

CHAPITRE 1

Objectif général : Analyser la nature du mouvement du centre d'inertie d'un solide.

Objectifs spécifiques :

- Définir le vecteur -vitesse et le vecteur -accélération d'un point donné.
- Etablir les équations horaires des mouvements rectiligne uniforme, rectiligne uniformément varié et circulaire uniforme.

Durée : 10heures

CINEMATIQUE DU POINT

I. Quelques notions de cinématiques

1. Référentiel

C'est un corps par rapport auquel on étudie un mouvement. Ainsi, on dit que le mouvement a un **caractère relatif**.

2. Reperage d'un point et d'un vecteur

2.1. Repère d'espace

C'est un système d'axes concourants, orientés et gradués par des vecteurs appelés vecteurs unitaires. Le point de concours est appelé **origine** du repère et liée au référentiel.

Exemples : Repères cartésiens : $R(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$; $R(O, \vec{i}, \vec{j})$ et le repère curviligne.

Remarque :

Dans un repère cartésien, un point et un vecteur sont repérés par **leurs coordonnées**. Dans un repère curviligne, un point est repéré par **son abscisse curviligne**.

2.2. Repère du temps

C'est une horloge qui sert à déterminer le temps. L'origine du repère du temps est choisie arbitrairement.

Remarque :

Ne confondez pas une durée notée Δt (*temps mis*) avec un instant noté t .

Lorsqu'un mouvement se produit avec un retard θ , l'instant au cours de ce mouvement est noté $t - \theta$.

2.3. Notation vectorielle

Un vecteur est représenté par un segment de droite fléché à une extrémité.

Il est noté par une (*ou deux*) lettre alphabétique portant une flèche par-dessus.

Il est défini par ses caractéristiques qui sont :

- **Direction** : la droite portant le vecteur.
- **Sens** : indiqué par la flèche.
- **Norme** : sa valeur.
- **Origine** : l'extrémité du segment non fléchée.

Soit le vecteur \vec{w} défini par ses coordonnées (w_x, w_y, w_z) dans un repère de base $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$.

$$\vec{w} = w_x \vec{i} + w_y \vec{j} + w_z \vec{k}$$

Sa norme est :

$$w = \sqrt{w_x^2 + w_y^2 + w_z^2}$$

Application 1

3. Trajectoire d'un point mobile

C'est l'ensemble des positions successives occupées par le mobile au cours de son mouvement.

Exemples :

- **Trajectoire rectiligne** : une droite
- **Trajectoire circulaire** : un cercle ou un arc de cercle
- **Trajectoire curviligne** : une courbe.

4. Vecteur -position

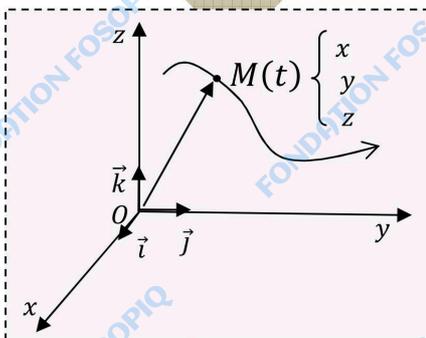
4.1. Définition

C'est le vecteur défini à partir de l'origine des espaces et la position occupée par le mobile à un instant t quelconque.

Soit O l'origine du repère d'espace et M la position occupée à l'instant t : \vec{OM} est le vecteur- position à l'instant t .

4.2. Expression du vecteur- position

4.2.1. Dans un repère cartésien



Dans la base $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$,

$$\vec{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

avec x, y et z des fonctions du temps.
Elles sont appelées **équations horaires**
ou **lois horaires**.

Remarque :

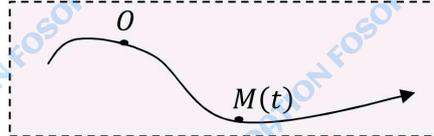
En combinant ces équations par élimination du paramètre t , on obtient l'équation cartésienne de la trajectoire du mobile.

Application 2

4.2.2. En coordonnées curviligne

$S = \widehat{OM}$ est appelée abscisse curviligne. C'est la longueur de l'arc \widehat{OM} .

Elle est exprimée en mètre.



II. Vecteur -vitesse

1. Vecteur- vitesse moyen

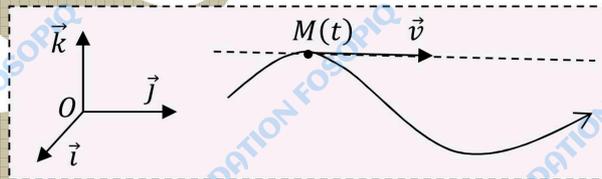
- La vitesse est la variation de la position dans le temps. Elle est exprimée en $m.s^{-1}$.
- Le vecteur -vitesse moyen est donc la variation du vecteur- position dans le temps.

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta \overrightarrow{OM}}{\Delta t}$$

2. Vecteur -vitesse instantané ou vecteur- vitesse

C'est la dérivée du vecteur -position par rapport au temps. Il est noté \vec{v} .

$$\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$$



Ses caractéristiques sont :

- **Direction** : la tangente à la trajectoire au point occupé à l'instant donné.
- **Sens** : celui du mouvement.
- **Norme** : $v(m.s^{-1})$

3. Expression du vecteur -vitesse

3.1. Dans un repère cartésien

$$\overrightarrow{OM} \begin{cases} x \\ y \\ z \end{cases} \Rightarrow \vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} \begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x} \\ v_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y} \\ v_z = \frac{dz}{dt} = \dot{z} \end{cases}$$

Dans la base $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$,

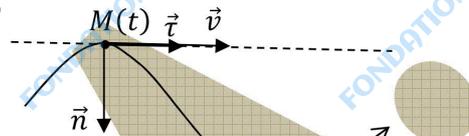
$$\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k}$$

Sa norme est

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

3.2. Dans le repère de Frenet

Soit (\vec{t}, \vec{n}) la base de Frenet telle que $\vec{t} \perp \vec{n}$.



$$\vec{v} \begin{cases} v_t = v \\ v_n = 0 \end{cases}$$

$S = \widehat{OM}$ et quand $M \rightarrow O \Rightarrow S = OM$ et $\overline{OM} = S\vec{t}$.

$$\vec{v} = v_t \vec{t} = \frac{d\overline{OM}}{dt} = \frac{dS}{dt} \vec{t} \Rightarrow \vec{v} \begin{cases} v_t = \dot{S} = \frac{dS}{dt} \\ v_n = 0 \end{cases}$$

Dans la base de Frenet,

$$\vec{v} = \dot{S} \vec{t}$$

Sa norme est

$$v = \sqrt{\dot{S}^2} = |\dot{S}|$$

4. Applications

On peut déterminer le vecteur -vitesse :

- A partir des lois horaires du mouvement.
- A partir d'enregistrement des positions effectuées à des intervalles de temps successifs égaux θ . A l'instant t_n ,

$$\vec{v}_n = \frac{\overrightarrow{M_{n-1}M_{n+1}}}{t_{n+1} - t_{n-1}}$$

\Leftrightarrow

$$\vec{v}_n = \frac{\overrightarrow{M_{n-1}M_{n+1}}}{2\theta}$$

Application 3

III. Vecteur -accélération

1. Vecteur -accélération moyen

- L'accélération est la variation de la vitesse dans le temps. Elle est exprimée en $m.s^{-2}$.

- Le vecteur -accélération moyenne est la variation du vecteur- vitesse dans le temps.

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

2. Vecteur -accélération instantané

C'est la dérivée du vecteur -vitesse par rapport au temps.

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

3. Expression du vecteur- accélération

3.1. Dans un repère cartésien

$$\vec{OM} \begin{cases} x \\ y \\ z \end{cases} \Rightarrow \vec{v} = \frac{d\vec{OM}}{dt} \begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x} \\ v_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y} \\ v_z = \frac{dz}{dt} = \dot{z} \end{cases} \Rightarrow \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt} = \ddot{x} \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = \ddot{y} \\ a_z = \frac{dv_z}{dt} = \ddot{z} \end{cases}$$

Dans la base $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$,

$$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$$

Sa norme est :

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

3.2. Dans le repère de Frenet

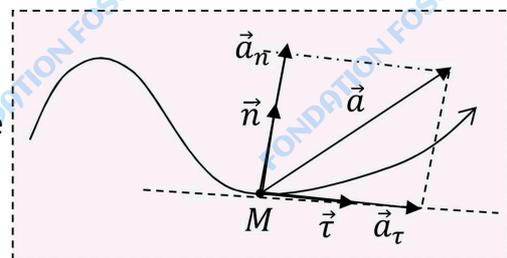
Dans la base de Frenet, $\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$ avec :

$$\vec{a}_t = \frac{dv}{dt} \vec{\tau}$$

Accélération tangentielle

$$\vec{a}_n = \frac{v^2}{\rho} \vec{n}$$

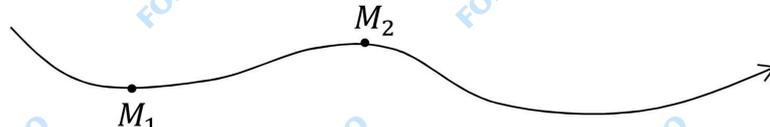
Accélération normale



Remarque :

\vec{a} est toujours orienté vers le creux de la trajectoire.

Exemples : Représenter aux différents points, les vecteurs- accélérations \vec{a}_t, \vec{a}_n et \vec{a} .



4. Applications

On peut déterminer le vecteur- accélération :

- A partir des lois horaires ou du vecteur- vitesse.
- A partir d'enregistrements. A l'instant t_n ,

$$\vec{a}_n = \frac{\vec{v}_{n+1} - \vec{v}_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}}$$

Application 4

5. Nature du mouvement

La nature du mouvement d'un mobile est donnée par les trois éléments suivants pris ensemble :

- La trajectoire
- Vecteur \vec{a} ou \vec{v}
- Le signe de $\vec{a} \times \vec{v}$

NB :

- $\vec{a} = \overrightarrow{cste}$ ou \vec{v} varie \Leftrightarrow mouvement uniformément varié.
- $\vec{a} = \vec{0}$ ou $\vec{v} = \overrightarrow{cste}$ \Leftrightarrow mouvement uniforme.
- $\vec{a} \cdot \vec{v} > 0$ ou v croît \Leftrightarrow mouvement accéléré
- $\vec{a} \cdot \vec{v} < 0$ ou v décroît \Leftrightarrow mouvement retardé ou décéléré
- $\vec{a} \cdot \vec{v} = 0$ ou $v = cste$ \Leftrightarrow mouvement uniforme.

Application 5

IV. Différents types de mouvements

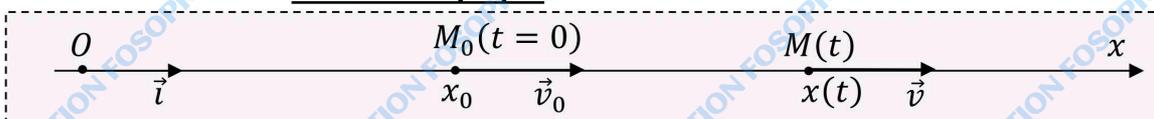
1. Mouvement rectiligne uniforme

1.1. Définition

C'est un mouvement qui s'effectue sur une droite avec un vecteur -accélération nul ou un vecteur -vitesse constant.

1.2. Equations horaires

1.2.1. Forme analytique



$$\vec{v} = \vec{v}_0 = v_{0x}\vec{i} = \overline{cste} \text{ et } \vec{a} = \vec{0}.$$

A $t = 0s$, le mobile est en M_0 .

$$\overline{OM}_0(x_0) \text{ et } \vec{v}_0(v_{0x})$$

$$\forall t, \vec{a} = a_x\vec{i} = \vec{0} \Rightarrow a_x = 0 = \frac{dv_x}{dt} \Rightarrow v_x = cste = v_{0x} = \frac{dx}{dt} \Rightarrow x = v_{0x}t + cste.$$

Soit

$$\boxed{x = v_{0x}t + x_0}$$

1.2.2. Forme vectorielle

Dans le repère (O, \vec{i}) ,

$$\bullet \overline{OM} = x\vec{i} = (v_{0x}t + x_0)\vec{i} \Leftrightarrow$$

$$\boxed{\overline{OM} = \vec{v}_0t + \overline{OM}_0}$$

$$\bullet \vec{v} = v_{0x}\vec{i} \Leftrightarrow \boxed{\vec{v} = \vec{v}_0}$$

Ces relations sont valables dans tout repère cartésien.

Remarque :

$$\vec{a} = \vec{0} \Leftrightarrow \text{Mouvement uniforme donc } \overline{OM} = \vec{v}_0t + \overline{OM}_0 \text{ et } \vec{v} = \vec{v}_0 \forall t.$$

Remarque

Entre deux instants t_1 et t_2 , la relation $x = v_{0x}t + x_0$ donne la relation :

$$\boxed{x_2 - x_1 = v_0(t_2 - t_1)}$$

1.3. Application 6

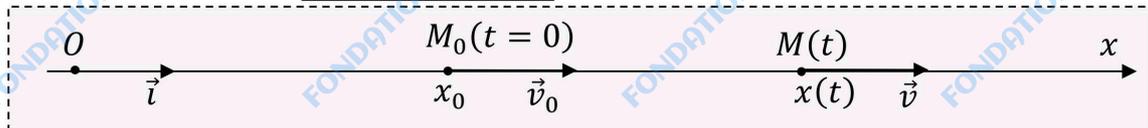
2. Mouvement rectiligne uniformément varié

2.1. Définition

C'est un mouvement qui s'effectue sur **une droite** avec un **vecteur -accélération constant** ou un **vecteur -vitesse qui varie**.

2.2. Equations horaires

2.2.1. Forme analytique



$$\vec{a} = \vec{a}_0 = a_{0x}\vec{i} = \overline{cste}$$

A $t = 0s$, le mobile est en M_0 .

$$\overline{OM}_0(x_0) \text{ et } \vec{v}_0(v_{0x})$$

$$\forall t, \vec{a} = a_x\vec{i} = a_{0x} \Rightarrow a_x = a_{0x} = \frac{dv_x}{dt} \Rightarrow v_x = a_{0x}t + cste$$

Soit

$$v_x = a_{0x}t + v_{0x}$$

$$v_x = a_{0x}t + v_{0x} = \frac{dx}{dt} \Rightarrow x = \frac{1}{2}a_{0x}t^2 + v_{0x}t + cste$$

Soit

$$x = \frac{1}{2}a_{0x}t^2 + v_{0x}t + x_0$$

2.2.2. Forme vectorielle

Dans le repère (O, \vec{i}) ,

- $\vec{v} = v_x \vec{i} = (a_{0x}t + v_{0x}) \vec{i} \Leftrightarrow \vec{v} = \vec{a}_0 t + \vec{v}_0$

- $\vec{OM} = x \vec{i} = \left(\frac{1}{2}a_{0x}t^2 + v_{0x}t + x_0\right) \vec{i} \Leftrightarrow$

$$\vec{OM} = \frac{1}{2} \vec{a}_0 t^2 + \vec{v}_0 t + \vec{OM}_0$$

Ces relations sont valables dans tout repère cartésien.

Remarque :

$$\vec{a} = \overline{cste} \Leftrightarrow \text{Mouvement uniformément varié donc } \vec{v} = \vec{a}_0 t + \vec{v}_0$$

$$\text{et } \vec{OM} = \frac{1}{2} \vec{a}_0 t^2 + \vec{v}_0 t + \vec{OM}_0 \quad \forall t.$$

Remarque

La combinaison de $v_x = a_{0x}t + v_{0x}$ et $x = \frac{1}{2}a_{0x}t^2 + v_{0x}t + x_0$ à deux instants t_1 et t_2 donne la relation :

$$v_2^2 - v_1^2 = 2a(x_2 - x_1)$$

Entre deux instants t_1 et t_2 , l'équation $v_x = a_{0x}t + v_{0x}$ donne la relation :

$$v_2 - v_1 = a(t_2 - t_1)$$

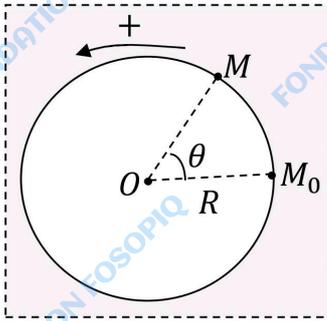
2.3. Application 7

3. Mouvement circulaire uniforme

3.1. Définition

C'est un mouvement qui s'effectue sur un **un cercle ou un arc de cercle** avec **une vitesse constante**.

3.2. Grandeurs angulaires



- **Abscisse angulaire** : θ (en rad ou degré)
- **Abscisse curviligne** : $S = \widehat{M_0M} = R \cdot \theta$ (en mètre)
- **Vitesse angulaire** : $\omega = \dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt}$ ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)
- **Vitesse linéaire** : $v = R \cdot \omega$

Cas d'un mouvement circulaire uniforme :

$$\bullet \quad v = \frac{ds}{dt} = R\omega = \text{cste} \Rightarrow$$

$$\omega = \omega_0 = \text{cste}$$

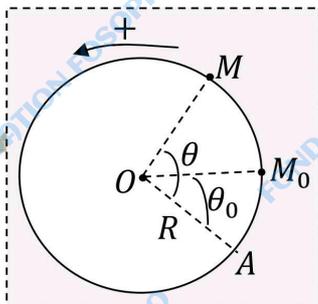
$$\bullet \quad \vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n \Rightarrow \vec{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \vec{\tau} = \vec{0} \Rightarrow$$

$$\vec{a} = \vec{a}_n = \frac{v^2}{R} \vec{n} = R\omega^2 \vec{n}$$

Remarque

Le vecteur -accélération est **radiale ou centripète**.

3.3. Equation horaire



A: Origine du repère curviligne.

A $t = 0$ s, le mobile est en M_0 : $\omega = \omega_0 = \text{cste}$

et $\theta = \theta_0$

$$\forall t, \omega = \omega_0 = \frac{d\theta}{dt} \Rightarrow$$

$$\theta = \omega_0 t + \theta_0$$

\Leftrightarrow

$$S = v_0 t + S_0$$

- **Période (s)**:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi R}{v}$$

- **Fréquence (hertz: Hz)**:

$$N = \frac{1}{T}$$

3.4. Application 8

CHAPITRE 2

Objectif général : Analyser la nature du mouvement du centre d'inertie d'un solide.

Objectif spécifique : Appliquer la relation $\sum(\vec{f}_{ext}) = m\vec{a}$ à un solide dans un référentiel galiléen.

Durée : 6 heures

MOUVEMENT DU CENTRE D'INERTIE D'UN SYSTEME MATERIEL

I. Rappels

1. Point matériel

C'est une petite portion de matière ayant une masse et des dimensions suffisamment petites pour qu'on l'assimile à un point.

2. Système matériel

C'est un ensemble de points matériels qui peut être déformable ou indéformable. Il possède un centre d'inertie noté G qui est l'unique point où est concentrée toute sa masse et qui a un mouvement rectiligne uniforme quand il est lancé sur une table à coussin d'air.

3. Force extérieures

Une force extérieure est une force exercée par l'extérieur sur le système. Elle peut être une force de contact ou une force à distance.

4. Système isolé, système pseudo isolé et principe d'inertie

- **Un système isolé** est un système qui n'est soumis à aucune force.
- **Un système pseudo isolé** est un système soumis à des forces extérieures qui se compensent.
- **Le principe d'inertie** dit que lorsqu'un système isolé ou pseudo isolé est en mouvement, son centre d'inertie a un mouvement rectiligne uniforme ; et lorsqu'il est au repos, son centre d'inertie est au repos.

5. Référentiel galiléen

Un référentiel galiléen est un référentiel animé d'un mouvement rectiligne uniforme par rapport au référentiel de Copernic galiléen.

Exemples : Le référentiel géocentrique, le référentiel de Copernic.....

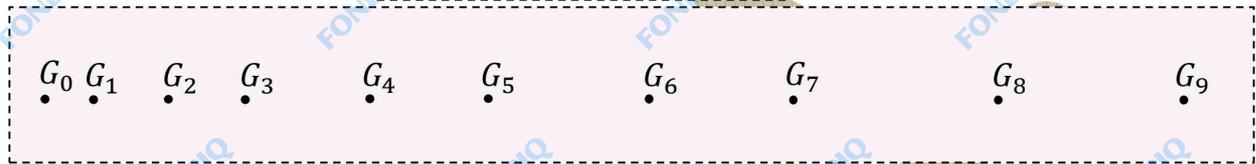
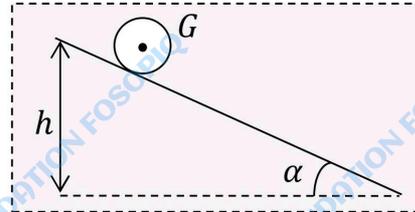
II. Etude du mouvement du centre d'inertie d'un système matériel

1. Théorème du centre d'inertie

1.1. Mise en évidence expérimentale

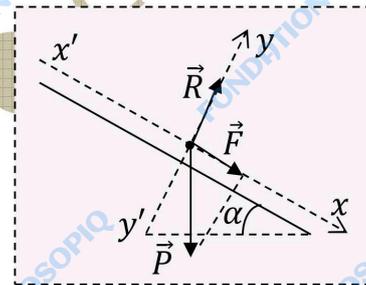
1.1.1. Dispositif expérimental

Un palet de masse $m = 400g$ glisse suivant la ligne de plus grande pente d'un plan incliné (table à coussin d'air) de longueur $l = 130cm$ et relevée de $h = 10cm$ d'une extrémité. On enregistre les différentes positions du centre d'inertie G du palet pendant des intervalles de temps égaux $\theta = 60ms$.



1.1.2. Intensité de la force résultante

- Système : palet
- Référentiel terrestre supposé galiléen
- Bilan des forces extérieures ;
 - \vec{P} poids du palet ;
 - \vec{R} réaction normale de la table.



