscope :

- L'électroscope étant chargé positivement, envoyons un faisceau de lumière sur la plaque de zinc, on constate queles 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.



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 λ_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 électronvolts.
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 électronvolts 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 lequel 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.

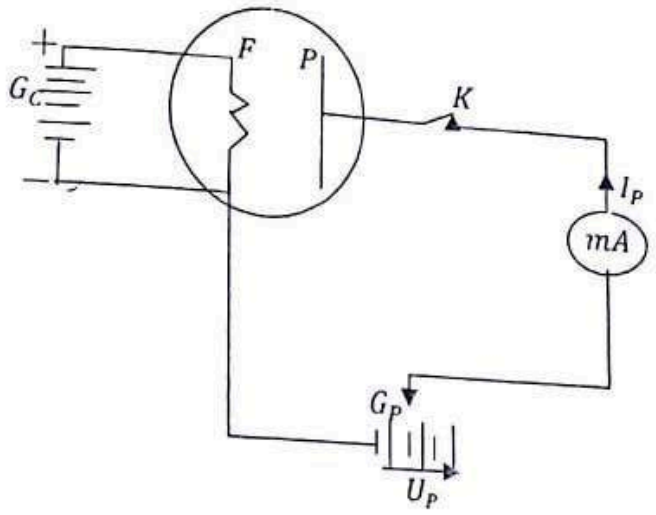
EFFET THERMOÉLECTRONIQUE

1) Définition: L'effet thermoélectronique est l'émission d'électron par un métal sous l'action de la chaleur.

2) Expérience de mise en évidence : L'effet thermoélectronique peut être mis en évidence à l'aide de la diode thermoélectronique.
La diode thermoélectronique est une ampoule constituée d'un tube à l'intérieur duquel règne un vide très poussé (pression résiduel inférieur à 10^{-7}mmHg).
A l'intérieur du tube sont placés parallèlement:

- Un filament F que l'on peut porter à incandescence à l'aide d'une batterie de chauffage G_C
- Une plaque P

Le filament et la plaque sont reliés par d'un circuit extérieur comportant un milliampèremètre et un générateurG_P. Ce circuit extérieur est appelé circuit plaque



- Lorsque le filament est non chauffé: le milliampèremètre n'indique aucun courant quelle que soit la tension $U_P$imposée par le générateurG_P.
- Lorsque le filament est porté à incandescence:
  - ✓ Et que$U_P < 0$, le milliampèremètre n'indique aucun courant$(I_P = 0)$
  - ✓ Et que$U_P > 0$, le milliampèremètre indique le passage d'un courantI_P. Cela signifie que le filament chauffé a émis des électrons: c'est l'effet thermoélectronique.

3) Applications: L'effet thermoélectronique est utilisé :

- Dans les stations télévision et radio diffusion pour le redressement des tensions variables.
- Dans les canons à électrons des oscilloscopes et électroscopes en rayons X. /.

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 masses 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 desprotons 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 β^-, le positron ${}^{0}_{+1}e$ ou particule β^+, le neutron ${}^{1}_{0}n$, l'hélium ${}^{4}_{2}H_e$ ou particule α et le photon ou particule γ

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 α, la radioactivité β^+, la radioactivité β^- et la radioactivité γ.
  - Radioactivité α :La radioactivité α est la transformation spontanée d'un noyau père à un noyau fils avec émission de particule α ou hélium.

    ${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}Y + {}^{4}_{2}H_e$

    D'après la loi de Soddy :

    $A = A_1 + 4 \rightarrow A_1 = A - 4$
    $Z = Z_1 + 2 \rightarrow Z_1 = Z - 2$

Exemple : L'uranium $^{238}_{92}U$ est radioactif α. Il se transforme en thorium.
$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}H_e$

- **Radioactivité β^+** : La radioactivité β^+ est la transformation spontanée d'un noyau père à un noyau fils avec émission de positron ou particule β^+.
$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}Y + {}^{0}_{1}e$

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 β^+. Il se transforme en nickel.
$^{64}_{29}C_U \rightarrow {}^{64}_{28}N_i + {}^{0}_{1}e$

- **Radioactivité β^-** : La radioactivité β^- est la transformation spontanée d'un noyau père à un noyau fils avec émission d'électron ou particule β^-.
$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}Y + {}^{0}_{-1}e$

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 β^-. Il se transforme en zinc.
$^{64}_{29}C_U \rightarrow {}^{64}_{30}Z_n + {}^{0}_{-1}e$

- **Radioactivité γ ou désexcitation**: La radioactivité γ 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.
- **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 $N = \frac{m}{M}\mathcal{N}$

$$\begin{cases} N(\text{Le nombre de désintégration à } t \neq 0) \\ N_o \text{ (Le nombre de désintégration à } t = 0) \\ \lambda \text{ (La constante radioactive)} \\ \mathcal{N} = 6{,}02.10^{23} mol^{-1} \text{(Le nombre d'Avogadro)} \end{cases}$$

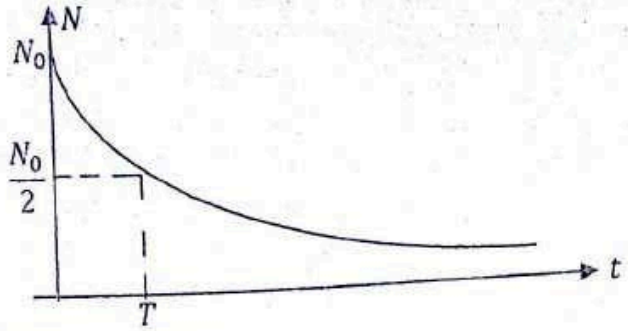
- **L'activité d'un élément radioactif** : L'activité radioactive d'un radioélément est le nombre de désintégration par seconde. Elle s'exprime en Becquerel (Bq) et se note a
avec $a = -\frac{dN}{dt}$ or $\frac{dN}{dt} = -\lambda N_o e^{-\lambda t} \rightarrow a = \lambda N_o e^{-\lambda t}$ à $t = 0 \rightarrow a_o = \lambda N_o$
D'où $a = a_o e^{-\lambda t}$

Attention : $a = a_o e^{-\lambda t} \rightarrow \frac{a}{a_o} = e^{-\lambda t} \rightarrow \ln\frac{a_o}{a} = \lambda t \rightarrow t = \frac{1}{\lambda}\ln\frac{a_o}{a}$

- **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 échantillons'est désintégrée.

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

Radioactivité



- **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 lourd 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 :

$$\begin{cases} A + 1 = A_1 + A_2 + k \\ Z = Z_1 + Z_2 \end{cases}$$

Exemple : ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{91}_{36}Br + {}^{142}_{56}Ba + 3\,{}^{1}_{0}n$

- **Fusion** : La fusion est une réaction nucléaire au cours de laquelle deux (2) noyauxlégers s'unissent pour former un noyau plus lourd.
  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 : β graphique et γ graphique. /.

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 α, 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 β^+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 α 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

1) Le rayonnement α 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.

2) Le polonium $^{218}_{84}Po$ subit la désintégration α 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 03s.

a) Donner la définition de la période ou temps de demi-vie d'un radioélément.

b) Un échantillon renferme initialement $1mg$ de $^{218}_{84}Po$. Quelle masse de polonium 218 reste-t-il au bout de 12 min 12s.

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

$$1u = 931MeV/C^2 = 1{,}66.10^{-27}Kg$$

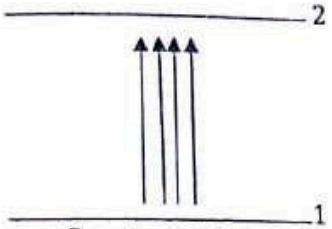
$$m_n = 1{,}00866u$$

$$m_e = 5{,}486.10^{-4}u$$

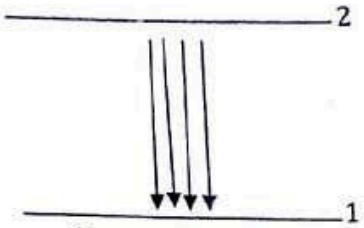
NIVEAUX D'ÉNERGIE DE L'ATOME D'HYDROGÈNE

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 inférieur 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 inférieur.
- **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 sont 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 ${}_1^1H$. Les états d'énergie de l'atome d'hydrogène sont quantifiés. Ils vérifient la relation $E_n = \frac{-E_0}{n^2}$ E_0=13,6 ev

n est le nombre quantique principal avec n≥1

Pour n=1 → E_1= -13,6 ev état fondamental ou état stable

Pour n=2 → E_2= -3,4 ev
Pour n=3 → E_3= -1,51 ev
Pour n=4 → E_4= -0,85 ev
Pour n=5 → E_5= -0,54 ev
.
.
.
} états excités

Pour n=∞ → E_∞= 0 etat ionisé

N.B: 1ev → $1{,}610^{-19}$J or 1Mev → 10^6 ev

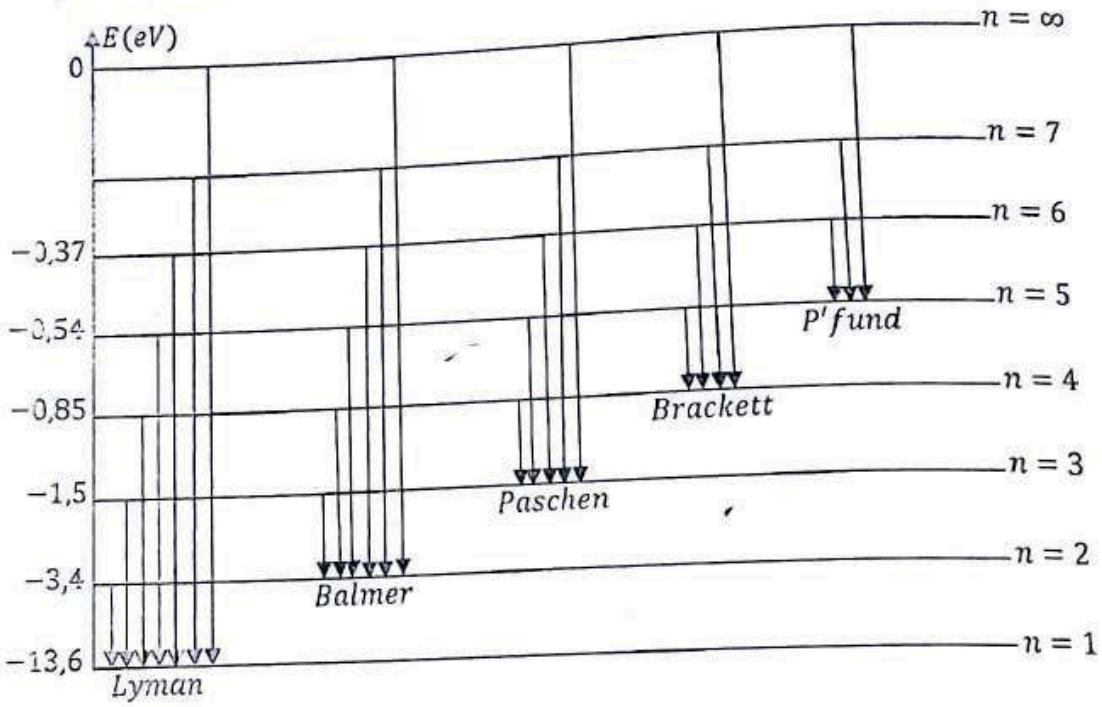
1Mev → $1{,}610^{-13}$J

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. Lalongueur d'onde des transitions correspondant à la série de Balmer appartiennent au spectre visible ($0{,}4\mu m \leq \lambda \leq 0{,}8\ \mu m$)./.

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 : $E_n = \frac{-13,6}{n^2}$ ou 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 (Hα) ; 486 (Hβ) 434 (Hγ). 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 $n \leq 6$ 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_γ pour l'initiation de la réaction de monochloration du méhane. Sachant que l'énergie de liaison de Cl_2 est $242 KJ/mol$; 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.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION 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 2014

Série: TSE

ÉPREUVE: PHYSIQUE

DURÉE: 3 heures

COEFFICIENT: 3

A-QUESTIONS DE COURS : (6pts)

1) Etablir l'équation cartésienne du mouvement d'un projectile lancé avec une vitesse faisant un angle α avec l'horizontale dans un champ de pesanteur uniforme. En déduire l'expression de la portée horizontale.
2) Etablir l'équation différentielle du mouvement d'un pendule pesant et en déduire l'expression de la période propre des oscillations de faibles amplitudes.

B-EXERCICE : (5,5pts)

Le radon $^{222}_{86}Rn$ a une période de 3,8 jours. Il est radioactif α.