Posons $\vec{F} = \vec{P} + \vec{R} \neq \vec{0}$

Projetons cette relation sur l'axe $(x'x)$:

$$F_x = R_x + P_x \Leftrightarrow F = mg \sin \alpha + 0 \Rightarrow F = mg \sin \alpha$$

$$A.N: F = 0,4 \times 9,8 \times \frac{10}{130} \Leftrightarrow F = 0,3N$$

1.1.3. Exploitation des enregistrements

- Tableau de mesures

Soit n le numéro de la position du centre d'inertie du palet : $d_n = G_{n-1}G_{n+1}$.

$$v_n = \frac{G_{n-1}G_{n+1}}{2\theta} = \frac{d_n}{12}$$

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t(s)$	0	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54
$d_n(cm)$										
$v_n(m.s^{-1})$										

- Tracer de la courbe $v_n = f(t)$
- Exploitation de la courbe

La courbe est une droite dont l'équation est de la forme $v_n = at + b$.

$$a = \frac{\Delta v_n}{\Delta t} = 0,75 ; m \times \frac{\Delta v_n}{\Delta t} = 0,3$$

On remarque que
$$\mathbf{F} = m \times \frac{\Delta \mathbf{v}_n}{\Delta t}$$

1.2. Enoncer du théorème du centre d'inertie

\vec{F} et \vec{v} ont le même sens
 \vec{F} et $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ ont le même sens
 Or $\vec{F} = \sum(\vec{f}_{ext})$ d'où

$$\Rightarrow \vec{F} = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \text{ or } \vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \approx \frac{d\vec{v}}{dt} \Rightarrow \vec{F} = m\vec{a}$$

$$\sum(\vec{f}_{ext}) = m\vec{a}$$

2. Theorem de l'énergie cinétique

$$\left. \begin{aligned} \sum(\vec{f}_{ext}) = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} \\ \mathcal{P} = \vec{F} \times \vec{v} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \mathcal{P} = m\vec{v} \times \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m\vec{v}^2 \right)$$

Or $\mathcal{P} = \frac{dE_c}{dt} = \frac{dw(\vec{F})}{dt} \Rightarrow dE_c = dw(\vec{F})$
 Entre deux instants t_1 et t_2 , on a :

$$\Delta E_c = E_{c_2} - E_{c_1} = \sum W_{1 \rightarrow 2}(\vec{f}_{ext})$$

3. Conditions utilisation de ces théorèmes

Ils sont utilisés dans un référentiel galiléen pour étudier le mouvement d'ensemble ou mouvement du centre d'inertie du système.

Protocole de résolution d'exercice de mécanique

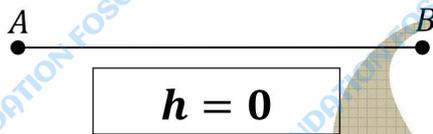
- Définir le système
- Choisir un référentiel galiléen
- Faire le bilan de toutes les forces extérieures exercées sur le système
- Représenter sur un schéma clair toutes ces forces
- Appliquer le théorème qui convient
- Pour le théorème du centre d'inertie, choisir un repère orthogonal de projection
- Tirer les conséquences cinématiques et dynamiques

➤ **Forces susceptibles de s'exercer sur un système**

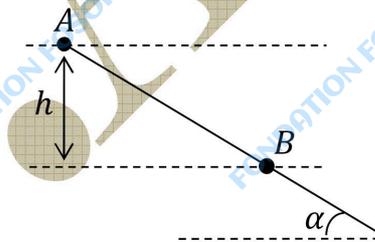
- Système de masse $m \Rightarrow \vec{P}$ poids du système.
- Présence d'un fil, d'un câble ou d'une corde $\Rightarrow \vec{T}$ tension du fil, du câble ou de la corde.
- Présence d'un ressort $\Rightarrow \vec{T}$ tension du ressort.
- Présence de frottement $\Rightarrow \vec{f}$ force de frottement.
- Présence de support $\Rightarrow \vec{R}$ réaction du support.
- Présence de champ $\Rightarrow \vec{F}_e$ force électrostatique et \vec{F} force magnétique.
- Présence d'un opérateur $\Rightarrow \vec{F}$ force motrice.

➤ **Détermination de la hauteur entre deux points A et B**

• **Plan horizontal**

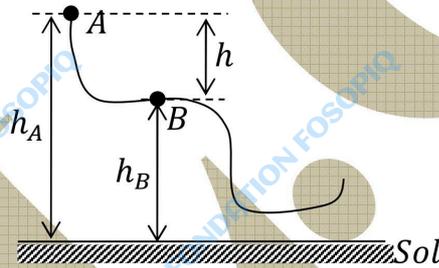


• **Plan incliné**



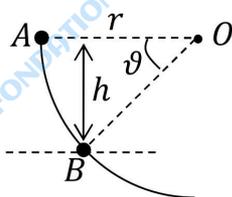
$h = AB \sin \alpha$

• **Plan curviligne**

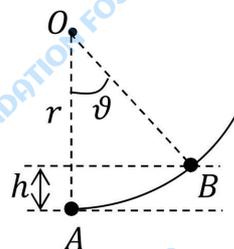


$h = h_A - h_B$

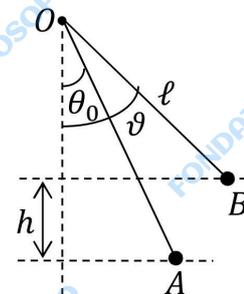
• **Plan circulaire**



$h = r \sin \alpha$



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



$h = l(\cos \theta_0 - \cos \theta)$

CHAPITRE 3

Objectif général : Analyser la nature du mouvement du centre d'inertie d'un solide.

Objectif spécifique : Appliquer la relation $\sum(\vec{f}_{ext}) = m\vec{a}$ à un solide soumis à une force constante dans un référentiel galiléen.

Durée : 7 heures

MOUVEMENT DANS UN CHAMP UNIFORME

I. Mouvement d'un solide dans le champ de pesanteur uniforme

1. Notion de champ de pesanteur

C'est l'espace qui entoure la terre dans lequel tout corps subit l'attraction de la pesanteur. Au voisinage de la terre, il est caractérisé en chaque point par un vecteur champ de pesanteur uniforme noté \vec{g} de caractéristiques :

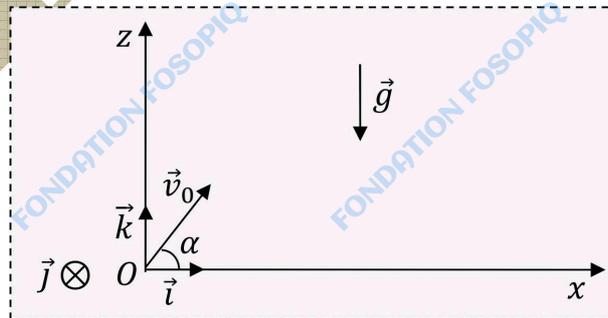
- **Direction** : la verticale du lieu
- **Sens** : Du haut vers le bas
- **Norme** : $g (m \cdot s^{-2})$

Remarque : L'intensité g de la pesanteur dépend du lieu.

2. Etude du mouvement d'un projectile

2.1. Etude dynamique : le vecteur accélération

Énoncé : Un projectile ponctuel de masse m , est lancé dans un champ de pesanteur supposé uniforme \vec{g} avec un vecteur- vitesse \vec{v}_0 qui fait un angle α avec le plan horizontal. Négligeons la réaction de l'air.



- **Système** : le projectile
- **Référentiel terrestre** supposé galiléen auquel est associé le repère $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$.
- **Bilan des forces extérieures** : \vec{P} le poids du projectile.

- Appliquons le TCI :

$$\sum(\vec{f}_{ext}) = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{P} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \vec{g} = \overline{cste}$$

2.2. Etude cinématique

2.2.1. Equations horaires du mouvement

- A $t = 0s$, le centre d'inertie G du projectile est O .

Dans $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$:

$$\overrightarrow{OG}_0 \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \\ z_0 = 0 \end{cases} \quad \vec{v}_0 \begin{cases} v_{0x} = v_0 \cos \alpha \\ v_{0y} = v_0 \sin \alpha \\ v_{0z} = 0 \end{cases} \quad \vec{g} \begin{cases} g_x = 0 \\ g_y = 0 \\ g_z = -g \end{cases}$$

- $\forall t, \vec{a} = \vec{g} = \overline{cste} \Leftrightarrow$ mouvement uniformément varié donc

$$\overrightarrow{OG} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}_0t + \overrightarrow{OG}_0 \text{ et } \vec{v} = \vec{a}t + \vec{v}_0$$

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = 0 \\ a_z = -g \end{cases} \Rightarrow \vec{v} \begin{cases} v_x = v_0 \cos \alpha \\ v_y = 0 \\ v_z = -gt + v_0 \sin \alpha \end{cases} \Rightarrow \overrightarrow{OG} \begin{cases} x = v_0t \cos \alpha \\ y = 0 \\ z = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0t \sin \alpha \end{cases}$$

2.2.2. Etude de la trajectoire

- Equation de la trajectoire

$$x = v_0t \cos \alpha \Rightarrow t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \Rightarrow$$

$$z = -\frac{1}{2}g \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + x \tan \alpha$$

$$\Leftrightarrow z = -\frac{g}{2v_0^2} (1 + \tan^2 \alpha) x^2 + x \tan \alpha$$

Avec $1 + \tan^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$

La trajectoire est **une parabole**.

- Caractéristiques de la trajectoire

- **La flèche** : c'est la hauteur maximale atteinte par le projectile par rapport à l'horizontale passant par le point de lancement.

Soit S le sommet de la parabole.

$S(x_S, 0, z_S)$ tel que $\frac{dz}{dx} = 0$ ou $v_z = 0$

$$\frac{dz}{dx} = 0 \Leftrightarrow -g \frac{x}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + \tan \alpha = 0 \Rightarrow x_S = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g}$$

$$z_S = \frac{1}{2} g \frac{x_S^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + x_S \tan \alpha \text{ Soit}$$

$$z_S = h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

- **La portée d** : c'est l'abscisse du point de cote nulle.

$$\text{Soit } P(x_P; 0; 0) \Rightarrow z = 0 \Leftrightarrow -\frac{1}{2} g \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + x \tan \alpha = 0 \Rightarrow$$

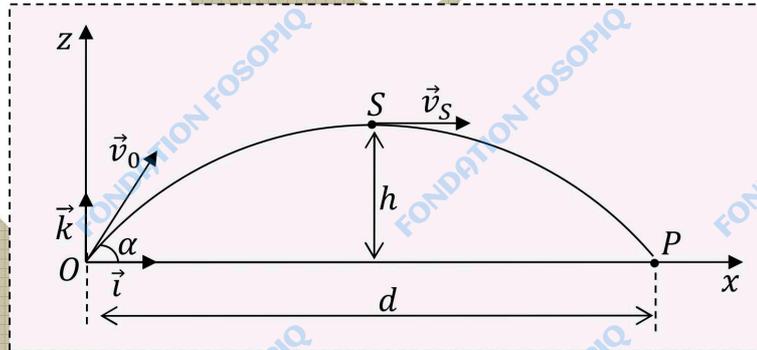
$$x_P = d = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

Remarque :

- $d = 2x_S$

- $d_{max} \Rightarrow \sin 2\alpha = 1 \Rightarrow \alpha = \frac{\pi}{4} \text{ rad} = 45^\circ$

- $d < d_{max} \Rightarrow \sin 2\alpha = \frac{dg}{v_0^2} \Rightarrow \alpha_2 = \frac{\pi}{2} - \alpha_1$: il y a deux angles de tir α_1 et α_2 .



2.3. Nature du mouvement

Le mouvement du projectile est **plan** car $\forall t, y = 0$. Il a lieu dans le plan (x, O, z) . Ce mouvement est lié à l'angle de tir :

- Si $\alpha = \pm \frac{\pi}{2}$ alors son mouvement est rectiligne uniformément varié

- Si $-\frac{\pi}{2} < \alpha < \frac{\pi}{2}$ alors son est parabolique uniformément varié

3. Energie cinétique et énergie potentielle de pesanteur

Lorsqu'un corps ponctuel de masse m se déplace d'un point $A(z_A)$ vers un point $B(z_B)$ dans un champ de pesanteur uniforme \vec{g} , il est soumis à son seul poids.

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B) = E_{CB} - E_{CA} \Leftrightarrow E_{CA} + mgz_A = E_{CB} + mgz_B$$

$$\Leftrightarrow E_{CA} + E_{PA} = E_{CB} + E_{PB}$$

Il y a conservation de l'énergie mécanique. On obtient ainsi :

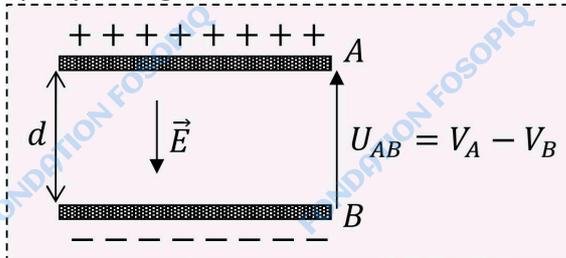
$$v_B^2 - v_A^2 = 2g(z_A - z_B)$$

II. Mouvement d'un corps chargé dans un champ électrostatique uniforme

1. Champ électrostatique uniforme

C'est l'espace entre deux plaques conductrices parallèles soumises à une différence de potentiel.

Cet espace est caractérisé en chacun de ses points par un vecteur champ électrostatique uniforme \vec{E} orthogonal aux plaques et orienté de la plaque positive vers la plaque négative, Autrement dit, il décroît les potentiels. Sa norme est :



$$E = \frac{V_A - V_B}{d}$$

Dans cet espace, tout corps chargé subit la force électrostatique \vec{F}_e d'expression :

$$\vec{F}_e = q\vec{E}$$

Avec q sa charge

Dans ce champ, entre deux points A et B ,

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_e) = q\vec{E} \cdot \overrightarrow{AB} = q(V_A - V_B)$$

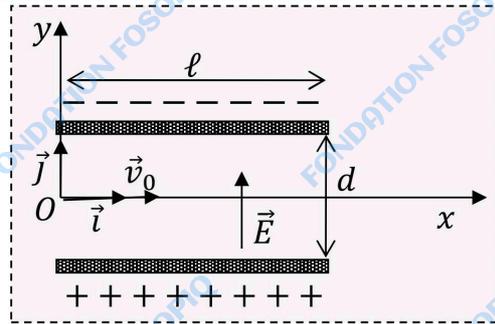
Ce travail est toujours positif

2. Etude du mouvement d'une particule chargée

Enoncé : Une particule de masse m , portant une charge $q > 0$ pénètre à l'instant initial avec un vecteur- vitesse \vec{v}_0 horizontal dans une région où règne un champ électrostatique uniforme \vec{E} .

2.1. Cas : $\vec{v}_0 \perp \vec{E}$

2.1.1. Etude dynamique : vecteur accélération



- Système : particule de charge q
- Référentiel terrestre supposé galiléen auquel est associé le repère (O, \vec{i}, \vec{j}) .
- Bilan des forces extérieures :
 - \vec{P} poids de la particule (*negligé*)
 - \vec{F}_e la force électrostatique.

• Appliquons le TCI ;

$$\Sigma(\vec{f}_{ext}) = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{F}_e = m\vec{a} \Leftrightarrow q\vec{E} = m\vec{a} \Rightarrow$$

$$\vec{a} = \frac{q}{m} \vec{E} = \overline{cste}$$

2.1.2. Equations horaires

- A $t = 0s$, le centre d'inertie G du projectile est O .

Dans (O, \vec{i}, \vec{j}) :

$$\vec{OG}_0 \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{cases} \quad \vec{v}_0 \begin{cases} v_{0x} = v_0 \\ v_{0y} = 0 \end{cases} \quad \vec{E} \begin{cases} E_x = 0 \\ E_y = E \end{cases}$$

- $\forall t, \vec{a} = \frac{q}{m} \vec{E} = \overline{cste} \Leftrightarrow$ mouvement uniformément varié donc

$$\vec{OG} = \frac{1}{2} \vec{a} t^2 + \vec{v}_0 t + \vec{OG}_0 \text{ et } \vec{v} = \vec{a} t + \vec{v}_0$$

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{qE}{m} \end{cases} \Rightarrow \vec{v} \begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = \frac{qE}{m} t \end{cases} \Rightarrow \vec{OG} \begin{cases} x = v_0 t \\ y = \frac{qE}{2m} t^2 \end{cases}$$

2.1.3. Equation de la trajectoire

$$x = v_0 t \Rightarrow t = \frac{x}{v_0} \Rightarrow$$

$$y = \frac{qE}{2mv_0^2} x^2$$

La trajectoire est parabolique

2.1.4. Conditions de sortie

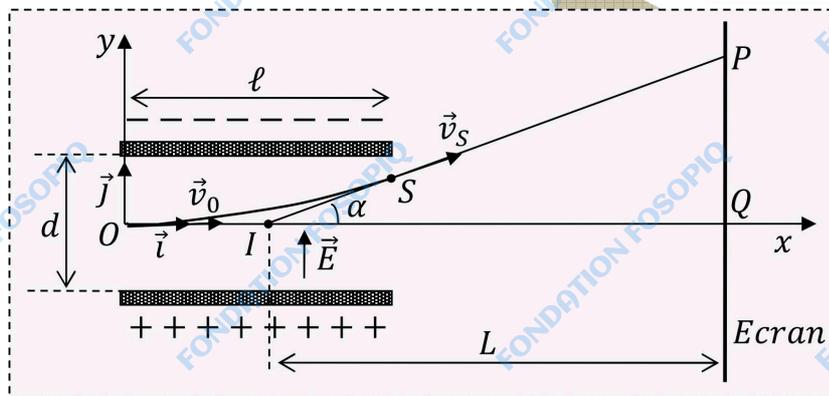
Soit S le point de sortie.

La particule sortira du champ électrostatique si :

$$x_S = \ell \text{ et } y_S \leq \frac{d}{2}$$

$$y_S = \frac{qE}{2mv_0^2} \ell^2 \leq \frac{d}{2} \Rightarrow \frac{qU\ell^2}{md^2v_0^2} \leq 1$$

2.1.5. Déflexion électrostatique



$$\tan \alpha = \frac{\ddot{Q}P}{\dot{Q}P} = \frac{\ddot{Q}P}{L} = \frac{qEL}{mv_0^2} \Rightarrow$$

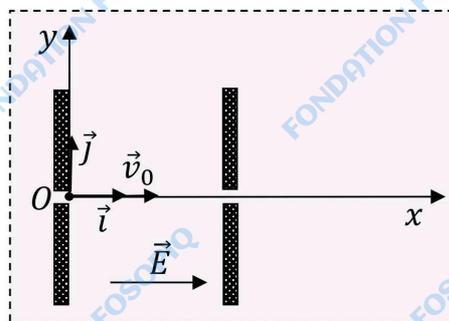
$$\overline{QP} = \frac{qE\ell L}{mv_0^2}$$

2.1.6. Nature du mouvement

Dans le champ électrostatique, la particule a un mouvement parabolique uniformément varié.

Hors de ce champ, elle a un mouvement rectiligne uniforme suivant la tangente à la parabole au point de sortie S.

2.2. Cas : $\vec{v}_0 \parallel \vec{E}$



2.2.1. Etude dynamique

On obtient de même $\vec{a} = \frac{q}{m} \vec{E} = \overline{cste}$

2.2.2. Equations horaires

• A $t = 0s$, le centre d'inertie G du projectile est O .
 Dans (O, \vec{i}, \vec{j}) :

$$\overrightarrow{OG_0} \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{cases} \quad \vec{v}_0 \begin{cases} v_{0x} = v_0 \\ v_{0y} = 0 \end{cases} \quad \vec{E} \begin{cases} E_x = E \\ E_y = 0 \end{cases}$$

• $\forall t, \vec{a} = \frac{q}{m} \vec{E} = \overline{cste} \Leftrightarrow$ mouvement uniformément varié donc
 $\overrightarrow{OG} = \frac{1}{2} \vec{a} t^2 + \vec{v}_0 t + \overrightarrow{OG_0}$ et $\vec{v} = \vec{a} t + \vec{v}_0$

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = \frac{qE}{m} \\ a_y = 0 \end{cases} \Rightarrow \vec{v} \begin{cases} v_x = \frac{qE}{m} t + v_0 \\ v_y = 0 \end{cases} \Rightarrow \overrightarrow{OG} \begin{cases} x = \frac{qE}{2m} t^2 + v_0 t \\ y = 0 \end{cases}$$

2.2.3. Nature du mouvement

La particule a un mouvement rectiligne uniformément varié, d'équation horaire

$$x = \frac{qE}{2m} t^2 + v_0 t$$

3. Energie cinétique et énergie potentielle électrostatique

Lorsqu'une particule de masse m et de charge q se déplace d'un point $A(V_A)$ vers un point $B(V_B)$ dans un champ électrostatique uniforme \vec{E} , elle subit la force électrostatique \vec{F}_e .

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_e) = q(V_A - V_B) = E_{CB} - E_{CA} \Leftrightarrow E_{CA} + qV_A = E_{CB} + qV_B$$

$$\Leftrightarrow E_{CA} + E_{PA} = E_{CB} + E_{PB}$$

Il y a conservation de l'énergie mécanique. On obtient ainsi :

$$v_B^2 - v_A^2 = \frac{2q}{m} (V_A - V_B)$$

CHAPITRE 4

Objectif général : Analyser la nature du mouvement du centre d'inertie d'un solide.

Objectif spécifique : Déterminer les caractéristiques du mouvement d'un oscillateur mécanique non amorti.

Durée : 6 heures

OSCILLATIONS MECANIQUES LIBRES

I. Oscillateurs mécaniques

1. Définition

C'est un dispositif mécanique qui effectue des mouvements de va et vient autour d'une position d'équilibre.

2. Caractéristiques générales

Un mouvement oscillatoire est un mouvement périodique de va et vient autour d'une position d'équilibre qui se répète identique à lui-même à des intervalles de temps successifs égaux.

- **Période T** est la durée d'une oscillation complète (*un va et vient*). Elle est en **seconde(s)**.
- **Fréquence N ou f** est le nombre d'oscillations complètes par unité de temps (*en une seconde*). Elle est en **Hertz(Hz)**.

$$N = \frac{1}{T}$$

Si l'oscillateur n'est soumis à aucune force dissipative (*force de frottement*), alors son énergie mécanique se conserve.

3. Oscillateur harmonique

Un oscillateur harmonique est caractérisé par une équation différentielle de type $\ddot{x} +$

$\omega_0^2 x = 0$ dont la solution est de la forme

$x = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ ou $x = X_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$,

une fonction sinusoidale du temps avec

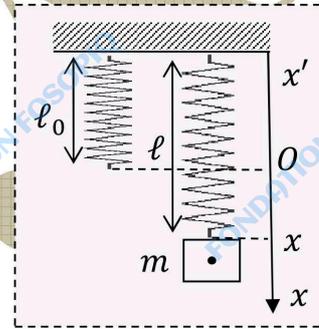
- x : élongation qui peut être angulaire, une tension, une intensité du courant....
- X_m : élongation maximale ou amplitude, toujours positive.
- ω_0 : pulsation des oscillations ($rad.s^{-1}$).
- $\omega_0 t + \varphi$: phase à l'instant t .
- φ : phase à l'origine des dates (rad).

L'oscillateur harmonique a un mouvement oscillatoire sinusoïdal.

II. Pendule élastique vertical

1. Dispositif expérimental

Le pendule élastique est constitué d'un ressort de raideur k et d'un solide de masse m , tous deux liés. Il peut être horizontal ou vertical.



2. Résultats

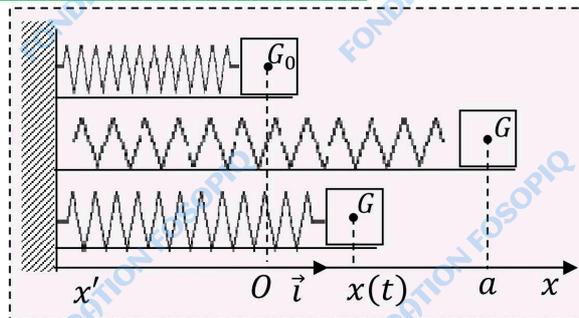
	$m = 100g$			$m = 140g$		
$x(cm)$	0,55	1	1,5	0,5	1	1,5
$10T$	7,9	7,85	7,88	9,31	9,32	9,31
$\frac{T^2}{m}$						

3. Conclusion

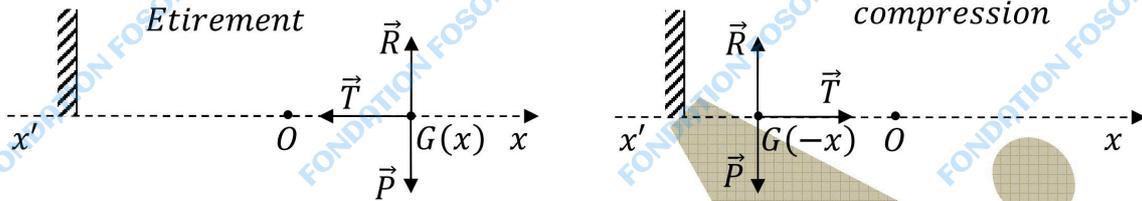
Pour un même ressort, la période T du mouvement est indépendante de x et dépendante de la masse.

III. Pendule élastique horizontal

1. Equation différentielle du pendule



- Système : solide
- Référentiel terrestre supposé galiléen auquel est associé le repère (O, \vec{i}) .
- Bilan des forces extérieures :
 - \vec{P} : poids du solide
 - \vec{R} : réactions normale du support
 - \vec{T} : tension du ressort.



- Appliquons le TCI :

$$\Sigma(\vec{F}_{ext}) = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{P} + \vec{T} + \vec{R} = m\vec{a}$$

Projetons cette relation sur l'axe $(x'x)$. on a :

$$P_x + T_x + R_x = 0 \Leftrightarrow 0 - kx + 0 = m\dot{x} \Rightarrow$$

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

2. Equation horaire du mouvement

Posons $x = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$

$$\bullet v = \dot{x} = \frac{dx}{dt} = -X_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi) = X_m \omega_0 \cos\left(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$v = V_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \Rightarrow V_m = X_m \omega_0 \text{ et } \phi = \varphi + \frac{\pi}{2}$$

On dit que v est en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur x .

$$\bullet a = \ddot{x} = -\omega_0^2 X_m \cos(\omega_0 t + \varphi) = \omega_0^2 X_m \cos(\omega_0 t + \varphi + \pi)$$

$$a = A_m \cos(\omega_0 t + \psi) \Rightarrow A_m = \omega_0^2 X_m \text{ et } \psi = \varphi + \pi.$$

On dit que a est en opposition sur x .

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = -\omega_0^2 X_m \cos(\omega_0 t + \varphi) + \frac{k}{m} X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

$$= \left(\frac{k}{m} - \omega_0^2\right) X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

Pour $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$, $\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$ donc la loi horaire $x = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ est solution de l'équation différentielle précédente.

Le pendule élastique est donc un **oscillateur harmonique linéaire de mouvement oscillatoire rectiligne sinusoïdal**, d'équation horaire

$$\mathbf{x = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \text{ ou } x = X_m \sin(\omega_0 t + \varphi)} \text{ avec :}$$

- $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ la pulsation propre du pendule
- $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ la période propre des oscillations
- $N_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ la fréquence propre des oscillations.

3. Caractéristiques du mouvement

X_m et φ sont déterminées à partir des conditions initiales.

- Cas où le ressort est étiré

À $t = 0s$, $x = x_0 > 0$ et $v = v_0 < 0$

$$x = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \Rightarrow v = -X_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$$

$$A t = 0s \Rightarrow \begin{cases} x = X_m \cos \varphi = x_0 > 0 \Rightarrow \cos \varphi > 0 \\ v = -X_m \omega_0 \sin \varphi = v_0 < 0 \Rightarrow \sin \varphi > 0 \end{cases} \Rightarrow \varphi \in \left[0; \frac{\pi}{2}\right]$$

$$\frac{-X_m \omega_0 \sin \varphi}{X_m \cos \varphi} = \frac{v_0}{x_0} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{-v_0}{x_0 \omega_0}$$

$$\text{et } X_m = \frac{x_0}{\cos \varphi} = \frac{-v_0}{\omega_0 \sin \varphi}$$

- Cas de l'abandon sans vitesse initiale

À $t = 0s$, $x = x_0 > 0$ et $v = v_0 = 0$

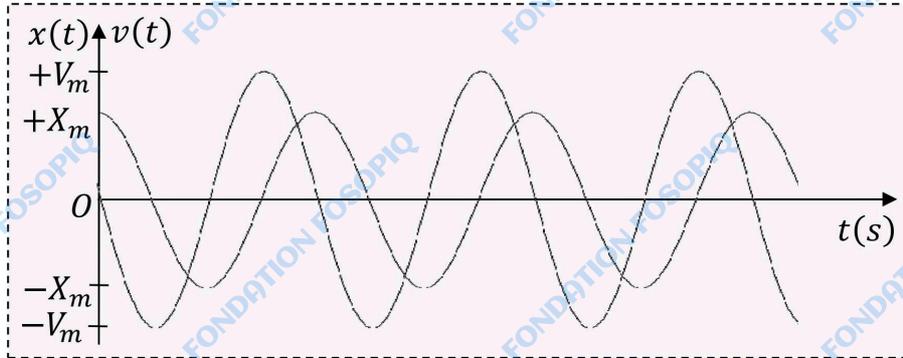
$$x = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \Rightarrow v = -X_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$$

$$A t = 0s \Rightarrow \begin{cases} x = X_m \cos \varphi = x_0 > 0 \Rightarrow \cos \varphi > 0 \\ v = -X_m \omega_0 \sin \varphi = 0 \Rightarrow \sin \varphi = 0 \end{cases} \Rightarrow \varphi = 0rad$$

$$X_m = \frac{x_0}{\cos \varphi} = x_0 \text{ d'où } x = x_0 \cos(\omega_0 t)$$

4. Représentation de $x(t)$ et $v(t)$

$$x = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \text{ et } v = -X_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$$



Application 1

IV. Etude énergétique

1. Energie potentielle électrostatique

$$\Delta E_C = E_{C2} - E_{C1} = W_{1 \rightarrow 2}(\vec{T}) + W_{1 \rightarrow 2}(\vec{P}) + W_{1 \rightarrow 2}(\vec{R}) = \frac{1}{2}k(x_1^2 - x_2^2) + 0 + 0$$

$$\Rightarrow E_{C2} + \frac{1}{2}kx_2^2 = E_{C1} + \frac{1}{2}kx_1^2 = cste \text{ d'où } E_{pe1} = \frac{1}{2}kx_1^2 \text{ et } E_{pe2} = \frac{1}{2}kx_2^2$$

Ainsi l'énergie potentielle électrostatique s'écrit :

$$E_{pe} = \frac{1}{2}kx^2$$

4. Energie mécanique totale du pendule élastique horizontal

$$E = E_C + E_{pe} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$$

- $\frac{dE}{dt} = kx\dot{x} + m\dot{x}\ddot{x} = \dot{x}(kx + m\ddot{x}) = 0 \Rightarrow E = cste$

L'énergie mécanique totale du pendule élastique non amorti se conserve dans le temps.

- $x = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \Rightarrow v = -X_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$

$$E = \frac{1}{2}k[X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)]^2 + \frac{1}{2}m[X_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)]^2 \text{ or } mk = \omega_0^2$$

$$E = \frac{1}{2}kX_m^2[\cos^2(\omega_0 t + \varphi) + \sin^2(\omega_0 t + \varphi)] \Rightarrow$$

$$E = \frac{1}{2}kX_m^2 = \frac{1}{2}mV_m^2$$

V. Oscillations mécaniques amorties

1. Oscillations amorties

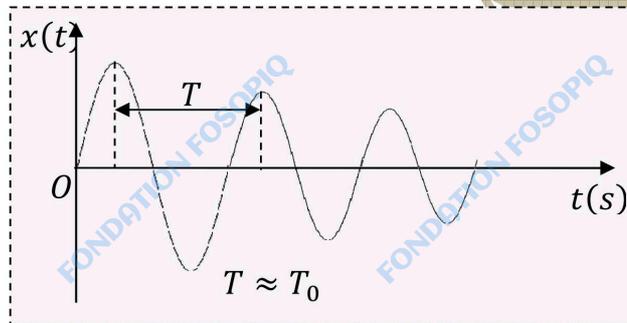
En réalité, l'amplitude d'un oscillateur mécanique diminue au cours du temps à cause de l'existence de forces de frottement. L'énergie mécanique d'un tel oscillateur diminue. Elle se transforme progressivement en chaleur.

$$\Delta E = W(\vec{f}_{frot}) < 0$$

2. Régime pseudopériodique et régime apériodique

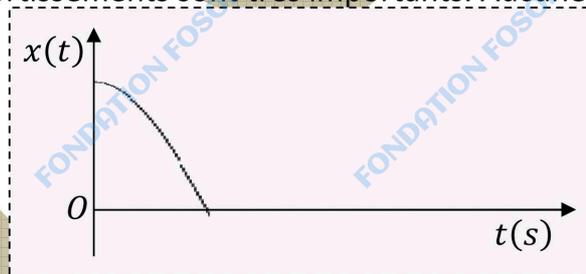
- Régime pseudopériodique :

C'est quand les amortissements sont faibles. Des oscillations sont observées avec une diminution d'amplitude.



- Régime apériodique :

C'est quand les amortissements sont très importants. Aucune oscillation n'est observée.



Applications 2 et 3

CHAPITRE 5.

Objectif général : Appliquer les lois de l'électromagnétisme pour expliquer certains phénomènes fondamentaux en électricité.

Objectif spécifique : Déterminer les caractéristiques de quelques champs magnétiques.

Durée : 4 heures

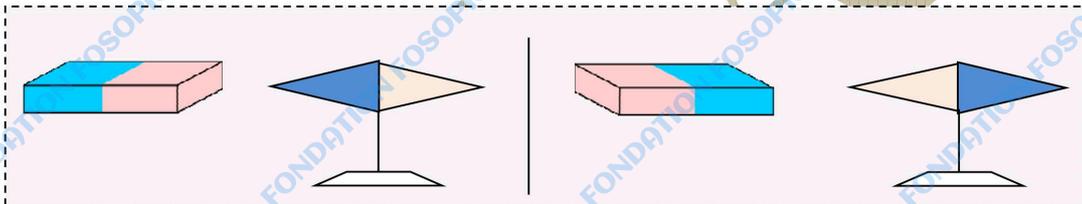
CHAMP MAGNETIQUE

I. Notion de champ magnétique

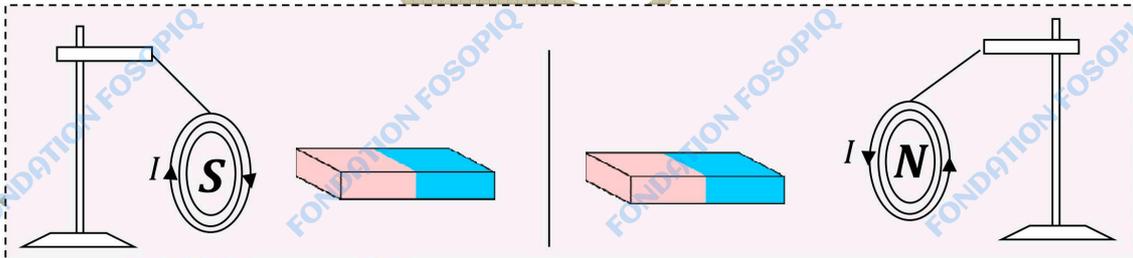
1. Mise en évidence du champ magnétique

1.1. Expériences

- **Action d'un aimant sur une aiguille aimantée**



- **Action d'une bobine traversée par un courant électrique sur une aiguille aimantée.**



1.2. Observations

Lorsqu'on approche un aimant ou une bobine traversée par un courant électrique d'une aiguille aimantée, celle-ci dévie et prend une direction bien définie. Cette direction dépend des pôles de l'aimant et des faces de la bobine.

1.3. Interprétation

Dans l'espace entourant l'aimant et la bobine, l'aiguille subit une force. Cet espace est caractérisé par une grandeur vectorielle dont le sens est lié aux pôles de l'aimant ainsi qu'aux faces de la bobine.

1.4. Conclusion

L'espace entourant un aimant, la terre et une bobine traversée par un courant électrique est le siège d'un champ magnétique caractérisé par une grandeur vectorielle en ses points.

2. Définition du champ magnétique

C'est l'espace qui entoure un aimant, une bobine traversée par un courant électrique et la terre dans lequel une aiguille aimantée subit une déviation et prend une direction bien précise.

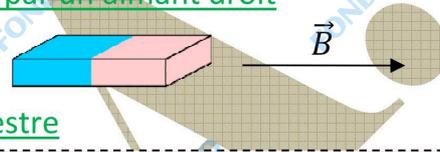
II. Vecteur champ magnétique

1. Définition

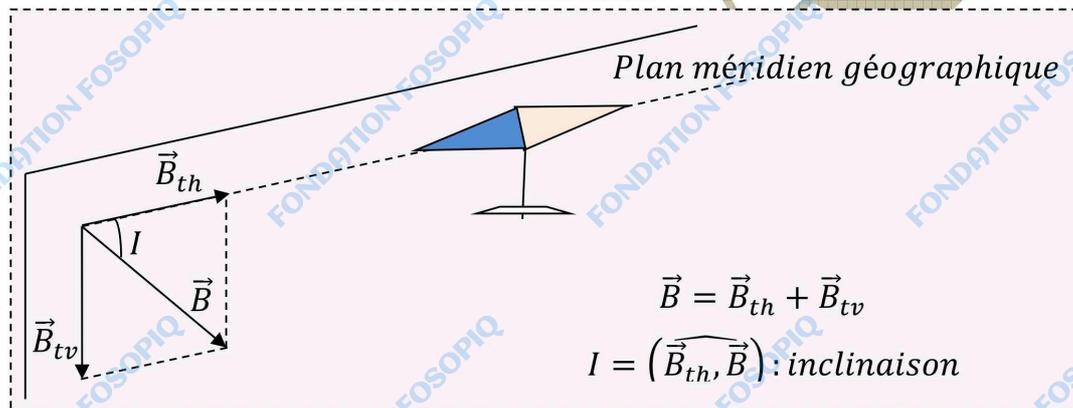
Le vecteur champ magnétique noté \vec{B} est la grandeur vectorielle qui caractérise un champ magnétique en chacun de ses points. Il est exprimé en **tesla (T)** et est mesuré par un **tesla mètre**.

2. Vecteur champ magnétique créée par un aimant droit

- **Direction** : axe de l'aimant
- **Sens** : pôle sud vers le pôle nord



3. Vecteur champ magnétique terrestre



Le vecteur champ magnétique terrestre est uniforme dans une certaine région limitée de l'espace. Sa norme est de l'ordre de $4 \cdot 10^{-5} T$. Il se superpose toujours aux autres vecteurs champs magnétiques.

4. Vecteur champ magnétique créée par une bobine longue traversée par un courant électrique

4.1. Définition d'un solénoïde

C'est une bobine longue constituée par un fil électrique régulièrement enroulé. Un enroulement est appelé une spire. On qualifie la bobine de long si

$\ell \geq 10r$ avec ℓ la longueur de la bobine et r son rayon de base. Lorsqu'elle est traversée par un courant, elle a deux faces : une face sud et une face nord.

4.2. Sens du vecteur champ magnétique

Il est orienté de la face sud vers la face nord du solénoïde. On identifie ces faces à partir de plusieurs règles dont :

- **Règle du bonhomme d'ampère :**

Coucher sur la bobine en regardant à l'intérieur de sorte que le courant lui entre par les pieds et sort par la tête, il tend sa main gauche qui indique la face nord.



• **Règle des lettres S et N :**

Regardant l'une des faces de la bobine, si le courant circule dans le sens des aiguilles d'une montre, alors cette face est la face sud et l'autre la face nord ; si le courant circule dans le sens contraire alors cette face est la face nord et l'autre la sud.



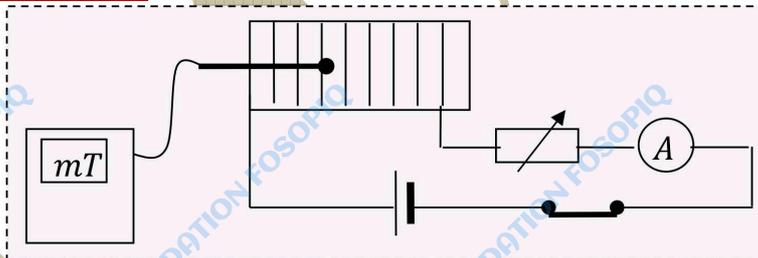
Remarque :

⊙ *vecteur sortant*

⊗ *vecteur entrant*

4.3. Direction et norme du vecteur champ magnétique

• **Dispositif d'étude**



• **Tableaux de mesures**

- $\ell_1 = 50\text{cm}$ et $N_1 = 240\text{spires}$

I(A)	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
$B_1(10^{-5}\text{T})$	60	85	120	150	190	215	245	275

- $\ell_2 = 80\text{cm}$ et $N_2 = 768\text{spires}$

I(A)	1	2	3
$B_2(10^{-5}\text{T})$	120	240	480

• **Exploitation des résultats**

La courbe est une droite dont l'équation est $B_1 = kI$ (1)

$$- \frac{N_1}{\ell_1} = \frac{240}{0,5} = 480 = n_1; \frac{N_2}{\ell_2} = \frac{768}{0,8} = 960 = n_2; \frac{n_2}{n_1} = \frac{960}{240} = 2$$

On remarque que $\frac{B_2}{B_1} = 2 = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow B = k'n$ (2)

1 et 2 $\Rightarrow B$ est à la fois proportionnel à I et n d'où $B = k''nI$ (3)

$$- k = \frac{\Delta B_1}{\Delta I} = 6 \cdot 10^{-4} T \cdot A^{-1}; k'' = \frac{k}{n_1} = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{480} = 1,25 \cdot 10^{-6} SI$$

Or $4\pi 10^{-7} = 1,25 \cdot 10^{-6} SI \Rightarrow k'' = 4\pi 10^{-7} = \mu_0$

• **Conclusion**

Dans un solénoïde long, le champ magnétique est **uniforme** sauf au voisinage de ses extrémités. Il a pour direction, **l'axe du solénoïde** et pour norme :

$$B = \mu_0 n I = \mu_0 \frac{N}{\ell} I$$

Avec $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ perméabilité du vide.

$n = \frac{N}{\ell}$ le nombre de spires par mètre.

N le nombre de spires

ℓ la longueur de la bobine (m)

I L'intensité du courant (A)

III. **Topographie des champs magnétiques**

1. **Lignes de champ**

Ce sont des courbes tangentes au vecteur champ magnétique en chacun de ses points.

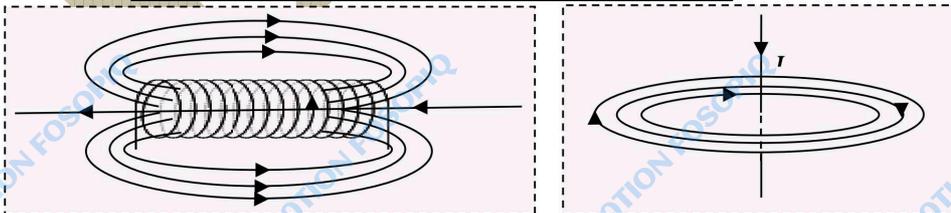
- Elles sont orientées dans le sens du vecteur champ magnétique.
- Plus elles sont serrées, plus le champ est intense.
- Elles ne se rencontrent jamais sauf dans la source.
- Elles sont parallèles quand le champ est uniforme.

2. **Spectre magnétique**

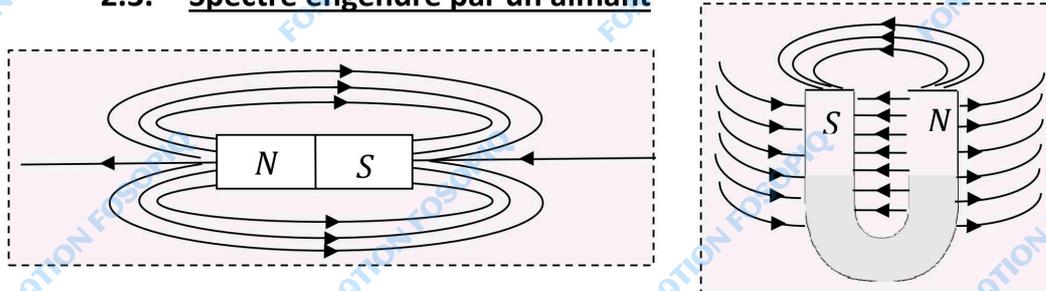
2.1. **Définition**

C'est l'ensemble des lignes de champ magnétique d'une source.