1) Ecrire l'équation bilan de sa désintégration **(1pt)**
2) Calculer la constante radioactive **(1,5pt)**
3) On dispose d'un échantillon de 0,10 mg de radon222. Combien y-a-t-il de noyaux radioactifs dans l'échantillon. **(1pt)**
4) Quelle doit-être l'activité de l'échantillon au bout de 20 jours ? **(2pt)**

Données : $N_A=6,02\times10^{23}mol^{-1}$; $M_{Rn}=222g/mol$

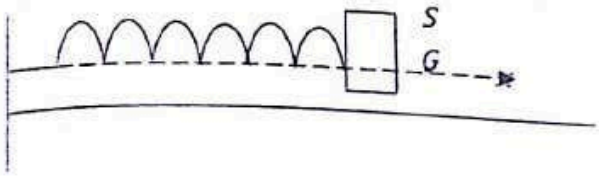
Élément	Bismuth	Polonium	Astate	Radon	Francium	Radium
Symbole	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra
Z	83	84	85	86	87	88

C-PROBLEME : (8,5pts)

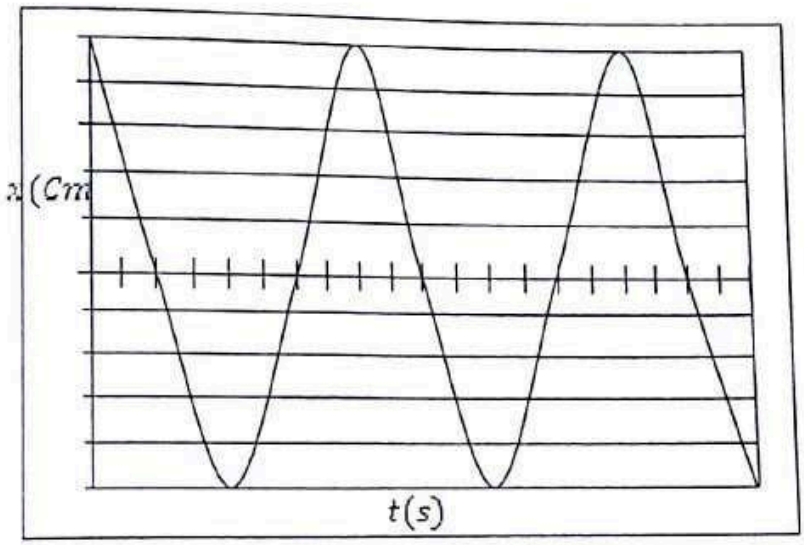
Les parties I. et II sont indépendantes et l'usage des calculatrices non programmables est autorisé

I

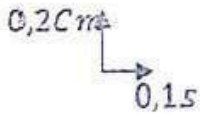
Un solide S de masse m est accroché à un ressort de coefficient de raideur K à spires non jointives. Il peut glisser sans frottement sur un plan horizontal.
Le centre de masse G de S repéré sur un axe horizontal (x'Ox) dont l'origine correspond à la position de repos de S.



Le ressort est allongé d'une longueur x_0 et le solide est lâché à l'instant t=0. Un dispositif permet d'enregistrer la variation de l'abscisse x en fonction du temps.



Echelle :



1) Déterminer à partir du graphe, les conditions initiales du mouvement ainsi que les sens du déplacement du mobile lorsqu'il passe pour la première fois par l'origine. Quelles sont la période T et la pulsation ω du mouvement ?

2) Etude du mouvement du solide :

a) Faire le bilan des forces agissant sur le solide : on fera un schéma soigné du système étudié en indiquant l'orientation des forces et leurs points d'application.

b) Etablir l'équation différentielle du mouvement du solide. Quelle relation existe-t-il entre ω, m et k ?

c) Déduire du diagramme l'équation du mouvement et vérifier qu'elle est bien solution de l'équation différentielle.

3) Donner l'expression de l'énergie potentielle élastique du ressort à un instant quelconque en fonction de k, x_0, ω et t. Sachant que l'énergie potentielle élastique du ressort à l'instant t=0 est égale à $3,7\times10^{-3}$J, déterminer la valeur de k.

4) Quelle est la valeur de la masse m ?

II

Au cours d'une séance de travaux pratiques, un groupe d'élèves réalise un circuit série composé de :

- D'un dipôle comportant :
  - Une bobine d'inductance L et de résistance r
  - Un condensateur de capacité C
  - Un conducteur ohmique de résistance R réglable ;
- D'un ampèremètre
- D'un générateur de basse fréquence (GBF) de tension sinusoïdale de fréquence ajustable.

Un voltmètre monté en dérivation aux bornes du générateur permet de mesurer la valeur efficace de la tension U maintenue constante pendant la durée de l'activité. Pour différentes valeurs de la résistance R on obtient le réseau de courbes de la figure 2.

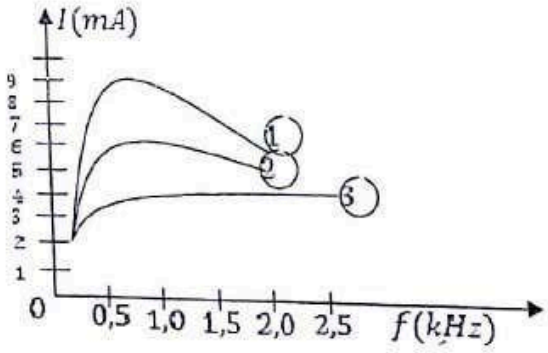


Figure 2

Pour chacune de ces courbes, les valeurs du facteur de qualité Q et de la résistance totale R_T ont été calculées. Ils ont trouvé :

- Pour R_T (Ω) : 380 ; 542 ; 800
- Pour Q : 0,27 ; 0,40 ; 0,57

1) Montrer par analyse dimensionnelle, que l'expression $\sqrt{\frac{L}{C}}$ a la dimension d'une résistance. **(1,5pt)**
2) Donner l'expression de I_o le courant à la résonance en fonction de U et R_T **(1pt)**
3) Le facteur de qualité d ce circuit est donné par la relation $Q = \frac{1}{R_T}\sqrt{\frac{L}{C}}$

a) Attribuer à chacune des courbes en le justifiant la résistance R_T correspondante. **(1,5pt)**

b) Attribuer à chacune des courbes en le justifiant le couple (R_T, Q) correspondant. **(1,5pt)**

c) *Indication* : RC la constante de temps du dipôle (R, C) et $\frac{L}{R}$ celle du dipôle (L, C) ont les dimensions du temps T.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE
****
CENTRE NATIONAL DES EXAMENS ET CONCOURS DE L'ÉDUCATION
****

RÉPUBLIQUE DU MALI
Un Peuple-Un But-Une Foi

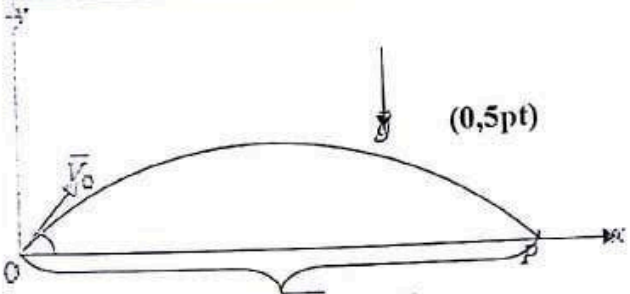
EXAMEN DU BACCALAURÉAT MALIEN

SESSION DE: JUIN 2014
Série: S.E
ÉPREUVE: CHIMIE
DURÉE: 3 heures
COEFFICIENT: 3

CORRIGÉ

A-QUESTIONS DE COURS : (6pts)

1) Equation cartésienne de la trajectoire d'un projectile :



(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 $t \neq 0$ $\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$; $\vec{V}\begin{cases} V_x = V_0 \cos\alpha \\ V_y = -gt + V_0 \sin\alpha \end{cases}$

$$\overrightarrow{OG}\begin{cases} x = (V_0 \cos\alpha)t \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + (V_0 \sin\alpha)t \end{cases}$$ **(1pt)**

- Equation cartésienne :

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

t dans $2 \rightarrow y = \frac{-g}{2V_0^2 Cos^2\alpha}x^2 + xtag\alpha$ **(0,5pt)**

- La portée :

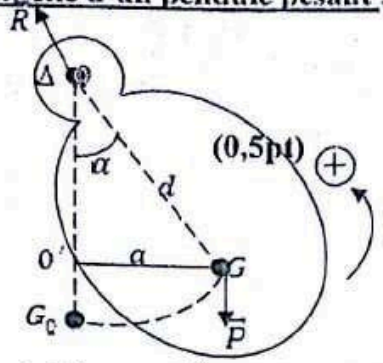
P est élément de la trajectoire alors ses coordonnées vérifient cette équation :

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

Or $y_P = 0 \rightarrow \frac{-g}{2V_0^2 Cos^2\alpha} x_P^2 + x_P tg\alpha = 0$

$\rightarrow x_P = \frac{V_0^2 Sin2\alpha}{g}$ **(1pt)**

2) **L'équation différentielle d'un pendule pesant :**



$$\begin{cases} \sum \mathcal{M}\vec{F}_{ex/\Delta} = J\ddot{\theta} \\ \sum \mathcal{M}\vec{F}_{ex/\Delta} = \mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} \rightarrow J\ddot{\theta} = \mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} = 0 \text{ Car sa direction rencontre l'axe de rotation } \Delta. \\ \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = -Pa \text{ Or } P = mg \text{ et } a = dsin\theta \rightarrow \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = -mgdsin\theta \end{cases}$$

Avec θ faible on a $\sin\theta \approx \theta$ alors $\mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = -mgd\theta$

$\rightarrow J\ddot{\theta} = -mgd\theta \rightarrow J\ddot{\theta} - mgd\theta = 0 \rightarrow \ddot{\theta} + \frac{mgd}{J}\theta = 0$ **(2pt)**

L'expression de la période propre :

$$\begin{cases} \ddot{\theta} - \frac{mgd}{J}\theta = 0 \\ \ddot{\theta} - \omega_o^2\theta = 0 \end{cases} \rightarrow \omega_o^2 = \frac{mgd}{J} \rightarrow \omega_o = \sqrt{\frac{mgd}{J}}$$

Or $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{mgd}{J}}} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgd}}$ **(0,5pt)**

B-EXERCICE :(5,5pts)

1) **Equation bilan :**

$^{222}_{86}R_n \rightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{4}_{2}H_e$

D'après Soddy :

$$\begin{cases} 222 = A + 4 \rightarrow A = 218 \\ 86 = Z + 2 \rightarrow Z = 84 \end{cases} \rightarrow X = P_o \text{ D'où } {}^{222}_{86}R_n \rightarrow {}^{218}_{84}P_o + {}^{4}_{2}H_e \textbf{ (1pt)}$$

2) **La constante radioactive :**

$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$ AN: $T = 3,8j \rightarrow \lambda = 0,18j^{-1}$ ou $\lambda = 2,11.10^{-6}s^{-1}$ **(1,5pt)**

3) **Le nombre de noyaux :**

$N_o = \frac{m_o}{M}\mathcal{N}$ (0,5pt) AN: $m_o = 10^{-4}g; M = 222\,g/mol; \mathcal{N} = 6,02.10^{23}mol^{-1}$

$\rightarrow N_o = 2,71.10^{17}$ **(0,5pt)**

4) **L'activité de l'échantillon :**

$a = \lambda N_o e^{-\lambda t}$ **(1pt)**

AN: $N_o = 2,71.10^{17}; \lambda = 0,18j^{-1}; t = 20j \rightarrow \begin{cases} a = 1,33.10^{15}des/jr \\ a = 1,51.10^{10}Bq \end{cases}$ **(1pt)**

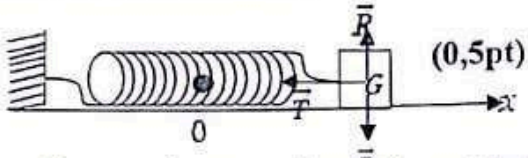
C-PROBLÈME : (9,5pts)

I / (4,5pts)

1) **Détermination à partir du graphe :**

- **Conditions initiales :**
  $x_o = kd$ Avec $d = 5div; k = 0,2Cm/div$ donc $x_o = 1cm \rightarrow x_o = 10^{-2}m$
  D'après le graphe à $t = 0$, $x_o = X_m$ alors $V_o = 0$
  Donc à $t = 0$ $\begin{cases} x_o = 10^{-2}m \\ V_o = 0 \end{cases}$ **(0,5pt)**
- **Sens de déplacement :** Au passage par $x = 0$ pour la première fois, la fonction étant décroissante la vitesse est négative $(V < 0)$ alors le système se déplace vers les abscisses négatives. **(0,5pt)**
- **La période :** $T = kd$ avec $d = 8div$; $k = 0,1s/div$ d'où $T = 0,8s$ **(0,25pt)**
- **La pulsation :** $\omega \frac{2\pi}{T}$ A.N : $\omega \frac{2\pi}{0,8} \rightarrow \omega = 7,85rad/s$ **(0,25pt)**

2) a) **Le bilan des forces :**



(0,5pt)

Les forces agissant sur le solide sont le poids $\vec{P}$ du solide, la tension $\vec{T}$ du ressort et la réaction $\vec{R}$ du support (directions voir figure).
Toutes ces forces sont appliquées au centre de gravité G du solide. **(0,5pt)**

b) **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 $Ox \rightarrow ma = -T$
$\begin{cases} a = \ddot{x} \\ T = Kx \rightarrow m\ddot{x} = -Kx \rightarrow m\ddot{x} + Kx = 0 \end{cases}$
$\rightarrow \ddot{x} - \frac{K}{m}x = 0$ équation différentielle **(0,25pt)**

La relation entre ω, m et K :

$\begin{cases} \ddot{x} - \frac{K}{m}x = 0 \\ \ddot{x} - \omega^2 x = 0 \end{cases} \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{K}{m}}$ **(0,25pt)**

c) **Equation du mouvement :** D'après le graphe x est sinusoïdale alors :
$x = X_m \cos(\omega t + \varphi)$
A $t = 0, x_o = X_m \cos\varphi$
A $t = 0, x_o = X_m = 10^{-2}m$
On a : $X_m = X_m \cos\varphi \rightarrow \cos\varphi = 1 \rightarrow \varphi = 0$
D'où $x = 10^{-2}\cos(7,85t)$ en m **(0,5pt)**

Démonstration :

$\ddot{x} + \omega^2 x = 0$
Or $x = X_m \cos\omega t \rightarrow \dot{x} = -\omega X_m \sin\omega t \rightarrow \ddot{x} = -\omega^2 X_m \cos\omega t$
Par remplacement on a: $-\omega^2 X_m \cos\omega t + \omega^2 X_m \cos\omega t = 0$

D'où $x = X_m cos\omega t$ est solution de l'équation différentielle **(0,5pt)**

3) **L'expression de l'énergie potentielle :**

$E_{pe} = \frac{1}{2}Kx^2 \rightarrow E_{pe} = \frac{1}{2}Kx_o Cos^2(\omega t)$ **(0,5pt)**

- **Détermination de K :** $E_{Pe} = \frac{1}{2}Kx_o^2 \rightarrow K = \frac{2E_{pe}}{x_0^2}$

  $E_{pe} = 3,7.10^{-3} J$; $x_0 = 10^{-2} m \rightarrow K = 74 N/m$ **(0,25pt)**

- **La valeur de la masse :** $\omega^2 = \frac{K}{m} \rightarrow m = \frac{K}{\omega^2}$

  AN: $K = 74\ N/m, \omega = 7,85 rad/s \rightarrow m = 1,20 kg$ **(0,25pt)**

II/ (4pts)

1) **Démonstration :** (Question supprimée)

$$\sqrt{\frac{L}{C}} \rightarrow \begin{cases} \tau = RC \rightarrow C = \frac{\tau}{R} \\ \tau = \frac{L}{R} \rightarrow L = \tau C \end{cases} \rightarrow \begin{cases} [C] = \frac{s}{\Omega} \\ [L] = \Omega . s \end{cases} \rightarrow \left[\sqrt{\frac{L}{C}}\right] = \sqrt{\frac{\Omega s}{s} \times \Omega} = \sqrt{\Omega^2} = \Omega$$

Alors l'expression a la dimension d'une résistance.

2) **L'expression de T_o:**

A la résonance : $I_o = \frac{U}{R+r}$ or $R_T = R + r$ d'où $I_o = \frac{U}{R_T}$ en A **(1pt)**

3) a) **Attribution des courbes aux valeurs de R_T :**

Les trois courbes ont été réalisées à partir du même circuit (L,C) ; seule R_T varie : la fréquence de résonance est commune aux trois courbes.

L'intensité efficace à la résonance est inversement proportionnelle à la résistance totale d'où les attributions sont les suivantes :

Lorsque R_T augmente alors I_o diminue.

D'où $\begin{cases} courbe\ 1 \rightarrow R_T = 380\Omega \\ courbe\ 2 \rightarrow R_T = 542\Omega \\ courbe\ 3 \rightarrow R_T = 800\Omega \end{cases}$ **(1,5pt)**

b) **Attribution des courbes aux couples (R_T, Q) :**

Avec $Q = \frac{1}{R_T}\sqrt{\frac{L}{C}}$; lorsque R_T augmente alors Q diminue

D'où $\begin{cases} courbe\ 1 \rightarrow (380; 0,57) \\ courbe\ 2 \rightarrow (542; 0,40) \\ courbe\ 3 \rightarrow (800; 0,27) \end{cases}$ **(1,5pt)**

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 :TSE
ÉPREUVE: PHYSIQUE
DURÉE: 3 heures
COEFFICIENT: 3

Laqualité 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- <u>QUESTIONS DE COURS</u> (6 pts)

1)a) Établis l'équation différentielle du mouvement d'un pendule de torsion et déduis l'équation horaire du mouvement. *(2 pts)*

b) Donne les expressions de la pulsation et de la période propres *(1 pt)*

2) Dis avec justification si les affirmations suivantes sont vraies au fausses :

- Un mouvement vibratoire libre est apériodique *(0,25 pt)*
- Un mouvement vibratoire amorti est périodique*(0,25 pt)*
- La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période*(0,25 pt)*
- Les sons audibles par l'être humain ont une fréquence comprise entre 20Hz et 20000Hz.*(0,25 pt)*

3) Définis les termes ou expressions suivants : la valeur en eau d'un calorimètre, les interférences mécaniques, les rayons X, le photon. (*2 pts)*

B- EXERCICE : (6pts) : Mouvement d'un satellite autour de la Terre

On considère un référentiel géocentrique ; un satellite S de masse m gravite autour de la Terre d'un mouvement uniforme sur une orbite circulaire à une altitude $h$et situé dans un plan sensiblement équatorial.

1) La Terre est supposée sphérique, de rayon R et de masse M.
   a) Fais un schéma décrivant le mouvement du satellite en indiquant les forces auxquelles il est soumis *(0,5 pt)*
   b) En utilisant la loi de gravitation universelle, exprime en précisant les unités des différentes variables, la vitesse angulaireω_S de S en fonction de h, g_0 et R. *(0,5 pt)*
2) Calculeω_S, ainsi que la période T_s avec les valeurs approchées suivantes : $R = 6400\text{km}$, $g_0 = 9{,}81\text{Nkg}^{-1}$, $h = 3{,}85\times10^5$ km *(2 pts)*
3) Calcule la vitesse angulaireω_T de rotation de la Terre sur elle-même. *(1 pt)*
4) Calcule l'accélération « a » subie par le satellite dans son mouvement orbital. En déduire la masse du satellite si la force attractive terrestre vaut environ 2×10^{20}N. *(2 pts)*

C- PROBLÈME :(8 pts)

Les parties I et II sont indépendantes et l'usage des calculatrices non programmables est autorisé

I

Mouvement d'ions dans une chambre d'accélération

Dans cetexercice, on négligera le poids $\vec{P}$ des particules devant les autres forces. On désire séparer les isotopes du brome (Br) à l'aide d'un spectrographe schématisé sur la figure-1.

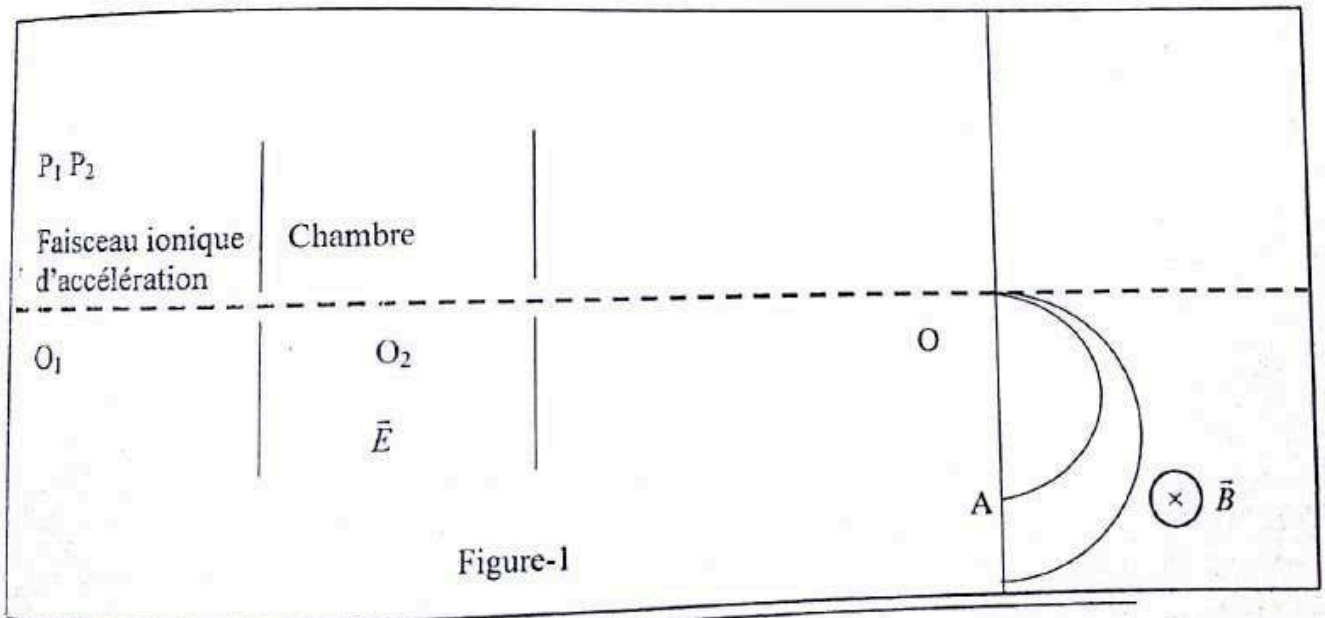


Figure-1

151/187

Les ions bromures $^{79}Br^-$ et $^{X}Br^-$ sont produits dans une chambre d'ionisation puis dirigés vers une chambre d'accélération entre deux plaques parallèles P_1 et P_2 soumises à une tension $U_1 = 4000$ V. Au-delà du point O, les ions sont alors séparés grâce à un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ .de norme 0,1 T, normal au plan de figure.

1) a) Précise sur le schéma, en le justifiant le sens du champ électrique $\vec{E}$ et l'orientation de U_1 qui permettent une accélération des ions. *(0,5 pt)*

b) Montre que les deux sortes d'ions ont la même énergie cinétique en O_2 sachant que leur vitesse est négligeable en O_1. Calcule la vitesse v_1 de l'ion $^{79}Br^-$ au point O_2*(1 pt)*

c) Exprime la vitesse v_2 de l'ion $^{X}Br^-$ en O_2en fonction de v_1 et X. *(0,5 pt)*

2) Les ions passent en O avec les vitesses $\vec{v}_1$ et $\vec{v}_2$ précédentes, subissent l'action du champ $\vec{B}$ normal à ces deux vecteurs vitesses.En admettant que le sens du champ $\vec{B}$ soit entrant pour que les ions soient reçus en A et C ; montreque le mouvement des ions est circulaire et uniforme. En déduis les rayons de courbure R_1 et R_2 pour chacune des trajectoires. Calculer R_1.*(1,5 pts)*

3) Les ions $^{79}Br^-$ et $^{X}Br^-$ décrivent des demi-cercles et arrivent respectivement aux points A et C distants de $d = 1,4$cm. En déduis la valeur de X.*(0,5 pt)*

Données : charge élémentaire $e = 1,60\times10^{-19}$C
Masse du proton : $1,67\times10^{-27}$kg

II

Courbe de réponse d'un dipôle RLC : paramètres du circuit

On étudie la réponse d'un circuit *RLC* série pour un régime forcé sinusoïdal imposé par un générateur de tension. On relève l'intensité efficace *I* du courant pour différentes fréquences *N* d'excitation. Le générateur maintient une tension de valeur efficace U = 0,45 V constante. L'expérience est informatisée : les données sont consignées dans le tableau ci-dessous. Grâce à un logiciel « tableur-grapheur » on établit le tracé de la courbe de réponse de l'oscillateur (figure-2).

N (Hz)	402	500	604	703	802	905	1003	1102	1199	1253

I (mA)	0,41	0,53	0,69	0,86	1,06	1,34	1,64	2,07	2,51	2,65
N (Hz)	1303	1352	1403	1449	1498	1523	1550	1575		
I (mA)	2,84	2,94	2,95	2,94	2,92	2,80	2,70	2,60		

N(Hz)	1593	1700	1796	1897	1993	2175	2275	2623
I (mA)	2,50	2,16	1,90	1,73	1,54	1,27	1,18	0,93

1) Détermine la fréquence de résonance N_r. Relève l'intensité I_r à la résonance*(0,50 pt)*

2) Quelle est la bande passante β à 3 dB de cette courbe de réponse ? Quel est le facteur de qualité Q de l'oscillateur *(1 pt)*

3) Le facteur de qualité est aussi égal à $Q = \frac{L\omega_r}{R}$ ($\omega_r$la pulsation à la résonance)

Détermine les valeurs de la résistance R, de l'inductance L et de la capacité C de l'oscillateur*(1,5 pts)*