2.2. **Spectre engendré par un circuit électrique**



2.3. **Spectre engendré par un aimant**



CHAPITRE 6

Objectif général : Appliquer les lois de l'électromagnétisme pour expliquer certains phénomènes fondamentaux en électricité.

Objectifs spécifiques :

- Connaître les caractéristiques de la force de Lorentz.
- Appliquer la relation $\Sigma(\vec{f}_{ext}) = m\vec{a}$ pour étudier le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme.

Durée : 6 heures

MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGÉE DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE UNIFORME

I. Produit vectoriel de deux vecteurs

1. Définition

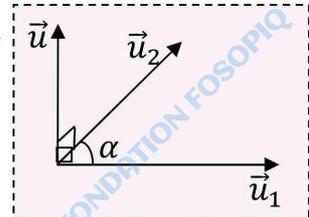
Le produit vectoriel des vecteurs \vec{u}_1 et \vec{u}_2 pris dans cet ordre, est le vecteur \vec{u} défini par

$\vec{u} = \vec{u}_1 \wedge \vec{u}_2$ tel que :

- \vec{u} est orthogonal à la fois à \vec{u}_1 et à \vec{u}_2 c'est-à-dire $\vec{u} \perp \mathcal{P}(\vec{u}_1, \vec{u}_2)$.
- le trièdre $(\vec{u}_1, \vec{u}_2, \vec{u})$ direct.
- $\|\vec{u}\| = \|\vec{u}_1\| \times \|\vec{u}_2\| \times \sin(\widehat{\vec{u}_1, \vec{u}_2})$

2. Propriétés

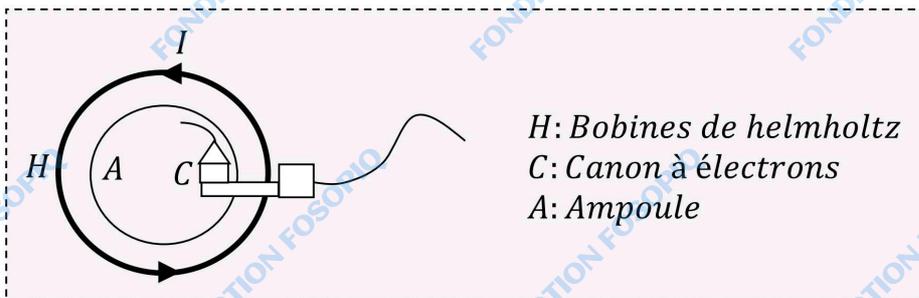
- Si $\vec{u}_1 \parallel \vec{u}_2$ alors $\vec{u} = \vec{0}$
- Le produit vectoriel n'est pas commutatif c'est-à-dire $\vec{u}_1 \wedge \vec{u}_2 = -\vec{u}_2 \wedge \vec{u}_1$
- Le sens de \vec{u} est donné par la règle des trois doigts de la main droite.



II. Force magnétique ou force de Lorentz

1. Mise en évidence de la force

1.1. Dispositif expérimental



1.2. Résultats expérimentaux

- $C \perp \vec{B}$: En absence de courant électrique dans la bobine, la trajectoire est rectiligne. En présence de courant électrique, la trajectoire dévie et s'incurve dans un plan orthogonal à \vec{B} . Les électrons subissent alors une force. Lorsque l'on augmente l'intensité du courant, \vec{B} augmente et la trajectoire s'incurve jusqu'à devenir un cercle dont le rayon diminue. Lorsque le sens du courant change, la courbure change de sens.
- $C \parallel \vec{B}$ et $\vec{B} = \vec{0}$: La trajectoire des électrons reste rectiligne. Elle n'est pas déviée.

1.3. Conclusion

Lorsqu'un corps chargé, est en mouvement dans un champ magnétique \vec{B} avec un vecteur -vitesse qui ne lui est pas parallèle, il subit une force qui dépend de \vec{B} et du vecteur- vitesse. C'est la force de Lorentz.

2. Force de Lorentz

Un corps portant une charge q et animé d'un vecteur- vitesse \vec{v} dans un champ magnétique \vec{B} subit une force appelée force magnétique ou force de Lorentz d'expression :

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

Remarque :

$$\vec{F}_m = \vec{0} \Rightarrow \begin{cases} q = 0: \text{particule neutre} \\ \vec{v} = \vec{0}: \text{particule immobile} \\ \vec{B} = \vec{0} \\ \vec{B} \parallel \vec{v} \end{cases}$$

3. Caractéristiques de la force de Lorentz

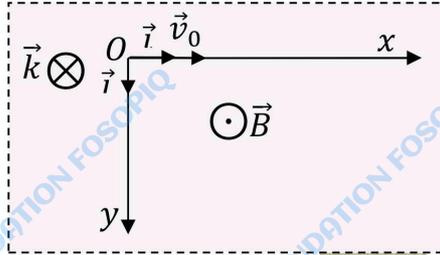
- Direction : $\vec{F}_m \perp \vec{v}$ et $\vec{F}_m \perp \vec{B}$ c'est-à-dire $\vec{F}_m \perp \mathcal{P}(\vec{v}, \vec{B})$
- Norme : $F_m = vB / q \sin(\widehat{\vec{v}, \vec{B}}) /$
- Sens : il est donné par la règle des trois doigts de la main droite

Application 1

III. Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme

1. Etude dynamique : vecteur accélération

Enoncé : Une particule de masse m , de charge $q > 0$, pénètre par un point O avec un vecteur -vitesse horizontale \vec{v}_0 , dans une région où règne un champ magnétique uniforme \vec{B} tel que $\vec{B} \perp \vec{v}_0$. Etudions le mouvement du centre d'inertie G de cette particule.



- Système : particule de charge q .
- Référentiel terrestre supposé galiléen auquel est associé le repère $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$.
- Bilan des forces extérieures : \vec{F}_m force de Lorentz et \vec{P} poids de la particule négligeable.
- Appliquons le théorème du centre d'inertie :

$$\sum(\vec{f}_{ext}) = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{F}_m = q\vec{v} \wedge \vec{B} = m\vec{a} \Rightarrow$$

$$\vec{a} = \frac{q\vec{v} \wedge \vec{B}}{m}$$

2. Etude cinématique

A $t = 0s$, la particule est en O .

$$\overrightarrow{OG_0} \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \\ z_0 = 0 \end{cases} \quad \vec{v}_0 \begin{cases} v_{0x} = v_0 \\ v_{0y} = 0 \\ v_{0z} = 0 \end{cases}$$

• $\forall t, \vec{a} \perp \vec{B}$ et $\vec{B} \parallel \vec{k} \Rightarrow \vec{a} \perp \vec{k} \Rightarrow a_z = 0 = \frac{dv_z}{dt} \Rightarrow v_z = cste = 0 = \frac{dz}{dt}$
 $\Rightarrow z = cste = z_0 = 0$

$\forall t; z = 0$ donc la particule a un mouvement plan qui s'effectue dans le plan orthogonal à \vec{B} contenant \vec{v}_0 .

• $\forall t, \vec{a} \perp \vec{v} \Rightarrow \vec{a} = \vec{a}_n$ dans le repère de Fresnel. Or $\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$
 $\Rightarrow \vec{a}_t = \vec{0} \Rightarrow v = cste = v_0$.

La particule a donc un mouvement uniforme dans le champ magnétique.

• $\forall t, \vec{a} = \vec{a}_n \Rightarrow a = a_n \Leftrightarrow \frac{v_0^2}{\rho} = \frac{|q|}{m} v_0 B \Rightarrow \rho = \frac{mv_0}{|q|B}$

Or $m = cste, q = cste, B = cste, v_0 = cste \Rightarrow \rho = cste = R$.

La particule a un mouvement circulaire de rayon

$$R = \frac{mv_0}{|q|B}$$

• **Conclusion :**

Dans un champ magnétique uniforme, lorsque $\vec{B} \perp \vec{v}_0$, la particule a un **mouvement circulaire uniforme** qui s'effectue dans le plan orthogonal à \vec{B} contenant \vec{v}_0 . Le rayon de sa trajectoire est d'expression :

$$R = \frac{mv_0}{qB}$$

3. Autres caractéristiques

• **Puissance instantanée**

$\mathcal{P} = \vec{F}_m \cdot \vec{v}$ et $\vec{F}_m = q\vec{v} \wedge \vec{B} \Rightarrow \mathcal{P} = 0$. Le champ magnétique conserve l'énergie cinétique mais modifie la direction du vecteur- vitesse.

• **Quantité de mouvement :**

$$p = mv_0 = R / q / B$$

• **Vitesse angulaire :**

$$\omega = \frac{v_0}{R} = \frac{qB}{m}$$

• **Période :**

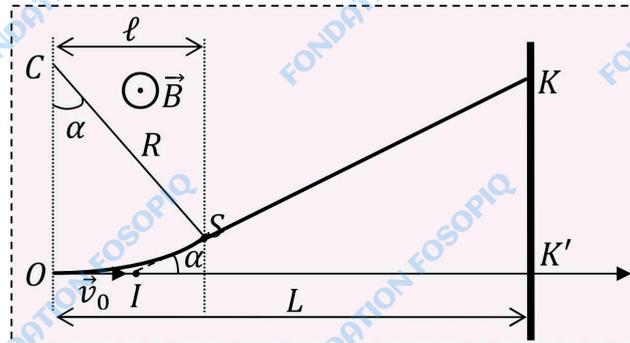
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$$

IV. Applications pratiques

1. La déflexion magnétique

Considérons un faisceau de particules identiques de masse m , de charge $q > 0$, qui pénètre par un point O , dans une région de largeur ℓ où règne un champ magnétique uniforme \vec{B} , avec un vecteur- vitesse horizontal \vec{v}_0 tel que $\vec{B} \perp \vec{v}_0$.

Dans le champ magnétique, les particules décrivent un arc de cercle de rayon R . Elles sortent ensuite du champ magnétique par le point S avec un mouvement rectiligne uniforme suivant la tangente à l'arc de cercle en S . Déterminer la déflexion magnétique $D_m = K'K$.



$\sin \alpha = \frac{R}{\ell}$ et $\tan \alpha = \frac{D_m}{IKr}$ Or α est très petit $\Rightarrow \sin \alpha = \tan \alpha$ et $L \gg OI$

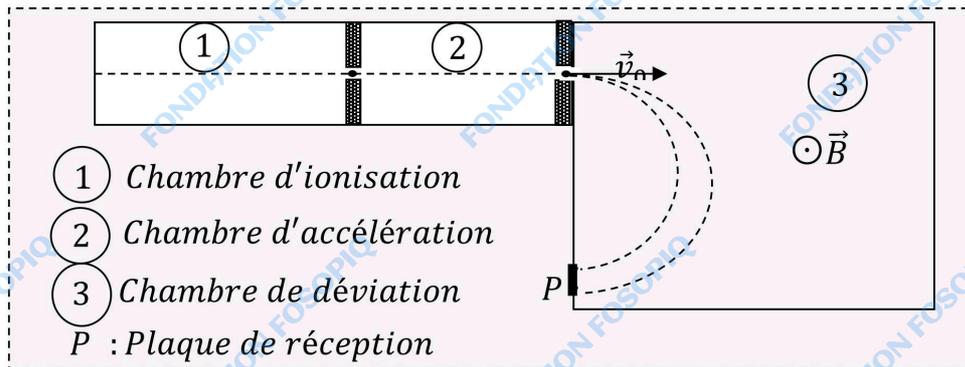
$\sin \alpha = \tan \alpha \Leftrightarrow \frac{D_m}{IK} = \frac{R}{\ell} \Rightarrow$

$$D_m = \frac{qBL\ell}{mv_0}$$

• **Application 2**

2. **Spectromètre de masse**

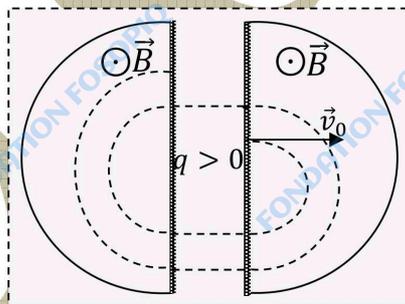
Il permet de trier les isotopes d'un élément chimique c'est-à-dire des ions de masses différentes.



• **Application 3**

3. **Cyclotron**

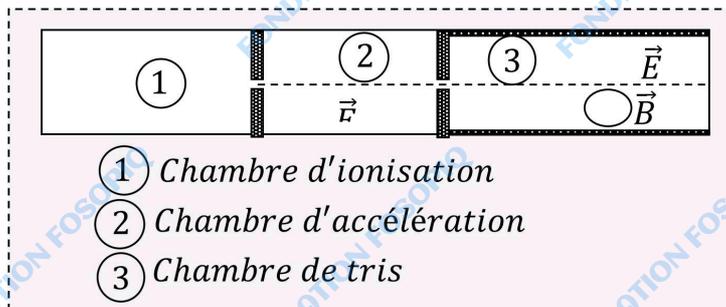
Il permet d'accélérer les particules chargées. Il est formé de deux dés dans lesquels règne un champ magnétique uniforme \vec{B} . Dans l'espace entre ces dés, est appliquée une tension alternative.



• **Application 4**

4. **Filtre de vitesse ou filtre de Wien**

Il permet de trier les particules à partir de leurs vitesses. Dans cette chambre régent simultanément un champ magnétique uniforme \vec{B} et un champ électrostatique Uniforme \vec{E} tel que $\vec{B} \perp \vec{E}$.



• **Application 5**

CHAPITRE 7

Objectif général : Appliquer les lois de l'électromagnétisme pour expliquer certains phénomènes fondamentaux en électricité.

Objectif spécifique : Appliquer la loi de Laplace à un élément de circuit parcouru par un courant continu et placé dans un champ magnétique uniforme.

Durée : 4 heures

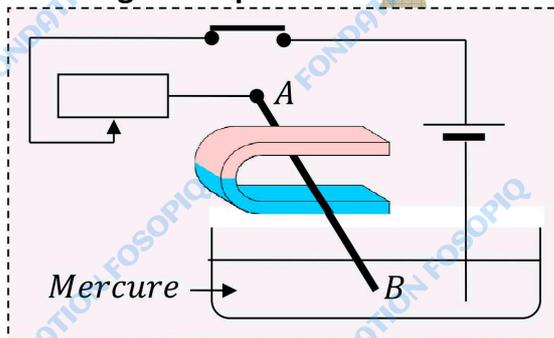
LOI DE LAPLACE

I. Force électromagnétique ou force de Laplace

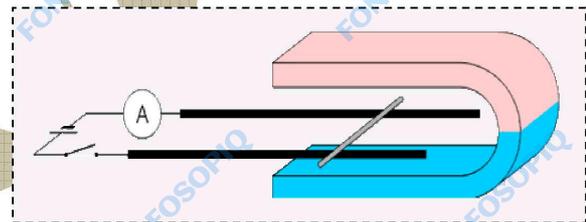
1. Mise en évidence de la force

1.1. Expériences

Tige de Laplace



Rails de Laplace



1.2. Observations

- **Tige de Laplace** :

- En absence de courant électrique et lorsque la direction sud-nord de l'aimant est parallèle à la tige, elle ne dévie pas. La tige AB reste verticale.
- Lorsqu'on ferme l'interrupteur et on approche un aimant, la tige dévie. Le sens de déviation dépend des pôles de l'aimant, du sens de parcours du courant et de la longueur de la tige dans le champ.

- **Rails de Laplace** :

- En absence de courant électrique et lorsque la direction sud-nord de l'aimant est parallèle à la barre, elle reste immobile sur les rails.
- Lorsqu'on ferme l'interrupteur et on approche un aimant, la barre se met en mouvement sur les rails. Le sens de déplacement dépend des pôles de l'aimant, du sens de parcours du courant et de la longueur de la barre dans le champ.

1.3. Interprétation et conclusion

La déviation de la tige et le déplacement de la barre sont dus à une force qui dépend du sens de parcours du courant, de l'intensité du courant, du champ magnétique et de la longueur de conducteur dans le champ. Cette force est dite force électromagnétique ou force de Laplace.

2. Enoncé de la loi de Laplace

Lorsqu'une portion de fil conducteur rectiligne de longueur ℓ , parcourue par un courant électrique d'intensité I , est placée dans un champ magnétique uniforme \vec{B} , elle subit la force de Laplace appliquée en son milieu et d'expression :

$$\vec{F}_{em} = I \vec{\ell} \wedge \vec{B}$$

Avec $\vec{\ell}$ indiquant le sens du courant électrique dans le conducteur. Cette force a pour caractéristiques :

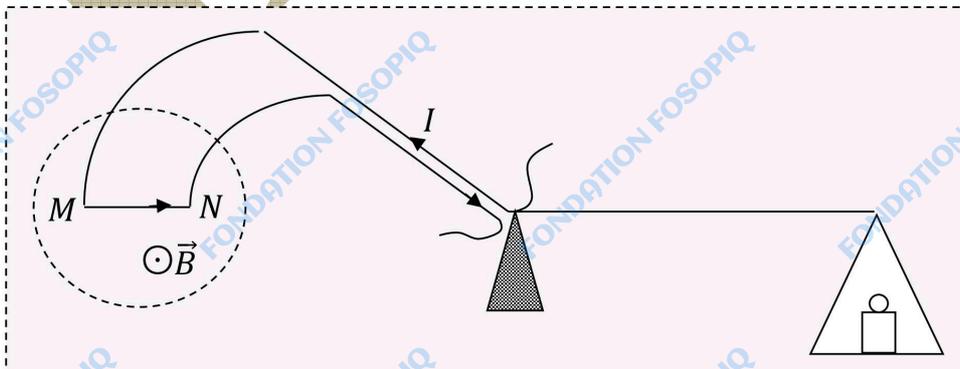
- **Direction** : $\vec{F}_{em} \perp \vec{\ell}$ et $\vec{F}_{em} \perp \vec{B}$ c'est-à-dire $\vec{F}_{em} \perp \mathcal{P}(\vec{\ell}, \vec{B})$
- **Norme** : $F_{em} = \ell B / q \sin(\widehat{\vec{\ell}, \vec{B}}) /$
- **Sens** : il est donné par la règle des trois doigts de la main droite

Application 1

II. Applications pratiques : Balance de COTTON

1. Dispositif

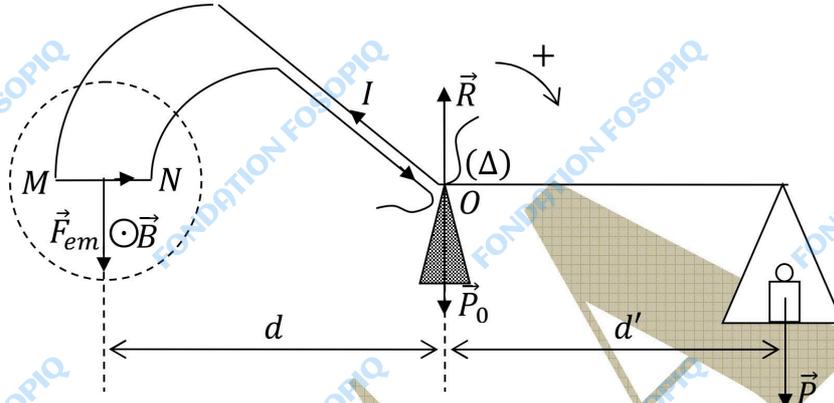
Elle permet de déterminer l'intensité du vecteur champ magnétique.



2. Etude théorique

Pour un courant d'intensité I donnée, traversant la balance et un champ magnétique uniforme \vec{B} donné, on établit l'équilibre de la balance à l'aide de masses marquées.

- Système : balance
- Référentiel terrestre supposé galiléen.
- Bilan des forces : \vec{P} poids des masses marquées, \vec{R} réaction du couteau, \vec{P}_0 poids de la balance et \vec{F}_{em} la force de Laplace appliquée au milieu de MN .



- Appliquons le théorème des moments :

$$\sum \mathcal{M}_\Delta = 0 \Leftrightarrow \mathcal{M}_\Delta(\vec{P}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{R}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{P}_0) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_{em}) = 0$$

$$\Leftrightarrow mgd' - F_{em}d + 0 + 0 = 0 \Rightarrow$$

$$B = \frac{mgd'}{I\ell d}$$

avec $\ell = MN$

- Application 4

CHAPITRE 8

Objectif général : Appliquer les lois de l'électromagnétisme pour expliquer certains phénomènes fondamentaux en électricité.

Objectif spécifique : Appliquer la loi de l'électromagnétisme pour expliquer le phénomène d'auto-induction.

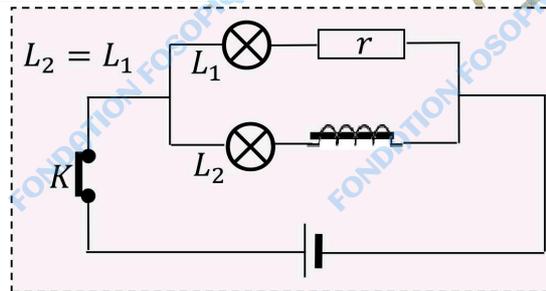
Durée : 4 heures

AUTO-INDUCTION

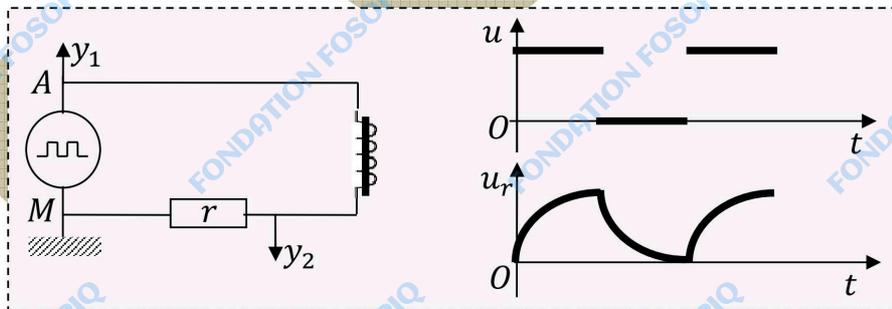
I. Mise en évidence du phénomène d'auto-induction

1. Expériences

1.1. Allumage de lampes



1.2. Etablissement et annulation de courant



2. Résultats

- La lampe L_1 brille instantanément alors que la lampe L_2 brille progressivement à cause de la bobine.
- Le courant n'atteint pas immédiatement sa valeur maximale et s'annule progressivement quand la tension est nulle.