4) Si la résistance R est divisée par 2, que deviennent :

a) La bande passanteβ *(0,5 pt)*

b) La fréquence de résonance N_r*(0,5 pt)*

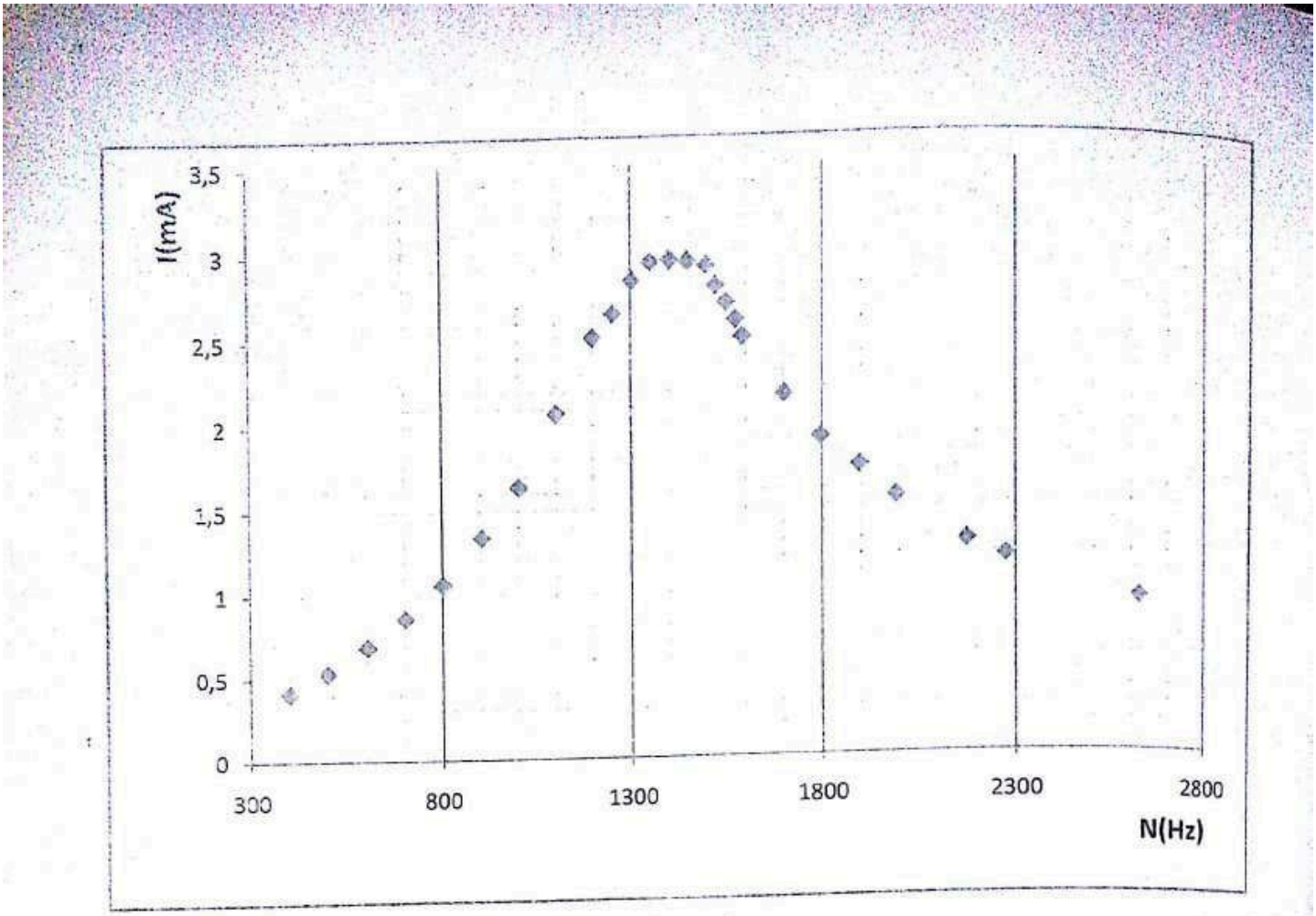


Figure-2

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE
****
CENTRE NATIONAL DES EXAMENS ET CONCOURS DE L'ÉDUCATION
****

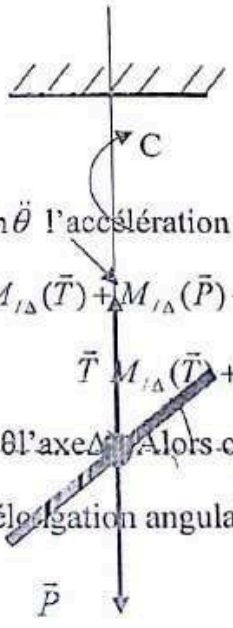
RÉPUBLIQUE DU MALI
Un Peuple-Un But-Une Foi

CORRIGÉ DU BACCALAURÉAT MALIEN

SESSION DE : JUIN 2015
Série: TSE
ÉPREUVE : PHYSIQUE
DURÉE : 3 heures
COEFFICIENT : 3

A- QUESTIONS DE COURS (6 pts)

1)a) Établissons l'équation différentielle du mouvement d'un pendule de torsion et déduisons l'équation horaire du mouvement.



Appliquons la relation fondamentale de la dynamique

$\sum M_{/\Delta}(\vec{F}) = J\ddot{\theta}$; avec J le moment d'inertie du solide

Fil de torsion $\ddot{\theta}$ l'accélération angulaire

(0, 5 pt) $\Rightarrow M_{/\Delta}(\vec{T}) + M_{/\Delta}(\vec{P}) + M_C = J\ddot{\theta}$

$\vec{T}$ $M_{/\Delta}(\vec{T}) + M_{/\Delta}(\vec{P}) = 0$ (car leur droite d'action passe par

....θl'axeΔ. Alors on a : $M_C = -C\theta$ où C = Cte de torsion

du fil et θ l'élongation angulaire.

$\Rightarrow J\ddot{\theta} = -C\theta \Leftrightarrow J\ddot{\theta} + C\theta = 0 \Leftrightarrow \boxed{\ddot{\theta} + \frac{C}{J}\theta = 0}$ ***(1 pt)***

Équation différentielle du mouvement

L'équation horaire du mouvement est de la forme :

155/187

$\theta = \theta m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ ou $\theta = \theta m \sin(\omega_0 t + \varphi)$ **(0,5 pt)**

avec θ_m l'amplitude angulaire maximale, ω_0 la pulsation propre et φ la phase initiale

b) Donnons les expressions de la pulsation et de la période propres

L'équation différentielle du mouvement peut s'écrire :

$$\ddot{\theta} + \omega_0^2 \theta = 0 \text{ c'est-à-dire } \omega_0^2 = \frac{C}{J} \Rightarrow \boxed{\omega_0 = \sqrt{\frac{C}{J}}} \text{ en rad/s} \textbf{(0,5pt)}$$

Pulsation propre

Soit T_0 la période propre $\boxed{T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{J}{C}}}$ en s **(0,5 pt)**

Période propre

NB : Acceptez toute démonstration cohérente et correcte aboutissant au même résultat

2) Disons avec justification si les affirmations suivantes sont vraies au fausses :

- Un mouvement vibratoire libre est apériodique

  Fausse:Un mouvement vibratoire libre est périodique (il se répète identiquement à lui même pendant des intervalles de temps égaux)***(0, 25 pt)***
- Un mouvement vibratoire amorti est périodique

  Fausse: Un mouvement vibratoire amorti est apériodique car il s'amortitaprès un certain temps***(0, 25 pt)***
- La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période

  Vraie: En effet la distance parcourue pendant une période correspond à la longueur d'onde (périodicité dans l'espace)***(0, 25 pt)***
- Les sons audibles par l'être humain ont une fréquence comprise entre 20Hz et 20000Hz.

  Vraie: Les sons que l'être humain peut entendre ont une fréquence comprise entre 20 et 20000Hz. ***(0, 25 pt).***

  NB: Pour les réponses "Vraie" donnez les points même si l'élève ne justifie pas.

3) Définissons les termes ou expressions suivants :

- Valeur en eau d'un calorimètre : C'est la quantité d'eau (masse d'eau) qui absorberait la même quantité de chaleur que le calorimètre et ses accessoires (vase calorimétrique, agitateur, thermomètre)*(0,5 pt)*

  NB: On pourrait également définir par la relation $\mu = \frac{Q}{C_e}$ *avec* μ *= équivalent en eau,* C_e *la chaleur massique de l'eau et Q la quantité de chaleur (définition acceptable)*

- Interférences mécaniques:C'est un phénomène physique résultant de la superposition de deux ou de plusieurs mouvements vibratoires (acoustiques ou sonores) de même nature de fréquences identiques ou voisines et de même amplitudes(ex: $s_1 = a\sin\omega t$ et $s_2 = a\sin 2\pi(\frac{t}{T} - \frac{d}{\lambda})$) ou amplitudes différentes(ex: $s_1 = a_1\sin(\omega t + \varphi_1)$ et $s_2 = a_2\sin(\omega t + \varphi_2)$).*(0,5 pt)*

  NB:**Les expressions des équations ne sont pas obligatoires, c'est juste à titre d'explication par rapport aux différentes définitions qui pourraient être données.**

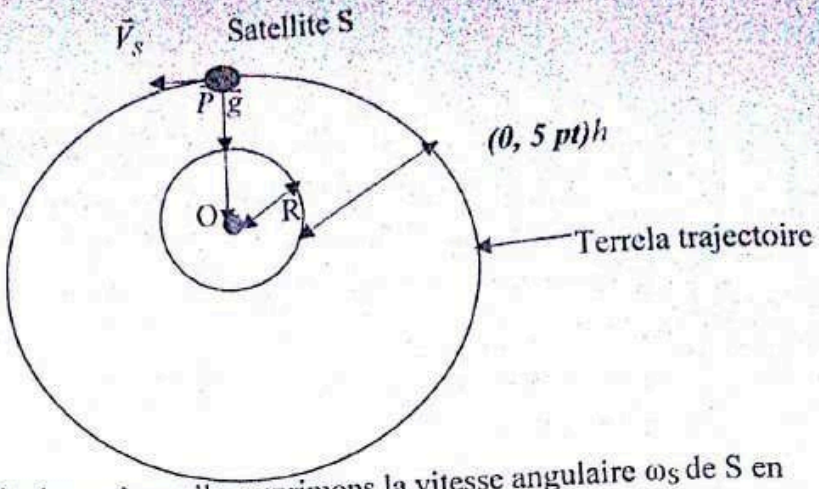
- Les rayons X: Les rayons X sont des ondes électromagnétiques de très courte longueur d'onde. C'est de la lumière ayant des longueurs d'onde comprises entre 10^{-12}m et 10^{-8} m (ce n'est qu'un ordre de grandeur) *(0,5 pt)*

- Le photon: C'est la particule fondamentale de la lumière (grain de lumière). Chaque photon transporte une énergie $E = h\nu$ (avec h la constante de Planck et ν la fréquence de la lumière monochromatique utilisée). Le photon est aussi appellé quantum d'énergie (grain d'énergie).*(0,5 pt)*

  NB : **formule** $E = h\nu$ **non obligatoire**

B- EXERCICE :

1) a) Schéma décrivant le mouvement du satellite en indiquant les forces auxquelles il est soumis



$\vec{P}$ = poids du satellite.

b) En utilisant la loi de gravitation universelle, exprimons la vitesse angulaire ω_S de S en fonction de h, g_0 et R.

En appliquant la relation fondamentale de la dynamique on peut écrire

$$\sum \vec{F}ext = m\vec{a} = \vec{P} \Leftrightarrow m\vec{a} = m\vec{g}_h \Leftrightarrow \vec{a} = \vec{g}_h \ ;$$

avec $\vec{a}$ = accélération du satellite et $\vec{g}_h$ l'accélération de la pesanteur à l'altitude h

En module on aura donc : $a = g_h \Leftrightarrow (R+h)\omega_s^{\ 2} = g_0 \dfrac{R^2}{(R+h)^2} \Rightarrow \boxed{\omega_S = R\sqrt{\dfrac{g_0}{(R+h)^3}}}$ **(1 pt)**

Avec ω_S en rad/s, g_0 en Nkg^{-1} ou ms^{-2} ; R et $R+h$ en m

Autre façon :

L'expression de la force gravitationnelle F

$$\begin{cases} F = \dfrac{GMm}{(r+h)^2} \\ F = \dfrac{mV_S^2}{r+h} \end{cases} \Leftrightarrow \frac{mV_S^2}{r+h} = \frac{GMm}{(r+h)^2} \Leftrightarrow V_S^2 = \frac{GM}{R+h} \Leftrightarrow (R+h)^2\omega_S = \frac{GM}{R+h} \Leftrightarrow \omega_S = \frac{GM}{(R+h)^3}$$

Or on sait que $GM = g_0R^2$; d'où $\omega_S = R\sqrt{\dfrac{g_0}{(R+h)^3}}$

On pourrait également démontrer par l'égalité entre la force centrifuge et la force centripète ou avec le poids. Acceptez la réponse

2)Calculonsω_S, ainsi que la période T_s avec les valeurs approchées suivantes :
R = 6400 km, $g_0 = 9{,}81 Nkg^{-1}$, $h = 3{,}85\times10^5$ km

- ω_S :

$$\omega_S = R\sqrt{\frac{g_0}{(R+h)^3}} = 6400\times10^3\sqrt{\frac{9{,}81}{(6400\times10^3+3{,}85\times10^8)^3}} \Leftrightarrow$$

$$\omega_S = 6400\times10^3\sqrt{\frac{9{,}81}{\left((6400+385000)\times10^3\right)^3}} = 6400\times10^3\sqrt{\frac{9{,}81\times10^{-9}}{5{,}99\times10^{16}}} = 2{,}58\times10^{-6}$$

$\omega_S = 2,58\times10^{-6}$ rad/s *(1 pt)*

NB : Vu le rapport entre h et R on pourrait négliger *R* devant *h*. Les valeurs numériques pourraient changer légèrement. Acceptez le résultat si le raisonnement est cohérent et correct.

- T_S

Par définition $T_S = \frac{2\pi}{\omega_S} = \frac{2\times3{,}14}{2{,}58\times10^{-6}} = 2{,}43\times10^6$

$T_S = 2,43\times10^6$ s *(0,5 pt)*

(soit environ 675 h= 28 jours 3h)

3) La vitesse angulaire ω_T de rotation de la Terre sur elle-même. Cette rotation se fait pendant un temps T (période) =23h 56 mn 04s≈24 h. D'où

$$\omega_T = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\times3{,}14}{24\times3600} = 7{,}27\times10^{-5}$$

$\omega_T = 7,27\times10^{-5}$ rad/s *(1 pt)*

Avec T = 23h 56 mn 04 s on trouve sensiblement le même résultat (acceptez les réponses obtenues avec 24 h ou 23 h 56 mn 04 s)

4)

- Calculonsl'accélération « a » subie par le satellite dans son mouvement orbital.

Par définition $a = (R+h)\omega_S^{\,2} = (6400\times10^3+3{,}85\times10^5\times10^3)\left(2{,}58\times10^{-6}\right)^2 = 2{,}60\times10^{-3}$

$a = 2,60\times10^{-3}$ m/s^2 *(1 pt)*

Autre façon :

$a = g_h = g_0 \frac{R^2}{(R+h)^2}$. **On aboutirait au même résultat (réponse correcte)**

- En déduisons la masse du satellite si la force attractive terrestre vaut environ 2×10^{20}N

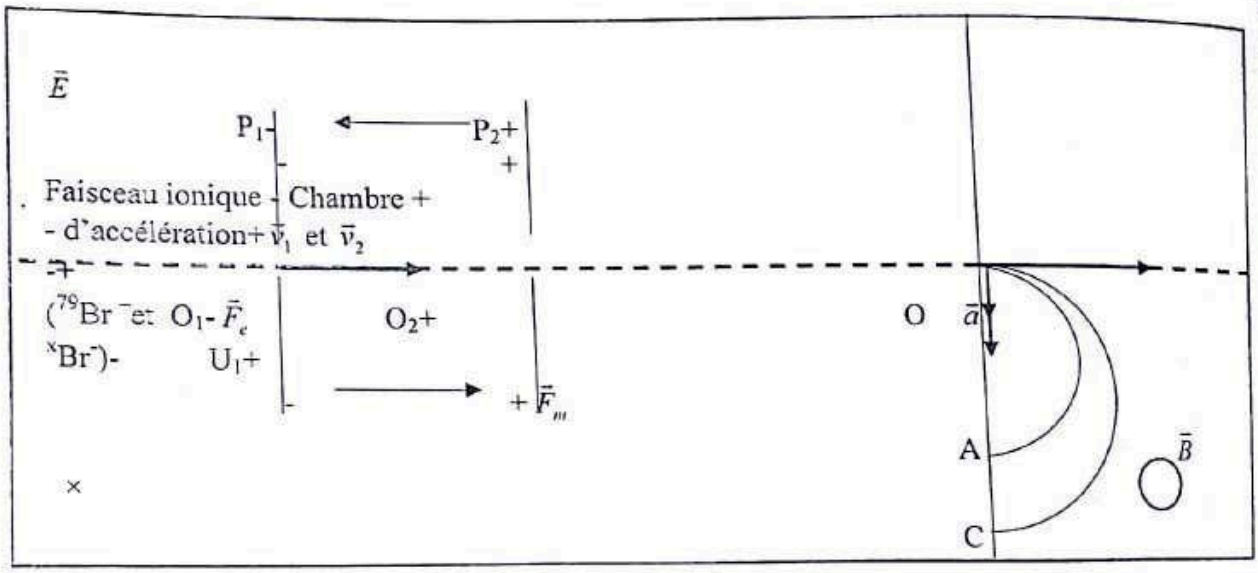
$$F = ma \Rightarrow m = \frac{F}{a} = \frac{2\times10^{20}}{2{,}60\times10^{-3}} = 0{,}7692\times10^{23}$$

m = 7, 70×10²² kg *(1 pt)*

C- PROBLÈME

I-

$U_1 = 4000$ V ; B = 0,1 T ; d = $1{,}4\times10^{-2}$; e = $1{,}67\times10^{-19}$C ; $m_P = 1{,}67\times10^{-27}$ kg (masse du proton)



1) a) Précisons sur le schéma, en le justifiant le sens du champ électrique $\vec{E}$ et l'orientation de U_1 qui permettent une accélération des ions.

De O_1 à O_2 les ions sont accélérés par la force électrique $\vec{F}_e = q\vec{E}$ dirigée de O_1 vers O_2.

Puisque q < 0 alors $\vec{F}_e$ et $\vec{E}$ ont même direction et de sens contraire. D'où $\vec{E}$ est perpendiculaire à P_1 et P_2 et dirigée de P_2 (+) vers P_1 (-) c'est-à-dire que P_1 est chargée négativement et P_2 positivement ; alors $U_1 = U_{P_2P_1}$ dirigée de P_1 vers P_2. ***(0,5 pt)***

b) Montrons que les deux sortes d'ions ont la même énergie cinétique et calculons la vitesse v_1 de l'ion $^{79}Br^-$ au point O_2

- Même énergie cinétique

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre O_1 et O_2 on a :

$\Delta Ec = \sum W(\vec{F}_{ext}) \Leftrightarrow E_C(O_2) - E_C(O_1) = |q|U_1$ avec $E_C(O_1) = 0$ car $v_{O1} = 0$ et $q = |-e| = e$

D'où $\boxed{E_C(O_2) = eU_1 = Cte}$ **(0,5 pt)**

Quel que soit $^{79}Br^-$ et $^{x}Br^-$, son énergie cinétique en O_2 est $E_C(O_2) = eU_1 = Cte$

- La vitesse v_1 de l'ion $^{79}Br^-$

$$E_C(O_2) = \frac{1}{2}m_1v_1^2 = eU_1 \Rightarrow \boxed{v_1 = \sqrt{\frac{2eU_1}{m_1}}}$$ **(0, 25 pt)**

AN : $v_1 = \sqrt{\frac{2\times1,6\times10^{-19}\times4000}{79\times1,67\times10^{-27}}} = 9,85\times10^4$

$\boxed{v_1 = 9,85\times10^4 \text{ m/s}}$ **(0,25 pt)**

c) Exprimons la vitesse v_2 de l'ion $^{X}Br^-$ en O_2 en fonction de v_1 et X.

$$E_C(O_2) = \frac{1}{2}m_2v_2^2 = eU_1 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 = eU_1 \Rightarrow v_2 = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}v_1^2} = v_1\sqrt{\frac{m_1}{m_2}}$$

En remplaçant m_1 et m_2 par leurs valeurs on aboutit à la relation suivante

$$\boxed{v_2 = v_1\sqrt{\frac{79\times1,67\times10^{-27}}{X\times1,67\times10^{-27}}} = v_1\sqrt{\frac{79}{X}}}$$ **(0,5 pt)**

2)

- Montrons que le mouvement des ions est circulaire et uniforme.
  - Mouvement uniforme

La force magnétique $\vec{F}_m = q\vec{v}\Lambda\vec{B} = m\vec{a}$ avec $\vec{a}$ l'accélération

$\vec{a} = \vec{a}_N + \vec{a}_T$ (avec $\vec{a}_N$ l'accélération normale, et $\vec{a}_T$ l'accélération tangentielle).

$\vec{a} = \vec{a}_N + \vec{a}_T \Rightarrow \vec{F}_m = m\vec{a}_N + m\vec{a}_T$

$\vec{F}_m$ est perpendiculaire à $\vec{v}$ (voir schéma) et $\vec{v}$ est tangente à la trajectoire alors $\vec{F}_m$ est normale ; c'est-à-dire $\vec{a}_T = \vec{0}$ (en module $a_T = \frac{dv}{dt} = 0 \Rightarrow v = Cte$)

D'où **le mouvement est uniforme.*(0,25 pt)***

- Mouvement circulaire

$\vec{a}_N = \frac{q\vec{v}\Lambda\vec{B}}{m}$ (en module $a_N = \frac{|q|vB\sin\alpha}{m} = \frac{evB\sin\frac{\pi}{2}}{m}$ (puisque $\vec{v}$ est perpendiculaire à $\vec{B}$

on a ; $\sin\alpha = 1$ car $\alpha = \frac{\pi}{2}$) d'une part

D'autre part $a_N = \frac{v^2}{R}$. En égalisant les deux expressions nous aurons :

$$\frac{v^2}{R} = \frac{evB}{m} \Rightarrow \boxed{R = \frac{mv}{eB} = Cte}$$

D'où le **mouvement est circulaire*(0,25 pt)***

- En déduisons les rayons de courbure R_1 et R_2 pour chacune des trajectoires.

On aura donc : $\boxed{R_1 = \frac{m_1 v_1}{eB}}$ ***(0,25 pt)*** et $R_2 = \frac{m_2 v_2}{eB}$ ***(0,25 pt)***

- Calculons R_1.

$$R_1 = \frac{m_1 v_1}{eB} = \frac{79\times1,67\times10^{-27}\times9,85\times10^{4}}{1,6\times10^{-19}\times0,1} = 8121,94\times10^{-4}$$

$$\boxed{\mathbf{R_1 = 0,81\ m}}\ ***(0, 5 pt)***$$

3) En déduisons la valeur de X

$$d = AC = 2R_2 - 2R_1 \Leftrightarrow d = 2\left(\frac{m_2 v_2}{eB} - \frac{m_1 v_1}{eB}\right) = \frac{2}{eB}(m_2 v_2 - m_1 v_1) = \frac{2}{eB}\left(m_p X \times v_1\sqrt{\frac{79}{X}} - 79 m_p v_1\right)$$

$$\Leftrightarrow d = \frac{2m_p v_1}{eB}(\sqrt{79X} - 79) \Rightarrow \boxed{\sqrt{79X} = \frac{deB}{2m_p v_1} + 79}\ (***0,25 pt***)$$

avec m_p = la masse du proton = $1,67\times10^{-27}$kg.

Trouvons la valeur de X.

$$\sqrt{79X} = \frac{1,4\times10^{-2}\times1,6\times10^{-19}\times0,1}{2\times1,67\times10^{-27}\times9,85\times10^{4}} + 79 = 0,68 + 79 = 79,68 \Rightarrow 79X = (79,68)^2 \Rightarrow$$

$$X = \frac{79,68^2}{79} = 80,36 \approx 80$$

$$\boxed{\mathbf{X = 80}}\quad ***(0, 25 pt)***$$

Il s'agit de l'ion $^{80}Br^-$

II-

1)

- Déterminons la fréquence de résonance N_r.
  Sur la courbe (ou sur le tableau des données) on constate que l'intensité maximale correspond à une fréquence

$$\boxed{N_r = 1403 \text{ Hz}} \quad \textit{(0, 25 pt)}$$

- Pour la fréquence Nr on relève l'intensité I_r à la résonance

$$\boxed{I_r = 2,95 \text{ mA} = 2,95\times10^{-3}\text{A}} \quad \textit{(0,25 pt)}$$

2)

- La valeur de la bande passante β à 3 dB

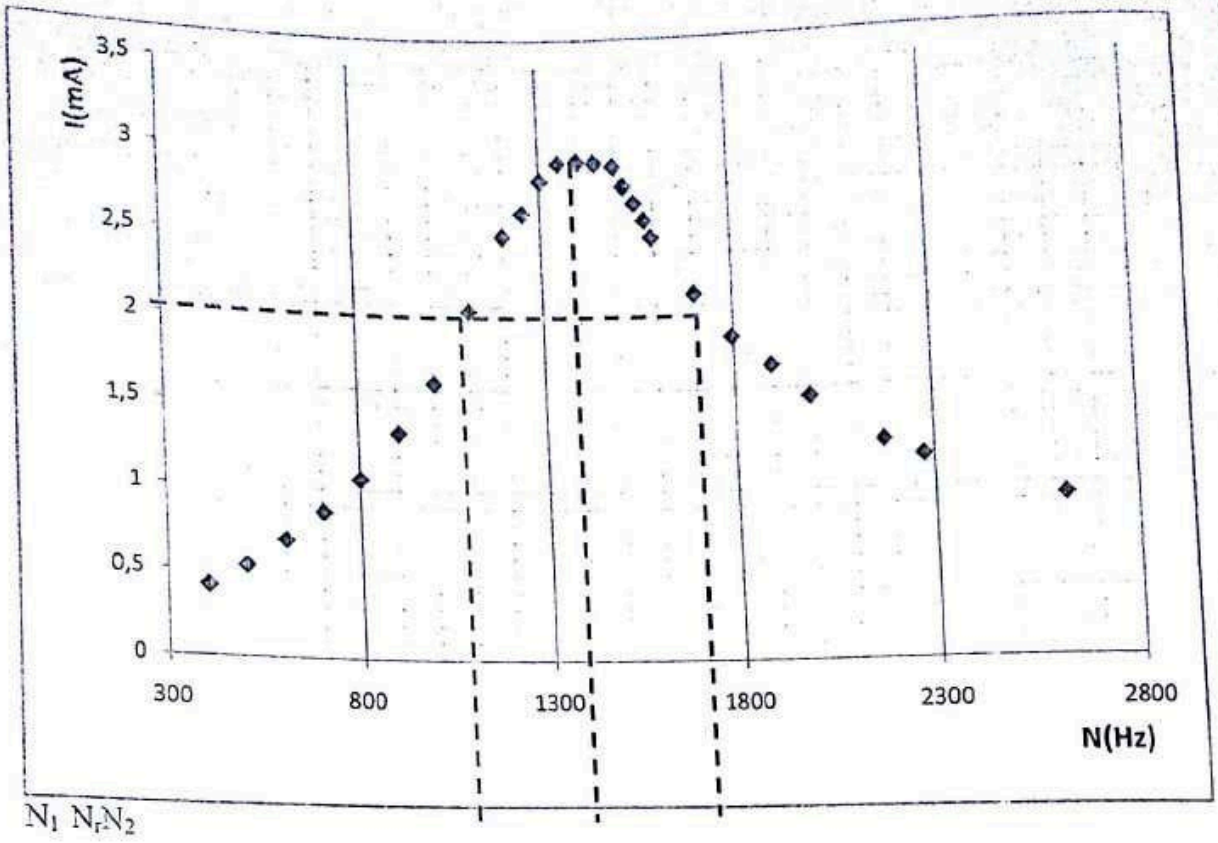
Calculons la valeur $\frac{I_r}{\sqrt{2}} = \frac{2,95\times10^{-3}}{\sqrt{2}} = 2,09\times10^{-3}$ A.