3. Interprétation

La bobine s'oppose à la variation de l'intensité du courant qui va créer en son sein une force électromotrice auto induite qui la transforme pendant la phase de variation, en un générateur monté en opposition sur le générateur du circuit. Ce phénomène est l'auto-induction.

4. Définition de l'auto-induction

C'est l'apparition dans la bobine d'une force électromotrice (*f. e. m.*) auto induite résultant de la variation de l'intensité du courant électrique qui la traverse.

II. Tension aux bornes d'une bobine

1. Inductance d'une bobine

C'est une caractéristique propre aux bobines. Elle dépend de leur forme. Elle se note L et s'exprime en henry (H). Elle a pour expression :

$$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{\ell}$$

Avec ℓ la longueur de la bobine (m), N le nombre de spires, S la surface de section (m^2).

Remarque :

La bobine peut avoir une deuxième caractéristique : sa résistance r .

Application 2

2. Loi d'auto-induction

La f.é.m. d'auto-induction notée e est donnée par la relation :

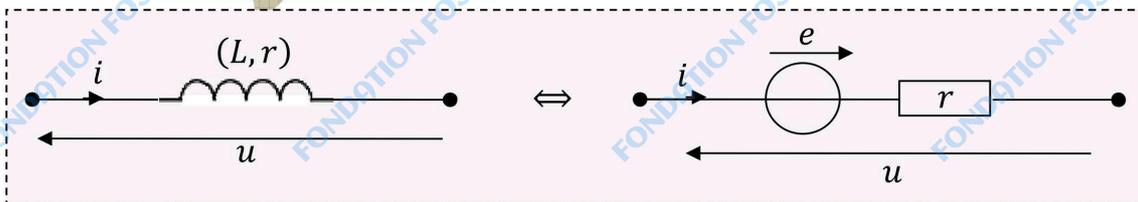
$$e = -L \frac{di}{dt}$$

Avec e est en volt (V)

Si r est la résistance de la bobine alors :

$$i_{ind} = \frac{e}{r} = -\frac{L}{r} \frac{di}{dt}$$

3. Expression de la tension



$$u = ri - e$$

\Leftrightarrow

$$u = ri + L \frac{di}{dt}$$

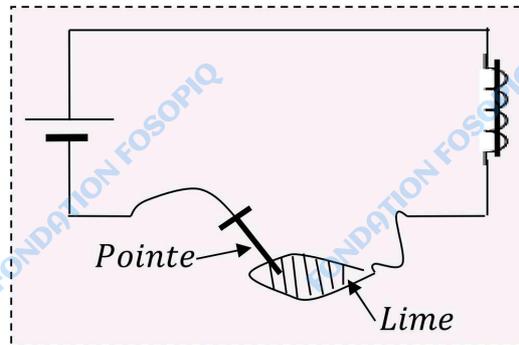
Application 1

Application 3

III. Energie emmagasinée dans une bobine

1. Mise en évidence

1.1. Expérience : étincelle de rupture



1.2. Résultats

Lorsqu'on déplace la pointe sur la lime, on voit apparaître des étincelles.

1.3. Interprétation et conclusion

Lorsqu'on déplace la pointe, le circuit se ferme et s'ouvre.

A la fermeture, la bobine emmagasine de l'énergie.

A l'ouverture, cette énergie est dissipée sous forme d'étincelles. La bobine est donc un réservoir d'énergie.

2. Expression de l'énergie stockée

$$\mathcal{P}_{re} = u \cdot i = \left(ri + L \frac{di}{dt} \right) i = ri^2 + Li \frac{di}{dt} = ri^2 + \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} Li^2 \right)$$

$$\mathcal{P}_{re} \cdot dt = ri^2 dt + d \left(\frac{1}{2} Li^2 \right) \Leftrightarrow \mathcal{E}_{re} = \mathcal{E}_j + \mathcal{E}_m \Rightarrow$$

$$\mathcal{E}_m = \frac{1}{2} Li^2$$

- [Application 4](#)
- [Application 5](#)

CHAPITRE 9

Objectif général : Appliquer les lois de l'électromagnétisme pour expliquer certains phénomènes fondamentaux en électricité.

Objectif spécifique : Interpréter les résultats des montages intégrateurs et dérivateurs.

Durée : 2 heures

MONTAGE DERIVATEUR MONTAGE INTEGRATEUR

I. Rappels

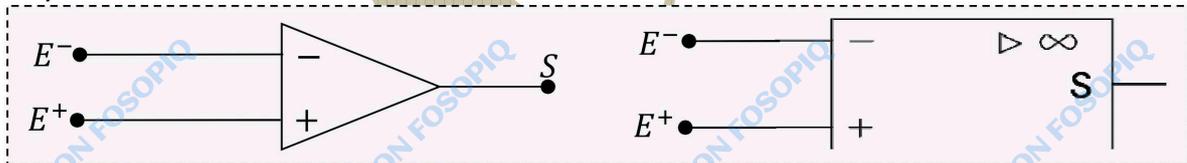
1. Amplificateur opérationnel

1.1. Présentation

Un amplificateur opérationnel (AO) est un circuit intégré sur un même support de plusieurs transistors, diodes et résistors (une douzaine de chaque). Il présente :

- Deux entrées : E^+ entrée non inverseuse et E^- entrée inverseuse.
- Une sortie S .

Son symbole est :



1.2. Caractéristiques d'un amplificateur opérationnel

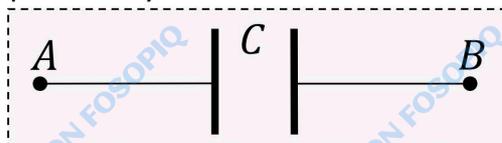
Il possède deux modes de fonctionnement : **régime linéaire** et **régime de saturation**.
En régime linéaire, un amplificateur opérationnel parfait ou idéal a les caractéristiques suivantes :

- $V_{E^+} = V_{E^-} = 0$
- $i^- = i^+ = 0$

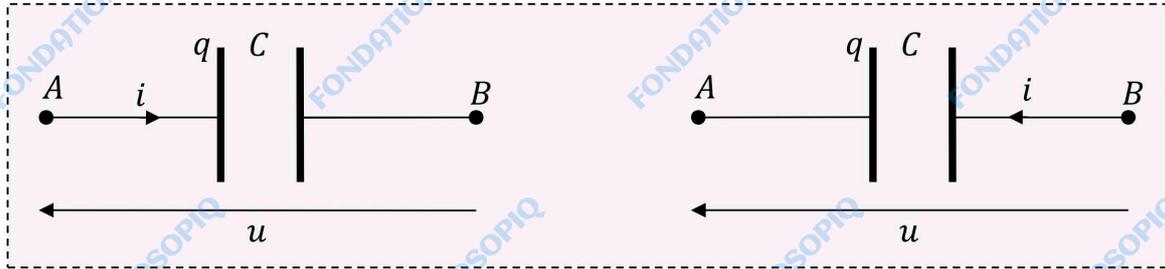
2. Le condensateur

2.1. Définition

C'est un ensemble de deux conducteurs parallèles séparés par un isolant de faible épaisseur appelé diélectrique. Son symbole est :



2.2. Tension et intensité aux bornes d'un condensateur



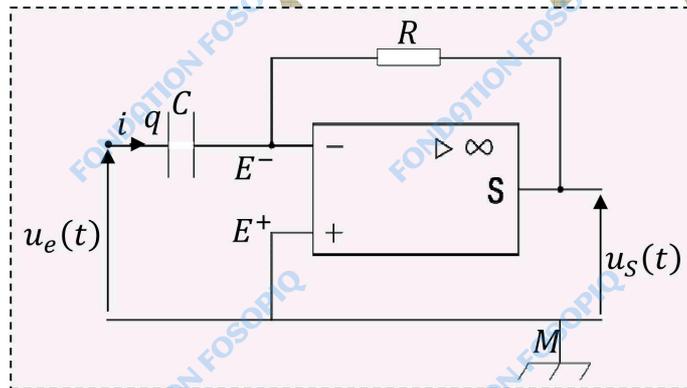
$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$q = Cu$$

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

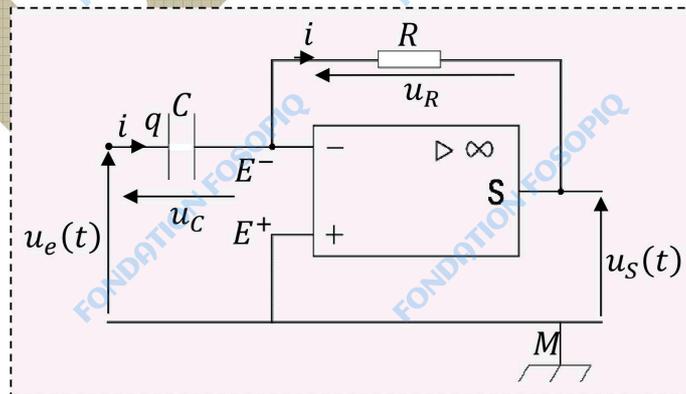
II. Montage dérivateur

1. Schéma du montage



$u_e(t)$ la tension d'entrée et $u_s(t)$ la tension de sortie.

2. Relation entre $u_s(t)$ et $u_e(t)$



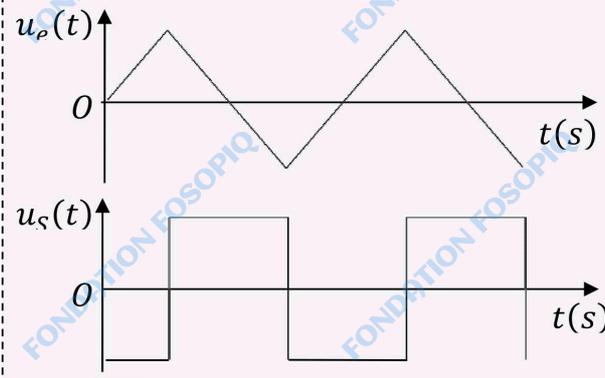
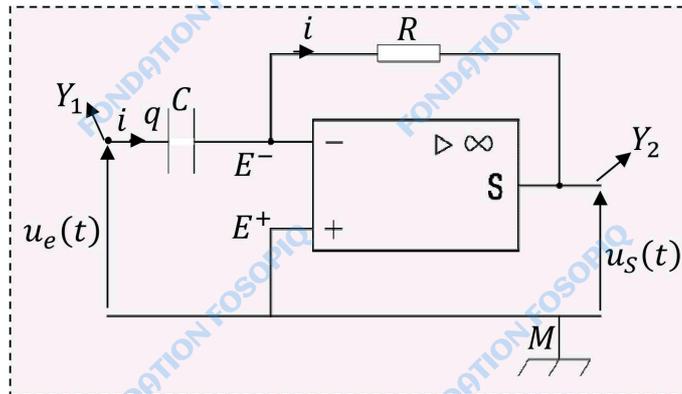
$$u_e(t) = u_c = \frac{q}{C} \quad (1) ; \quad u_s(t) = -u_R = -Ri \quad (2) ; \quad i = \frac{dq}{dt}$$

$$(1) \Rightarrow \frac{du_e(t)}{dt} = \frac{1}{C} \frac{dq}{dt} \text{ et } (2) \Rightarrow u_s(t) = -R \frac{dq}{dt} \Rightarrow$$

$$u_s(t) = -RC \frac{du_e(t)}{dt}$$

La tension de sortie est proportionnelle à la dérivée de la tension d'entrée par rapport au temps.

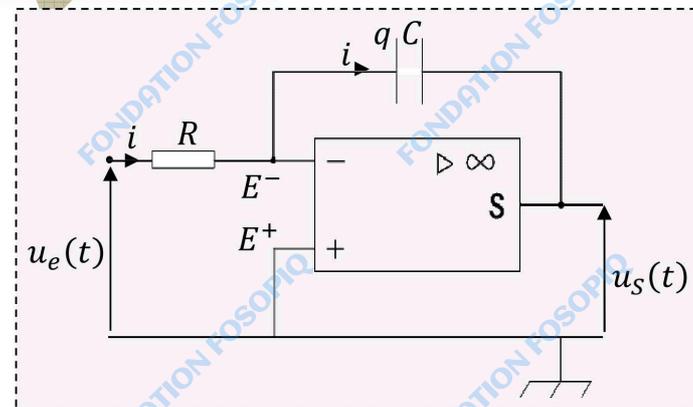
3. Visualisation de $u_s(t)$ et $u_e(t)$



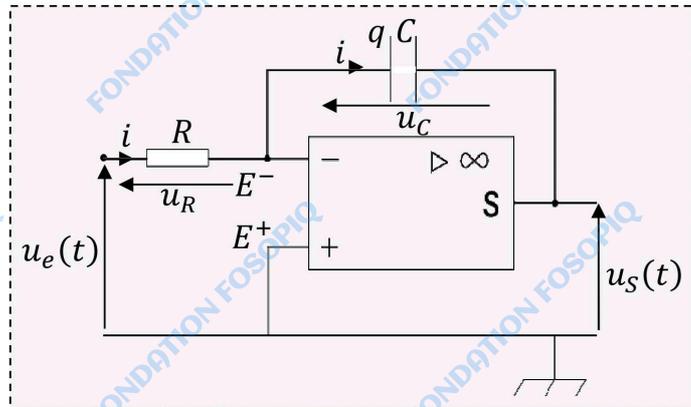
4. applications

III. Montage intégrateur

1. Schéma du montage



2. Relation entre $u_s(t)$ et $u_e(t)$



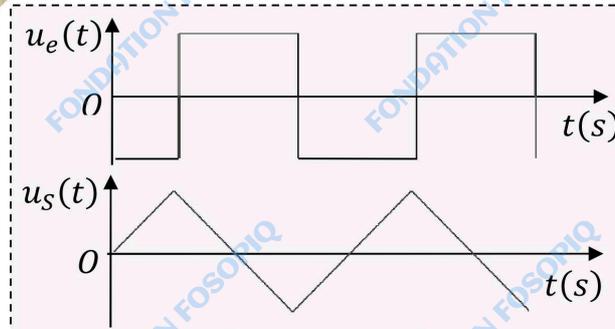
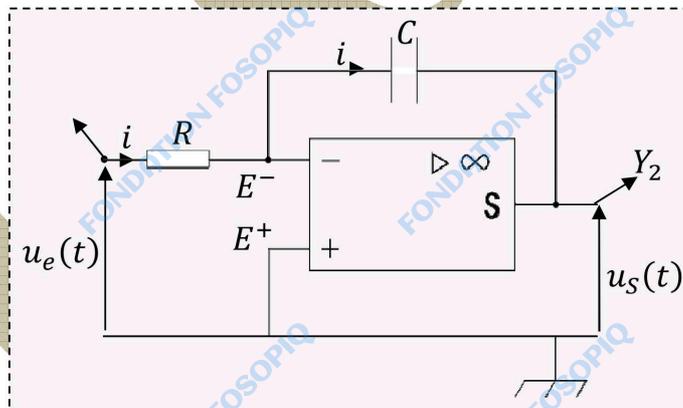
$$u_e(t) = u_R = Ri \quad (1) ; \quad u_s(t) = -u_C = -\frac{q}{C} \quad (2) ; \quad i = \frac{dq}{dt}$$

$$(1) \Rightarrow u_e(t) = R \frac{dq}{dt} \text{ et } (2) \Rightarrow \frac{du_s(t)}{dt} = -\frac{dq}{dt} \Rightarrow$$

$$u_s(t) = -\frac{1}{RC} \int u_e(t) dt$$

La tension de sortie est proportionnelle à l'intégrale de la tension d'entrée.

3. Visualisation de $u_s(t)$ et $u_e(t)$



4. Applications

CHAPITRE 10

Objectif général : Appliquer les lois de l'électricité à l'étude de quelques circuits électriques.

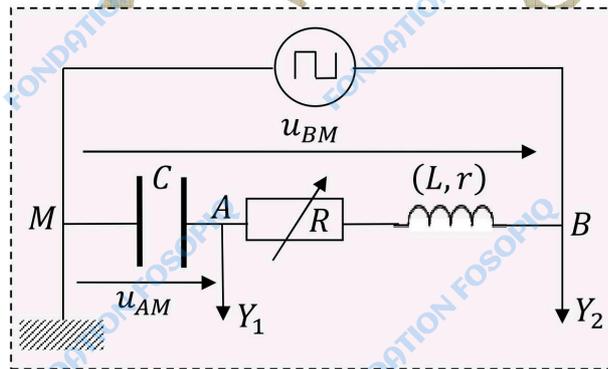
Objectif spécifique : Etablir l'équation différentielle, sa solution et les caractéristiques du circuit (L, C).

Durée : 6 heures

OSCILLATIONS ELECTRIQUES LIBRES DANS UN CIRCUIT (L, C)

I. Etude expérimentale de la charge et de la décharge d'un condensateur dans une bobine.

1. Dispositif expérimental



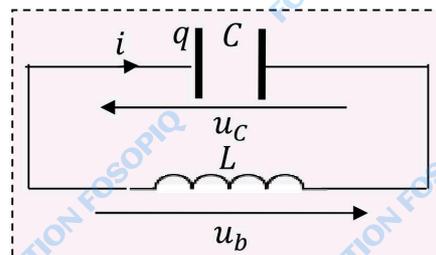
2. Résultats

3. Conclusion

Des oscillations électriques sont observées au cours de la charge et de la décharge d'un condensateur. La période de ces oscillations dépend des caractéristiques du circuit. L'amplitude de ces oscillations diminue avec la résistance.

II. Etude de la décharge d'un condensateur dans une bobine pure

1. Equation différentielle du circuit



- Aux bornes du condensateur : $u_C = \frac{q}{C}$
- Aux bornes de la bobine : $u_b = -e = L \frac{di}{dt}$
- Intensité du courant : $i = \frac{dq_A}{dt} = \frac{dq}{dt}$
- $u_C + u_b = 0 \Leftrightarrow \frac{q}{C} + L \frac{di}{dt} = 0 \Leftrightarrow L\ddot{q} + \frac{q}{C} = 0 \Rightarrow$

$$\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$$

2. Loi horaire des oscillations

Posons $q = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ et $\dot{q} = -Q_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$,

$$\ddot{q} = -Q_m \omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

$$\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = -Q_m \omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi) + \frac{1}{LC} Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

$$\Leftrightarrow \ddot{q} + \frac{1}{LC}q = \left(\frac{1}{LC} - \omega_0^2\right) Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

Pour $\frac{1}{LC} - \omega_0^2 = 0$, $\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$

Le circuit (L, C) est donc un oscillateur harmonique, siège d'oscillations électriques

libres de loi horaire $q = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ où

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$
 la pulsation propre du circuit ($rad.s^{-1}$).

φ la phase à l'origine des dates (rad).

Q_m la charge maximale du condensateur (C).

3. Caractéristiques Q_m et φ de la loi horaire

Elles sont déterminées à partir des conditions initiales.

Posons à $t = 0s$, $q = Q_0 > 0$ et $i = 0$

$$q = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \text{ et } \dot{q} = -Q_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$$

$$A t = 0 \Rightarrow Q_m \cos(\varphi) = Q_0 > 0 \text{ et } -Q_m \omega_0 \sin(\varphi) = 0 \Rightarrow \cos(\varphi) > 0$$

Et $\sin(\varphi) = 0 \Rightarrow \varphi = 0rad$ et $Q_m = Q_0$

D'où $q = Q_0 \cos(\omega_0 t)$

4. Expressions des grandeurs u_c, u_b et i

- $u_c = \frac{q}{c} = \frac{Q_m}{c} \cos(\omega_0 t + \varphi) = U_{cm} \cos(\omega_0 t + \theta)$

$$\Rightarrow U_{cm} = \frac{Q_m}{c} \text{ et } \theta = \varphi$$

- $u_b = -e = L \frac{di}{dt} = -LQ_m \omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi) = U_{bm} \cos(\omega_0 t + \psi)$

$$\Rightarrow U_{bm} = LQ_m \omega_0^2 \text{ et } \psi = \varphi + \pi$$

- $i = \frac{dq_A}{dt} = \frac{dq}{dt} = -Q_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi) = I_m \cos(\omega_0 t + \phi)$

$$\Rightarrow I_m = Q_m \omega_0 \text{ et } \phi = \varphi + \frac{\pi}{2}$$

Ces grandeurs sont toutes des fonctions sinusoïdales du temps comme la charge q .

5. Analogie oscillation mécanique – oscillation électrique

Oscillation mécanique	Oscillation électrique
$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$	$\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$
x	q
v	i
m	L
k	$1/C$

III. Energie emmagasinée dans un circuit (L, C)

1. Energie stockée dans chaque composant du circuit

- Dans le condensateur : $E_c = \frac{1}{2} \frac{q^2}{c} = \frac{Q_m^2}{2c} [\cos(\omega_0 t + \varphi)]^2$

- Dans la bobine : $E_m = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} L [Q_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)]^2$

Ces énergies sont des fonctions du temps.