Projetons cette valeur sur la courbe. Elle coupe la courbe en deux points de fréquences respectives N_1 et N_2. La bande passante est :

$\beta = N_2 - N_1 = 1725 - 1100 = 625$ (valeur approximative)

$\beta = 625\text{Hz}$ *(0,5 pt)*

NB : Acceptez toutes les valeurs approximatives autour de 600 Hz



Le facteur de qualité de l'oscillateur, soit Q

Par définition le facteur de qualité $Q = \frac{N_r}{\beta} = \frac{1403}{625} = 2,24$

Q = 2,24 *(0, 5 pt)*

3) Déterminons les valeurs de la résistance R, de l'inductance L et de la capacité C de l'oscillateur.

A la résonance on a : $U = RI_r \Rightarrow R = \frac{U}{I_r} = \frac{0,45}{2,95\times10^{-3}} = 152,54$

R = 152,54 Ω *(0,5 pt)*

La valeur de l'inductance

$Q = \frac{L\omega_r}{R} = \frac{2\pi N_r L}{R} \Rightarrow L = \frac{QR}{2\pi N_r} = \frac{2,24\times152,54}{6,28\times1403} = 0,038$

L = 0,038H *(0,5 pt)*

Autre façon : L'inductance L peut être également calculée avec la formule

$$\omega_2 - \omega_1 = \frac{R}{L} \Rightarrow 2\pi(N_2 - N_1) = \frac{R}{L} \Rightarrow N_2 - N_1 = \beta = \frac{1}{2\pi}\frac{R}{L} \Rightarrow \boxed{L = \frac{1}{2\pi}\frac{R}{\beta}}$$

$$\text{AN} : L = \frac{1}{6,28}\frac{152,54}{625} = 0,038$$

$$\boxed{\mathbf{L = 0,038H}}$$

La capacité C du condensateur
A la résonance on a :

$$LC\omega_r^{\,2} = 1 \Rightarrow C = \frac{1}{L\omega_r^{\,2}} = \frac{1}{4\pi^2 N_r^{\,2} L} = \frac{1}{4\times 3,14^2 \times 1403^2 \times 0,038} = 3,38\times 10^{-7}$$

$$\boxed{\mathbf{C = 3,38\times 10^{-7}\ F}} \textit{(0,5 pt)}$$

4)
a) Si la résistance R est divisé par 2, voyons que deviennent la bande passante β et la fréquence de résonance.

Par définition : $\omega_2 - \omega_1 = \frac{R}{L} \Rightarrow 2\pi(N_2 - N_1) = \frac{R}{L} \Rightarrow N_2 - N_1 = \beta = \frac{1}{2\pi}\frac{R}{L}$ pour une résistance

R on a: $\beta = \frac{1}{2\pi}\frac{R}{L} = \frac{1}{2\pi L} \times R$:

Pour une résistance $R' = \frac{R}{2}$ on aura : $\beta' = \frac{1}{2\pi L}\frac{R}{2} = \frac{\beta}{2}$

$$\boxed{\beta' = \frac{\beta}{2}(} \quad \textit{(0,5 pt)}$$

Lorsque la résistance est divisée par 2 la bande passante est divisée par 2

b) L'expression de la fréquence à la résonance : $LC\omega_r^{\,2} = 1 \Rightarrow N_r = \frac{1}{4\pi^2 LC}$,

étant indépendante de la résistance lorsque la résistance est divisée par 2, la fréquence de résonance ne varie pas. ***(0,5 pt).***

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 2016
Série : TSE
ÉPREUVE : PHYSIQUE
DURÉE : 3 heures
COEFFICIENT : 3

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- QUESTIONS DE COURS (6 pts)

1) a) Définis les termes ou expressions suivants : oscillateur libre, oscillateur forcé et cite un exemple dans chaque cas *(1 pt)*

b) Cite quelques applications du laser *(0,5 pt)*

2) On produit des franges d'interférences au moyen du dispositif des fentes de Young, les deux fentes sources F_1 et F_2 sont distantes de a. On observe les franges d'interférences sur un écran parallèle au plan contenant les sources et situé à une distance D avec une lumière monochromatique de longueur d'onde λ.

a) Fais un schéma du dispositif expérimental des fentes de Young et indique le champ d'interférences *(0,5 pt)*

b) Décris et interprète le phénomène d'interférences *(0,5 pt)*

c) Établis la relation qui donne la différence de marche δ des vibrations lumineuses issues de deux fentes F_1 et F_2 et arrivant à un point M de l'écran. *(1 pt)*

c) Définis et calcule l'interfrange. *(0,5 pt)*

3) Énonce les lois de l'effet photoélectrique *(2 pts)*

166/187

B- EXERCICE

Exercice	Critères	Indicateurs		Points maximum
1)	Réponse correcte	Démonstration correcte de l'expression de la puissance moyenne		1
2)	Réponse correcte	a) • Déduction correcte de l'intensité efficace du courant I	Expression correcte	0,50
			Calcul exact	0,25
			Unités correctes	0,25
		• Déduction correcte de la tension efficace U_{AB}	Expression correcte	0,50
			Calcul exact	0,25
			Unités correctes	0,25
		b) Détermination correcte de la puissance consommée dans AC	Expression correcte	0,5
			Calcul exact	0,25
			Unités correctes	0,25
	Réponse correcte	c) Détermination correcte du déphasage de u_{BC} par rapport à l'intensité instantanée *i*	Expression correcte	0,50
			Calcul exact	0,25
			Unités correctes	0,25
		d) Déduction correcte de U_{AC}	Expression correcte	0,50
			Calcul exact	0,25
			Unités correctes	0,25

C- PROBLÈME

I-

1) Par définition la distance entre deux crêtes successives correspond à la longueur d'onde c'est-à-dire :

$$\boxed{\lambda = 4 \text{ mm} = 4 \times 10^{-3} \text{m}}$$

2)

a) La valeur de la période

Par définition $\lambda = VT \Rightarrow \boxed{T = \frac{\lambda}{V}}$

Application numérique: $T = \frac{4\times10^{-3}}{4\times10^{-1}} = 10^{-2}$

$$\boxed{\mathbf{T = 10^{-2}\ s}}$$

b) Expression de l'élongation transversale Y_O du point O

À $t = 0$ on a $x = a$; *avec* propagation de l'onde dans le sens positif

En supposant l'équation de l'élongation de la forme

$Y = a\cos(\omega t + \varphi)$; On peut écrire

$t = 0 \Rightarrow y = a \Rightarrow a\cos\varphi = a \Rightarrow \cos\varphi = 1 \Rightarrow \varphi = 0$ avec $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{10^{-2}} = 200\pi$ rd/s

$\boxed{Y_O = 10^{-3}\cos 200\pi t}$ en mètre

3)

a) Expression de l'élongation transversale Y_M d'un point M de Ox, en fonction du temps t et de l'abscisse x de M mesurée sur Ox.

$Y_M = 10^{-3}\cos\frac{2\pi}{T}(t-\theta)$ avec $\theta = \frac{x}{V}$ le retard horaire

D'où $Y_M = 10^{-3}\cos(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{VT}) = 10^{-3}\cos(628t - \frac{628x}{0,4}) = 10^{-3}\cos(628t - 500\pi x)$

$\boxed{Y_M = 10^{-3}\cos(628t - 500\pi x)}$ en mètre

b) Comparaison des vibrations en O et en M pour x = 1 cm

Pour x = 1 cm $Y_M = 10^{-3}\cos(200\pi t - 500\pi\times10^{-2}) = 10^{-3}\cos(200\pi t - 5\pi)$

Posons $\varphi_1 = 200\pi t$ et $\varphi_2 = 200\pi t - 5\pi$

Faisons : $|\varphi_2 - \varphi_1| = 200\pi t - 5\pi - 200\pi t = 5\pi$. **La différence de phase étant un multiple impair de π alors les points O et M vibrent en opposition de phase pour x = 1 cm.**

4) Nombre des points du segment OA qui vibrent en phase avec O.

On aura $\varphi_2 - \varphi_1 = 2k\pi \Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda}(x' - x_0) = 2k\pi \Rightarrow k = \frac{x' - x_0}{\lambda} = \frac{23\times10^{-2} - 0}{4\times10^{-3}} = \frac{230}{4} = 57,5$

Il y a donc 58 points ou 57 points sans compter le point O qui sont en phase

C- PROBLÈME

I-	Critères	Indicateurs		Points maximum
1)	Réponse correcte	Détermination correcte de la longueur d'onde		0,50
2)	Réponse correcte	a) Détermination correcte de la valeur de la période	Calcul exact	0,25
			Unités correctes	0,25
		b) Établissement correct de l'expression de l'élongation Y_O		0,50
3)	Réponse correcte	a) Établissement l'expression de l'élongation transversale Y_M		1
		b) Comparaison correcte des vibrations		0,50
4)	Réponse correcte	Détermination correcte du nombre des points du segment OA qui vibrent en phase avec O		1

II-

1) Justification de la variation d'activité d'un échantillon de bois au cours du temps.

Durant toute sa vie l'arbre échange du dioxyde de carbone avec l'atmosphère par la photosynthèse et la respiration maintenant; ainsi sa teneur en carbone 14. Lorsqu'il est abattu ou qu'il meure naturellement ces processus cessent et la quantité de carbone 14 qu'il renferme ne fait que décroître du fait des désintégrations radioactives, sans qu'elle ne soit remplacée. L'activité étant proportionnelle au nombre de noyaux radioactifs présents, celle-ci décroît au cours du temps.

2)

a) Établissons l'expression du temps t, en fonction des autres grandeurs physiques $A(t)$, A_0, et λ sachant que : $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$

Prenons le logarithme népérien de chaque membre de l'égalité :

$$\ln A(t) = \ln(A_0 e^{-\lambda t}) = \ln A_0 + \ln e^{-\lambda t} = \ln A_0 - \lambda t \Rightarrow t = \frac{\ln A_0 - \ln A(t)}{\lambda} \Rightarrow$$

$$\boxed{t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A_0}{A(t)}}$$

b) Calcul de t

$$t = \frac{1}{1{,}244 \times 10^{-4}} \ln \frac{13{,}6}{12{,}0} = 1006$$

t = 1006 ans

3) Déterminons l'année de fabrication du bateau ; soit a cette année

$$a = 1983 - 1006 = 977$$

a = 977 ans après Jésus-Christ

4) **476 ans < 977 ans < 1492 ans**

Ce qui permet de confirmer que ce bateau daterait bien du Moyen Âge

II-	Critères	Indicateurs		Points maximum
1)	Réponse correcte	Justification correcte de la variation d'activité d'un échantillon		0,5
2)	Réponse correcte	a) Établissement correct de l'expression de t en fonction de A (t), A_0 et λ		0,5
		b)	Calcul exact	0,75
			Unités correctes	0,25
3)	Réponse correcte	•	Détermination correcte de l'année de fabrication du bateau	0,75
		•	Unités correctes	0,25
4)	Réponse correcte	Justification correcte de l'hypothèse		1

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 BACCALAORÉAT MALIEN

SESSION DE : JUIN 2017
Série : TSE
ÉPREUVE : PHYSIQUE
DURÉE : 3 heures
COEFFICIENT : 3

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- QUESTIONS DE COURS (6 pts)

1)

- Définis la radioactivité, la période radioactive, l'activité radioactive *(1 pt)*
- Établis la loi de décroissance radioactive d'un nucléide, les expressions de la période et de l'activité radioactive. *(1 pt)*

2) Définis l'effet thermoélectronique et en cite deux applications *(2 pts)*

3) Énonce le premier principe de la thermodynamique et donne l'expression de l'énergie interne en fonction de la quantité de chaleur et du travail *(2 pts)*

B- EXERCICE : (6 pts) Détermination de la capacité d'un condensateur

Lors d'une manipulation visant à déterminer la capacité C d'un condensateur des élèves réalisent le montage de la figure-1

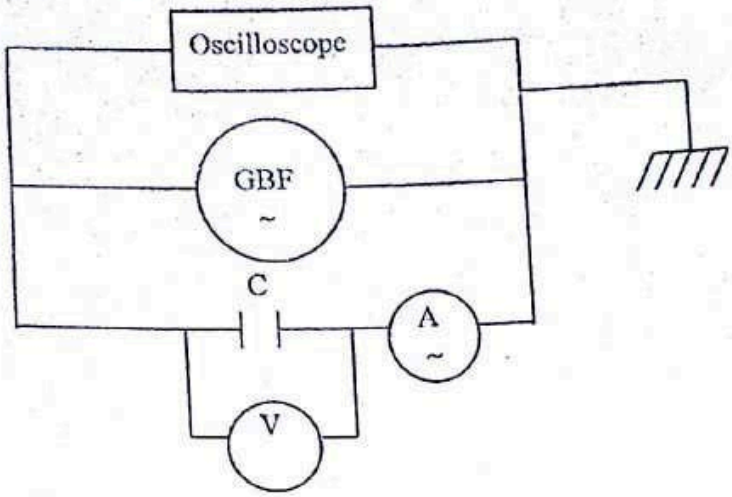


Figure-1

Le dispositif comprend un Générateur de Basse Fréquence (GBF) délivrant un courant alternatif, un oscilloscope permettant de visualiser la tension dans le condensateur et de mesurer sa période T, une capacité C, un ampèremètre et un voltmètre qui servent à mesurer respectivement l'intensité efficace du courant et la tension efficace aux bornes du condensateur. Ils aboutissent aux résultats consignés dans le tableau suivant.

T(s)	2×10^{-3}	$1,8\times10^{-3}$	$1,6\times10^{-3}$	$1,4\times10^{-3}$	$1,2\times10^{-3}$	1×10^{-3}	$0,8\times10^{-3}$	$0,6\times10^{-3}$
Z_C (Ω)	1390	1210	1080	921	759	642	445	283

1) Définis un courant alternatif et dis qu'elle différence y-a-t-il entre un courant alternatif et un courant continu *(0,5 pt)*

1) Donne l'expression de l'impédance Z_C du condensateur en fonction de la période T. *(0,5 pt)*

2) Ecris cette expression sous la forme $Z_C = aT$ où a est une constante et T la période *(1 pt)*

3) Trace sur un papier millimétré la courbe $Z_C = f(T)$ *(2 pts)*

Échelles : 1 cm pour 1×10^{-4}s et 1cm pour 100Ω.

4) Calcule la pente a de la droite obtenue et en déduis la valeur numérique de la capacité C. *(2 pts)*

C- PROBLÈME : (8 pts)

Les parties I et II sont indépendantes et l'usage des calculatrices non programmables est autorisé

I (5 pts)

Mouvement d'une balle dans le champ de pesanteur terrestre

Un dispositif permet de lancer une balle à la vitesse $v_0 = 16\ ms^{-1}$. La balle part d'un point O, vers le haut suivant une direction faisant l'angle α avec la verticale Oz (figure-2) $g = 10\ ms^{-2}$

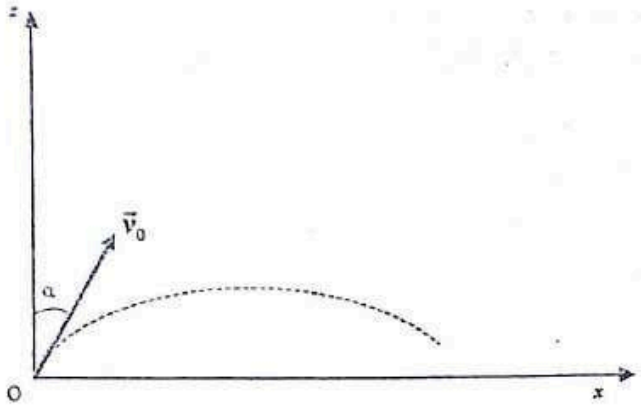


Figure -2

1) Détermine les équations paramétriques *x(t)* et *z(t)* du mouvement *(1 pt)*

2)

- Quelle est l'équation de la trajectoire *(0,5 pt)*
- Quelle est sa nature *(0,5 pt)*

3) Étant donné $\alpha = 50°$

a) Pendant combien de temps la balle s'élève-t-elle avant de descendre ? *(0,5 pt)*

b) Quelle est sa vitesse à la fin de cette phase ascendante ? *(0,5 pt)*

4) Calcule :

a) L'altitude maximale atteinte par la balle à partir de son point de départ O. *(0,5 pt)*

b) La balle retombe sur Ox en P, trouve l'expression de la distance OP. *(0,5 pt)*

c) Pour quelle valeur de α ; OP est maximale ? Quelle est alors sa valeur numérique ? *(1 pt)*

II (3 pts)

Calcul de la puissance d'une cellule photoélectrique

1) Le métal constituant la cathode C d'une cellule photoélectrique est caractérisé par le travail d'extraction $W_0 = 2,1$ eV. Quelle est la longueur d'onde λ_0 (dans le vide) caractérisant le seuil photoélectrique. *(0,75 pt)*

2) La cellule est éclairée par un faisceau constitué de deux rayonnements monochromatiques de longueur d'onde dans le vide $\lambda_1 = 0,50$ µm et $\lambda_2 = 0,66$ µm. Observe-t-on l'effet photoélectrique ? Justifie la réponse. *(1 pt)*

3) La cellule est éclairée par un faisceau monochromatique émis par une source ponctuelle S, sa longueur d'onde dans le vide est $\lambda_3 = 0,48$ µm.

La tension électrique entre l'anode A et la cathode C ; est $U_{AC} = V_A - V_C = 50$ V ; l'intensité du courant qui traverse la cellule est $I = 12,5$ µA.

a) Sachant que *I* ne change pas si on augmente U_{AC} à partir de la valeur 50 V, en déduis le nombre d'électrons émis par la cathode par seconde. *(0,5 pt)*

b) Sachant que deux photons sur cent donnent des chocs efficaces (un choc est efficace s'il est suivi de l'extraction d'un électron), quelle est la puissance lumineuse reçue par la cathode ? *(0,75 pt)*

On donne la constante de Planck $h = 6,62\times10^{-34}$Js, la charge de l'électron $e = 1,60\times10^{-19}$C.

Indication : Deux photons sur cent donnent des chocs efficaces signifie que le rendement de la cellule est 2%.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE
****
CENTRE NATIONAL DES EXAMENS ET CONCOURS DE L'ÉDUCATION
****

RÉPUBLIQUE DU MALI
Un Peuple-Un But-Une Foi

CORRIGÉ DU BACCALAURÉAT MALIEN

SESSION DE : JUIN 2017
Série : TSE
ÉPREUVE : PHYSIQUE
DURÉE : 3 heures
COEFFICIENT : 3

A- QUESTIONS DE COURS (6 pts)

1)

- Définitions

La radioactivité est l'émission de particules radioactives par un élément radioactif (en général des noyaux lourds) 0,5

La période radioactive T est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs est désintégrée 0,25

L'activité radioactive A (t) d'une substance radioactive est le nombre moyen de désintégrations par seconde 0,25

- **Établissement des expressions**

- **Établissement de la loi de décroissance radioactive**

Soit N(t) le nombre de noyaux radioactifs présents dans un échantillon radioactif, à l'instant t, N (t+dt) le nombre de noyaux présents à t + dt. Le nombre moyen de noyaux qui se désintègrent est : $dN(t) = N(t+dt)-N(t) = -\lambda N(t)dt$ (le signe - indique qu'il y a diminution progressive de N(t)) ; où λ est une constante qui dépend de l'élément radioactif).

$$dN(t) = -\lambda N(t)dt \Rightarrow \frac{dN(t)}{N(t)} = -\lambda dt \Rightarrow \ln N(t) = -\lambda t + Cte$$

À t = 0 on a $\ln N_0 = Cte$ avec N_0, le nombre de noyaux initial

175/187

D'où $\ln N(t) = -\lambda t + \ln N_0 \Rightarrow \boxed{N(t) = N_0 e^{-\lambda t}}$ *(1 pt)*

- **Établissement de l'expression de la période radioactive T**

On a par définition : $N(t) = \frac{N_0}{2} \Rightarrow N_0 e^{-\lambda T} = \frac{N_0}{2} \Rightarrow \boxed{T = \frac{\ln 2}{\lambda}}$

Elle s'exprime en seconde

- **Établissement de l'expression de l'activité radioactive A(t)**

On a par définition : $A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$

$\boxed{A(t) = A_0 e^{-\lambda t}}$

Elle s'exprime en désintégrations/seconde ou becquerel (Bq)

2) L'effet thermoélectronique est l'émission d'électrons par des matériaux (en général métallique) lorsqu'ils sont portés à des températures élevées.

Applications : diodes, triodes…

3)

Enoncé du premier principe de la thermodynamique : La variation d'énergie interne ΔU d'un système entre un point A (état initial) et un point B (état final) est indépendante du chemin suivi.

Expression de la variation d'énergie interne : $\Delta U = W + Q = cte$ avec W = le travail fourni et Q la quantité de chaleur échangée

NB : Acceptez tout énoncé correct du premier principe semblable à celui ci-dessus.

A- QUESTIONS DE COURS (6 pts)

Définitions et établissements	Critères	Indicateurs	Points maximum
1)	Réponse correcte	• Définition correcte de la radioactivité	0,5
	Réponse correcte	• Définition correcte de la période radioactive	0,25
		• Définition correcte de l'activité radioactive	0,25
	Réponse correcte	• Établissement correct de la loi de désintégration radioactive	0,5
		• Établissement correct de l'expression de la période radioactive	0,25
		• Établissement correct de l'activité radioactive	0,25

Effet thermoélectronique	Critères	Indicateurs	Points maximum
2)	Réponse correcte	• Définition correcte de l'effet thermoélectronique	1
		• Deux applications pertinentes de l'effet thermoélectronique sont citées	1 *(0,5pt/application)*

Énoncé du premier principe de la thermodynamique	Critères	Indicateurs	Points maximum
3)	Réponse correcte	• Énoncé correct du premier principe de la thermodynamique	1
		• Expression correcte de l'expression de la variation d'énergie interne	1

B- EXERCICE : (6 pts)

1) Un courant alternatif est un courant qui change de sens deux fois par période. La différence avec le courant continu est que ce dernier ne change pas de sens.

NB : Le courant alternatif change de sens 100 fois pendant 1 s pour une fréquence de 50 Hz.

2)

a) Expression de l'impédance Z_C du condensateur

Par définition l'impédance d'une capacité pure est donnée par la relation

$$Z_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{C \times \frac{2\pi}{T}} = \frac{1}{2\pi C} \times T \Rightarrow \boxed{Z_C = \frac{T}{2\pi C}}$$

b) Écrivons cette expression sous la forme $Z_C = aT$

$$\boxed{Z_C = \frac{1}{2\pi C} \times T} \quad \text{avec } a = \frac{1}{2\pi C}$$

c) Tracé de la courbe $Z_C = f(T)$ (voir courbe)

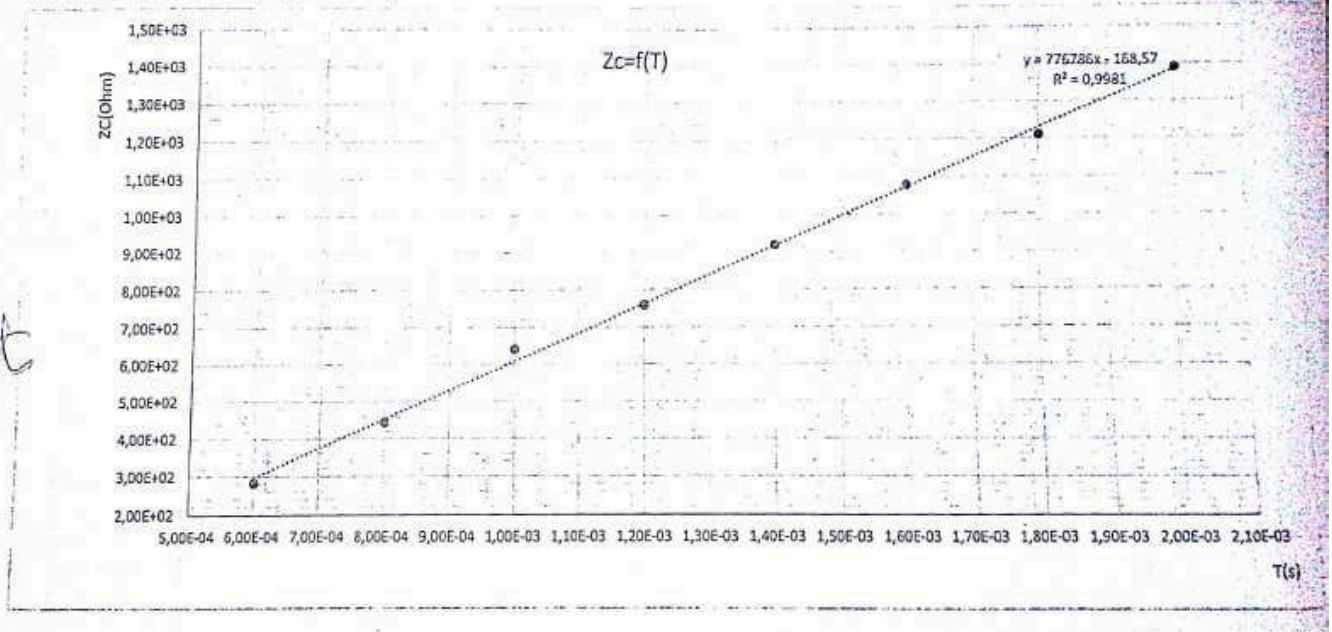


Figure-1 : Tracé de la courbe $Z_C = f(T)$

3) En ajoutant une courbe de tendance (ou en calculant la pente) on trouve

$\boxed{a = 776\,786\ \Omega/s}$ 1 pt

NB : Acceptez les valeurs du même ordre de grandeur que celle-ci-dessus.