2. Energie totale du circuit

$$E = E_c + E_m = \frac{Q_m^2}{2C} [\cos(\omega_0 t + \varphi)]^2 + \frac{1}{2} L [Q_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)]^2 \text{ or } L\omega_0^2 = \frac{1}{C}$$

$$\Rightarrow E = \frac{Q_m^2}{2C} ([\cos(\omega_0 t + \varphi)]^2 + [\sin(\omega_0 t + \varphi)]^2) \Rightarrow$$

$$E = \frac{Q_m^2}{2C} = \frac{1}{2} CU_m^2 = \frac{1}{2} LI_m^2$$

IV. Amortissement des oscillations par une résistance

1. Non conservation de l'énergie totale

- Equation différentielle du circuit : $L\ddot{q} + \frac{q}{C} + r\dot{q} = 0$

- Energie du circuit : $E = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} Li^2$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{q} \frac{q}{C} + L\dot{q}\ddot{q} = \dot{q} \left(L\ddot{q} + \frac{q}{C} \right) = \dot{q}(-r\dot{q}) = -r\dot{q}^2 < 0 \Leftrightarrow \frac{dE}{dt} < 0$$

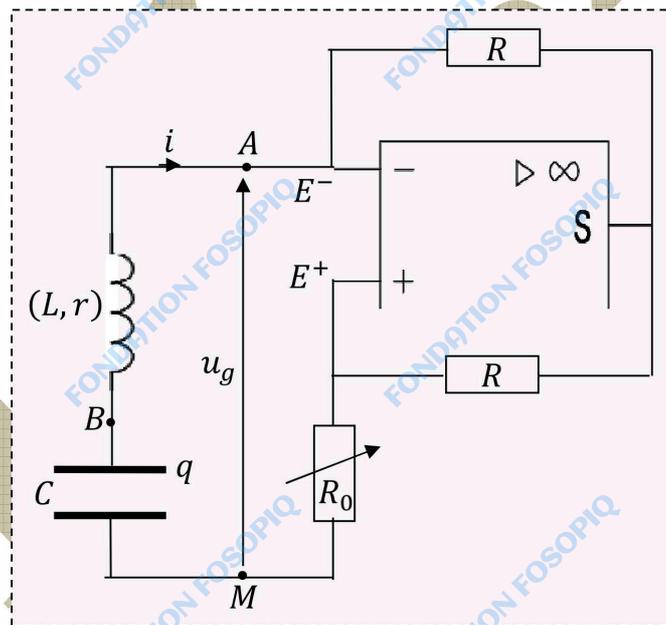
L'énergie totale du circuit se dissipe dans le temps sous forme de chaleur. Elle n'est plus conservée.

2. Régime pseudopériodique et régime apériodique

- Régime pseudopériodique** (*résistance faible*): on observe des oscillations qui diminuent d'amplitude dans le temps.
- Régime apériodique** (*résistance très élevée*): aucune oscillation n'est observée.

3. Entretien des oscillations

3.1. Dispositif expérimental



3.2. Etude du générateur auxiliaire

- Caractéristique du générateur**

On branche entre *A* et *M*, un générateur auxiliaire c'est-à-dire le dipôle (*M*, *A*). La tension u_g entre ses bornes est proportionnel à l'intensité i du courant.

$$u_{AM} = u_g = ki$$

$$V_S - V_{E^-} = Ri$$

$$V_M - V_S = (R + R_0)i \Rightarrow V_S = -(R + R_0)i \text{ car } V_M = 0$$

$$V_M - V_{E^+} = R_0i \Rightarrow V_{E^+} = -R_0i$$

$$\frac{V_S}{V_{E^+}} = \left(\frac{R+R_0}{R_0}\right) \Rightarrow V_S = \left(\frac{R+R_0}{R_0}\right) V_{E^+} \text{ or } V_{E^+} = V_{E^-} = u_g$$
$$V_S - V_{E^-} = Ri \Leftrightarrow \left(\frac{R+R_0}{R_0}\right) u_g - u_g = Ri \Rightarrow u_g = R_0 i \text{ D'où}$$

$$u_{MA} = -u_g = -R_0 i$$

Le générateur auxiliaire est un conducteur ohmique de résistance négative de valeur $-R_0$.

- **Equation différentielle du circuit :**

$$u_g = u_{AB} + u_{BM} = ri + L \frac{di}{dt} + \frac{q}{c} = ki \Leftrightarrow L\ddot{q} + \frac{q}{c} + (r - k)i = 0$$

$$\text{Pour } r = k = R_0 \Rightarrow L\ddot{q} + \frac{q}{c} = 0$$

Les oscillations sont donc entretenues par le générateur auxiliaire.

CHAPITRE 11

Objectif général : Appliquer les lois de l'électricité à l'étude de quelques circuits électriques.

Objectifs spécifiques :

- Appliquer les lois de l'électrocinétique à un circuit (R, L, C) série en régime sinusoïdal forcé.
- Comprendre le phénomène de résonance pour un circuit (R, L, C) série en régime sinusoïdal forcé.
- Connaître les expressions de la puissance et de l'énergie échangée dans un circuit (R, L, C) série en régime sinusoïdal forcé.

Durée : 10 heures

CIRCUIT (R, L, C) SERIE EN REGIME SINUSOIDAL FORCE

I. Courant alternatif sinusoïdal

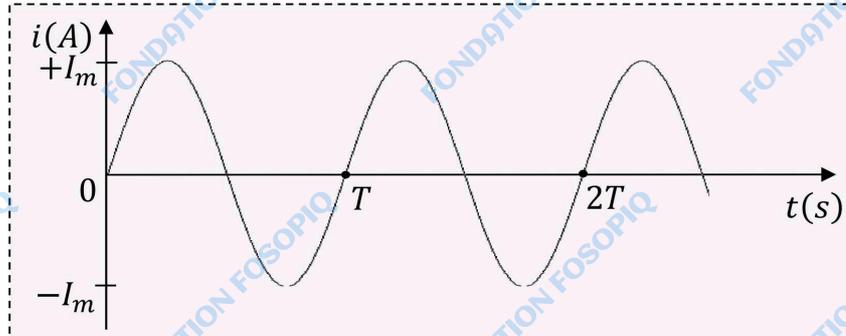
1. Définition

Un courant alternatif sinusoïdal est un courant qui change de signe deux fois sur une période et dont l'intensité est une fonction sinusoïdale du temps d'expression :

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi) \text{ avec}$$

- I_m l'amplitude ou l'intensité maximale (A).
- ω la pulsation de i ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)
- φ la phase à l'origine des dates (rad)

Ce courant est délivré par un *générateur* basse fréquence (GBF) ou un *générateur* haute fréquence (GHF).



2. Gradeurs efficaces

C'est la valeur de la tension variable ou du courant variable, mesurée à l'aide d'un voltmètre ou d'un ampèremètre.

- Tension efficace :

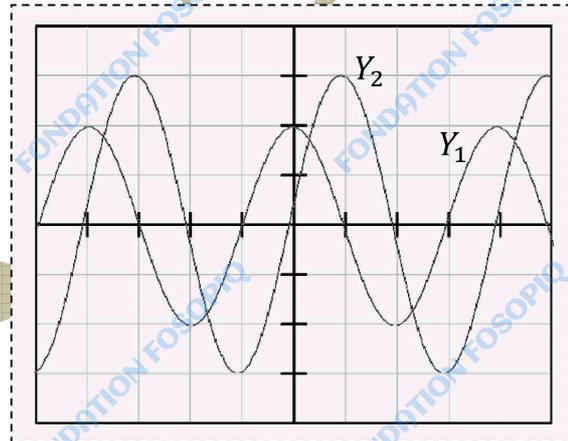
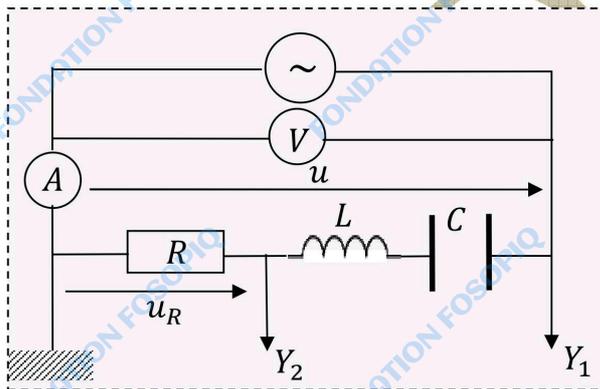
$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

- Intensité efficace :

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

II. Etude expérimentale du circuit série (R, L, C)

1. Dispositif expérimental



2. Résultats

Sur l'oscillographe, on n'observe que la tension u et les intensités i du courant :

- Sont des sinusoïdes.
- Ont la même période (ou même fréquence); celle imposée par le GBF.
- Présentent un décalage horaire θ sur l'axe des temps. On dit que ces deux sinusoïdes sont en déphasage.

3. Définition de quelques notions

3.1. Notion d'impédance

N(Hz)	U(V)	5	10	15
100	I(A)	0,065	0,13	0,195
	U/I			
500	I(A)	0,15	0,30	0,45
	U/I			

Pour une fréquence imposée au GBF, les rapports $\frac{U}{I}$ sont identiques.
 Ce rapport dépend de la fréquence. $\frac{U}{I} = cste = Z$ est appelé impédance du circuit.
 Elle est en $\text{ohm}(\Omega)$.

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{U_m}{I_m}$$

3.2. Notion de phase

La phase notée φ est la correspondance en angle du décalage horaire entre les sinusoides représentant i et u . De façon générale, les expressions de u et i sont :

$$u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi) \text{ et } i(t) = I_m \cos(\omega t)$$

$$\text{Ou } u(t) = U_m \cos(\omega t) \text{ et } i(t) = I_m \cos(\omega t - \varphi)$$

Avec φ la phase de u par rapport à i ($\varphi_{u/i}$)

Si $\varphi > 0$ alors u est en avance sur i ou i est en retard sur u .

Remarque :

$-\varphi$ est la phase de i par rapport à u .

- Détermination graphique de φ

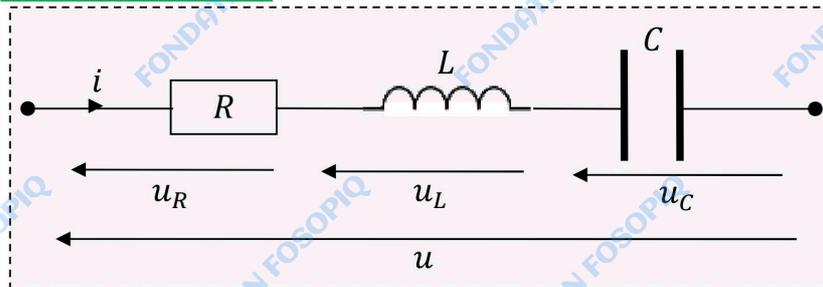
$$\varphi = \pm \frac{2\pi\theta}{T}$$

$\varphi > 0 \Rightarrow u$ est en avance sur i .

$\varphi < 0 \Rightarrow u$ est en retard sur i .

III. Etude théorique du circuit série (R, L, C)

1. Equation du circuit



$$u = u_R + u_L + u_C = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{q}{c} \text{ or } i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow q = \int i dt$$

$$\Rightarrow u = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt$$

2. Construction de Fresnel

Elle se fait à $t = 0$ s. on prendra i comme base de construction.

- **Expressions des différentes tensions**

- $u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$ et $i(t) = I_m \cos(\omega t)$
- $u_R = Ri = RI_m \cos(\omega t) = RI\sqrt{2} \cos(\omega t)$
- $u_L = L \frac{di}{dt} = -L\omega I_m \sin(\omega t) = L\omega I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$
- $u_C = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{I_m}{C\omega} \sin(\omega t) = \frac{I_m}{C\omega} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$

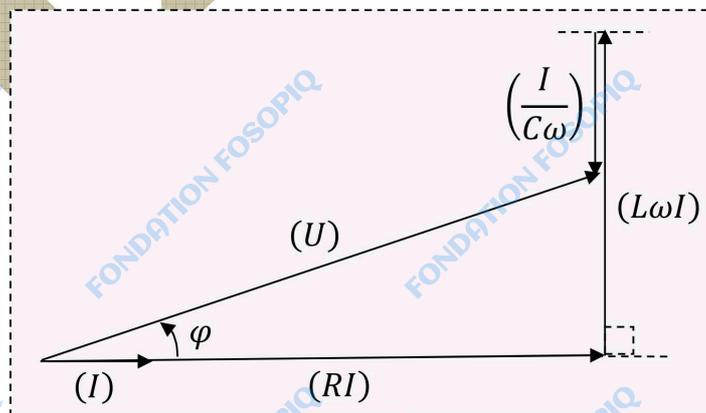
- **Vecteur associé à chaque tension**

Associons à chaque tension, un vecteur tournant. Ainsi :

- $i(t) = I_m \cos(\omega t) \Rightarrow \vec{i}$: norme I_m
- $u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi) \Rightarrow \vec{u}$: norme U_m et $(\vec{i}, \vec{u}) = \varphi$
- $u_R = RI_m \cos(\omega t) \Rightarrow \vec{u}_R$: norme et $(\vec{i}, \vec{u}_R) = 0$
- $u_L = L\omega I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \Rightarrow \vec{u}_L$: norme $L\omega I_m$ et $(\vec{i}, \vec{u}_L) = +\frac{\pi}{2}$
- $u_C = \frac{I_m}{C\omega} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \Rightarrow \vec{u}_C$: norme $\frac{I_m}{C\omega}$ et $(\vec{i}, \vec{u}_C) = -\frac{\pi}{2}$
- $u = u_R + u_L + u_C \Rightarrow \vec{u} = \vec{u}_R + \vec{u}_L + \vec{u}_C$

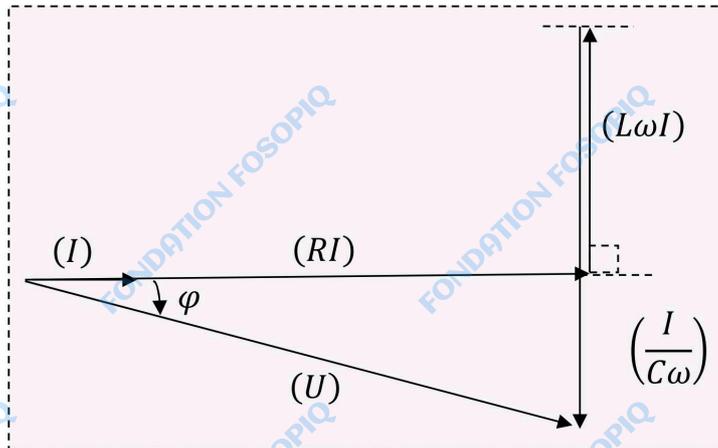
- **Diagramme de Fresnel**

- 1^{er} cas: $L\omega > \frac{1}{C\omega}$



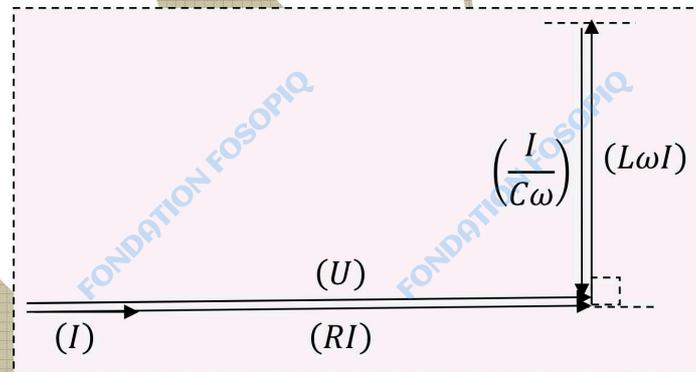
$\varphi > 0 \Rightarrow u$ est en avance sur i . Le circuit (R, L, C) est à prédominance **inductive**.

- 2^{ème} cas: $L\omega < \frac{1}{C\omega}$



$\varphi < 0 \Rightarrow u$ est en retard sur i . Le circuit (R, L, C) est à prédominance **capacitive**.

- 3^{ème} cas: $L\omega = \frac{1}{C\omega}$



$\varphi = 0 \Rightarrow u$ et i sont en phase. Le circuit (R, L, C) est à la **résonance d'intensité**.

3. Caractéristiques du circuit série (R, L, C)

3.1. Impédance

Appliquons la propriété de Pythagore :

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

$$\Rightarrow Z = \frac{U}{I} = \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

- $\frac{1}{Z} = \frac{I}{U}$ est l'admittance (en siemens: S)
- $L\omega - \frac{1}{C\omega}$ est la réactance (en ohm)

Remarque :

$$Z \neq Z_R + Z_L + Z_C \text{ et } U \neq U_R + U_L + U_C$$

3.2. La phase

$$\tan \varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}$$

$$\sin \varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{Z}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Remarque :

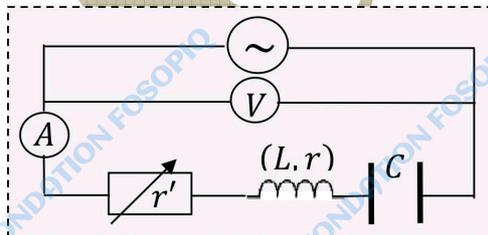
R représente la somme de toutes les résistances du circuit.

4. Etude de quelques circuits particuliers

IV. Circuit série (R, L, C) à la résonance

1. Etude expérimentale

1.1. Dispositif



$$C = 5\mu F ; L = 0,1H ; R = r' + r$$

1.2. Tableaux de mesures

- $R = 100\Omega$

N(Hz)	0	12,5	25	37,5	50	75	100	125	150	175	187,5
I(mA)	0	3,57	7,1	10,7	14,3	28,6	50	78,6	100	125	125,7
N(Hz)	212,5	216,8	225	231,3	237,5	250	262,5	275	287,5	300	312,5
I(mA)	143,2	150	150	143,2	142,8	142,8	135,7	132,1	125	117,8	106,5

- $R = 20\Omega$

N(Hz)	0	12,5	25	37,5	50	75	100	125	150	175	187,5
I(mA)	0	7,34	10,7	14,3	21,4	39,3	64,3	96,4	142,8	207,1	260,7
N(Hz)	200	212,5	218,7	225	231,3	237,5	250	262,5	275	287,5	300
I(mA)	357,1	550	714,3	750	714,3	550,7	407,1	321,4	260,7	214,3	197,6

1.3. Courbe de résonance $I = f(N)$

Echelle : $1cm \rightarrow 50mA$ et $1cm \rightarrow 25Hz$

1.4. Exploitation des courbes

- Dans les deux cas, les courbes croissent jusqu'à un maximum et décroissent.
 - Pour $R = 20\Omega$: $I_0 = 750mA \Rightarrow$ courbe pointue.
 - Pour $R = 100\Omega$: $I_0 = 150mA \Rightarrow$ courbe aplatie.
 - La valeur de la fréquence correspondant à ces valeurs est $N_0 = 225Hz$.
- Pour $I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$, il y a deux valeurs de fréquence qui encadrent N_0 .
 - Pour $R = 20\Omega$: $N_1 = 212,5Hz$ et $N_2 = 237,5Hz$.
 - Pour $R = 100\Omega$: $N'_1 = 150Hz$ et $N'_2 = 312,5Hz$.

Ces deux fréquences délimitent une bande dont la largeur dépend de la résistance R du circuit. C'est la bande passante à $3db$.

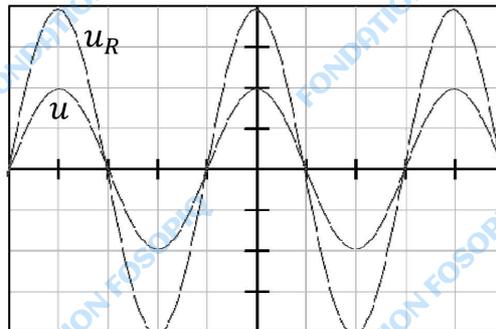
- Faisons quelques calculs :
 - Pour $R = 20\Omega$: $\Delta N = N_2 - N_1 = 25Hz$
 - Pour $R = 100\Omega$: $\Delta N' = N'_2 - N'_1 = 162,5Hz$
 - $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 225,07Hz$

2. Caractéristiques de la résonance

2.1. Fréquence de résonance

C'est la fréquence du GBF pour laquelle l'intensité efficace est maximale ou c'est la fréquence propre du circuit (L, C).

- $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
- $\varphi = 0$ donc u et i sont en phase.
- $LC\omega_0^2 = 1 \Rightarrow$ l'inductance compense exactement l'effet de la capacité.
- $Z = \sum R_i$
- u et i se présentent comme suit :



1.2. Bande passante à 3db

C'est l'ensemble des fréquences pour lesquelles $I \geq \frac{I_0}{\sqrt{2}}$, avec I l'intensité efficace et I_0 l'intensité efficace à la résonance.

La largeur de la bande passante est :

$$\Delta N = N_2 - N_1 = \frac{R}{2\pi L} \quad (\text{en Hz})$$

$$\Delta \omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{R}{L} \quad (\text{en rad. s}^{-1})$$

Remarque :

La résonance est plus aigue lorsque la bande passante est étroite.

2.2. Facteur de qualité

Il caractérise l'acuité (*floue ou aigue*) de la résonance. Il n'a pas d'unité et a pour expressions :

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta \omega} = \frac{\Delta N}{N_0}$$

\Leftrightarrow

$$Q = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{1}{RC\omega_0}$$

3. Surtension à la résonance

Aux bornes du condensateur : $Z_C = \frac{U_C}{I_0} = \frac{1}{C\omega_0} \Rightarrow U_C = \frac{I_0}{C\omega_0}$ or $U = RI_0 \Rightarrow U_C =$

$$\frac{U}{RC\omega_0} \Leftrightarrow U_C = QU$$

Quand le circuit est peu résistif, Q augmente et $U_C > U$. Il y a surtension aux bornes du condensateur à la résonance. De même, il y a surtension aux bornes de la bobine.

V. Puissance et énergie électrique reçues par le circuit série (R, L, C)

1. Puissance et énergie moyenne consommées par un dipôle

1.1. Puissance instantanée

$$p(t) = ui = U_m \cos(\omega t + \varphi) I_m \cos(\omega t) = 2UI \cos(\omega t + \varphi) \cos(\omega t) \Leftrightarrow$$

$$p(t) = UI[\cos(2\omega t + \varphi) + \cos(\varphi)]$$

1.2. Puissance moyenne

$$\mathcal{P} = \frac{\mathcal{E}}{T} \text{ or } d\mathcal{E} = p(t)dt \Rightarrow \mathcal{E} = \int p(t)dt \Leftrightarrow \mathcal{E} = UI \int [\cos(2\omega t + \varphi) + \cos(\varphi)]dt$$

$$\Leftrightarrow \mathcal{E} = UIT \cos(\varphi) + 0 \Rightarrow \mathcal{P} = UI \cos \varphi$$

Elle est aussi appelée **puissance active**.

• **$\cos \varphi$** est le facteur de puissance

• **UI** est la puissance apparente (V.A)

1.3. Energie moyenne

$$\mathcal{E} = \mathcal{P}T = UIT \cos \varphi$$

1.4. Puissance et énergie consommée par quelques dipôles particuliers

• **Conducteur ohmique :**

$$Z = R \text{ et } \varphi = 0 \Rightarrow \mathcal{P} = RI^2 = \frac{U^2}{R} \text{ et}$$

$$\mathcal{E} = \mathcal{P}T = RI^2T$$

• **Condensateur :**

$$\varphi = -\frac{\pi}{2} \text{ rad} \Rightarrow \mathcal{P} = 0 \text{ et } \mathcal{E} = 0$$

Le condensateur emmagasine de l'énergie sur une demi période et la restitue sur l'autre demi période.

• **Bobine pure :**

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \text{ rad} \Rightarrow \mathcal{P} = 0 \text{ et } \mathcal{E} = 0$$

La bobine emmagasine de l'énergie sur une demi période et la restitue sur l'autre demi période.

• **Dipôle série (R, L, C)**

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{RI}{U} \Rightarrow \mathcal{P} = UI \cos \varphi = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

soit

$$\mathcal{P} = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

Et

$$\mathcal{E} = \mathcal{P}T = RI^2T$$

Toute l'énergie est dissipée par effet joule en chaleur.

2. Echange d'énergie entre les dipôles

$$u = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{q}{c}$$

$$p(t) = ui = Ri^2 + Li \frac{di}{dt} + i \frac{q}{c} = Ri^2 + \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} Li^2 \right) + \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} \frac{q^2}{c} \right) \Rightarrow$$

$$p(t) - Ri^2 = \frac{d}{dt} (\mathcal{E}_e + \mathcal{E}_m)$$

$$\Rightarrow \mathcal{E} = \int_0^T p(t) dt = \int_0^T Ri^2 dt \Leftrightarrow \int_0^T [p(t) - Ri^2] dt = \int_0^T d(\mathcal{E}_e + \mathcal{E}_m) = 0 \Rightarrow$$

$$\mathcal{E}_e + \mathcal{E}_m = 0$$

Il y a un transfert d'énergie entre la bobine et le condensateur. Le circuit série (R, L, C) n'est pas un réservoir d'énergie.

3. Energie stockée à la résonance

A la résonance, $\omega = \omega_0$ et $\varphi = 0$

$$u = U_m \cos(\omega_0 t) \text{ et } i = I_m \cos(\omega_0 t) \Rightarrow u_c = \frac{1}{c} \int idt = \frac{I_m}{c\omega_0} \sin(\omega_0 t) = \frac{q}{c}$$

$$\bullet \mathcal{E}_e = \frac{1}{2} \frac{q^2}{c} = \frac{1}{2c} \left[\frac{I_m}{\omega_0} \sin(\omega_0 t) \right]^2$$

$$\bullet \mathcal{E}_m = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} L [I_m \cos(\omega_0 t)]^2 \text{ or } LC\omega_0^2 = 1$$

$$\bullet \mathcal{E} = \mathcal{E}_e + \mathcal{E}_m = \frac{1}{2} LI_m^2 [\cos(\omega_0 t)^2 + \sin(\omega_0 t)^2] \Rightarrow$$

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2} LI_m^2 = LI^2$$

CHAPITRE 12

Objectif général : Comprendre le comportement de la matière au niveau atomique.

Objectifs spécifiques :

- Connaître la nature des particules α, β^-, β^+ et du rayonnement γ .
- Comprendre la décroissance radioactive.

Durée : 5heures

REACTIONS NUCLEAIRES SPONTANEEES

I. Noyau atomique

1. Structure de la matière

La matière est constituée de petites particules de dimensions très petites ($\approx 10^{-10}m$) et électriquement neutres appelées atomes. L'expérience de Rutherford a montré que l'atome est formé d'électrons chargés négativement et d'un noyau central chargé positivement et que l'atome a une structure lacunaire compte tenu du vide qui s'y trouve.

2. Définitions de quelques notions

2.1. Constituants du noyau

Le noyau atomique est formé de **protons** et de **neutrons**. L'ensemble (*proton + neutron*) est appelé **nucléon**.

	Masse (kg)	Charge (C)
Proton (p)	$1,672 \cdot 10^{-27}$	$+e = 1,6 \cdot 10^{-19}$
Neutron (n)	$1,674 \cdot 10^{-27}$	0

Z: Nombre e protons ou numéro atomique

N: Nombre de neutrons

A: Nombre total de nucléons ou nombre de masse avec **$A = Z + N$**

Remarque :

La charge du noyau est la charge totale des protons.

2.2. Élément chimique

C'est un ensemble d'atomes caractérisé par le même numéro atomique Z.

Exemples : le cuivre, le carbone

2.3. Nucléide

C'est un ensemble d'atomes dont les noyaux ont le même A et le même Z.

Le nucléide se note :

$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X$

Avec X le symbole de l'élément chimique.

Exemples : $^{12}_6C$; $^{16}_8O$...

2.4. Isotopie

Des nucléides sont des isotopes s'ils ont le même numéro atomique et des nombres de masses différents.

Exemples : $^{12}_6C$ et $^{14}_6C$; $^{16}_8O$ et $^{18}_8O$...

2.5. Unité de masse atomique

Notée u , elle est par convention, la douzième partie de la masse de l'atome de carbone 12. Elle s'exprime en kg ou en mégaelectron volt par C au carré ($MeV \cdot C^{-2}$).

$$1u = \frac{1}{12} \times \frac{12}{N_A} = 1,67 \cdot 10^{-27} kg = 931,5 MeV \cdot C^{-2}$$

2.6. Dimensions du noyau

Le noyau atomique a la forme d'une petite sphère dont le rayon r varie avec le nombre de masse A . Soit :

$$r = r_0 \times A^{\frac{1}{3}}$$

Avec $r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} m$

Sa masse volumique vaut $\rho = 2 \cdot 10^{17} kg \cdot m^{-3}$.

II. Radioactivité naturelle

1. Définition

C'est une transformation spontanée (*une désintégration*) d'un nucléide naturel instable qui s'accompagne toujours de l'émission d'une ou de plusieurs particules. C'est un phénomène nucléaire qui ne dépend que de la composition et de la stabilité du nucléide.

Elle est indépendante de la température, de la pression et de la combinaison dans laquelle se trouve le nucléide.

Le nucléide instable est appelé radionucléide.

2. Lois de conservation

Au cours d'une radioactivité, il y a conservation de la charge (Z) et du nombre de masse (A).

3. Radioactivité α , β^- et β^+

3.1. Radioactivité α

- Equation-bilan

Un noyau père A_ZX se transforme en un noyau fils Y en émettant un noyau d'hélium appelé particule α selon l'équation :



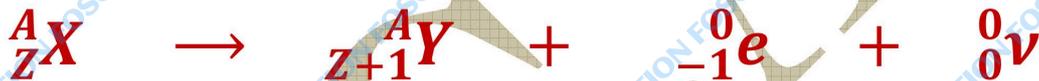
- Emetteurs α

Ce sont des noyaux lourds dont $A > 200$.

3.2. Radioactivité β^-

- Equation-bilan

Un noyau père A_ZX se transforme en un noyau fils Y en émettant un électron ${}^0_{-1}e$ appelé particule β^- selon l'équation :



- Emetteurs β^-

Ce sont des radionucléides ayant un excès de neutrons : ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1P + {}^0_{-1}e$

3.3. Radioactivité β^+

- Equation-bilan

Un noyau père A_ZX se transforme en un noyau fils Y en émettant un positon 0_1e appelé particule β^+ selon l'équation :



- Emetteurs β^+

Ce sont des radionucléides ayant un excès de protons : ${}^1_1P \rightarrow {}^1_0n + {}^0_1e$

4. Rayonnement γ

Toutes ces radioactivités s'accompagnent d'émission de rayonnement γ due à la désexcitation partielle ou totale des noyaux fils.

5. Détection des rayonnements

Pour détecter les rayonnements, on utilise les pouvoirs ionisants des particules α , β^- et β^+ à l'aide :

- De compteur Geiger,
- De compteur de scintillation.

III. Evolution temporelle d'une substance radioactive

1. Loi de décroissance radioactive

Soit :

N_0 : le nombre de radionucléides initiaux (à $t = 0s$).

N : le nombre de radionucléides présents dans la substance à l'instant t .

dN : le nombre de noyaux désintégrés pendant la durée dt .

La loi de décroissance s'écrit :

$$dN = -\lambda N dt$$

Avec λ la constante radioactive du nucléide.

$$dN = -\lambda N dt \Rightarrow \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_0^t -\lambda dt \Rightarrow N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\Leftrightarrow m = m_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Avec m , la masse de la substance radioactive.

2. Période ou demi-vie d'un radionucléide

La période T est la durée au bout de laquelle la moitié des radionucléides présents initialement est désintégrée.

A $t = 0s, N = N_0$

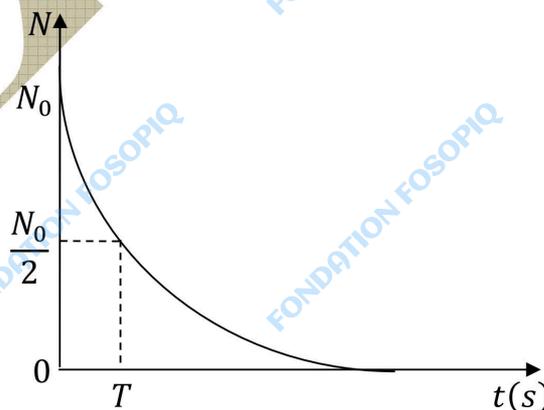
$$A t = T, N = \frac{N_0}{2} \Leftrightarrow \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda T} \Rightarrow T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Remarque:

Lorsque T est en seconde, λ est en s^{-1} .

Lorsque T est en année, λ est en an^{-1} .

3. Représentation de $N = f(t)$



4. Activité d'un échantillon radioactif

Notée A , l'activité est le nombre de désintégrations par unité de temps.

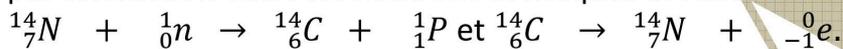
$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 \cdot e^{-\lambda t} = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Elle s'exprime en *Becquerel* (Bq). $1Bq = 1 \text{ désintégration} \cdot s^{-1}$

Elle peut aussi s'exprimer en *Curie* (Ci). $1Ci = 3,7 \cdot 10^{10} Bq$

5. Datation par le carbone 14

Le carbone 14 est un émetteur β^- . Il se forme dans les hautes couches atmosphériques par interaction entre les neutrons cosmiques et l'azote selon les équations :



La teneur isotopique de ${}^{14}_6C$ dans l'atmosphère est constante. Les végétaux vivants absorbent indéfiniment les deux isotopes ${}^{14}_6C$ et ${}^{12}_6C$ sous forme de CO_2 donc les végétaux et l'atmosphère ont le même taux de ${}^{14}_6C$. Lorsque le végétal s'éteint, il cesse d'absorber de CO_2 et le taux de ${}^{14}_6C$ se met à décroître exponentiellement. En comptant l'activité résiduelle A du bois mort avec celle A_0 d'un spécimen analogue vivant, on détermine la date à laquelle s'est éteint le végétal.

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \Rightarrow$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \times \ln \left(\frac{A_0}{A} \right)$$

Remarque

La datation par le carbone 14 ne permet pas de remonter le temps de plus de 30000 *ans*. On peut utiliser donc d'autres radionucléides tels que le potassium ${}^{40}K$.

CHAPITRE 13

Objectif général : Comprendre le comportement de la matière au niveau atomique.

Objectifs spécifiques : Expliquer le principe de la fusion et de la fission.

Durée : 4 heures

REACTIONS NUCLEAIRES PROVOQUEES

I. Energies nucléaires

1. Défaut de masse

C'est la différence de masse entre la masse du nucléide et celles de ses nucléons. Elle se note Δm et s'exprime-en $MeV.C^{-2}$.

$$\Delta m = Z \times m_p + (Z - A) \times m_n - m_X$$

Avec m_p , la masse d'un proton ; m_n , la masse d'un neutron et m_X , la masse du nucléide X.

2. Energie de liaison et cohésion du noyau

Dans un noyau, les protons et les neutrons sont liés par des forces de cohésion (*forces électrostatiques*) qui confèrent à ce noyau sa cohésion. Pour vaincre ces forces, il faut fournir à ce noyau une énergie appelée énergie de liaison notée E_ℓ . C'est l'énergie qu'il faut fournir à un noyau, pris au repos pour séparer ses nucléons ou pour le condenser à partir de ses nucléons séparés. Elle s'exprime en **méga électron volt (MeV)**.

$$E_\ell = \Delta m \times C^2 = [Z \times m_p + (Z - A) \times m_n - m_X] \times C^2$$

Remarque : $E_\ell > 0$

Plus E_ℓ est grande et plus le noyau est lourd.

3. Energie de liaison par nucleon

$$E_a = \frac{E_\ell}{A}$$

Avec A, le nombre de masse du noyau.

Remarque : Excepté les noyaux lourds, $E_a \approx 8MeV$.

Plus E_a est grande, plus le noyau est solide et stable.

II. Fusion nucléaire et fission nucléaire

1. La fission nucléaire

C'est la réaction de coupure d'un noyau lourd provoquée par un projectile nucléaire (*le neutron*). Certains nucléides fissiles se rompent sous l'impact de neutrons de faible énergie cinétique appelés neutrons thermiques.

Exemples : Fission de l'uranium 235.

Sous l'impact de neutrons thermiques, leur fission s'effectue selon une quarantaine de modes différents. Ce sont des émetteurs β^- . La réaction la plus probable conduit à la formation du Molybdène (^{95}Mo) et du lanthane (^{138}La).



2. La fusion nucléaire

C'est la réaction où les noyaux légers s'associent en un noyau lourd en éjectant une particule (*proton ou neutron*).

Exemple : La bombe H.

La fusion incontrôlée d'un mélange de deutérium (${}^2\text{H}$), de tritium (${}^3\text{H}$) et de lithium (Li) porté à haute température par l'explosion d'une petite bombe A, libère des noyaux ${}^3_2\text{He}$ et ${}^4_2\text{He}$.

Remarque : La fusion et la fission sont des réactions très exo énergétiques.

CHAPITRE 14

Objectif général : Analyser la nature du mouvement du centre d'inertie d'un solide.

Objectif spécifique : Appliquer la relation $\sum(\vec{f}_{ext}) = m\vec{a}$ à un solide dans un référentiel géocentrique pour décrire le mouvement des satellites.

Durée : 5 heures

INTERACTION GRAVITATIONNELLE

I. Force gravitationnelle

1. Principe d'interaction



Lorsqu'un corps A exerce sur un corps B , une force notée $\vec{F}_{A/B}$ (*action*), le corps B exerce sur le corps A , une force notée $\vec{F}_{B/A}$ (*réaction*) telles que :

- $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$
- Les deux forces ont la même droite d'action.

2. Loi de Newton ou loi d'attraction universelle

Soient deux corps ponctuels A et B de masses respectives m_A et m_B exerçant l'un sur l'autre des forces d'attractions $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$.



$\vec{u} = \frac{\overrightarrow{AB}}{r}$ vecteur- unitaire

$$\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B} = -\frac{Gm_A m_B}{r^2} \vec{u}$$

Avec K : la constante de gravitation universelle.

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ unité SI (m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} \text{ ou N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}\text{)}$$

Remarque :

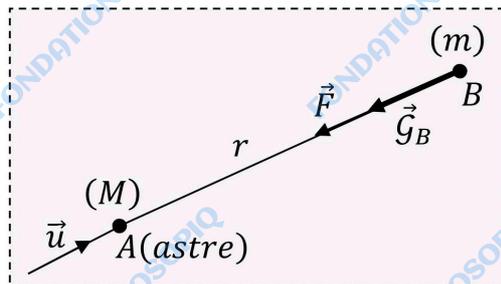
Cette loi peut être appliquée aux solides à répartition sphérique si nous admettons que les corps se comportent comme des points matériels situés en leurs centres et ayant pour masses, les masses de ces corps.

NB : Les forces gravitationnelles sont toujours attractives.

Application 1 :

II. Champ gravitationnel

1. Définition



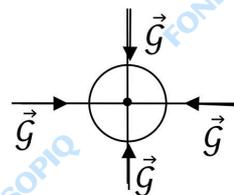
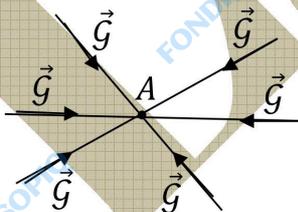
A crée en B un champ gravitationnel \vec{G}_B tel qu'un corps de masse m, placé en B, subit la force de gravitation :

$$\vec{F} = m\vec{G}_B = -\frac{GmM}{r^2}\vec{u} \Rightarrow \vec{G}_B = -\frac{GM}{r^2}\vec{u}$$

Le champ gravitationnel s'exprime en $m \cdot s^{-2}$.

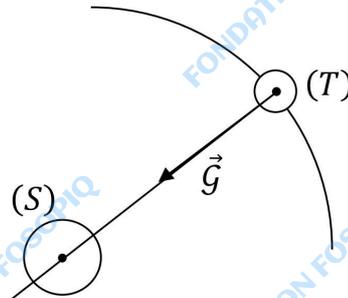
Remarque :

Le vecteur champ gravitationnel est **radial et centripète**.



Application 2

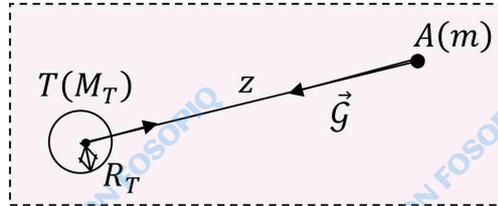
Application : Calculer le champ de gravitation solaire sur l'orbite terrestre.



$$G = \frac{GM}{r^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{30}}{(15 \cdot 10^{10})^2} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

2. Champ de gravitation terrestre

2.1. Expression générale



\vec{G} vecteur- champ gravitationnel terrestre en A.

$$OA = R_T + z = r$$

$$\vec{G} = -\frac{GM_T}{r^2} \vec{u} \Leftrightarrow$$

$$\vec{G} = -\frac{GM_T}{(R_T + z)^2} \vec{u}$$

$$\text{Pour } z = 0(\text{au sol}) \Rightarrow G_0 = \frac{GM_T}{R_T^2} \Rightarrow GM_T = G_0 R_T^2$$

D'où

$$G = G_0 \cdot \frac{R_T^2}{(R_T + z)^2}$$

Remarque : Quand $z \nearrow$, $G \searrow$

Application 3

2.2. Champ gravitationnel et champ de pesanteur

Au voisinage de la terre, \vec{G} et \vec{g} sont pratiquement égaux car :

- L'écart relatif entre leurs normes est inférieur à 0,3%.
- L'écart entre leurs directions n'excède pas $0,1^\circ$.

On écrit donc :

$$\vec{G} = \vec{g}$$

III. Mouvement des satellites

Pour étudier le mouvement d'un satellite de la terre, on utilise le repère géocentrique. Dans un tel repère, un satellite en «vol balistique» (*moteur coupé*), décrit une courbe plane dont le plan contient le centre O de la terre. Cette courbe est souvent une ellipse ou un cercle de centre O . On se limitera à l'étude du mouvement d'un satellite en «vol balistique» circulaire.

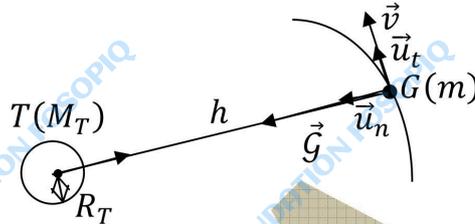
1. Etude du mouvement

Considérons un satellite de masse m et de centre d'inertie G .

- Système : satellite de masse m

- Référentiel géocentrique supposé galiléen
- Bilan des forces : Force gravitationnelle exercée par la terre $\vec{F} = m\vec{G}$
- Appliquons le théorème du centre d'inertie :

$$\Sigma(\vec{f}_{ext}) = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{F} = m\vec{G} = m\vec{a}_G \Rightarrow \vec{a}_G = \vec{G} = -\frac{GM_T}{r^2}\vec{u}_{OG}$$



$$\left. \begin{aligned} \vec{a}_G &= \vec{G} = G\vec{u}_n \\ \vec{a}_G &= \frac{dv}{dt}\vec{u}_t + \frac{v^2}{r}\vec{u}_n \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{dv}{dt} = 0 \Rightarrow v = cste$$

Le mouvement du satellite est **circulaire uniforme**.

Remarque :

Le mouvement de tout corps soumis à la seule action du champ gravitationnel est indépendant de la masse de ce corps.

2. Vitesse et période d'un satellite

2.1. Vitesse linéaire

$$\frac{v^2}{r} = G \Rightarrow v = \sqrt{rG} \text{ or } G = \frac{GM_T}{r^2} \text{ et } G_0 = \frac{GM_T}{R_T^2} \text{ d'où } v = R_T \sqrt{\frac{G_0}{r}}, r = R_T + h \Rightarrow$$

$$v = R_T \sqrt{\frac{G_0}{R_T + h}}$$

2.2. Vitesse angulaire

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{R_T}{r} \sqrt{\frac{G_0}{r}} \Leftrightarrow$$

$$\omega = R_T \sqrt{\frac{G_0}{(R_T + h)^3}}$$

2.3. Période

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{R_T} \sqrt{\frac{r^3}{G_0}} \Leftrightarrow$$

$$T = \frac{2\pi}{R_T} \sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{G_0}}$$

Application 4

3. Satellite géostationnaire

Un tel satellite est immobile par rapport à la terre. Il tourne avec elle à la même vitesse angulaire. Ceci est possible que si le satellite est dans le plan de l'équateur. Ce satellite tourne à une altitude bien déterminée.

Sa période de révolution est $T = 86164s = 1 \text{ jour sidéral}$.

$$T = \frac{2\pi(R_T+z)}{v} \Rightarrow \frac{T^2}{(R_T+z)^3} = \frac{4\pi^2}{KM_T} \Rightarrow r^3 = 7,5 \cdot 10^{22} \Rightarrow z = 3,6 \cdot 10^4 \text{ km}$$

4. Energie mécanique du système terre -satellite

On néglige le mouvement e rotation du satellite autour e son centre d'inertie.