Déduisons la valeur de la capacité

$$\frac{1}{2\pi C} = a \Rightarrow \boxed{C = \frac{1}{2\pi a}}$$ 0,5

Application numérique :

$$C = \frac{1}{2 \times 6{,}28 \times 776786} = 2{,}049 \times 10^{-7}\ F = 20{,}50\,\mu F$$

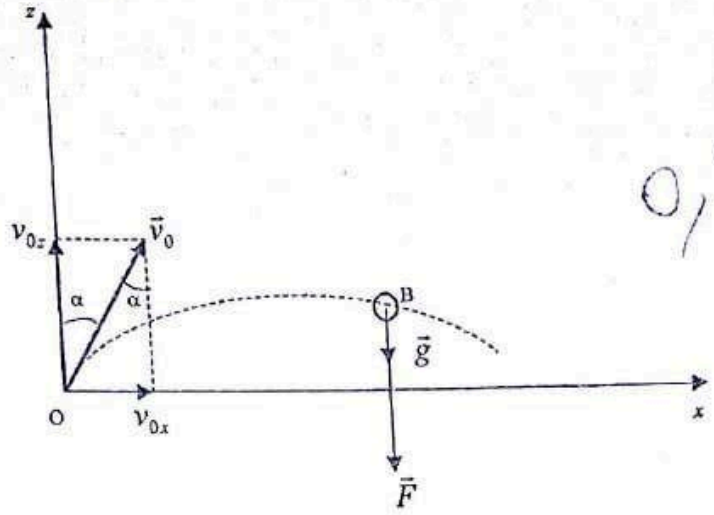
$\boxed{C = 20{,}50\ \mu F}$ 0,5

Exercice	Critères	Indicateurs		Points maximum
1)	Réponse correcte	• Définition correcte du courant alternatif		0,25
		• Différence correcte entre le courant alternatif et le courant continu		0,25
2)	Réponse correcte	Expression correcte de l'impédance Zc du condensateur		0,5
3)	Réponse correcte	Écriture correcte de l'expression de Zc en fonction de T		1
4)		Tracé pertinent de la courbe Zc = f(T)		2
5)	Réponse correcte	• Raisonnement cohérent pour déterminer la pente *a*	• Expression correcte	0,75
			• Unités correctes	0,25
		• Déduction correcte de la capacité	• Expression correcte de la capacité C	0,5
			Calcul exact	0,25
			Unités exactes	0,25

C- PROBLÈME (8 pts)

I-

1) Les équations paramétriques du mouvement



0,25

Dans le repère terrestre, la balle B, lancée à la vitesse $\vec{v}_0$, est soumise à son poids $\vec{P}$ vertical. En négligeant la résistance de l'air et en munissant le plan vertical contenant O et $\vec{v}_0$ de l'axe Ox et de l'axe vertical Oz orienté vers le haut on aura

- État initial

  À t = 0, B part de O $x_0 = 0$, $z_0 = 0$

  $$\vec{v}_0 \begin{cases} v_{0x} = v_0 \sin\alpha \\ v_{0z} = v_0 \cos\alpha \end{cases}$$

- À t quelconque, le vecteur accélération est donné par la relation fondamentale de la dynamique :

  $$\vec{P} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{P}}{m} = \frac{m\vec{g}}{m} = \vec{g} = cte = \vec{a}$$

- Dans le repère Ox, Oz :

  $$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 (\vec{g} \perp Ox) \\ a_z = -g (\vec{g} // Oz) \end{cases}$$

  En intégrant nous obtenons

  $$\vec{v} \begin{cases} v_x = cte = v_{0x} = v_0 \sin\alpha \\ v_z = -gt + v_{0z} = -gt + v_0 \cos\alpha \end{cases}$$

  En intégrant de nouveau on aura :

$$\overrightarrow{OB}\begin{cases} x(t) = v_0 t\sin\alpha + x_0 \\ z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 t\cos\alpha + z_0 \end{cases} \Rightarrow \boxed{\begin{cases} x(t) = 16t\sin\alpha \\ z(t) = -5t^2 + 16t\cos\alpha \end{cases}}$$

2)

- L'équation de la trajectoire

  En éliminant t entre les équations paramétriques on obtient l'équation cartésienne

  $t = \dfrac{x}{v_0\sin\alpha}$ et en remplaçant dans l'expression de z on a :

$$\boxed{z = -\frac{g}{2v_0^2\sin^2\alpha}x^2 + x\cot an\alpha = -\frac{1{,}95\times10^{-2}}{\sin^2\alpha}x^2 + x\cot an\alpha} \quad \text{(SI)}$$

- La trajectoire est un arc de parabole

3)

a) Le temps que la balle met avant de descendre

Considérons S comme le sommet de la trajectoire et t_s le temps mis. En ce point $vz = 0$.

De la relation $z(t)$ on calcule vz

$$vz = -gt + v_0\cos\alpha = 0 \Rightarrow -gt_S + v_0\cos\alpha = 0 \Rightarrow \boxed{t_S = \frac{v_0\cos\alpha}{g}}$$

Application numérique

$$t_S = \frac{v_0\cos\alpha}{g} = \frac{16\cos50}{10} = 1{,}028$$

$$\boxed{t_S = 1{,}028s}$$

b) La vitesse à la fin de cette phase

$$\vec{v}_S\begin{cases} v_{Sx} = v_0\sin\alpha \\ v_{Sz} = 0 \end{cases} \Rightarrow v_S = \sqrt{v_{sx}^2 + v_{sz}^2} = \sqrt{v_0^2\sin^2\alpha} = v_0\sin\alpha = 16\sin50 = 12{,}25$$

$$\boxed{v_S = 12{,}25m/s}$$

4)

a) L'altitude maximale atteinte par la balle à partir de son point de départ O.

1ère Solution : on utilise une loi horaire

$$\text{À } t_s = \frac{v_0\cos\alpha}{g},\ z_s = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 t_s\cos\alpha \Rightarrow \boxed{z_S = \frac{v_0^2\cos^2\alpha}{2g}}$$

2ème Solution : on utilise la trajectoire

$$z = -\frac{g}{2v_0^2 \sin^2\alpha}x^2 + x\cot an\alpha$$

En S $\left(\frac{dz}{dx}\right)_{x=x_S} = 0 \Rightarrow -\frac{g}{2v_0^2}x_s + \cot an\alpha = 0 \Rightarrow x_s = \frac{v_0^2 \cos\alpha \sin\alpha}{g}$

En remplaçant x_S par son expression dans z on trouve z_S

$$z_s = -\frac{g}{2v_0^2 \sin^2\alpha}x_s + x_s \cot an\alpha = \frac{v_0^2 \cos^2\alpha}{2g}$$

$$\boxed{z_s = \frac{v_0^2 \cos^2\alpha}{2g}}$$

3ème Solution : Le système (B, Terre) est conservatif. En O $E_1 = \frac{1}{2}mv_0^2 + 0$ (en prenant $E_p = 0$ en O)

En S : $E_2 = \frac{1}{2}mv_S^2 + mgz_s$ avec $v_s = v_0 \sin\alpha$

$$E_2 = E_1 \Rightarrow \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_S^2 + mgz_s \Rightarrow z_s = \frac{v_0^2 - v_s^2}{2g} = \frac{v_0^2 \cos^2\alpha}{2g} \Rightarrow \boxed{z_s = \frac{v_0^2 \cos^2\alpha}{2g}}$$

Application numérique :

$$z_s = \frac{v_0^2 \cos^2\alpha}{2g} = \frac{16^2 \cos^2 50}{2\times 10} = 5{,}29$$

$$\boxed{z_S = 5{,}29 \text{ m}}$$ 0,25

b) L'expression de la distance OP lorsque la balle retombe sur Ox en P.

1ère Solution : En P on a t_P et x_P. En ce point $z_P = 0$

$$-\frac{1}{2}gt_P^2 + v_0 t_P \cos\alpha = 0 \Rightarrow t_P = \frac{2v_0 \cos\alpha}{g}$$

$t_P = 0$ (ne convient pas)

D'où $x_P = v_0 t_P \sin\alpha = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ (car $\sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha$)

$$\boxed{x_P = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}}$$ 01

2ème Solution : On utilise l'équation de la trajectoire. En P on trouve x_P lorsque $z_P = 0$

$$z = -\frac{g}{2v_0^2 \sin^2\alpha} x_P^2 + x_P \cot an\alpha = 0 \Rightarrow \boxed{x_P = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}} \quad (x_P = 0 \text{ ne convient pas})$$

c) La valeur de α pour laquelle OP est maximale

x_S est maximal lorsque sin2α est maximal c'est-à-dire égal à 1.

$$\sin 2\alpha = 1 \Rightarrow \boxed{\alpha = \frac{\pi}{4} \text{ rd}}$$

Sa valeur numérique

$$x_P = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} = \frac{16^2 \sin\frac{\pi}{2}}{10} = 25{,}60$$

$$\boxed{x_P = 25{,}60 \text{ m}}$$

C- PROBLÈME (8 pts)

I- (5 pts)

I-	Critères	Indicateurs		Points maximum
1)	Réponse correcte	• Schéma correct avec les différences forces		0,25
		• Expression correcte de x(t)		0,25
		• Expression correcte de z(t)		0,50
2)	Réponse correcte	• Expression correcte de l'équation de la trajectoire		0,50
		• Nature de la trajectoire correcte		0,5
3)	Réponse correcte	a)	• Expression correcte du temps t_s	0,25
			• Calcul et unités exacts du temps t_s	0,25
		b)	• Expression correcte de la vitesse v_s	0,25
			• Calcul et unités exacts de la vitesse v_s	0,25
4)	Réponse correcte	a)	• Expression correcte de l'altitude maximale	0,25

			• Calcul et unités exacts de l'altitude maximale	0,25
		b)	Expression correcte de la distance OP	0,5
		c)	• Expression correcte de α	0,25
			• Calcul et unités exacts de α	0,25
			• Calcul et unités exacts de la valeur numérique de OP	0,5

II (3 pts)

1) La longueur d'onde λ_0 (dans le vide) caractérisant le seuil photoélectrique.

Au seuil photoélectrique, l'énergie d'un photon est égale au travail d'extraction du métal soit :

$$W_0 = \frac{hc}{\lambda_0} \Rightarrow \boxed{\lambda_0 = \frac{hc}{W_0}}$$

Application numérique :

$$\lambda_0 = \frac{6,62\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{2,1\times1,6\times10^{-19}} = 5,91\times10^{-7}\,m$$

$$\boxed{\lambda_0 = 0,591\,\mu m}$$

2) On remarque que $\lambda_1 < \lambda_0$ et $\lambda_2 > \lambda_0$. On observera donc un effet photoélectrique dû à la radiation de longueur d'onde λ_1.

3)

a) Le nombre d'électrons émis par la cathode par seconde. On remarque $\lambda_3 < \lambda_0$; il y aura donc effet photoélectrique. Si l'intensité n'augmente plus avec U_{AC} c'est qu'elle a atteint sa valeur maximale appelée « intensité de saturation ». Tous les électrons émis par la cathode C sont captés par l'anode A. Soit n_e le nombre d'électrons émis (ou captés par seconde).

$$I = n_e e \Rightarrow \boxed{n_e = \frac{I}{e}}$$

Application numérique :

$$n_e = \frac{12,5\times10^{-6}}{1,6\times10^{-19}} = 7,81\times10^{13}$$

$$\boxed{n_e = 7,81\times10^{13}\text{ électrons}}$$

b) La puissance lumineuse reçue par la cathode

Chaque seconde la cathode est frappée par n_p photons ; calculons n_p

$$\frac{2}{100} = \frac{n_e}{n_p} \Rightarrow n_p = \frac{100\times n_e}{2} = \frac{100\times7,81\times10^{13}}{2} = 3,90\times10^{15}$$

$$\boxed{n_p = 3{,}90\times10^{15}\ \text{photons}}$$ 0, 25

Chaque photon apporte l'énergie $\frac{hc}{\lambda}$; l'énergie lumineuse apportée par seconde c'est-à-dire la puissance lumineuse reçue par la cathode est :

$$\boxed{P = n_p \frac{hc}{\lambda_3}}$$ 0,25

Application numérique :

$$P = 3{,}90\times10^{15}\ \frac{6{,}62\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{0{,}48\times10^{-6}} = 161{,}36\times10^{-5}$$

$$\boxed{\text{P} = 161{,}36\times10^{-5}\ \text{W}}$$ 0,25

NB : Pour la question b) si le raisonnement est correcte et la réponse donnant la puissance correcte, il faut donner le nombre total des points sans tenir compte du détail donnant le nombre de photons.

II- (3 pts)

II-	Critères	Indicateurs		Points maximum
1)	Réponse correcte	• Expression correcte de la longueur d'onde seuil λ_0		0,5
		• Calcul exact		0,25
2)	Réponse correcte	• Choix correct de λ_1		0,5
		• Justification correcte du choix de λ_1		0,5
3)	Réponse correcte	a)	• Expression correcte du nombre d'électrons n_e	0,25
			• Calcul exact de n_e	0,25
		b)	• Calcul correct du nombre de photons	0,25
			• Expression correcte de la puissance lumineuse P	0,25
			• Calcul et unités exacts	0,25

A CONNAITRE

UNITÉS DU SYSTEME INTERNATIONAL $(S.I)$:

Les sept (7) unités de base ou unités fondamentales du système international 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 du temps(T) → la seconde(s)
- Unité de la quantité de matière(Q) → la mole(mol)
- Unité de la température(T_e) → le degré kelvin$(°K)$
- Unité de l'intensité lumineuse(I_l) → la candéla(Cd)

MULTIPLES ET SOUS MULTIPLES D'UNITÉ :

	MULTIPLES	UNITES	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(μ)
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'APPROXIMATIONS :

Les formules d'approximation utilisées en trigonométrie pour les angles faibles $(0 < \alpha < 10)$

- $\sin\alpha \simeq \tan\alpha \simeq \alpha$ avec α en rad
- $\cos\alpha \simeq 1 - \frac{\alpha^2}{2}$ avec α en rad

Pour cette conversion ; on utilise la relation : $\frac{\alpha}{180°} = \frac{\beta}{\pi\, rad} = \frac{\gamma}{200gr}$

LES PRODUITS :

Produit scalaire de 2 vecteurs : $\vec{U}.\vec{V} = U \times V \cos\left(\widehat{\vec{U}.\vec{V}}\right)$

Produit vectoriel de 2 vecteurs : $\vec{U} \wedge \vec{V} = U \times V \sin\left(\widehat{\vec{U}.\vec{V}}\right)$