• Energie cinétique du système

$$E_C = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mrG \Leftrightarrow E_C = \frac{1}{2}m \frac{GM_T}{r}$$

• Energie potentielle de gravitation du système

$E_{P_2} - E_{P_1} = -W_{1 \rightarrow 2}(\vec{F})$
En posant $E_P(\infty) = 0$, nousobtenons :

$$E_P = -\frac{GmM_T}{r} + C$$

• Energie mécanique du système

$$E = \frac{1}{2}m \frac{GM_T}{r} + C = -\frac{GmM_T}{r} \Rightarrow E = -\frac{1}{2} \frac{GmM_T}{r} + C$$

IV. Mouvement des planètes

1. Enoncé des lois de Kepler

• 1^{ère} loi:

Dans un repère de Copernic, la trajectoire d'une planète est une ellipse dont le soleil occupe un des foyers.

• 2^{ème} loi:

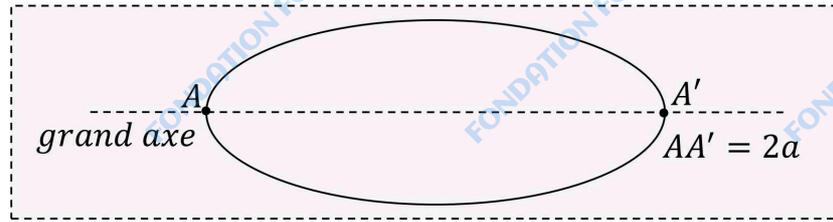
Le segment de droite reliant le soleil à la planète, balaie des aires égales pendant des durées égales.

• 3^{ème} loi:

Pour toutes les planètes, le rapport entre le cube du demi grand axe a de

la trajectoire et le carré de la période de révolutions est le même. $\frac{a^3}{T^2} = cste$

Cette constante est indépendante de la masse des planètes.



2. Conséquence

La 3^{ème} loi de Kepler est la base de l'élaboration par Newton de la théorie de l'attraction gravitationnelle.

Elle permet aussi de déterminer le rapport de la masse d'une planète à celle du soleil.

V. Notion d'impesanteur(apésanteur)

L'impesanteur découle du fait que, localement dans un champ gravitationnel, tous les objets ont presque la même accélération qui est indépendante de leur masse.

Exemples :

- Ascenseur en chute libre.
- Un cosmonaute dans un satellite

CHAPITRE 14

Objectif général : Appliquer les lois de l'électromagnétisme pour expliquer certains phénomènes fondamentaux en électricité.

Objectifs spécifiques :

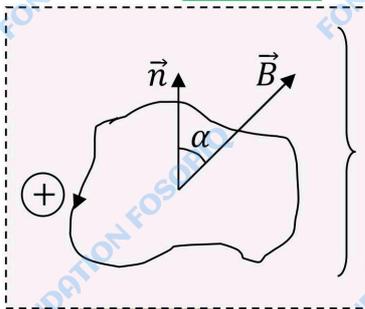
- Appliquer la loi de Lenz à un circuit soumis à la variation de flux magnétique dans la résolution d'un problème.
- Expliquer le principe de fonctionnement de quelques appareils à partir de la loi de Faraday.

Durée : 10 heures

INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE

I. Notion de flux magnétique

1. Définition



Circuit plan de surface S plongé dans un champ magnétique uniforme \vec{B} .

On définit d'abord un sens positif arbitraire qui permet de définir le vecteur unitaire normal à la surface S .

On appelle flux du champ magnétique \vec{B} à travers la surface S du circuit plan, la grandeur scalaire algébrique notée ϕ d'expression :

$$\phi = S \cdot \vec{B} \cdot \vec{n}$$

↔

$$\phi = S \cdot B \cos(\widehat{\vec{B}, \vec{n}})$$

ϕ s'exprime en *Weber* (Wb).

S : (m^2) et B (T)

Remarque :

Si \vec{B} n'est pas uniforme alors $\delta\phi = \delta S \vec{B} \cdot \vec{n} \Rightarrow \phi = \int \delta\phi$

2. Règle du flux maximal

$$\phi = BS \cos \alpha$$

$$\phi_{max} \Rightarrow \cos \alpha = 1 \Rightarrow \alpha = 0$$

\vec{B} et \vec{n} sortent par la même face.

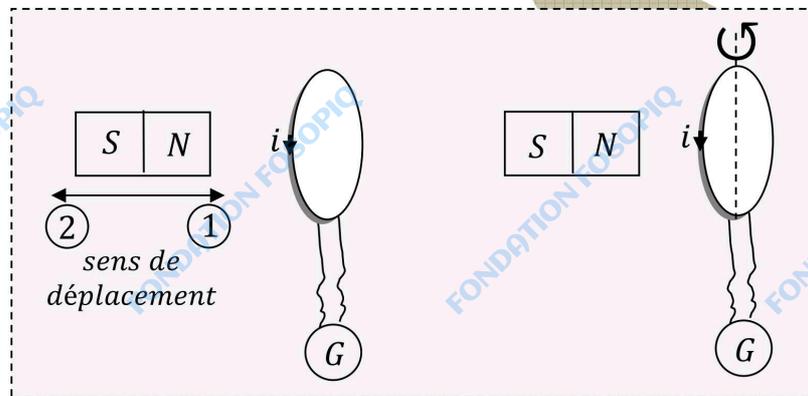
Enoncé de la règle :

Si le sens arbitraire choisi est celui du courant, la position stable d'équilibre d'un circuit plan, libre de se déplacer et situé dans un champ magnétique correspondant à la valeur maximale du flux du champ magnétique à travers ce circuit.

II. Mise en évidence du phénomène d'induction électromagnétique

1. Déplacement relatif d'un aimant et d'une bobine

1.1. Expériences

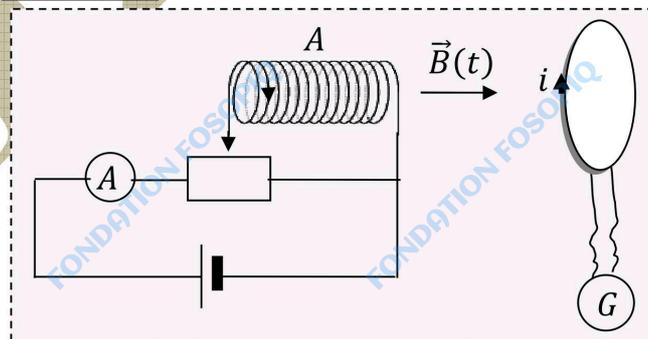


1.2. Résultats

Dans les deux expériences, l'aiguille du galvanomètre dévie c'est-à-dire qu'un courant électrique parcourt les bobines. Le sens de parcours de ce courant dépend du sens de déplacement de l'aimant et du sens de rotation de la bobine.

2. Circuit fermé dans un champ magnétique variant dans le temps

2.1. Expérience



2.2. Résultats

Un courant apparaît dans la bobine fixe. Le sens de parcours de courant dépend du sens de la variation de l'intensité du courant dans la bobine A.

3. Interprétation des résultats

Le phénomène que nous venons d'observer est appelé **induction électromagnétique**. Le courant qui apparaît dans la bobine est dit courant induit.

La présence de courant est due à l'apparition d'une force électromotrice induite dans la bobine. Cette force résulte de la variation du flux magnétique.

Remarque :

- **Induit ou circuit induit** : c'est le circuit dans lequel apparaît le courant induit.
- **Inducteur ou circuit inducteur** : c'est la source du champ magnétique.

Le circuit induit fonctionne en générateur. Les caractéristiques de ce générateur sont :

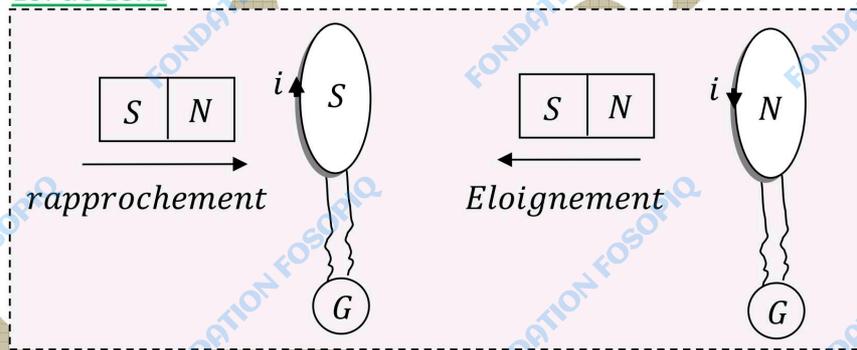
- **F.é.m.** notée **e** : **force électromotrice d'induction**.
- **Resistance interne r** qui est la résistance du conducteur constituant l'induit.

$$i = \frac{e}{r}$$

4. Visualisation des courbes à l'oscilloscope

III. Les lois de l'induction électromagnétique

1. Loi de Lenz



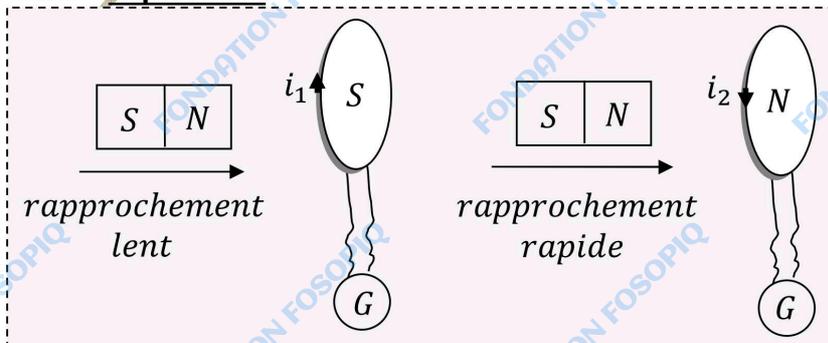
La bobine s'oppose au déplacement de l'aimant.

Énoncé de la loi :

Le phénomène d'induction électromagnétique est tel que, par ses effets, il s'oppose à la cause qui lui donne naissance.

2. Loi de Faraday-Lenz

2.1. Expérience



$$i_1 < i_2 \Rightarrow e_1 < e_2$$

Quand la variation du flux provoquée est rapide, i et e augmentent.

2.2. Relation de Faraday-Lenz

Les expériences précédentes montrent que l'intensité du courant induit est d'autant plus grande que :

- La variation du flux est grande.
- La durée de cette variation est petite

D'où

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

Le signe - traduit la loi de modération.

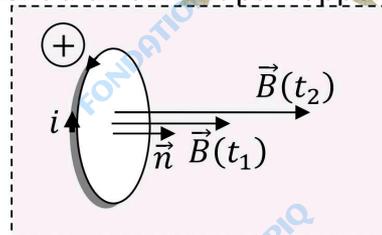
$e > 0$ et $i > 0$ si i circule dans le sens positif choisi.

$e < 0$ et $i < 0$ si i circule dans le sens contraire du sens positif choisi.

❖ Vérification de la loi

Cas du déplacement d'un aimant par rapport à une bobine fixe.

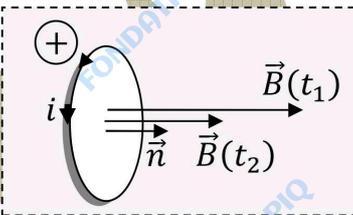
- $\frac{d\phi}{dt} > 0$



$\phi_1 > 0, \phi_2 > 0$ et $\phi_2 > \phi_1$

$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 > 0$ et $\Delta t > 0 \Rightarrow e < 0$ et $i < 0$.

- $\frac{d\phi}{dt} < 0$



$\phi_1 > 0, \phi_2 > 0$ et $\phi_2 < \phi_1$

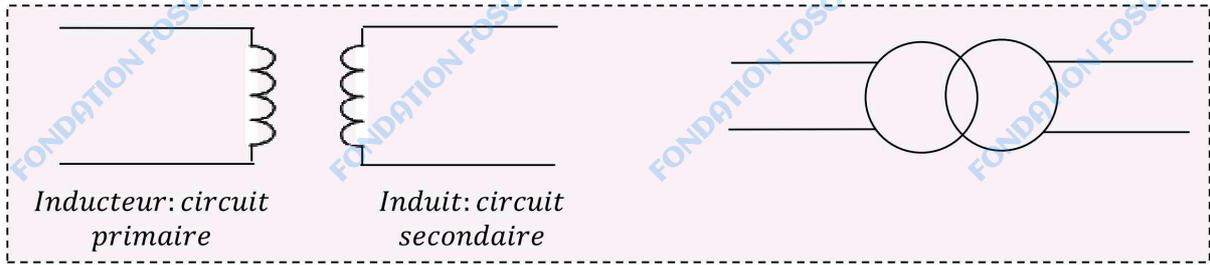
$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 < 0$ et $\Delta t > 0 \Rightarrow e > 0$ et $i > 0$.

IV. Applications

1. Transformateurs

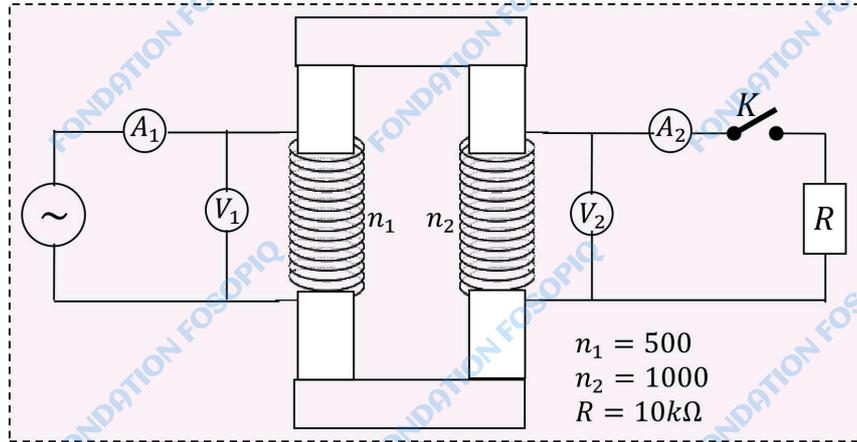
1.1. Définition et symbole

Un transformateur est un ensemble de deux bobines couplées. C'est un quadripôle c'est-à-dire un composant qui comporte deux bornes d'entrée et deux bornes de sortie. Son symbole est :



1.2. Etude expérimentale d'un transformateur

• **Expérience**



• **Résultats**

➤ **K ouvert**

U_1 (V)	2,5	8	9,5	10,2
U_2 (V)	4,8	16,2	19	20

➤ **K fermé**

I_1 (mA)	0,8	3,25	3,8	4
U_1 (V)	2	8,2	9,5	10
I_2 (mA)	0,42	1,62	1,9	2
U_2 (V)	4,3	16	19,5	20

• **Exploitation des résultats**

I_1/I_2				
U_2/U_1				

• **Conclusion**

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

$\frac{n_2}{n_1}$ est appelé rapport de transformation.

1.3. Utilisation

Les transformateurs sont utilisés en courant alternatif.

- $\frac{n_2}{n_1} > 1, U_2 > U_1 \Rightarrow$ le transformateur est **élévateur de tension**.

On les trouve souvent dans les postes de télévision, les oscilloscopes.

- $\frac{n_2}{n_1} < 1, U_2 < U_1 \Rightarrow$ le transformateur est **abaisseur de tension**.

On les trouve dans les appareils électriques nécessitant une faible tension : baladeurs, poste radio....

2. Alternateurs

2.1. Définition

C'est une machine destinée à la production de courant électrique et de tension alternatifs.

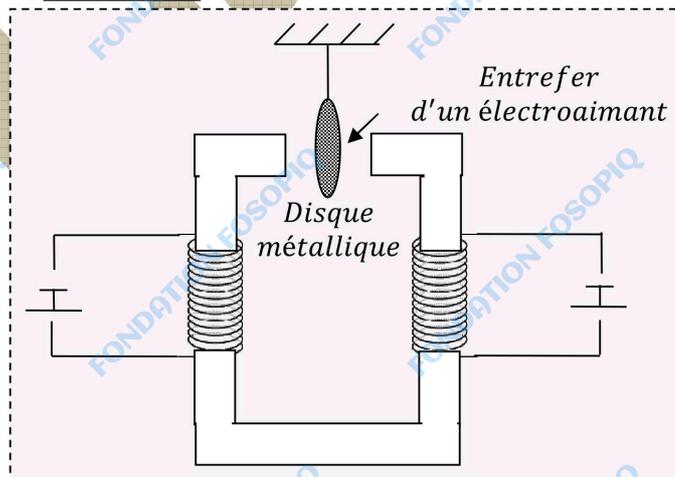
Il est formé d'un stator et d'un rotor (soit une bobine et une source de champ magnétique).

2.2. Principe

La source de champ magnétique qui est composée de plusieurs aimants, crée le champ magnétique. Le mouvement de rotation de celle-ci (*rotor*) provoque dans la bobine, une variation de flux magnétique et une f.é.m. induite, une fonction périodique du temps.

3. Courants de Foucault

3.1. Expérience



Les oscillations du pendule sont très vite amorties (*freinage électromagnétique*).

il apparaît dans le disque, des courants induits dits courants de Foucault qui s'opposent aux oscillations qui leur donnent naissance.

❖ **Généralisation**

Les courants de Foucault prennent naissance dans toute masse métallique en mouvement dans un champ magnétique ou soumise un champ magnétique variant dans le temps.

Remarque :

L'intensité des courants de Foucault dépend de la vitesse de déplacement des masses conductrices en mouvement.

3.2. Utilisation

- Les compteurs électriques
- Système de freinage de certains véhicules lourds.

CHAPITRE 15

Objectif général : Comprendre le comportement de la matière au niveau atomique.

Objectif spécifique : Expliquer l'existence des raies par les niveaux d'énergie.

Durée : 5 heures

NIVEAUX D'ENERGIE

I. Analyse et synthèse de la lumière blanche

1. Analyse de la lumière blanche

1.1. Observations

La dispersion de la lumière blanche par un prisme ou par un réseau de diffraction donne une plage colorée, continue, comportant dans l'ordre les couleurs principales : **violet, indigo, bleu, vert, jaune, orange, rouge.**

1.2. Conclusion

Cette plage colorée est appelée spectre de la lumière blanche. On dit que la lumière a un spectre continu.

2. Synthèse de la lumière blanche

2.1. Expérience

Faisons tourner à grande vitesse, le disque de Newton. Nous observons l'apparition d'une lumière blanche.

2.2. Conclusion

La superposition des différentes couleurs observées au niveau de la dispersion, donne la lumière blanche initiale.

II. Etude expérimentale de la spectroscopie

1. Spectre continu

Ce spectre est observé au niveau de la lumière blanche. Les couleurs observées, sont formées de différentes radiations de longueur d'onde différente donnée par la relation :

$$\lambda = c \cdot T$$

Avec C : la célérité de la lumière ($m \cdot s^{-1}$)

T : la période de la radiation (s)

2. Spectre de raies d'émission

L'observation des spectres des lumières émises par certains atomes, montre la présence de plusieurs raies de couleurs différentes se détachant sur fond noir. Ces spectres sont dits spectres de raies d'émission.

Exemple : Spectre de raies d'émission du mercure



3. Spectres e raies d'absorption

Certains gaz, lorsqu'ils sont traversés par la lumière blanche, absorbent certaines radiations de cette lumière. Le spectre ainsi observé, est appelé spectre de raies d'absorption du gaz.

Remarque :

- Les spectres de raies d'émission et d'absorption des atomes sont discontinus.
- La longueur d'onde de la raie absorbée est égale à celle de la raie d'émission.

Exemple : Spectre de raies d'absorption du sodium



III. Interprétations des spectres

1. Existence du photon

Les couleurs observées dans les spectres sont constituées de radiations électromagnétiques sources d'énergies. Laquelle énergie est transportée par quanta d'énergie par des particules appelées photons de masse nulle. La valeur du quanta d'énergie est :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Avec ν : la fréquence (Hz)

h : Constante de Planck de valeur $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

2. Postulat de Born

- Les variations de l'énergie e l'atome sont quantifiées.
- L'atome ne peut exister que dans certains états d'énergie bien définis, caractérisés par un niveau d'énergie.
- Un photon de fréquence ν est émis lorsque l'atome effectue une transition entre deux niveaux d'énergie E_n et E_p :

$$h\nu = E_n - E_p \quad (E_n > E_p)$$

IV. Niveaux d'énergie

1. Cas de l'atome d'hydrogène

1.1. Energie de l'atome d'hydrogène

L'atome d'hydrogène présente des niveaux d'énergie, auxquels on a attribué un nombre quantique principal $n \in \mathbb{N}^*$. L'énergie de l'atome est de la forme :

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2}$$

E_n est exprimée en **électron volt (eV)**.

Application

L'électron de l'atome d'hydrogène se trouve sur la couche L . Calculer l'énergie de cet atome dans cet état.

$$L \Rightarrow n = 2$$

$$E_n = -\frac{13,6}{2^2} = -3,4eV$$

1.2. Energie d'ionisation

C'est l'énergie qu'il faut fournir à l'atome d'hydrogène pour arracher son électron c'est-à-dire pour la transition entre les niveaux d'énergie E_1 et E_∞ ($E_\infty = 0$).

$$E_i = E_\infty - E_1 = 0 - (-13,6) \Rightarrow E_i = -E_1 = 13,6eV$$

1.3. Diagramme d'énergie de l'atome d'hydrogène

Nous pouvons classer l'ensemble des raies d'émission de l'atome d'hydrogène en série. Une série correspond aux transitions qui aboutissent au même niveau d'énergie.

2. Généralisation

A l'instar de l'atome d'hydrogène, les spectres des autres atomes présentent plusieurs raies. Ce qui rend leurs niveaux d'énergie beaucoup plus complexe. Ces niveaux sont caractérisés par des nombres quantiques s, p, d, f en plus du nombre quantique principal n .

Néanmoins, nous pouvons appliquer la même formule de l'énergie aux composés dits *hydrogénoïdes* c'est-à-dire des atomes ionisés possédant un seul électron.

Exemples : He^+, Li^{2+}